

Recycling im Zeitalter der Digitalisierung

Spezifische Recyclingziele für Metalle und Kunststoffe aus Elektrokleingeräten im ElektroG: Regulatorische Ansätze

Vorgelegt von:

IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH

Schopenhauerstr. 26, 14129 Berlin

Volker Handke, Maximilian Hross



In Kooperation mit:

Ökopol - Institut für Ökologie und Politik GmbH

Nernstweg 32-34, 22765 Hamburg

Rebecca Bliklen, Dirk Jepsen und Lisa Rödiger



Im Auftrag des:

NABU - Naturschutzbund Deutschland

Ansprechpersonen:

Verena Bax, Referentin für Umweltpolitik, e-mail: Verena.Bax@NABU.de, Tel.: 0049 30 284 984 1178

Sascha Roth, Referent für Umweltpolitik, e-mail: Sascha.Roth@NABU.de, Tel.: 0049 30 284 984 1660

Berlin, 29. April 2019

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	6
2	Zielsetzung und Hintergrund.....	16
2.1	Entwicklungstrends elektronischer Produkte.....	18
3	Stoff- und gerätespezifische Mengenanalyse.....	19
3.1	Gerätespezifische Mengenanalyse.....	19
3.1.1	Herangehensweise.....	19
3.1.2	Ergebnisse.....	21
3.1.2.1	Sammelziele.....	23
3.1.2.2	Behandlungsverfahren.....	24
3.1.2.3	Materialzusammensetzung.....	29
3.1.3	Materialauswahl.....	32
3.1.3.1	Kritische Metalle.....	32
3.1.3.2	Menschenrechte.....	34
3.1.3.3	Umweltauswirkungen.....	38
3.1.3.4	Verlust von kritischen Metallen durch Nicht-Erfassung.....	43
3.1.3.5	Kunststoffe.....	44
4	Bestehende Erfassungs- und Recyclingketten.....	49
4.1	Erfassung von Elektroaltgeräten.....	49
4.2	Entsorgungswege.....	49
4.3	Vorgelagerte Reparatur- und Aufarbeitungsprogramme.....	52
4.4	Demontage.....	52
4.5	Aufbereitung von Elektro- und Elektronikaltgeräten.....	53
5	Analyse der Recyclingqualität.....	57
6	Weiterführende Erfassungs- und Recyclingtechnologien.....	60
6.1.1	Metalle.....	61
6.1.2	Kunststoffe.....	64
7	Optimierungspotenziale und Ableitungen von Empfehlungen.....	67
7.1	Generelle Optimierungsziele.....	67
7.2	Ökodesign.....	68
7.3	Erfassung.....	68
7.4	Wiederverwendung.....	69
7.4.1	Reparatur.....	69
7.5	Recycling.....	69
7.5.1	Separation.....	70
7.5.1.1	Kondensatoren.....	70
7.5.1.2	Batterien.....	70
7.5.1.3	Sonstiges.....	70
7.5.2	Leiterplatten.....	71

7.5.3	Kunststoffe.....	71
8	Rahmenbedingungen und Regulierungsansätze.....	72
9	Bestehende rechtliche Anforderungen an ein hochwertiges Recycling	73
9.1	Vorgehen bei der Identifizierung und Darstellung der rechtlichen Anforderungen.....	73
9.2	Ergebnis der Auswertung bestehender rechtlicher Anforderungen.....	73
10	Ableitung und Prüfung von Maßnahmen- und Handlungs-empfehlungen.....	75
10.1	Handlungsbereich 1: Steigerung der Erfassungsquoten von Elektroaltgeräten	75
10.1.1	Maßnahme 1.1: Prüfung der Einführung eines Pfandsystems für Elektrogeräte	76
10.1.2	Maßnahme 1.2: Vollzug des Exportverbots von nicht funktionsfähigen Geräten stärken	79
10.1.3	Maßnahme 1.3: Vertreiberrücknahme so gestalten, dass sie verbraucherfreundlicher ist	82
10.1.4	Maßnahme 1.4: Informationspflicht der Vertreiber zu Entsorgungsmöglichkeiten konkretisieren und umsetzen.....	85
10.1.5	Übersicht über die Maßnahmen zur Steigerung der Sammelquoten: Chancen, Hemmnisse und Adressaten.....	86
10.2	Handlungsansatz 2: Stärkung der Wiederverwendung von Elektrogeräten.....	87
10.2.1	Maßnahme 2.1: Verringerter Umsatzsteuer-Satz auf gebrauchte Produkte und Reparatur	89
10.2.2	Maßnahme 2.2: Zerstörungsarme Sammlung und Transport von EAG.....	90
10.2.3	Maßnahme 2.2: Umsetzung eines Gesamtkonzepts zur systematische Stärkung der Vorbereitung zur Wiederverwendung	91
10.2.4	Maßnahme 2.4: Verpflichtung der öffentlichen Beschaffung zur Nutzung von Gebrauchtgeräten	92
10.2.5	Übersicht über Maßnahmen zur Stärkung der Wiederverwendung: Chancen, Hemmnisse und Adressaten.....	93
10.3	Handlungsansatz 3: Formulierung differenzierter, materialspezifischer Separations- und Verwertungsquoten	95
10.3.1	Maßnahme 3.1: Anpassung der Bezüge der Recyclingquote	96
10.3.2	Maßnahme 3.2: Materialspezifische Recyclingquoten für kritische Metalle	97
10.3.3	Maßnahme 3.3: Materialspezifische Recyclingquoten für Kunststoffe.....	98
10.3.4	Maßnahme 3.4: Separationsquote für flammgeschützte Kunststoffteile	100
10.3.5	Maßnahme 3.5: Separationsquote für Gerätebatterien und Kondensatoren.....	101
10.3.6	Übersicht über Maßnahmen zur Formulierung differenzierter Separations- und Verwertungsquoten: Chancen, Hemmnisse und Adressaten	103
11	Literaturverzeichnis.....	106
12	Anhang: Darstellung der rechtlichen Anforderungen an die Produktkonzeption und an den Umgang mit Abfällen.....	114
I.	Anforderungen der allgemeinen Abfallgesetzgebung	114
II.	Anforderungen der spezielleren Gesetzgebung für Elektroaltgeräte.....	115

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Lokalisierung der vorgeschlagenen Maßnahmen im Lebenszyklus von Elektroaltgeräten.....	15
Abbildung 3-1: Zusammenführung der Gerätekategorien ab 2018.....	20
Abbildung 3-2: Jährlich in Verkehr gebrachte Elektrogeräte und getrennt gesammelte Elektroaltgeräte.....	21
Abbildung 3-3: Jährlich in Verkehr gebrachte und getrennt gesammelte Haushaltskleingeräte	22
Abbildung 3-4: Jährlich in Verkehr gebrachte Elektrogeräte und getrennt gesammelte Elektroaltgeräte nach Geräteart	22
Abbildung 3-5: Geräteübergreifenden Verteilung der Behandlungsarten	26
Abbildung 3-6: Verteilung der Behandlungsarten der getrennt gesammelten Haushaltskleingeräte .	26
Abbildung 3-7: Gerätspezifische Verteilung der Behandlungsarten für das Berichtsjahr 2016.....	27
Abbildung 3-8: Verbleib der 2016 in Verkehr gebrachten Elektrokleingeräte.....	29
Abbildung 3-9: Mittlere Zusammensetzung von Elektroschrott in Deutschland	30
Abbildung 3-10: Mittlere Zusammensetzung von Elektroaltgeräte privater Haushalten.....	31
Abbildung 3-11: Kopplung von Haupt- und Nebenmetallen bei der Primärgewinnung.....	33
Abbildung 3-12: Minenstandorte mineralischer Rohstoffe mit Menschenrechtsverletzungen oder Umweltschäden.....	37
Abbildung 3-13: Umweltwirkung bei der Gewinnung, Aufbereitung und Raffination von Metallen ...	39
Abbildung 3-14: Umweltauswirkungen der in Elektrokleingeräten relevanten Metalle	40
Abbildung 4-1: Übersicht über die administrative Steuerung der Entsorgung von Elektroaltgerät in Deutschland.....	50
Abbildung 4-2: Fließschema eines mechanischen Aufbereitungsprozesses	53
Abbildung 4-3: Pyrolyseschema bei Anwendung auf Elektro- und Elektronikaltgeräte	53
Abbildung 4-4: Systematische Prozessdarstellung bei der Erstbehandlung von Elektroaltgeräten	55
Abbildung 4-5: Globale End-of-Life Recyclingraten von 60 Metallen	56
Abbildung 5-1: Abfallhierarchie gemäß EU-Abfallrahmenrichtlinie 2008 und Kreislaufwirtschaftsgesetz 2017.....	58
Abbildung 6-1: Abfolge der Metallraffination bei der Multi-Metall-Gewinnung der Aurubis AG	63
Abbildung 10-1 Handlungsbereiche und zugehörige Maßnahmenvorschläge für die Stärkung eines hochwertigen Recyclings.....	75
Abbildung 10-2 Gesammelte Elektroaltgeräte pro Kopf im europäischen Vergleich im Jahr 2016	76
Abbildung 10-3 Schweizer System der Sammlung und Behandlung von EAG	82
Abbildung 10-4 Vereinfachtes Schema der Recyclingprozesse mit den Massenströmen M1-M4 aus den einzelnen Prozessschritten.....	96
Abbildung 10-5 Grafische Darstellung der Ansatzpunkte für die vorgeschlagenen Maßnahmen im bestehenden System für die Sammlung und Behandlung von Elektroaltgeräten	105

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Verluste ausgewählter Materialien durch nicht erfasste Elektrokleingeräte	7
Tabelle 3-1: Gerätespezifische Sammelquoten in den Jahren 2006 bis 2016.....	23
Tabelle 3-2: Mindestzielvorgaben für die Verwertung und das Recycling gemäß Anhang V Teil 1 und 2 der EU-Richtlinie 2012/19/EU (WEEE 2).....	24
Tabelle 3-3: Mindestzielvorgaben für die Verwertung gemäß Anhang V Teil 3 der EU-Richtlinie 2012/19/EU (WEEE 2).....	25
Tabelle 3-4: Gerätespezifische Verwertungs- und Recyclingquoten für die Jahre 2015 und 2016	28
Tabelle 3-5: Beispielhafter Überblick über kritische Rohstoffe aus verschiedenen Literaturquellen ..	32
Tabelle 3-6: Typologie für die Ressourcengovernance von Ländern	36
Tabelle 3-7: Zusammensetzung von Haushaltskleingeräten 2010.....	41
Tabelle 3-8: Ausgewählte kritische Metalle mit besonderer Relevanz für Elektrokleingeräte der privaten Haushalte	42
Tabelle 3-9: Jährlichen Materialverluste durch nicht getrennt erfasste kleine Elektroaltgeräte	43
Tabelle 3-10: Eingesetzte Additive in Kunststoffen.....	45
Tabelle 3-11: Anteil flammgeschützter Kunststoffe in Elektrogeräten privater Haushalte	46
Tabelle 3-12: Konzentrationen von Flammschutzmittel in EAG-Kleingeräten in der Schweiz.....	48
Tabelle 3-13: Konzentrationen von Flammschutzmittel in der Kunststofffraktion von HHKG die heiß werden Deutschland 2018	48
Tabelle 6-1: Qualitätsziele der hergestellten Materialströme einer fortschrittlichen mechanischen Aufbereitung	60
Tabelle 6-2: Technologische Reife der Rückgewinnung von Metallen aus der Post-consumer EAG	61
Tabelle 10-1 Kunststoffgehalt je Gerätekategorie nach Anhang II der WEEE-RL; Quelle: (Baxter et al. 2014).....	98
Tabelle 12-1 Grundlegende Anforderungen an die Produktkonzeption und den Umgang mit Produktabfällen (inkl. EAG) gemäß AbfRRL.....	114
Tabelle 12-2 Grundlegende Anforderungen an die Produktkonzeption und den Umgang mit Produktabfällen (inkl. EAG) gemäß KrWG.....	114
Tabelle 12-3 Spezifische Anforderungen an die Produktkonzeption und den Umgang mit EAG gemäß WEEE-RL	115
Tabelle 12-4 Spezifische Anforderungen an die Produktkonzeption und den Umgang mit EAG gemäß ElektroG.....	116

1 Zusammenfassung

Zielsetzung und Vorgehen

Mit der vorliegenden Studie soll eine wissenschaftlich fundierte Grundlage geschaffen werden, um für die anstehende Novelle des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes (ElektroG) einen Beitrag zur Verbesserung eines qualitativ hochwertigen Recyclings von Elektroaltgeräten zu leisten.

Dazu wird die aktuelle Erfassungs- und Recyclingpraxis von Elektrokleingeräten analysiert und bewertet sowie bestehende Defizite identifiziert und entsprechende Verbesserungspotenziale hinsichtlich Erfassungsquoten, Wiederverwendung und ein materialorientiertes Recycling aufgezeigt. Diese Potenziale werden anschließend in praxistaugliche und rechtssichere Empfehlungen überführt.

Digitalisierung als Herausforderung

Die Digitalisierung führt bei Elektro(nik)geräten zu Veränderungen, die ein hochwertiges Recycling von Altgeräten vor besondere Herausforderungen stellt. Zu diesen Veränderungen zählen die verkürzten Innovationszyklen mit entsprechend verkürzter Lebensdauer der Geräte, was zu einer steigenden Menge und Vielfalt der Geräte führt. Ferner ist eine zunehmende Elektronisierung klassischer Elektrogeräte aber auch von bisher nicht-elektrischen Geräten wie Möbel oder Kleidung zu beobachten. Dazu kommt eine Miniaturisierung elektrischer Bauteile mit entsprechend sinkenden Materialgehalten bei gleichzeitiger funktionaler Konvergenz der Geräte hinsichtlich LCD-, Sensor-, Sende- und Empfangskomponenten. Werkstofflich ist eine Abnahme von recyclingfreundlichen metallischen Werkstoffen zugunsten von vielfältigen Kunststoffen zu beobachten. Ferner sinken die Gehalte an Edelmetallen, die für die Wirtschaftlichkeit von Recycling entscheidend sind, während bei den Kunststoffen, aufgrund der haptischen Geräteanforderungen, schwer recycelbare Elastomere und beschichtete Kunststoffe zunehmen.

Erfassungsdefizite

Die bisherige Erfassung von Elektroaltgeräten weist erhebliche Defizite auf. So werden trotz gesetzlicher Sammelquoten seit Jahren weniger als die Hälfte der in den Verkehr gebrachten Elektrogeräte getrennt gesammelt. Der Verbleib der nicht getrennt erfassten Elektroaltgeräte ist ungewiss. Begründet zu vermuten steht jedoch, dass ein Großteil in den Restabfall der Haushalte gelangt oder nach Afrika exportiert wird. Damit einher geht ein erheblicher Verlust insbesondere von kritischen Metallen. Metallen also deren Verfügbarkeit besonders begrenzt ist, die schwer substituierbar und damit technologisch von strategischer Bedeutung sind und deren bergbauliche Gewinnung mit besonders großen Umweltauswirkung sowie teils erheblichen Menschenrechtsverletzungen verbunden ist.

Materialverlust

Um eine ungefähre Vorstellung von der Größenordnung der Materialverluste an kritischen Metallen durch nicht getrennt erfasste Elektroaltgeräte zu erhalten, wurde eine Abschätzung für Elektrokleingeräte vorgenommen. Dazu wurden die Metallgehalte ausgewählter Elektrokleingeräte auf die jährlich in Deutschland nicht getrennt erfasste Menge an Haushaltskleingeräte bezogen. Da der Metallgehalt auch innerhalb der Gerätekategorie stark schwankt, wurden dabei jeweils der untere und der obere Metallgehalt als minimale und maximale Materialverluste ausgewiesen. Die folgende Tabelle stellt das Ergebnis für die Metalle mit den höchsten Verlusten dar.

Tabelle 1-1: Verluste ausgewählter Materialien durch nicht erfasste Elektrokleingeräte

Element	Mittlerer jährlicher Stoffverlust durch defizitäre Erfassung von Elektrokleingeräte der Haushalte für die Jahre 2006 bis 2016 in Mg		Globale Produktionsmengen 2013 in Mg als Raffinade bzw. Fördermenge
	minimal	maximal	
Kobalt	0,64	8,40	86.000
Neodym	1,25	41,63	28.900
Tantal	5,34	119,86	1.300
Zinn	181,90	401,59	362.996

Derzeitiges Recyclingpraxis

Auf der Grundlage der getrennt erfassten Elektroaltgeräte werden durchschnittlich ca. 80% der Gerätemassen einem Recycling zugeführt und ca. 10% werden thermisch verwertet. Die Vorbereitung zur Wiederverwendung und die Beseitigung erfolgen je nach Gerätetyp im einstelligen Prozentbereich. Die derzeitige Recyclingpraxis besteht im Wesentlichen aus einer meist manuellen Schadstoffentfrachtung, einer mehrstufigen maschinellen Zerkleinerung mit jeweils anschließender Magnetscheidung, Windsichtung und Klassierung. Typische Ausbringungsfraktionen der Separation sind neben einer Schadstofffraktion, Fe- und NE-Metalle, eine hochkalorische Kunststofffraktion sowie eine überwiegend mineralische Restfraktion. Für die separierten Fe-Metalle erfolgt üblicherweise ein Einsatz in der Stahlerzeugung während die separierten NE-Metalle in den Kupferprozess eingesetzt werden, der auch eine weitere metallurgische Separierung monetär besonders wertstoffhaltige Metalle ermöglicht.

Qualitativ hochwertiges Recycling

Für alle Abfallarten gültige, allgemein anerkannte oder gar rechtlich kodifizierte Kriterien für ein qualitativ hochwertiges Recycling gibt es nicht. Daher werden in der vorliegenden Studie folgende Kriterien für ein qualitativ hochwertiges Recycling zugrunde gelegt:

- Ausschluss der thermischen Verwertung
- Sichere Entnahme und Separation von öko- und humantoxischen Schadstoffen
- Gewinnung möglichst sortenreiner Wertstoffe
- Größtmögliche Beibehaltung der werkstofflichen Eigenschaften
- Störungsfreier Einsatz in die Stoffströme der Primärrohstoffe
- Gleichwertiger Einsatz des Sekundärmaterials in den ursprünglichen Anwendungsfeldern

Um einem ganzheitlichen Anspruch zu genügen, werden darüber hinaus auch die Abfallvermeidung und die Wiederverwendung als systemische Voraussetzung für ein qualitativ hochwertiges Recycling berücksichtigt. Damit werden auch konstruktive Anforderungen und die Substitution adressiert.

Weiterführende Recyclingtechnologien und Optimierungspotentiale

Ein dem Recycling vorgelagertes aber gleichwohl zentrales Optimierungspotential ist in der Steigerung der Erfassungsquoten zu sehen.

Als ein ebenfalls dem Recycling vorgelagertes Optimierungspotential für einen fortschrittlichen Umgang mit Elektroaltgeräten ist die Unterstützung und stärkere Integration von Reparatur und Aufar-

beitung in die Erfassungs- und Recyclingpraxis zu nennen. Dazu sind Transport, Lagerung und Demontage stärker an der Wiederverwendung von funktionsfähigen Geräte und Gerätkomponenten auszurichten sowie der Vollzug beim Verbot illegaler Exporte von Elektroaltgeräten zu stärken.

Erhebliche Optimierungspotentiale werden in der Demontage und der Separation vor der maschinellen Zerkleinerung, dem sogenannten Pre-Shedding, gesehen.

Weiterführende Recyclingtechnologien für Metalle zielen insbesondere auf die differenzierte Rückgewinnung von NE-Metallen. Als entsprechendes Beispiel mit hoher technologischer Reife kann die Multi-Metall-Gewinnung gelten.

Für ein qualitativ hochwertiges Recycling von Kunststoffen liegen Optimierungspotentiale in der sortenreinen Trennung des Materials und der sicheren Ausschleusung von Kunststoffen mit halogenhaltigen Flammschutzmitteln. Als Beispiel für fortgeschrittene Rückgewinnungsverfahren bromhaltiger Mischkunststoffen von Elektroaltgeräten, kann das CreaSolv[®]-Verfahren gelten, das am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) entwickelt wurde und sich derzeit im technologischen Pilotstadium befindet.

Zu den regulatorischen Optimierungspotentialen zur Förderung eines qualitativ hochwertigen Recyclings von Elektroaltgeräten zählen Output gesteuerte Recyclingquoten. Diese beziehen sich auf die tatsächlich ausgebrachten Mengen. Ein weiteres regulatorisches Optimierungspotential wird in spezifischen Recyclingquoten von Bauteilen gesehen die kritische Metalle und flammgeschützte Kunststoffteile in maßgeblichen Mengen enthalten. Schließlich lassen sich auch spezifische Separationsquoten für Gerätebatterien und Kondensatoren zu den regulatorischen Optimierungspotentialen zählen.

Regulatorische Maßnahmen- und Handlungsempfehlungen

In Hinblick auf die Stärkung eines möglichst hochwertigen Recyclings von Elektroaltgeräten, lassen sich drei grundlegende Handlungsbereiche unterscheiden, denen jeweils verschiedene konkrete Maßnahmen zugeordnet werden. Folgende Auflistung gibt diesbezüglich einen Überblick:

I. Steigerung der Erfassungsquoten von EAG

1. Prüfung der Einführung eines Pfandsystems für Elektrogeräte
2. Vollzug des Exportverbots von nicht funktionsfähigen Geräten stärken
3. Vertreiberrücknahme so gestalten, dass sie verbraucherfreundlicher ist
4. Informationspflicht der Vertreiber zu Entsorgungsmöglichkeiten konkretisieren und umsetzen

II. Stärkung der Wiederverwendung von EAG

1. Verringerter Umsatzsteuer-Satz auf gebrauchte Produkte und Reparatur
2. Zerstörungsarme Sammlung und Transport von EAG
3. Umsetzung eines Gesamtkonzeptes zur systematischen Stärkung der Vorbereitung zur Wiederverwendung
4. Verpflichtung der öffentlichen Beschaffung zur Nutzung von Gebrauchtgeräten

III. Formulierung differenzierter, materialspezifischer Separations- und Verwertungsquoten

1. Anpassung der Bezüge der Recyclingquote
2. Materialspezifische Recyclingquoten für kritische Metalle
3. Materialspezifische Recyclingquoten für Kunststoffe
4. Separationsquoten für flammgeschützte Kunststoffteile
5. Separationsquoten für Gerätebatterien und Kondensatoren

Im Einzelnen sind für die jeweiligen Maßnahmen folgende Chancen, Hemmnisse und Adressaten zu benennen:

I. Steigerung der Erfassungsquote von EAG

Derzeit wird in Deutschland das in der WEEE-RL gesetzte Mindestsammelziel von 45 Gew-Prozent bezogen auf die in den letzten drei Jahren auf den Markt gebrachte Masse an EAG knapp verfehlt. Dies ist insbesondere relevant, da ab 2019 eine auf den Wert von 65 Gew.-Prozent angehobene Zielstellung gilt.

1. Prüfung der Einführung eines Pfandsystems für Elektrogeräte

§ 25, Abs. 1, Nr. 2 KrWG eröffnet Herstellern oder Vertreibern, deren Erzeugnisse einem System der Produktverantwortung nach § 23 KrWG unterworfen sind, grundlegend die Möglichkeit, ihrer Rücknahmeverpflichtung über die Erhebung eines Pfandes nachzukommen. Derzeit wird dies sowohl im Bereich der Verpackungen wahrgenommen und über §31, VerpackG separat geregelt, als auch im Altfahrzeug Sektor mit einem Pfand auf Starterbatterien, wie er in §10, BattG festgelegt ist. Für Elektrokleingeräte sind bislang nur sehr vereinzelt freiwillige Initiativen einzelner Hersteller zu beobachten.

- Ansatz
 - Mit der Prüfung einer Einführung von Pfand auf Elektrogeräte bei einzelnen, besonders ressourcenrelevanten Kleingeräten (Geräte Kategorien) beginnen
- Chancen
 - Separate Erfassung (und Behandlung) besonders ressourcenrelevanter Geräte möglich
 - Hohe Erfassungsquoten erreichbar (vgl. Einweggetränkeverpackungen)
- Hemmnisse
 - Heterogener Gerätestrom erschwert einheitliches Pfandsystem
 - Pfand allein vermutlich nicht ausreichend zur Verbesserung des Rückgabesystems
- Adressat: BMU (Forschungsvorhaben fördern) und/oder Vertreter/Sektorverbände (System initiieren)

2. Vollzug des Exportverbots von nicht funktionsfähigen Geräten stärken

Die Mengen illegal exportierter EAG betragen im Jahr 2008 schätzungsweise 155.000 t, welche in Nicht-EU-Staaten und 200.000 t, die innerhalb der EU exportiert wurden (Sander und Schilling 2010). Die Studie „CWIT-Project-Countering WEEE Illegal Trade“ befand, dass nur 35 % aller EAG in Europa (im Jahr 2012) über die offiziellen Sammel- und Verwertungssysteme erfasst wurden (Huisman et al. 2015). Der Export von Geräten, die nicht als Altgeräte deklariert sind, erfolgt oftmals in einem Graubereich der Abgrenzung zwischen Gebrauchtprodukt und Altgerät.

- Ansatz
 - Separate Codes für Gebraucht- und Neugeräte in die kombinierte Nomenklatur des Zolls einführen
 - Zugang zu Export-Datenbanken durch Abfallbehörden und polizeiliche Stellen ermöglichen
 - Aufbau eines Netzwerks zwischen den zuständigen (internationalen) Behörden
 - Untergrenze für Behandlungskosten bei EBA erfassen
- Chancen
 - Erschließung des Ressourcenpotentials von ansonsten exportierten Geräten
 - Ökonomischer Wettbewerb zwischen EBA könnte entschärft werden
- Hemmnisse
 - Personalengpässe beim Zoll, welcher auf Länderebene für den Vollzug verantwortlich ist
 - Kostenersparnis durch nicht vorschriftsgemäße Behandlung von EAG gibt Behandlungsanlagen Wettbewerbsvorteil
- Adressat: BMF (Instrument zu prüfen)

3. Vertreiberrücknahme so gestalten, dass sie verbraucherfreundlicher ist

Die Rücknahmepflicht von EAG durch den Handel ist im „neuen“ ElektroG in § 17, Abs. 1 und 2 ausgeführt. Seit dem 24. Juli 2016 ist der Handel ab einer Ladenfläche von mindestens 400 m² für Elektro(nik)geräte in der Verpflichtung sowohl beim Kauf eines neuen Gerätes ein EAG der gleichen Geräteart unentgeltlich zurückzunehmen als auch EAG die in keiner Abmessung größer 25 cm sind ohne Bindung an einen Neukauf zurückzunehmen. Für den Onlinehandel gilt, dass Dieser geeignete Rückgabemöglichkeiten in zumutbarer Entfernung zum Letztbesitzer einzurichten hat. Derzeit wird dieser Rücknahmeverpflichtung des Handels jedoch offenbar z.T. unzureichend nachgekommen, wie Tests der Deutschen Umwelthilfe e.V. ergeben haben (Deutsche Umwelthilfe e.V. 2018).

- Ansatz
 - Mehr Rückgabeorte in der Nähe der Letztbesitzer einrichten
 - Gemeinsame Finanzierung öffentlicher Sammelstellen auch im ländlichen Raum
 - Ausweitung der Rücknahmepflicht des Handels auf Ladenflächen < 400 m² auch in Hinblick auf Geräte im offenen Anwendungsbereich („cross-over“ Produkte)
- Chancen
 - Rücknahmesysteme mit hohem Komfort können Sammelquote möglicherweise steigern (siehe Schweiz, Irland)
- Hemmnisse
 - Rücknahme im Online- und Filialhandel derzeit lückenhaft und nicht verbraucherfreundlich
 - Versand von EAG über den Postweg ist aus Sicherheitsgründen zu vermeiden und rechtlich heikel
 - Finanzierung von Sammelstellen durch Hersteller ist im deutschen System nicht vorgesehen
 - Rechtliche Anpassung erforderlich
- Adressat: BMU (Rahmensetzung), Vertreiber und Länder

4. Informationspflicht der Vertreiber zu Entsorgungsmöglichkeiten konkretisieren und umsetzen

Gemäß § 18, Abs. 2 ElektroG sind zusätzlich zu den öRE auch die Hersteller, deren Bevollmächtigte und Vertreiber in der Pflicht, Informationen über die von ihnen geschaffenen Rückgabemöglichkeiten an die privaten Haushalte zu vermitteln – auch unabhängig vom Kauf eines Neuprodukts. Die derzeitige Umsetzung der Informationspflicht wird diesem Ziel noch nicht umfassend gerecht. Einschlägige Studien zeigen, dass im Filialhandel schriftliche Informationen und Hinweisschilder zu Rückgabemöglichkeiten nicht flächendeckend verfügbar sind.

- Ansatz
 - Konkretisierung der Informationspflicht im ElektroG und Vollzug auf Länderebene
- Chancen
 - höhere Erfassungsquoten durch Kenntnis der Verbraucher über Rückgabemöglichkeiten und -pflichten erreichbar
- Hemmnisse
 - Bisher weder im Filialhandel noch im Onlinehandel Informationen flächendeckend verfügbar
- Adressat: BMU (Rahmensetzung) und Länder (Vollzug)

II. Stärkung der Wiederverwendung von Elektrogeräten

Abfallvermeidung stellt nach AbfRRL/KrWG die oberste Stufe der Abfallhierarchie dar. Durch die Wiederverwendung verlängert sich die Nutzungsdauer eines Elektrogeräts. Die Vorbereitung zur Wiederverwendung (VzW) hat in Deutschland derzeit allerdings nur einen Anteil von 1-2 % an der gesamten Sammelmenge.

1. Verringerter Umsatzsteuer-Satz auf gebrauchte Produkte und Reparatur

Laut einer Umfrage im Auftrag des Verbraucherzentrale Bundesverbands (vzbv) sehen 74 % der Befragten ein Haupthemmnis für die Reparatur von Elektrogeräten darin, dass eine Reparatur zu teuer wäre (Kantar Emnid 2017).

- Ansatz
 - Verminderter Steuersatz auf Reparatur und Gebrauchtware (z. B. Absenkung auf 7 %)
 - Ersatzteile und Reparaturanleitungen auch unabhängigen Dienstleistern zur Verfügung stellen
- Chancen
 - Reduzierte USt. auf Reparaturdienstleistungen für Elektrogeräte und für gebrauchte Elektrogeräte könnte deren Absatz stärken
- Hemmnisse
 - Derzeit (z.T. diskriminierend) hohe Kosten für Ersatzteile und Reparatur von Elektrogeräten
 - Möglichkeit zur Reparatur oftmals nur bei Herstellern oder professionellen Reparaturstellen
- Adressat: BMF

2. Zerstörungsarme Sammlung und Transport von EAG

§ 14, Abs. 1-3 ElektroG, legen fest, dass die öRE geeignete Behältnisse bereitstellen, welche so befüllt werden, dass ein Zerschlagen der EAG möglichst vermieden wird.

Im Widerspruch zu dieser gesetzlichen Anforderung haben exemplarische Untersuchungen gezeigt, dass sich für EAG der Sammelgruppe 3 (insbesondere Bildschirmgeräte) derzeit vielfach eine Entsorgungspraxis etabliert hat, bei der die Geräte weder separat noch bruchsfest erfasst werden. Durch die Sammlung und den Transport in einfachen Containermulden und insbesondere auch bei einfachen Umladevorgängen (Schütten) werden die EAG z.T. erheblich beschädigt, was nicht nur eine VzW bei der EBA unmöglich macht sondern auch die Gefahr birgt, dass Schadstoffe freigesetzt werden (Brüning 2011).

- Ansatz
 - Entwicklung und Verwendung von Behältnissen für bruchsfeste Sammlung/Transport für Sammelstellen der öRE und des Handels
- Chancen
 - Bruchsfeste Sammlung ermöglicht VzW der Altgeräte
- Hemmnisse
 - Finanzieller Aufwand auf Seiten der Hersteller
- Adressat: Länder (Vollzug), öRE und Hersteller (Umsetzung)

3. Umsetzung eines Gesamtkonzeptes zur Stärkung der Vorbereitung zur Wiederverwendung

Die Wiederverwendungseignung von EAG ist gemäß § 20, Abs. 1 ElektroG vor der Erstbehandlung der Altgeräte zu prüfen. Bis EAG über die unterschiedlichen Rücknahmewege über den Handel, Werkstoffhöfe oder Depotcontainer die Erstbehandlungsanlage (EBA) erreichen, wo die Prüfung zur Wiederverwendung nach den etablierten Entsorgungskonzepten heute meist durchgeführt werden soll, sind sie aufgrund der eher „robusten“ Sammel- und Transportbedingungen faktisch meist nicht mehr zur Wiederverwendung geeignet. Darüber hinaus fehlt bislang ein Gesamtkonzept, welches dazu geeignet ist, das bestehende System der Erfassung, Sammlung und Verwertung von EAG im Rahmen der in Deutschland etablierten geteilten Produktverantwortung so zu transformieren, dass eine verstärkte Nutzung der Option der Vorbereitung zur Wiederverwendung an Attraktivität gewinnt. Im Rahmen eines Ressortforschungsvorhabens des Umweltbundesamtes wurde 2018 ein Vorschlag für ein Gesamtkonzept vorgelegt (Sander et. al, 2018).

- Ansatz
 - Separierungsverbot des § 14 Abs. 4 ElektroG für nicht optierte EAG zum Zweck einer vorgezogenen „vor-Ort“ Prüfung aufheben
 - VzW-geeignete Geräte direkt am Punkt der Übergabe identifizieren
 - Unterstützung der Wiederverwendungseinrichtungen durch die Einführung einer „EBA VzW Zertifizierung“
 - kostenlose Rückführung von (doch) nicht wiederverwertbaren Geräten in den Verwertungsstrom
 - Aufnahme einer separaten Quote für die VzW pro Gerätegruppe ins ElektroG
- Chancen
 - Gesteigerte Verfügbarkeit wiederverwendungs-geeigneter Geräte durch Eignungsprüfung direkt am Punkt der Übergabe
- Hemmnisse
 - Derzeitige Entsorgungspraxis führt bei Sammlung und Transport zu Schäden die VzW ausschließen
 - Vorgezogene Prüfung der VzW Eignung derzeit in vielen Konstellation rechtlich nicht zulässig und nicht finanziert
 - Fehlende differenzierte Mengenstrominformationen erschweren derzeit die Festlegung sachgerechter Zielvorgaben
- Adressat: BMU und Länder

4. Verpflichtung der öffentlichen Beschaffung zur Nutzung von Gebrauchsgütern

Gemäß § 45, Abs.1 Nr. 1 Buchst. c KrWG ist durch die öffentliche Beschaffung zu prüfen, inwiefern „Erzeugnisse eingesetzt werden können, die durch Vorbereitung zur Wiederverwendung oder durch Recycling aus Abfällen hergestellt worden sind.“

- Ansatz
 - Ausschreibungsempfehlungen für Vergabestellen entwickeln
 - Entwicklung von Qualitätsstandards für Geräte aus der VzW
- Chancen
 - Steigerung der Nachfrage nach Gebrauchsgütern durch die öffentliche Hand
 - Vorbildfunktion der öffentlichen Hand
- Hemmnisse
 - Aktuell faktisch keine Beschaffung von Gebrauchsgütern
- Adressat: *Kompetenzstelle für nachhaltige Beschaffung, Beschaffungsstellen des Bundes, der Länder und der Kommunen*

III. Festlegung von differenzierten Separations- und Recyclingquoten

Die derzeitige Gesetzgebung beinhaltet zu Abfall allgemein und Elektroaltgeräten speziell keine konkreten Anforderungen an eine entsprechende Vorbehandlung oder ein hochwertiges Recycling insgesamt. Die gesetzlichen Vorgaben beschränken sich auf massenbezogene Verwertungs- und Recyclingquoten für die einzelnen in den Gesetzestexten definierten Gerätekategorien und benennen Schadstoffe, welche in der Erstbehandlung zu entfernen sind. Hieraus ergibt sich gerade bei kleineren Geräten eine Behandlungspraxis, welche ausschließlich darauf abzielt besonders massenrelevante Materialien und Bauteile zu separieren.

1. Anpassung der Bezüge der Recyclingquote

Die Berechnungsmethode für die kombinierte Quote aus dem Recycling und der Vorbereitung zur Wiederverwendung wird derzeit in § 22, Abs. 1 ElektroG festgelegt. Danach berechnen sich die Quoten auf Basis des Gewichts der Altgeräte(-Teile) einer Gerätekategorie welche einer Verwertungsanlage zugeführt werden. Eine Berechnung auf der Basis des Gewichts der der Verwertung zugeführten Altgeräte(-Teile) führt dazu, dass bei der Zerkleinerung und anschließenden Sortierung der EAG besonderer Fokus auf die massenrelevanten Elemente wie Kupfer und Eisenmetalle gelegt wird um die Quoten einzuhalten.

- Ansatz
 - Festlegung von Recyclingquoten bezogen auf den Output aus den Verwertungsanlagen
- Chancen
 - Die tatsächlich recycelten und zu recycelnden Materialmengen werden abgebildet
- Hemmnisse
 - Bisher „traditionell“ ausschließlich Inputquoten durch den Gesetzgeber normiert
 - Festlegung und Ermittlung der Recyclingquoten ist schwierig da Verwertungs- und Recyclinganlagen meist gemischte Inputströme verarbeiten. Output nicht direkt auf einen bestimmten Input zurückzuführen
 - Gesetzesänderung notwendig
- Adressat: BMU/UBA

2. Materialspezifische Recyclingquoten für kritische Metalle

Auf Grundlage der Verordnungsermächtigung des § 24 Abs. 2 ElektroG ist die Bundesregierung ermächtigt eine Verordnung zu erlassen, welche weitergehende Anforderungen an die Behandlung von Altgeräten festlegt. Diese Anforderungen können prozessbezogen, informationsbezogen oder materialbezogen sein, z. B. in Form materialspezifischer Quoten.

- Ansatz
 - Festlegung von outputbezogenen Recyclingquoten für ausgewählte (kritische) Metalle
- Chancen
 - Förderung einer getrennten Erfassung und Behandlung von relevanten Bauteilen, die kritische Metalle enthalten
- Hemmnisse
 - Vorgeschriebene Quoten müssten dynamisch an den Inputstrom und die Separationstechniken angepasst werden
 - Rechtliche Anpassung erforderlich
- Adressat: BMU/UBA

3. Materialspezifische Recyclingquoten für Kunststoffe

Entsprechend einer Studie für das „Nordic Council of Ministers“ von Baxter (2014) beträgt der Anteil von Kunststoffen in EAG zwischen 5 % und 20 %. Allerdings sieht das ElektroG – im Gegensatz zur Altfahrzeugverordnung¹⁾ – keine Separation von Kunststoffteilen vor.

- Ansatz
 - Festlegung von outputbezogenen Recyclingquoten für Kunststoffe
 - Materialspezifische Recyclingquoten pro Gerätekategorie einführen z. B. 15 Gew. % des Gesamtinputs der SG 5 (Kleingeräte)
- Chancen
 - Förderung der Separierung und getrennten Behandlung von Gehäusekunststoffen
- Hemmnisse
 - Vorgeschriebene Quoten müssten dynamisch an den Inputstrom und die Separationstechniken angepasst werden
 - Rechtliche Anpassung erforderlich
- Adressat: BMU/UB

4. Separationsquote für flammgeschützte Kunststoffe

Die EU-Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (Richtlinie 2011/65/EU²⁾ – „RoHS Richtlinie“), die durch die Elektro- und Elektronikgeräte-Stoff-Verordnung³⁾ (ElektroStoffV) in deutsches Recht umgesetzt ist, legt fest, welche gefährlichen Stoffe im Fokus für EAG und Kunststoffe aus EAG stehen – vier Schwermetalle und zwei Arten von bromierten Flammschutzmitteln (BFSM). Da keine Informationen über die flammgeschützten Bauteile bei den Erstbehandlern vorliegen und auch keine einfachen Erkennungsmethoden für diese verfügbar sind, können die BFSM-Kunststoffe nicht direkt bei einer Zerlegung abgetrennt werden, sondern werden erst geshreddert und dann mittels geeigneter Trennaggregate möglichst gründlich vom restlichen Kunststoff-Strom getrennt, jedoch kann nie von einer absolut reinen Trennung ausgegangen werden. Somit ergeben sich sowohl Verluste an „sauberen“ Kunststoffen welche fälschlicherweise aussortiert wurden, als auch Verunreinigungen der einzelnen Polymerfraktionen, welche recycelt werden.

- Ansatz
 - Festlegung einer Separationsquote für flammgeschützte Kunststoffe
- Chance
 - Erreichen geringerer Verunreinigungen der Kunststoff-Fraktion für das Recycling
 - geringere Verluste an „sauberen“ Kunststoff durch Separation vor dem Shreddern
- Hemmnisse
 - Manuelle Demontage der Geräte ist mit hohen Kosten verbunden
 - Information, ob Gerät flammgeschützte Kunststoffe enthält ist nicht verfügbar bei EBA
 - Rechtliche Anpassung erforderlich
- Adressat: BMU/UB

¹⁾ Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen (Altfahrzeug-Verordnung – AltfahrzeugV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. Juni 2002 (BGBl. I S. 2214), zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 2. Dezember 2016 (BGBl. I S. 2770)

²⁾ Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments u. d. Rates v. 8. 6. 2011 zur Beschränkung d. Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- u. Elektronikgeräten, ABl. L 174 v. 1.7.2011, S. 88–110

³⁾ Elektro- und Elektronikgeräte-Stoff-Verordnung vom 19. April 2013 (BGBl. I S. 1111), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 3. Juli 2018 (BGBl. I S. 1084)

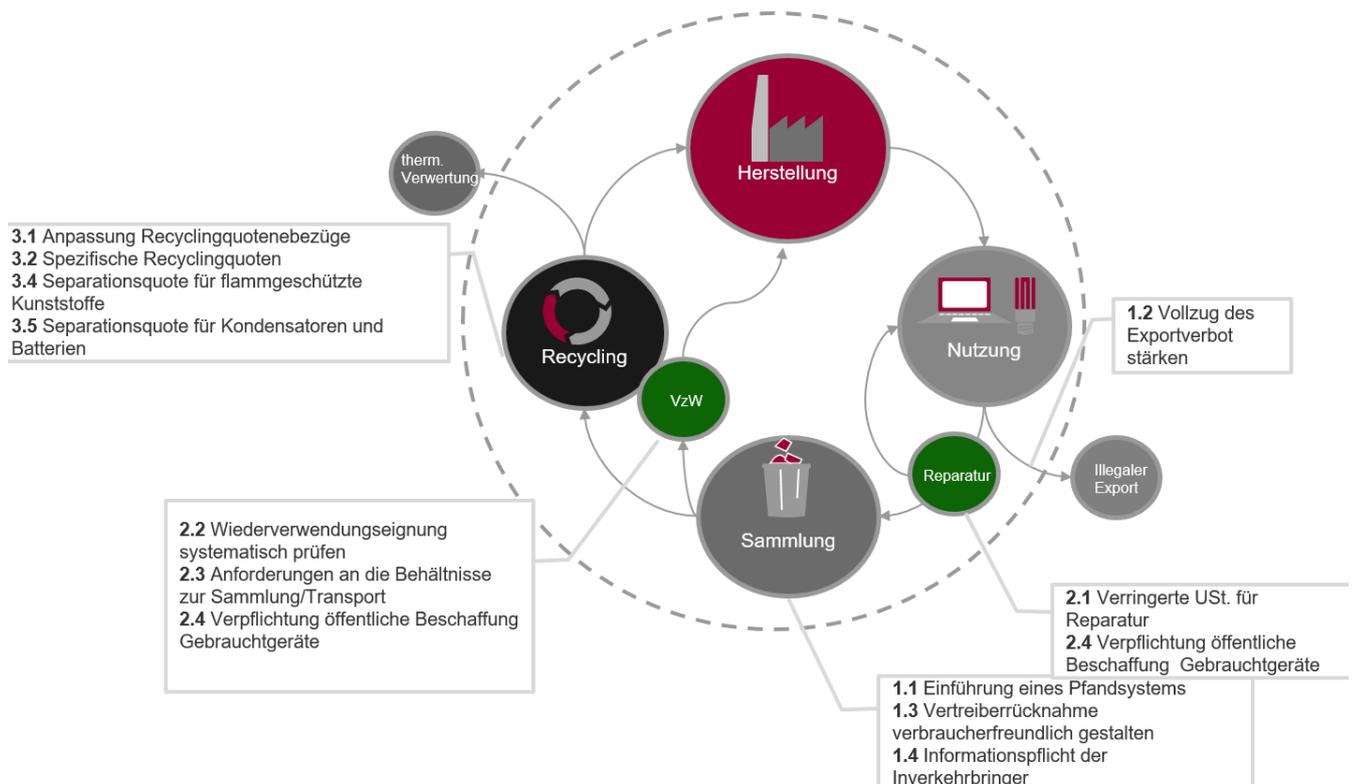
5. Separationsquote für Kondensatoren und Gerätebatterien

Der Anforderung zur Schadstoffentfrachtung von EAG gemäß § 20, Abs. 2 ElektroG, kommen die Betreiber der Erstbehandlungsanlagen derzeit auf unterschiedliche Art nach. Manche Erstbehandler entfernen Batterien, Kondensatoren und andere Bauteile, die Schadstoffe nach Anlage 4 ElektroG enthalten, nach einem schonenden mechanischen Aufschluss der Geräte andere durch eine ausschließlich manuelle Demontage. Allerdings werden diese Bauteile nicht immer vor dem Shreddern schonend separiert.

- Ansatz
 - Festlegung einer Separationsquote für Kondensatoren und Gerätebatterien
- Chancen
 - Bessere Identifizierbarkeit des Batterietyps, höhere Sicherheit
 - Vermeidung von Schadstoffkontamination bei Entnahme vor dem Shreddern
- Hemmnisse
 - Keine Daten vorhanden zur Schadstoffentfrachtung bei den EBA
 - Hoher Kostenaufwand für die manuelle Entnahme von Batterien und Kondensatoren
- Adressat: UBA/BMU

Die folgende Abbildung fasst die einzelnen regulatorischen Maßnahmen und ihre Verortung im Lebenszyklus von Elektroaltgeräten grafisch zusammen:

Abbildung 1-1: Lokalisierung der vorgeschlagenen Maßnahmen im Lebenszyklus von Elektroaltgeräten



2 Zielsetzung und Hintergrund

Der NABU - Naturschutzbund Deutschland hat das IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung und ÖKOPOL - Institut für Ökologie und Politik beauftragt, eine Studie zum Thema „*Recycling im Zeitalter der Digitalisierung - Spezifische Recyclingziele für Metalle und Kunststoffe aus Elektrokleingeräten im ElektroG: Regulatorische Ansätze*“ zu erarbeiten.

Ziel der Studie ist es, eine wissenschaftlich fundierte Grundlage zur aktuellen Recyclingpraxis von Elektrokleingeräten zu erstellen, bestehende Defizite aufzuzeigen und entsprechende Verbesserungspotenziale für ein möglichst hochwertiges, materialorientiertes Recycling der Geräte zu identifizieren. Die Verbesserungspotenziale werden anschließend in praxistaugliche und rechtssichere Empfehlungen für verbindliche Zielvorgaben hinsichtlich eines hochwertigen Recyclings überführt. Die derart erarbeiteten Ergebnisse und Empfehlungen sollen den Auftraggeber dabei unterstützen, entsprechende Anforderungen in die geplante Novellierung des Elektro- und Elektronikgerätegesetz – (ElektroG)⁴⁾ zu implementieren, um einen zentralen Beitrag für ein nachhaltiges und qualitativ hochwertiges Recycling zu leisten.

Die Studie gliedert sich in zwei Teile. Zum einen in das Arbeitspaket 1 „*Erfassungs- und Recyclingketten, Qualität, Technologie*“ (Kap.: 3-7) und zum anderen in das Arbeitspaket 2 „*Rahmenbedingungen und Regulierungsansätze*“ (Kap.: 8-10).

Im Arbeitspaket 1 werden die Mengen der anfallenden Elektroaltgeräte (EAG) stoff- und gerätespezifisch analysiert, bestehende Erfassungs- und Recyclingketten dargestellt sowie weiterführende Recyclingtechnologien beschrieben. Ferner wird die rohstoffliche Basis von Elektrogeräten kritisch umrissen. Für ausgewählte Metalle und Kunststoffe werden die erschließbaren Mengenpotentiale abgeschätzt, die sich aus dem bisherigen Umgang mit Elektroaltgeräten ergeben. Anschließend werden Optimierungspotenziale für ein qualitativ hochwertiges Recyclings identifiziert und entsprechende Empfehlungen abgeleitet. Dieses Arbeitspaket wurde hauptsächlich durch das IZT bearbeitet.

Im Arbeitspakete 2 werden die identifizierten Optimierungspotenziale dahingehend geprüft, inwieweit sie sich durch geeignete Maßnahmen im Rahmen der bestehenden rechtlichen Anforderungen im ElektroG ausschöpfen lassen bzw. wo ggf. Anpassungen in dieser rechtlichen Rahmung notwendig wären, um ein qualitativ hochwertiges Recycling zu fördern. Zu diesem Zweck erfolgt eine Auswertung der allgemeinen und spezifischen Abfallgesetzgebung auf EU-Ebene sowie auf nationaler Ebene hinsichtlich den Anforderungen an ein hochwertiges Recycling. Weiterhin werden relevante Handlungsfelder identifiziert und eine Umsetzung möglicher Maßnahmen geprüft. Dieses Arbeitspaket wurde im Wesentlichen von Ökopool bearbeitet.

⁴⁾ Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz – „ElektroG“) vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1739), zuletzt geändert durch Artikel 16 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966). Inkrafttreten der letzten Änderung am 31. Dezember 2018.

Am 15. August 2018 fand eine Auftaktbesprechung mit dem Auftraggeber statt. Dort wurden die geräte- und materialspezifischen Schwerpunkte der Untersuchung festgelegt sowie ein gemeinsames Verständnis über die Anforderungen an ein qualitativ hochwertiges Recycling geschaffen.

- Gerätespezifischer Schwerpunkt der Untersuchung sind kleine Elektroaltgeräte aus privaten Haushalten. Maßgebliches Auswahlkriterium ist die „Mülltonnengängigkeit“ der Geräte. Für diese Geräte gibt es Hinweise darauf, dass solche kleineren Geräte z.T. über den Restmüll entsorgt und nicht einer separaten Erfassung (und somit auch keiner EAG-spezifischen Behandlung) zugeführt werden.
- Den materialspezifischen Schwerpunkt der Untersuchung bilden einerseits die sogenannten kritischen Metalle. Die Kritikalität soll sich dabei auf die Definition der EU stützen und durch die ökologische Kritikalität sowie der Einhaltung der Menschenrechte entlang der Lieferkette der Primärrohstoffe ergänzt werden. Bei den Kunststoffen bilden andererseits die massenrelevanten Kunststoffe in EAG und der Aspekt problematischer Additive den Schwerpunkt der Betrachtung.
- Hinsichtlich der Anforderungen an ein qualitativ hochwertiges Recycling wurde vereinbart, einerseits die thermische Verwertung auszuschließen und andererseits eine möglichst umfassende werkstoffliche Gleichwertigkeit des Sekundärmaterials für die Ersetzbarkeit von Primärmaterial als Kriterium für ein qualitativ hochwertiges Recycling zu Grunde zu legen.

Kriterien für qualitativ hochwertiges Recycling:

- Keine thermische Verwertung
- Entnahme öko-und humantoxischer Schadstoffe
- Gewinnung sortenreiner Wertstoffe
- Beibehaltung werkstofflicher Eigenschaften
- Einsatz in die Stoffströme der Primärrohstoffe
- Einsatz des Sekundärmaterials in der ursprünglichen Anwendung

2.1 Entwicklungstrends elektronischer Produkte

Elektrische und elektronische Produkte unterliegen einem erheblichen Innovationsdruck. Demzufolge verkürzen sich die Innovationszyklen zusehends. Dies hat wiederum einen signifikanten Einfluss auf die Art, die Menge und insbesondere die Materialzusammensetzung der anfallenden Elektroaltgeräte. Allerdings wechselwirken die verschiedenen Entwicklungstrends und beeinflussen sich dabei untereinander hinsichtlich Art, Menge und Zusammensetzung der anfallenden Elektroaltgeräte.

Ein wesentlicher Entwicklungstrend ist die Gewichtsreduktion elektrischer Endprodukte bei gleichzeitiger Zunahme der Geräteanzahl. Ursächlich dafür sind die Miniaturisierung der in Elektrogeräten verbauten elektrischen und elektronischen Komponenten, die Verbreitung der Leichtbauweise und die Substitution von Werkstoffen. Zu beobachten ist eine Abnahme der Verwendung metallischer Werkstoffen bei strukturellen Komponenten bei gleichzeitiger Zunahme der eingesetzten Kunststoffe. Wurden in der Vergangenheit für Zahnräder, Halterahmen oder Lüfter metallische Werkstoffe eingesetzt so werden diese Baugruppen zunehmend mittels Kunststoffen realisiert [vgl. Fröhlich, 2018].

Produktmerkmale der Digitalisierung

- Verkürzte Innovationszyklen
- Zunehmende Produktmenge
- Steigende Produktvielfalt
- Miniaturisierung der Elektronik
- Weniger metallische Werkstoffe
- Weniger Edelmetalle
- Mehr und vielfältigere Kunststoffe
- Technologische Konvergenz
- Mehr Cross-Over-Produkte

Zudem lassen sich Änderungen bei den genutzten Technologien feststellen, welche ebenfalls zu einer Gewichtsabnahme der Produkte führen. Zu diesen Technologiewechseln lassen sich der Austausch von CRT-Bildschirmen durch LCD-Bildschirmen, der Ersatz von Festplatten-Speicher (HDD) durch Solid-State Speicher (SSD) sowie die verstärkte Nutzung gedruckter Leiterplatten (Printed wiring boards) zählen. Gewichtsabnahmen werden auch durch die Verwendung neuer Materialien wie Magnesiumgehäuse begünstigt, welche bei minimaler Bauhöhe trotzdem ausreichend steif und stabil sind, um den im Nutzungsalltag ausgesetzten Belastungen standzuhalten.

Einen weiteren Einfluss auf die Art und die Menge der anfallenden Elektroaltgeräte hat auch der Trend zur technologischen Konvergenz. Darunter ist zum einen die Zunahme der Funktionalität bestimmter Gerätearten wie z.B. das Smartphone zu verstehen, das neben der ursprünglichen Telefonfunktion zunehmend vielfältige weitere Funktionalitäten umfasst. Zum anderen ist jedoch durch die Vision eines „Internets der Dinge“ zu beobachten, dass Geräte oder Gegenstände welche mit einander kommunizieren sollen über ähnliche Komponenten zum Senden und Empfang von Daten verfügen müssen. Dazu kommen Komponenten zur Signalgebung, zur externen Steuerung, zur Sensorik und zur Anzeige. Diese Entwicklung umfasst auch Gebrauchsgegenstände die bisher nicht elektrisch waren, wie Möbel, Bekleidung (sogenannte Cross-Over-Produkte) aber auch Verbrauchsgütern und deren Verpackung. Diese Konvergenz der Komponenten führt insbesondere zu einer Zunahme der Elektronik in Elektroaltgeräten, einhergehend mit einer zunehmenden Verbreitung von Flüssigkristallanzeigen aber auch von batteriebetriebenen Produkten. Zu ergänzen ist noch der Trend der zunehmenden Verwendung weicher Elastomeren, um die Haptik der Elektrogeräte zu verbessern.

Als weitere Entwicklung mit einem beträchtlichen Einfluss, insbesondere auf die ökonomischen Rahmenbedingungen eines hochwertigen Recycling von Elektroaltgeräten, kann die Abnahme der Gehalte an Edelmetalle verstanden werden. Dieser Entwicklung liegen werkstoffliche Substitutionsprozesse aufgrund von Kostenersparnissen zugrunde. So lassen sich durch Prozessfortschritte in der Dünnschichttechnologie Beschichtungsdicken reduzieren, Goldverbindungen durch den Einsatz von Kupfer substituieren und Palladium wird in Kondensatoren durch keramische Mehrschichtsysteme mit Nickel ersetzt. Insgesamt sank seit 2003 der Gehalt an Gold und Silber in Leiterplatten um 40% und von Palladium um 70% [Bangs u.a., 2016].

3 Stoff- und gerätespezifische Mengenanalyse

3.1 Gerätespezifische Mengenanalyse

3.1.1 Herangehensweise

Für die gerätespezifische Mengenanalyse wird auf die nationale Berichterstattung an die europäische Kommission der Jahre 2006 bis 2016 zurückgegriffen.

Gemäß der nationalen Umsetzung der europäischen Richtlinie WEEE 2002/96/EG durch das „Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (ElektroG)“ vom 16.03.2005, sind Daten über die Erfassung, die Wiederverwendung und die Behandlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten an die Europäische Kommission zu berichten. Die Berichterstattung erfolgt entlang der zehn Gerätekategorien

1. Haushaltsgroßgeräte
2. Haushaltskleingeräte
3. IT- und Telekommunikationsgeräte
4. Geräte der Unterhaltungselektronik
5. Beleuchtungskörper
6. Gasentladungslampen
7. Elektrische und elektronische Werkzeuge
8. Spielzeug sowie Sport- und Freizeitgeräte
9. Medizinische Geräte
10. Überwachungs- und Kontrollinstrumente
11. Automatische Ausgabegeräte

Berichtet werden die Mengen an EAG die in Verkehr gebracht, gesammelt und behandelt wurden. Dabei wird differenziert zwischen aus privaten Haushalten und aus gewerblicher Nutzung gesammelten Mengen. Hinsichtlich der Behandlung wird ferner zwischen Verwertung, Recycling und Wiederverwendung differenziert. Diese Differenzierung ermöglicht die Quantifizierung der thermisch verwerteten sowie der beseitigten Mengen. Mit der Novellierung der europäischen WEEE-Richtlinie 2012/19/EU (WEEE-2-Richtlinie) sind die Berichtspflichten präzisiert worden, um die Einhaltung der dort festgelegten Sammel- und Verwertungsquoten zu überwachen. Die nationale Umsetzung der WEEE-2-Richtlinie erfolgt durch die 2015 in Kraft getretene Novelle des „Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz –ElektroG 2)“. Mit dem novellierten ElektroG 2 erfolgte auch eine Änderung der Gerätekategorien.

1. Haushaltsgroßgeräte
2. Haushaltskleingeräte
3. IT- und Telekommunikationsgeräte
- 4a. Geräte der Unterhaltungselektronik
- 4b. Photovoltaikmodule (ab 2016)
5. Beleuchtungskörper
- 5a. Gasentladungslampen
6. Elektrische und elektronische Werkzeuge
7. Spielzeug sowie Sport- und Freizeitgeräte
8. Medizinische Geräte
9. Überwachungs- und Kontrollinstrumente
10. Automatische Ausgabegeräte

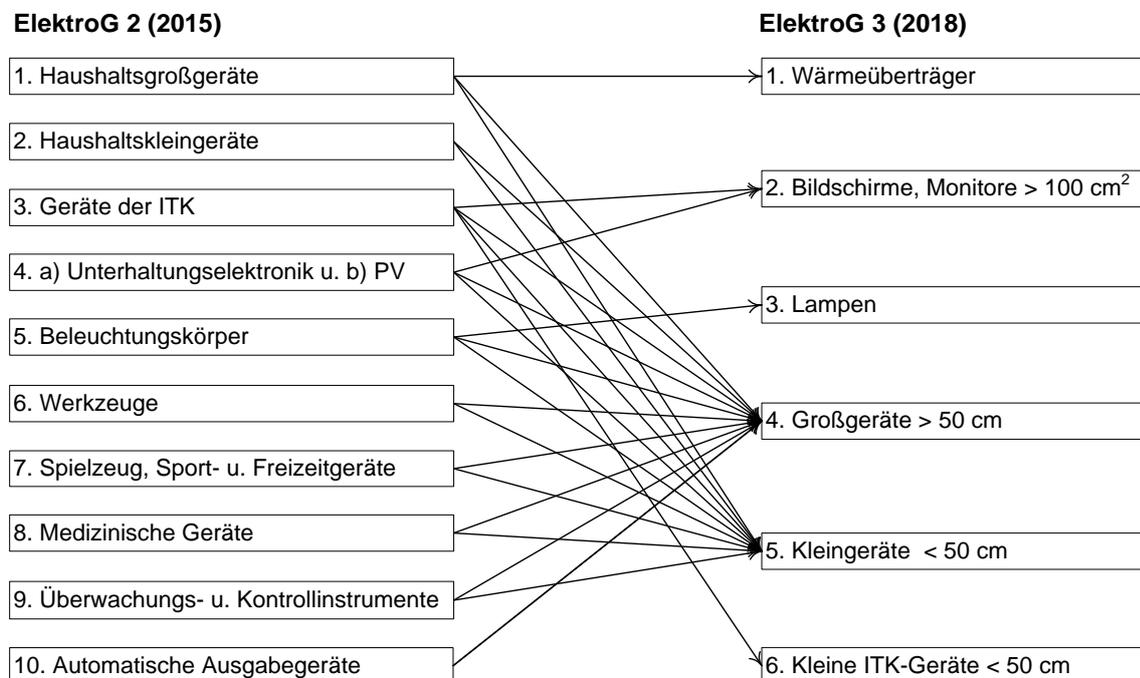
Neben diesen veränderten Gerätekategorien gilt gemäß § 2 Abs.1 ElektroG 2 ab dem 15.8.2018 ein offener Anwendungsbereich mit sechs Gerätekategorien. Diese lauten:

1. Wärmeüberträger
2. Bildschirme, Monitore und Geräte, die Bildschirme mit einer Oberfläche von mehr als 100 Quadratzentimeter enthalten
3. Lampen
4. Geräte, bei denen mindestens eine der äußeren Abmessungen mehr als 50 cm beträgt (Großgeräte),
5. Geräte, bei denen keine der äußeren Abmessungen mehr als 50 cm beträgt (Kleingeräte), und
6. Kleine Geräte der Informations- und Telekommunikationstechnik, bei denen keine der äußeren Abmessungen mehr als 50 cm beträgt

Um trotz dieser Änderungen der Gerätekategorien eine Vergleichbarkeit der Daten für die Jahre 2006 bis 2016 zu gewährleisten werden die Gerätekategorien 5 und 5a zusammengefasst. Die Gerätekategorie 4b „Photovoltaikmodule“ wird zwar für die Jahre 2006 bis 2015 mitgeführt, wird aber erst ab dem Berichtsjahr 2016 genutzt, um die Jahressumme vollständig abzubilden. Da der offene Anwendungsbereich gemäß § 2 Abs.1 ElektroG 2 vom 24.10.2015 erst zum 15.8.2018 gilt und die bisherigen Gerätekategorien entsprechend ersetzt, erfolgt eine Nutzung des offenen Anwendungsbereiches erst ab dem Berichtsjahr 2017 und findet in der vorliegenden Mengenanalyse noch keine Anwendung.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die Zusammenführung der Gerätekategorien ab 2018. Deutlich erkennbar ist, dass zukünftig die Groß- und die Kleingeräte als Kategorien dominieren werden und damit weniger die Funktionalität als vielmehr die Geräteabmessungen bestimmend sind.

Abbildung 3-1: Zusammenführung der Gerätekategorien ab 2018



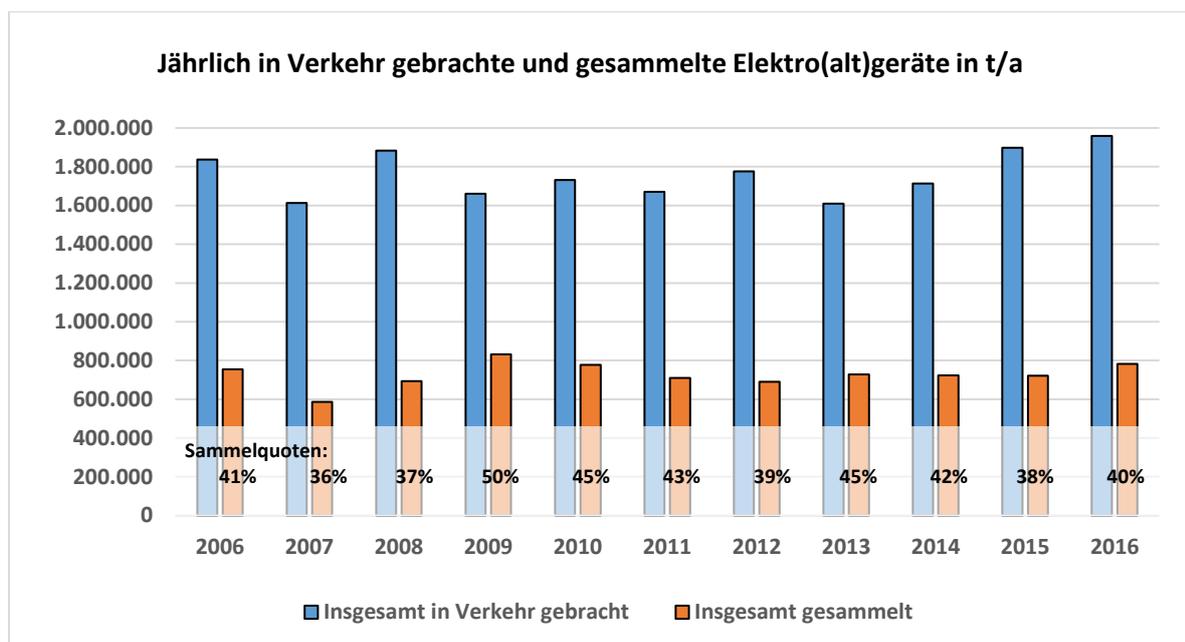
Eigene Darstellung in Anlehnung an [Fröhlich, 2018]

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass trotz steigender Produktvielfalt die Differenzierung der Gerätekategorien insgesamt abnimmt und sich dabei weniger an den Funktionalitäten und mehr an den Größenabmessungen der Geräte orientieren.

3.1.2 Ergebnisse

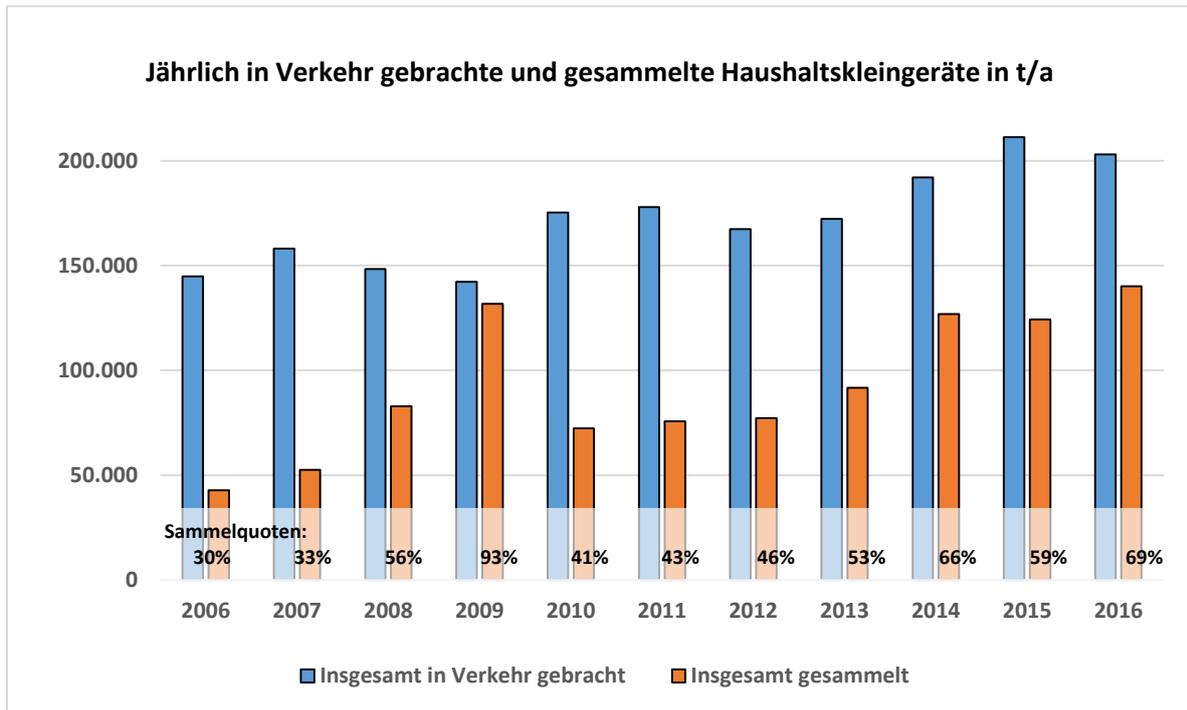
Im Betrachtungszeitraum 2006 bis 2016 wurden insgesamt ca. 19,35 Mio. t Elektrogeräte in Verkehr gebracht und 7,99 Mio. t Elektroaltgeräte getrennt eingesammelt. Im Mittel wurden demzufolge jährlich 1,76 Mio. t Elektrogeräte in Verkehr gebracht und 0,73 Mio. Elektroaltgeräte getrennt gesammelt. Dies entspricht für die Jahre 2006 bis 2016 einer mittleren Sammelquote von 41% pro Jahr. Damit lässt sich die Menge in Verkehr gebrachter Elektrogeräte, welche im Beobachtungszeitraum 2006 bis 2016 nicht getrennt erfasst wurden auf 11,35 Mio. t quantifizieren. Das entspricht einer mittleren Jahresmenge von ca. 1,03 Mio. t an Elektroaltgeräten die jährlich nicht getrennt erfasst werden. Die folgende Abbildung stellt diesen Zusammenhang geräteübergreifend grafisch dar.

Abbildung 3-2: Jährlich in Verkehr gebrachte Elektrogeräte und getrennt gesammelte Elektroaltgeräte



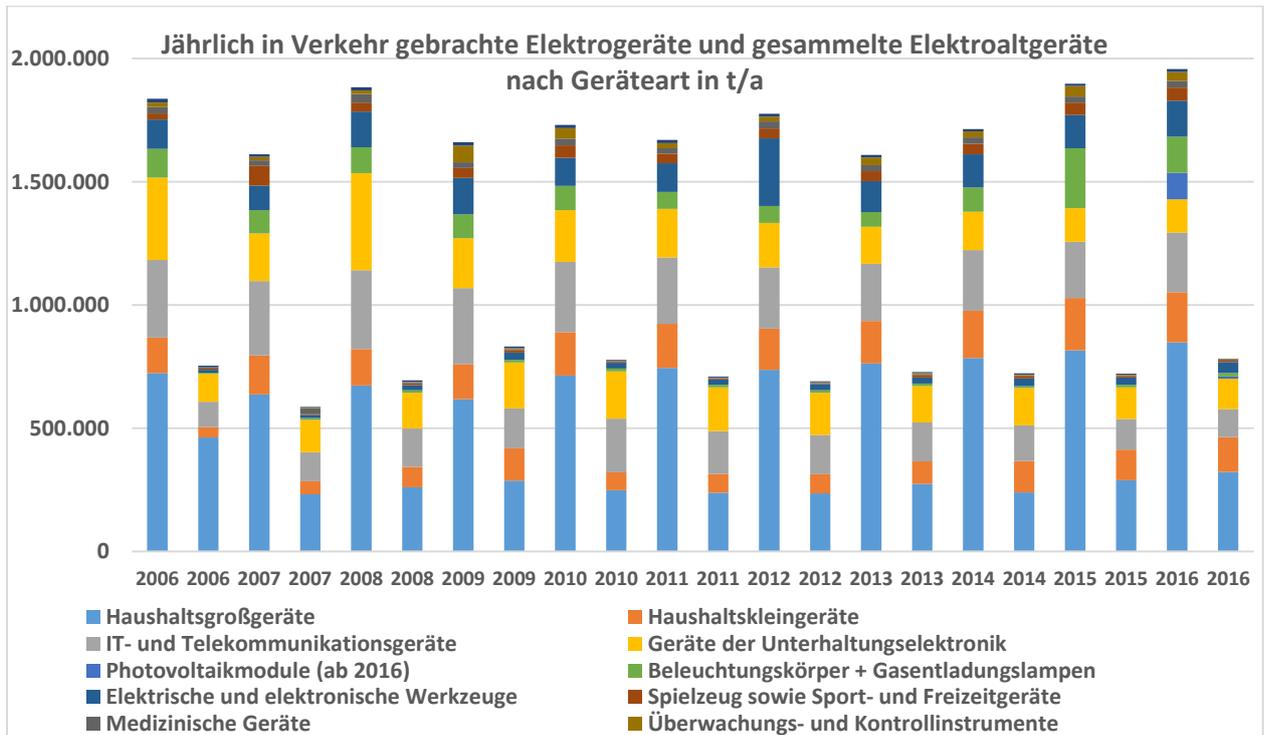
Dieser geräteübergreifende Zusammenhang gilt in ähnlicher Weise auch für Haushaltskleingeräte. So wurden in den Jahren 2006 bis 2016 insgesamt 1,89 Mio. t Haushaltskleingeräte in den Verkehr gebracht, davon wurden jedoch lediglich 1,02 Mio. t getrennt eingesammelt. Das entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Erfassungsquote von 54%, die damit um 13 Prozentpunkte über der Erfassungsquote aller Arten von Elektroaltgeräten liegt. Die folgende Abbildung fasst diesen Zusammenhang grafisch zusammen.

Abbildung 3-3: Jährlich in Verkehr gebrachte und getrennt gesammelte Haushaltskleingeräte



Die folgende Abbildung zeigt die jährlichen Verhältnisse von in Verkehr gebrachten (jeweils links im betrachteten Jahr) zu getrennt erfassten (jeweils rechts im betrachteten Jahr) Elektroaltgeräten für die einzelnen Gerätekategorien. Damit wird deutlich, dass die jährlich in Verkehr gebrachten Mengen an Elektrogeräten für alle Gerätekategorien und für alle Jahre die getrennt erfassten Gerätemengen weit übersteigen. Überschlägig kann gesagt werden, dass bisher weniger als die Hälfte aller in Verkehr gebrachten Elektrogeräte getrennt gesammelt wurden.

Abbildung 3-4: Jährlich in Verkehr gebrachte Elektrogeräte und getrennt gesammelte Elektroaltgeräte nach Geräteart



3.1.2.1 Sammelziele

Gemäß §10 Abs. 3 des ElektroG 2 vom 20.10.2015 gilt seit dem 01.01.2016 eine gesetzlich vorgeschriebene **Sammelquote von 45 %**. Dies bedeutet, dass 45 % des Gewichts der in den drei Vorjahren in Verkehr gebrachten Elektrogeräte bei den Sammel- und Rücknahmestellen als Elektroschrott wieder erfasst werden muss und damit eben nicht im Hausmüll landen darf⁵⁾. Ab 2019 beträgt die Mindest Erfassungsquote 65 %.

Die folgende Tabelle stellt die gerätespezifischen Sammelquoten der Jahre 2006 bis 2016 im Überblick dar.

Tabelle 3-1: Gerätespezifische Sammelquoten in den Jahren 2006 bis 2016

	Kat 1	Kat 2	Kat 3	Kat 4a ¹⁾	Kat 5+5a	Kat 6	Kat 7	Kat 8	Kat 9	Kat 10
2016	38%	69%	47%	91%	10%	30%	13%	11%	8%	12%
2015	35%	59%	54%	95%	4%	22%	12%	11%	5%	56%
2014	31%	66%	59%	98%	8%	23%	22%	9%	10%	62%
2013	36%	53%	68%	99%	17%	20%	24%	15%	12%	42%
2012	32%	46%	64%	95%	15%	9%	8%	10%	9%	38%
2011	32%	43%	64%	90%	15%	19%	9%	15%	6%	32%
2010	35%	41%	76%	91%	12%	20%	7%	11%	3%	31%
2009	46%	93%	52%	92%	11%	20%	27%	17%	5%	53%
2008	39%	56%	48%	37%	9%	15%	22%	9%	12%	45%
2007	36%	33%	39%	68%	8%	13%	5%	114%	18%	26%
2006	64%	30%	32%	34%	5%	10%	18%	14%	6%	46%

¹⁾ Die Gerätekategorie 4b (Photovoltaikmodule) ist nicht aufgeführt, da diese Geräteart erst ab 2016 getrennt erfasst wird.

Die in Tabelle 3-1 dargestellten Sammelquoten als prozentualer Anteil der getrennt gesammelten Mengen an den in Verkehr gebrachten Mengen zeigt, dass im Jahr 2016 lediglich Haushaltskleingeräte (Kat 2), IT- und Telekommunikationsgeräte (Kat 3) und Geräte der Unterhaltungselektronik (Kat 4a) das ab 01.01.2016 geltende Sammelziel von 45% einhalten.

Die hohen Rücknahmequote von über 90% bei den Geräten der Unterhaltungselektronik (Kat 4a) dürfte auf die geringeren Durchschnittsgewichte der aktuell in Verkehr gebrachten Geräte (insb. Flachbildschirme im Vergleich zu CRT) zurückzuführen sein. Insgesamt ist zu beachten, dass durch die Miniatursierung (z.B. bei IKT), den Trend zu größeren Geräten (z.B. Kühlgeräte), den Wechsel von Technologien oder Materialien zwischen neuen Neu- und Altgeräten Gewichtsunterschiede auftreten können. Dies erschwert den Kategorie-internen Vergleich der jeweiligen Sammelergebnisse pro Jahr.

Auffällig ist gleichwohl der Rückgang der Sammelquoten im Jahr 2015. Mit Ausnahme von Kat 1 sinken für alle Gerätearten die prozentualen Anteile der eingesammelten Mengen an den in Verkehr gebrachten Mengen. In den Gerätekategorien 5+5a, 7 und 9 halbieren sich die Sammelergebnisse im Jahr 2015 im Vergleich zum Jahr 2014. Für die Halbierung der 2015er Sammelquote in der Kategorie 5+5a dürfte

⁵⁾ Alternativ gilt eine Quote für die getrennte Sammlung von durchschnittlich vier Kilogramm pro Einwohner und Jahr von Elektroaltgeräten aus privaten Haushalten. Da Deutschland in den vergangenen Jahren regelmäßig mehr als 4 kg EAG aus privaten Haushalten erfasst hat (Die Sammelmenge in den Jahren 2006 bis 2015 betrug zwischen 6,3 und 9,5 kg EAG aus privaten Haushalten), gilt jedoch eine Sammelquote von 45% bezogen auf die durchschnittlich in den letzten drei Vorjahren in Verkehr gebrachten Mengen.

die annähernde Verdoppelung der in Verkehr gebrachten Mengen ursächlich sein, was sich im selben Zeitraum noch nicht in den Rücknahmemengen widerspiegelt.

Abschließend ist hinsichtlich der rechtlich geforderten Sammelziele und den tatsächlich getrennt gesammelten Elektroaltgeräten zu konstatieren: „die ab 2016 geforderte Mindestsammelquote (45 %) wird im Jahr 2015 mit ca. 42,47 % noch nicht erreicht. Gleiches gilt folglich für die ab 2019 geforderte Mindestsammelquote von 65 %.“ [UBA Texte 43/2018, S. 67].

3.1.2.2 Behandlungsverfahren

Die europäische Richtlinie 2012/19/EU (WEEE 2) legt im Anhang V gerätespezifische Mindestzielvorgaben für die Verwertung fest. Unterschieden wird dabei zwischen Verwertung einerseits und Recycling inklusive Vorbereitung zur Wiederverwendung (VzWv) andererseits. Zudem werden Übergangsfristen benannt (bis 14.08.2015, von 15.8.2015 bis 14.08.2018 und ab 15.08.2018) für welche unterschiedlichen Zielvorgaben festgelegt werden. Für die Zeit ab 15.08.2018 gelten zudem veränderte Gerätekategorien mit einem offenen Anwendungsbereich, der sechs Gerätekategorien umfasst, wie sie auch in § 2 Abs.1 ElektroG 2 vom 24.10.2015 als nationale Umsetzung der Richtlinie 2012/19/EU analog formuliert sind

Die folgende Tabelle gibt diesbezüglich einen Überblick.

Tabelle 3-2: Mindestzielvorgaben für die Verwertung und das Recycling gemäß Anhang V Teil 1 und 2 der EU-Richtlinie 2012/19/EU (WEEE 2)

Gerätekategorien	Teil 1: 13.08.2012 bis 14.08.2015	Teil 2: 15.08.2015 bis 14.08.2018
Kat 1	80% Verwertung 75% Recycling	85% Verwertung 80% VzWv ¹⁾ + Recycling
Kat 2	70% Verwertung 50% Recycling	75% Verwertung 55% VzWv + Recycling
Kat 3	75% Verwertung 65% Recycling	80% Verwertung 70% VzWv + Recycling
Kat 4		
Kat 5	70% Verwertung 50% Recycling	75% Verwertung 55% VzWv + Recycling
Kat 5a	70% Verwertung 80% Recycling	70% Verwertung 80% Recycling
Kat 6	70% Verwertung 50% Recycling	75% Verwertung 55% VzWv + Recycling
Kat 7		
Kat 8		
Kat 9		
Kat 10	80% Verwertung 75% Recycling	85% Verwertung 80% VzWv + Recycling

¹⁾ VzWv = Vorbereitung zur Wiederverwendung

Tabelle 3-3: Mindestzielvorgaben für die Verwertung gemäß Anhang V Teil 3 der EU-Richtlinie 2012/19/EU (WEEE 2)

Gerätekatategorien	Teil 3: ab 15.08.2018 ²⁾
Kat 1 Wärmeüberträger	85% Verwertung 80% VzWv + Recycling
Kat 2 Bildschirme > 100cm ²	80% Verwertung 70% VzWv + Recycling
Kat 3 Lampen	80% Recycling
Kat 4 Großgeräte > 50cm	85% Verwertung 80% VzWv + Recycling
Kat 5 Kleingeräte < 50 cm	75% Verwertung 55% VzWv + Recycling
Kat 6 Kleine IT-Geräte < 50 cm	

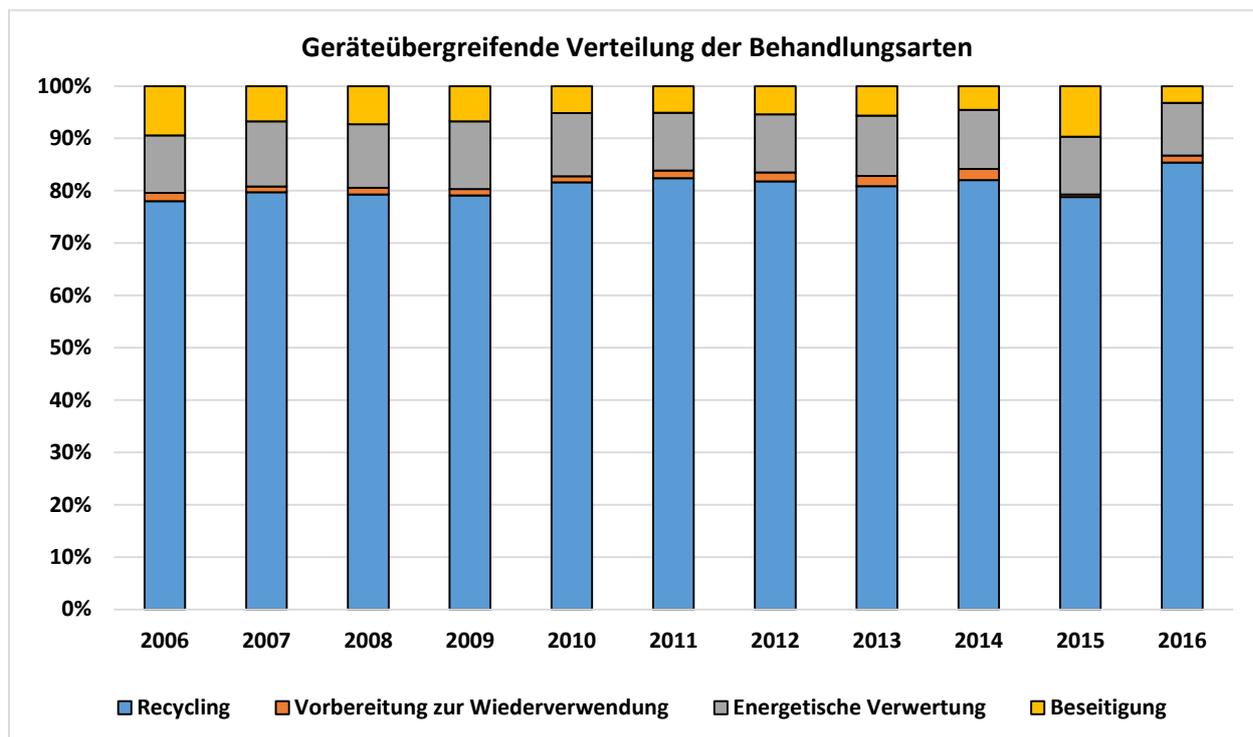
Gemäß § 22 Abs. 2 ElektroG 2 vom 20.10.2015 errechnen sich die geforderten Anteile, indem das Gewicht der Altgeräte der jeweiligen Gerätekatégorie, die nach einer ordnungsgemäßen Erstbehandlung einer Verwertungsanlage zugeführt werden, durch das Gewicht aller getrennt erfassten Altgeräte dieser Gerätekatégorie geteilt wird.

Gemäß nationaler Berichterstattung an die europäische Kommission lassen sich folgende Behandlungsarten unterscheiden:

- Recycling = [Vorbereitung zur Wiederverwendung + Recycling]
- Vorbereitung zur Wiederverwendung = [Vorbereitung zur Wiederverwendung]
- Energetische Verwertung = [Verwertung (inkl. Vorbereitung zur Wiederverwendung)] minus [Vorbereitung zur Wiederverwendung + Recycling]
- Beseitigung = [Gesammelte Mengen] minus [Verwertung (inkl. Vorbereitung zur Wiederverwendung)]

Die folgende Abbildung zeigt die auf diesem Wege berechneten geräteübergreifenden Behandlungsanteile. Ersichtlich wird, dass mit ca. 80% der weitaus überwiegende Anteil der getrennt gesammelten Elektroaltgeräte dem Recycling zugeführt wird.

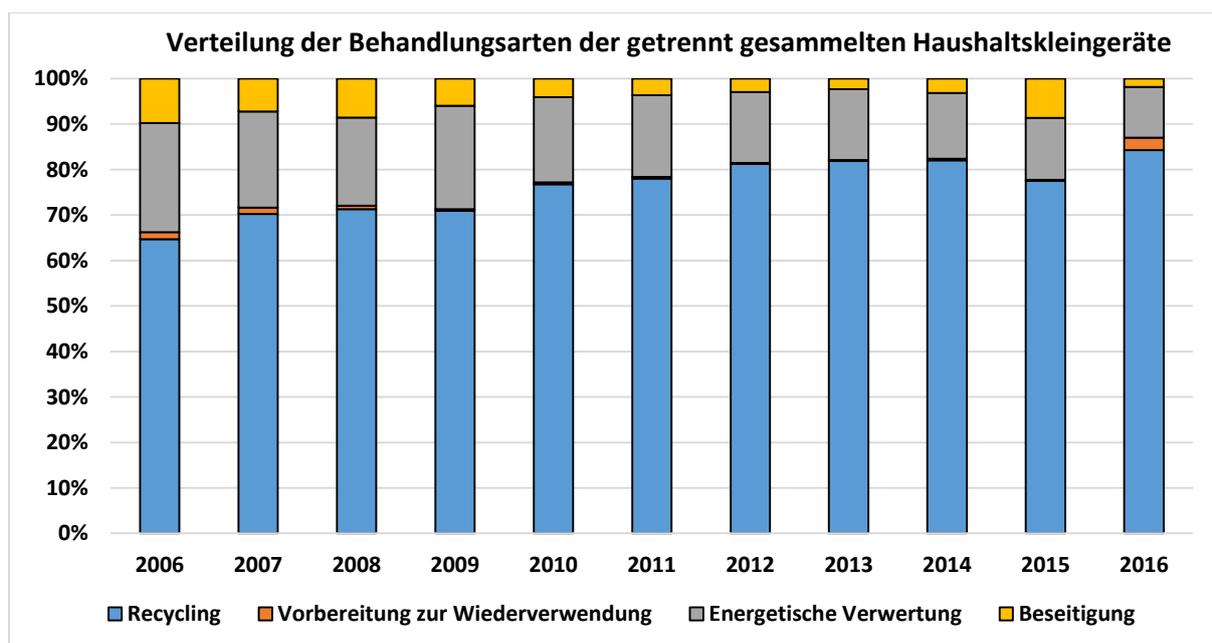
Abbildung 3-5: Geräteübergreifende Verteilung der Behandlungsarten



Aus der Abbildung 3-5 wird ersichtlich, dass mit ca. 80% der weitaus überwiegende Anteil der getrennt gesammelten Elektroaltgeräte dem Recycling zugeführt wird. Mit ca. 10% ist die thermische Verwertung die zweithäufigste Behandlungsart der getrennt gesammelten Elektroaltgeräte. Die Beseitigung ist mit durchschnittlich ca. 5 % ebenfalls ein signifikanter Behandlungsweg, während die Vorbereitung zur Wiederverwendung mit 1-2 % lediglich eine untergeordnete Rolle spielt.

Für die kleinen Haushaltsgeräte der Kategorie 2 stellt sich die Verteilung der Behandlungsarten im Beobachtungszeitraum 2006 bis 2016 folgendermaßen dar:

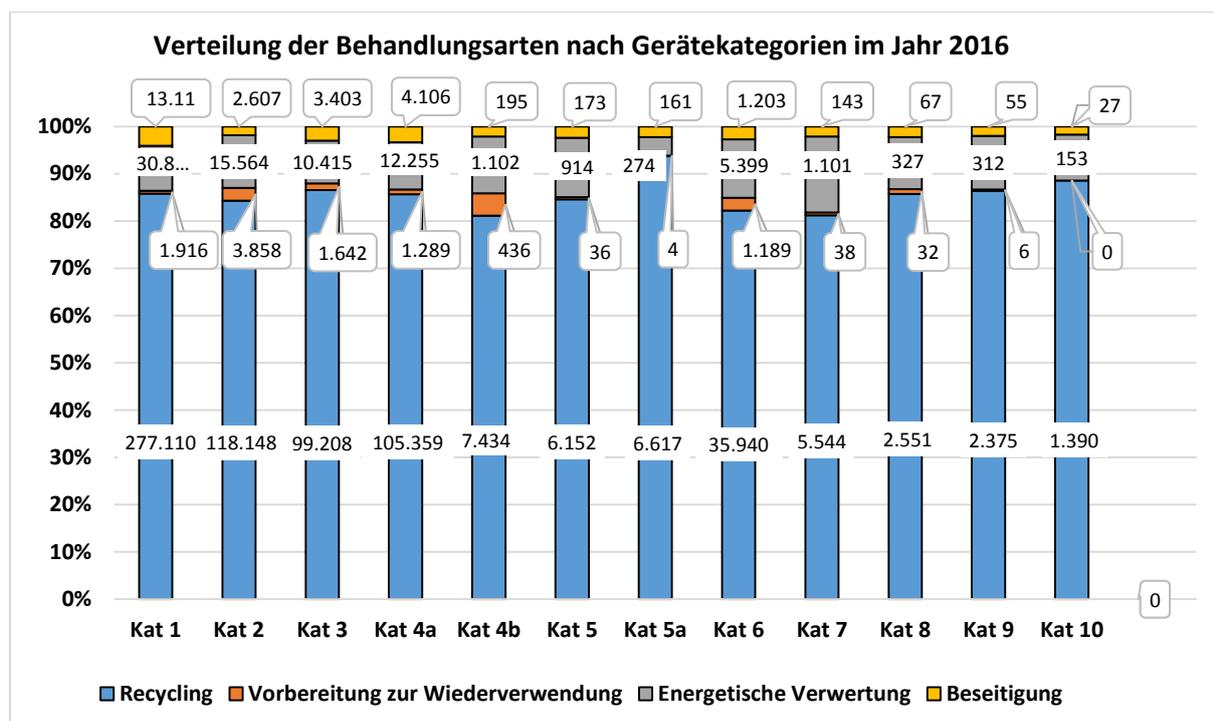
Abbildung 3-6: Verteilung der Behandlungsarten der getrennt gesammelten Haushaltskleingeräte



Der Abbildung 3-6 kann entnommen werden, dass auch für Haushaltskleingeräte das Recycling mit 70-80 % die mit Abstand häufigste Behandlungsart darstellt. An zweiter Stelle folgt die energetische Verwertung mit 10-20%. Die Beseitigung nimmt mit Anteilen von 5-10 % nur eine geringe Rolle bei der Behandlungsarten ein, während die Vorbereitung zur Wiederverwendung mit 1-2 % lediglich eine untergeordnete Rolle spielt.

Die folgende Abbildung zeigt die gerätespezifische Verteilung der Behandlungsarten gemäß der nationalen Berichtserstattung an die europäische Kommission für das Jahr 2016

Abbildung 3-7: Gerätespezifische Verteilung der Behandlungsarten für das Berichtsjahr 2016



Der obigen Abbildung lässt sich entnehmen, dass im Jahr 2016 für alle Gerätekategorien das Recycling die weit überwiegende Behandlungsart darstellt. Mit ca. 10 % folgt die energetische Verwertung als zweithäufigste Behandlungsart. Auffällig ist, dass Elektroaltgeräte der Kategorie 7 (Spielzeug sowie Sport- und Freizeitgeräte) überproportional häufig thermisch verwertet werden. Die gilt in ähnlicher wenn auch abgeschwächter Weise für die Kategorie 6 (Elektrische und elektronische Werkzeuge) und 5 (Beleuchtungskörper) die ebenfalls signifikant häufig thermisch verwertet werden.

Die Beseitigung ist lediglich im einstelligen Prozentbereich als Behandlungsart vertreten und damit, wenn auch zwischen den Gerätekategorien mit deutlichen Unterschieden eine eher marginale Behandlungsart. Die Vorbereitung zur Wiederverwendung ist ebenfalls eine Behandlungsart, die von geringer Bedeutung ist, wenn auch die Unterschiede zwischen den Gerätekategorien noch ausgeprägter sind, als bei der der Beseitigung. Auffällig ist, dass die Vorbereitung zur Wiederverwendung für die Kategorie 4b (Photovoltaikmodule) von Bedeutung ist. Dies gilt, wenn auch abgeschwächt, in ähnlicher Weise für die Gerätekategorien 6 (Elektrische und elektronische Werkzeuge) und 2 (Haushaltsgroßgeräte).

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die gerätespezifischen Verwertungs- und Recyclingquoten der Jahre 2015 und 2016 und stellt diese den jeweiligen Zielvorgaben der europäischen Richtlinie 2012/19/EU gegenüber.

Tabelle 3-4: Gerätespezifische Verwertungs- und Recyclingquoten für die Jahre 2015 und 2016

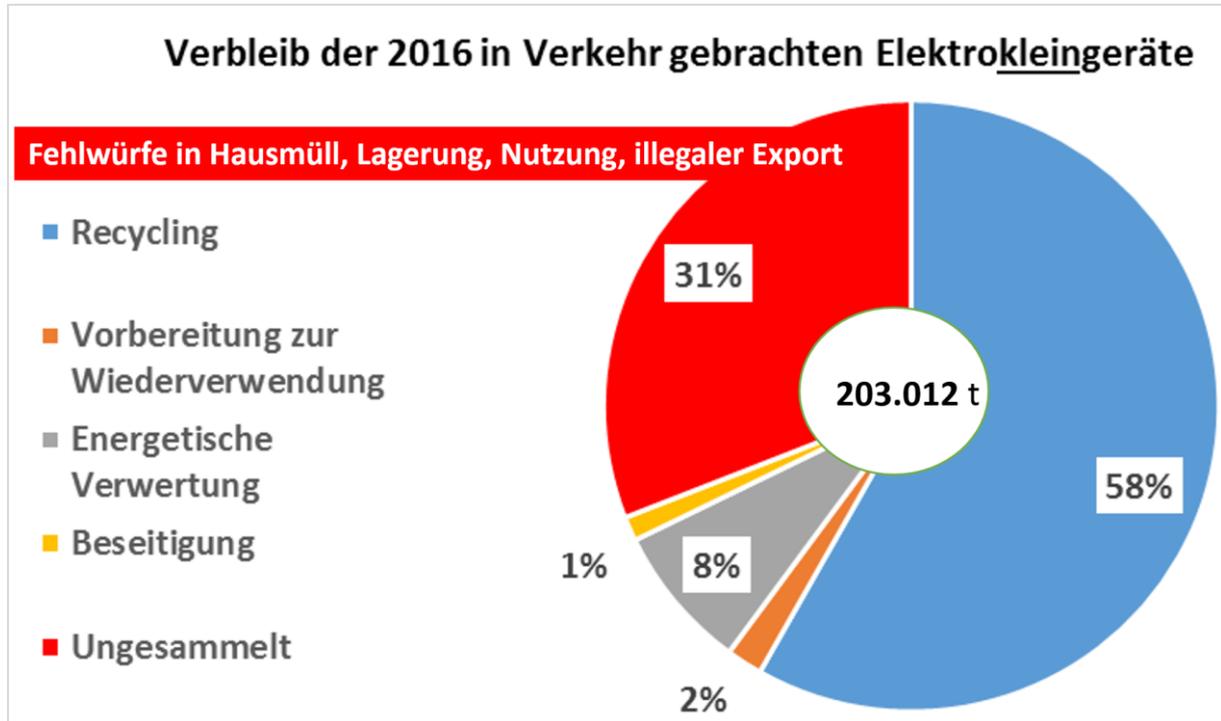
Geräte- katego- rien	2015				2016			
	Verwertungsquote		Recyclingquote		Verwertungsquote		Recyclingquote	
	IST	SOLL lt. Anhang V Teil 1 d. RiLi 2012/19/EU	IST	SOLL lt. Anhang V Teil 1 d. RiLi 2012/19/EU	IST	SOLL lt. Anhang V Teil 2 d. RiLi 2012/19/EU	IST	SOLL lt. Anhang V Teil 2 d. RiLi 2012/19/EU
1	89,06%	80%	78,58%	75%	95,94%	85%	86,38%	80%
2	91,37%	70%	77,73%	50%	98,14%	75%	87,04%	55%
3	90,91%	75%	81,26%	65%	97,03%	80%	87,95%	70%
4a	91,74%		81,68%		96,66%		86,70%	
4b	k. A.		k. A.		97,87%		85,85%	
5	96,76%	70%	76,35%	50%	97,62%	75%	85,06%	55%
5a	90,95%	70%	77,23%	80%	97,72%	70%	93,84%	80%
6	87,38%	70%	74,39%	50%	97,25%	75%	84,90%	55%
7	94,61%		78,37%		97,91%		81,78%	
8	95,67%		80,25%		97,75%		86,77%	
9	90,66%		74,05%		98,00%		86,64%	
10	95,21%	80%	89,06%	75%	98,28%	85%	88,54%	80%

Gemäß nationaler Berichterstattung wurden im Jahr 2015 die Zielvorgaben für die Recyclingquoten gemäß Teil 2 des Anhangs V 2012/19/EU in den Gerätekategorien 1 (Haushaltsgroßgeräte) mit 78,6 % und 5a (Gasentladungslampen) mit 77,2% nicht erreicht. Gemäß nationaler Berichterstattung für das Jahr 2016 wurden hingegen in allen Gerätekategorien die Zielvorgaben sowohl hinsichtlich der Verwertungs- als auch der Recyclingquoten eingehalten.

Zusammenfassend ist zu bemerken, dass sich die berichteten Recyclingquoten auf das Gewicht der getrennt erfassten Gerätemengen beziehen. Diese sogenannten Inputquoten geben daher keine Auskunft darüber, welche Materialien recycelt wurden und welche Art des Recyclings zum Einsatz kam (vgl.: Kapitel 4.5 Aufbereitung von Elektro- und Elektronikaltgeräten). Diesbezüglich kann davon ausgegangen werden, dass im Wesentlichen lediglich die leicht rückgewinnbaren Massenmetalle Eisen/Stahl, Kupfer und Aluminium sowie die monetär hochwertigen Edelmetalle recycelt werden. Kritische Metalle werden dementsprechend bislang kaum zurückgewonnen, [Buchert et al 2012] sondern gehen überwiegend in den anderen Trennfraktionen -z.B. in den Aufbereitungsrückständen wie der Shredderleichtfraktion- dissipativ verloren [Rotter, u.a., 2014; Spoo, 2017].

Des Weiteren relativieren sich die Recyclingquoten weiter, wenn sie auf die Mengen an in Verkehr gebrachten Elektrogeräten bezogen werden. Für Elektrokleingeräte die im Jahr 2016 in Verkehr gebracht wurden ergibt sich dann eine Recyclingquote von lediglich 58%. Die folgende Abbildung stellt die Behandlungsverfahren der getrennt gesammelten Elektrokleingeräte auf Basis der in diesem Jahr in den Verkehr gebrachten Geräte dar.

Abbildung 3-8: Verbleib der 2016 in Verkehr gebrachten Elektrokleingeräte.



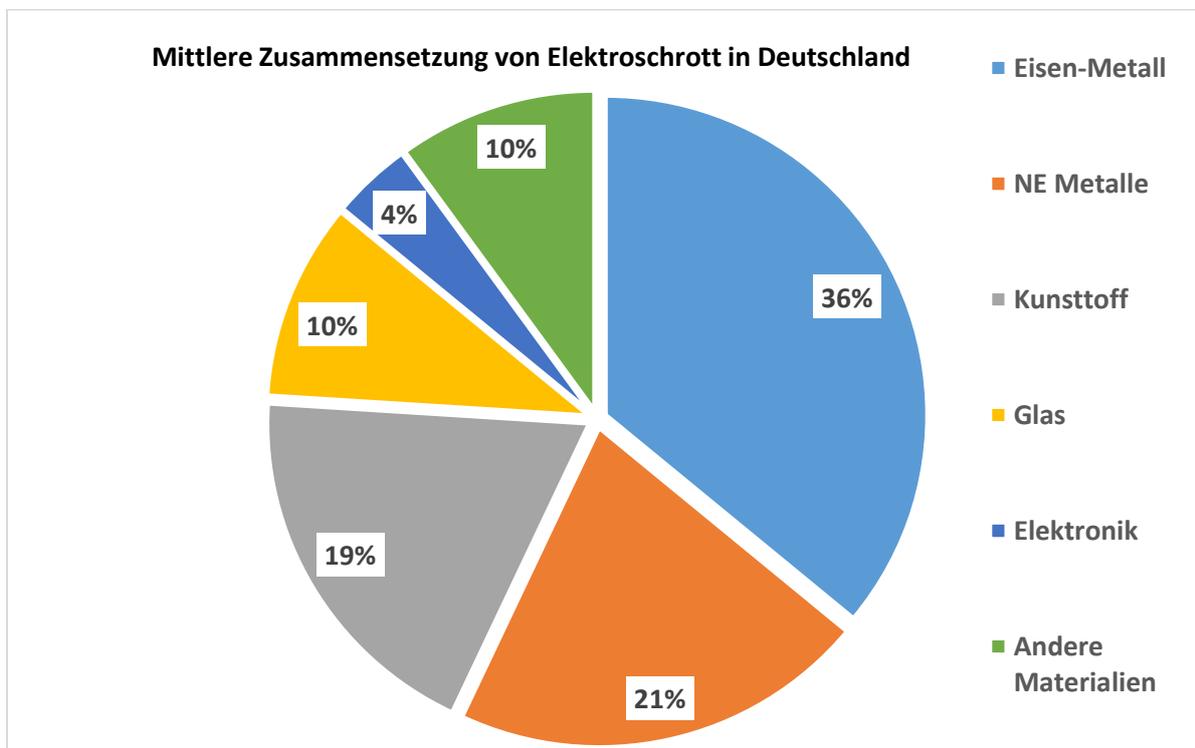
Der illegale Export von Elektroaltgeräten aus Deutschland wird für das Jahr 2008 auf 155.000 Tonnen geschätzt. Als zentrale Zielländer werden Nigeria, Ghana, Indien oder Südafrika genannt [Sander, u.a., 2010]. Der Anteil von Elektroaltgeräten im Restmüll variiert je nach urban oder rural geprägtem Entsorgungsgebiet zwischen 0,3 und 1% [vgl. Sichau, 2016; AWSH, 2010; Berthold, u.a. 2010].

3.1.2.3 Materialzusammensetzung

Die Materialzusammensetzung von Elektrogeräten variiert erheblich. Sie variiert nicht nur zwischen den verschiedenen Gerätekategorien, (vgl. Abbildung 3-10) sondern auch innerhalb dieser. Selbst für einzelne Gerätearten einer Kategorie, z. B. Staubsauger als ein Vertreter der Kategorie Haushaltskleingeräte, lassen sich Unterschiede in der Materialzusammensetzung finden. Darüber hinaus lassen sich Unterschiede bei der Materialzusammensetzung der verschiedenen Gerätegenerationen finden. Tendenziell ist diesbezüglich eine Zunahme der Kunststoffanteile einhergehend mit einer Abnahme der Bestandteile von Eisen und Stahl festzustellen. Zudem führen die Digitalisierung der Geräte und insbesondere die damit einhergehende Vernetzungsmöglichkeiten von Elektrogeräten sowie ihre Steuerung zu einer Zunahme der elektronischen Bauteile. Dadurch steigt tendenziell der Anteil der Leiterplatten in Elektroaltgeräten. Inwieweit sich dies als Homogenisierungstrend bemerkbar macht, z.B. indem vermehrt elektronische Bauteile gleicher Funktionen wie Displays oder drahtlose Sende- und Empfangseinheiten verbaut werden, bleibt abzuwarten. Ebenfalls noch ungeklärt ist, inwieweit der steigende Anteil von Leiterplatten in Elektroaltgeräten durch die zunehmende Miniaturisierung insbesondere elektronischer Bauteile gedämpft oder sogar kompensiert wird. Schließlich lässt sich

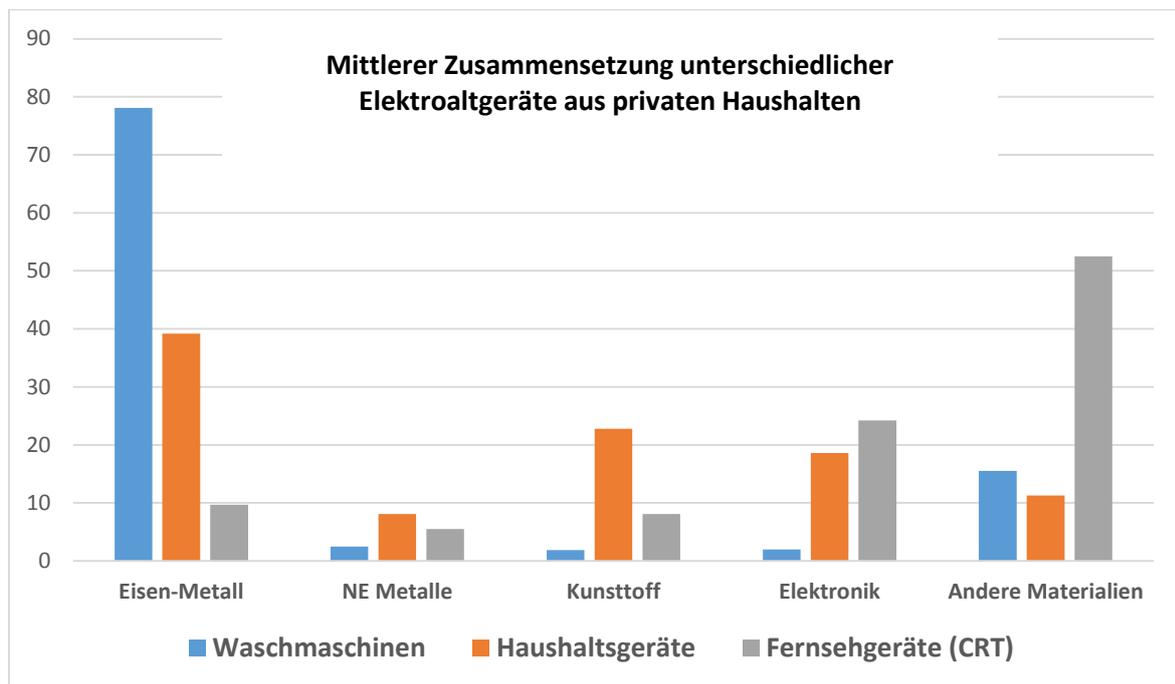
eine Zunahme sogenannter elektrischer Cross-Over-Produkte feststellen⁶⁾. Darunter werden Produkte verstanden welche traditionell keine Elektrogeräten darstellen in welchen aber in Zuge der Digitalisierung Elektro(nik)Komponenten integriert werden. Beispielhaft sind hier elektrische steuerbare Möbel, Textilprodukte mit elektronischen Funktionen oder die Nutzung von RFID-Chips bei Verpackungen, dem Transport oder der Logistik zu nennen. Dadurch hält die Digitalisierung Einzug in Bereiche, in denen in der Vergangenheit keine elektrischen Funktionen enthalten waren. Andere Produktgruppen wie z.B. das Mobiltelefon, die in der Vergangenheit nur eine oder wenige Funktionen hatten, werden zu multifunktionalen Hightech Produkten optimiert. Zudem benötigen moderne Elektronikprodukte für ihre Nutzung geeignete Energiespeicher. Dazu werden zunehmend mehr hochleistungsfähige Lithium-Ionen Batterien eingesetzt, welche die herkömmlichen Batteriesysteme ersetzen. Darüber hinaus müssen moderne Elektronikprodukte zunehmend auch optische Anforderungen erfüllen, um neben ihrer Funktionalität auch als Lifestyle-Produkte und als Mode-Accessoire zu dienen. Daher werden in der Produktion zunehmend neue Materialkombinationen wie Verbundmaterial eingesetzt, die keine technischen Funktionen haben sondern optische oder taktile Eigenschaften besitzen. Mit diesen nicht-technischen Anforderungen bestimmt zunehmend weniger die tatsächliche Lebensdauer eines Gerätes ihre Nutzungsdauer, sondern die durch Medien, Werbung und Angeboten getriebene Verfügbarkeit von Nachfolgeprodukten mit tatsächlichen oder vermeintlich verbesserten oder erweitertem Funktionsumfang [vgl. Fröhlich, 2018]. Einen groben Überblick über die durchschnittliche stoffliche Zusammensetzung des Elektronikschrotts nach Materialien in Deutschland stellt die folgende Abbildung dar[bvse 2018].

Abbildung 3-9: Mittlere Zusammensetzung von Elektroschrott in Deutschland



⁶⁾ Vgl. UFOPLAN Vorhaben: FKZ 3718 34 307 0 - Möglichkeiten und Herausforderungen bei der Erfassung und Entsorgung von Produkten mit integrierten Elektro(nik)komponenten (Cross-Over-Elektro-Altgeräte) und Ableitung von Handlungsempfehlungen.

Abbildung 3-10: Mittlere Zusammensetzung von Elektroaltgeräte privater Haushalten



[Biletewski, et al 2017b]

3.1.3 Materialauswahl

3.1.3.1 Kritische Metalle

Schwerpunktmäßig werden in der vorliegenden Untersuchung die sogenannten kritischen Metalle betrachtet. Hinsichtlich des dabei zugrundgelegten Verständnisses von Kritikalität werden dabei die Kriterien: Versorgungssicherheit, Umweltauswirkung und Menschenrechte herangezogen. Zur weiteren Engführung der Auswahl von kritischen Metallen wird zudem die Verwendung in Elektroaltgeräten und hier besonders in meist mülltonnengängigen Elektrokleingeräten aus privaten Haushalten herangezogen.

Für den Begriff kritische Rohstoffe werden in der Literatur unterschiedliche Kriterien zu Grunde gelegt und entsprechend unterschiedlich sind die identifizierten Rohstoffe, die unter diesem Begriff subsumiert werden. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick:

Tabelle 3-5: Beispielhafter Überblick über kritische Rohstoffe aus verschiedenen Literaturquellen

[Erdmann et al 2011] Kritikalität: Versorgung dt. Unternehmen	[Marscheider-Weidemann et al 2016] Kritikalität: Bedarf Zukunftstechnologie	[JRC 2013] Kritikalität: (Energie-)Techno- giebedarf EU	[MatRessource 2015] Kritikalität: Versorgungsri- siko, Vulnerabili- tät
Germanium (++)	Germanium	Germanium (+)	Germanium (+++)
Rhenium (++)	Rhenium	Rhenium (+)	Rhenium (+++)
Antimon (++)			Antimon (+++)
Wolfram (+)			Wolfram (++)
Seltene Erden (+)	Schwere Seltene Erden (Dy, Tb)	REE: Dy, Eu, Tb, Y (++)	Seltene Erden (++)
	Leichte Seltene Erden (Nd, Pr)	REE: Pr, Nd(++)	
Gallium (+)	Gallium	Gallium (++)	Gallium (++)
Indium (+)	Indium	Indium (+)	Indium (++)
Silber (+)	Silber		Silber (++)
Zinn (+)	Zinn		Zinn (++)
Palladium (+)			Palladium (++)
Chrom (+)			Chrom (++)
Bismut (+)			Bismut (++)
Niob (+)			Niob (++)
	Platin	Platin (+)	Platin (+)
	Lithium		Lithium (+)
	Kupfer		Kupfer (+)
	Kobalt		Kobalt (+)
	Tantal		
	Scandium		
		Hafnium (+)	
			Tellur (+)
	Palladium		
	Titan		

Das Zeichen „+“ ist Indizierungsmaß besonderer Kritikalität

Auffällig ist, dass unter Kritikalität meist die Kriterien Versorgungssicherheit und der Bedarf für strategische Technologien zu Grunde gelegt werden, während die Umweltauswirkungen bei der Rohstoffgewinnung und entlang der Wertschöpfungsketten sowie die Einhaltung von Menschenrechten kaum als Kriterien herangezogen werden.

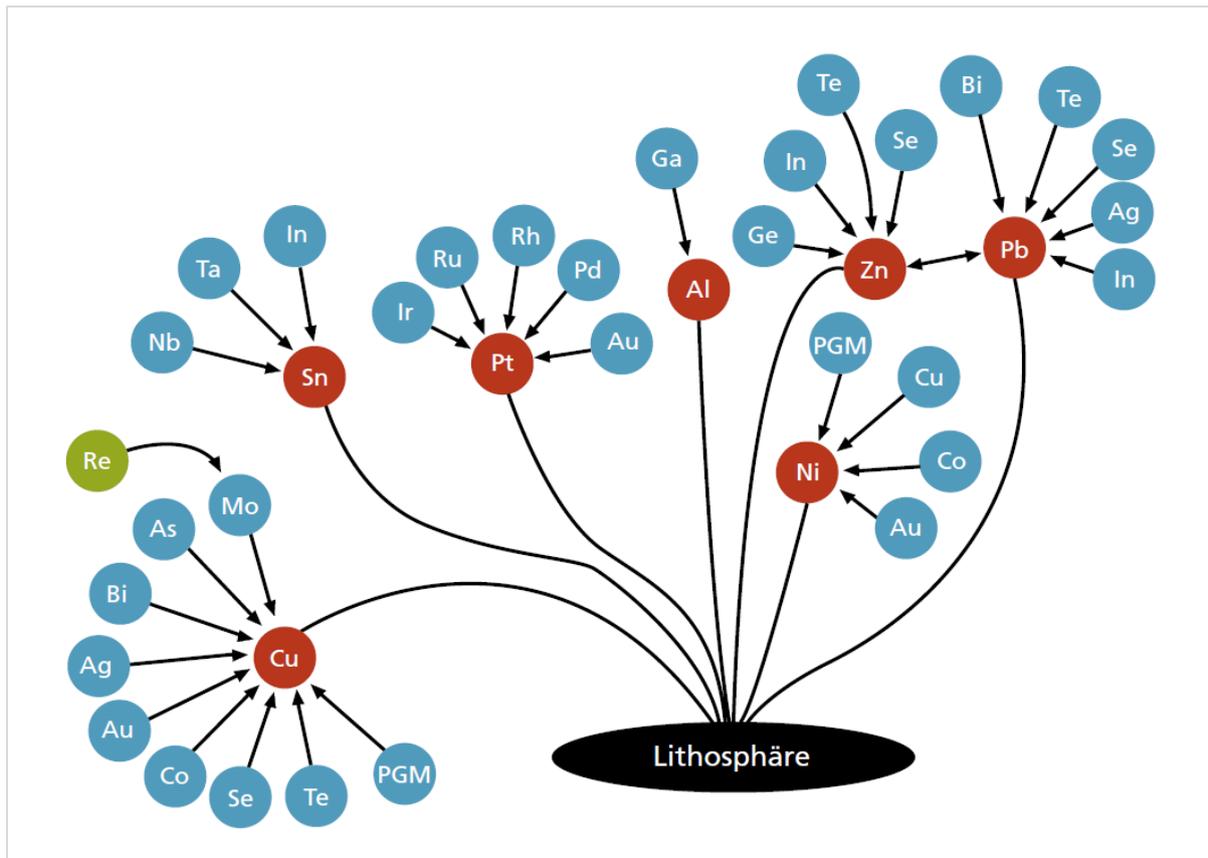
Zur Charakterisierung kritischer Rohstoffe lassen sich in Anlehnung an den Begriff strategische Metalle [Handke 2008] folgende Charakteristika nennen:

- Geringe Volumen der Stoffströme
- Koppelprodukte von Massenmetallen
- Volatile Preise
- Nicht od. schwer substituierbar
- Von Schlüsseltechnologien nachgefragt
- Meist dissipative Verwendungsstruktur
- Geringe Produktgehalte

Die Abhängigkeit der Gewinnung von strategischen Metallen von der Gewinnung von Massenmetallen aufgrund von Vergesellschaftung⁷⁾ illustriert die folgende Abbildung [Rotter, u.a., 2012b]:

Abbildung 3-11: Kopplung von Haupt- und Nebenmetallen bei der Primärgewinnung

⁷⁾ Vergesellschaftung ist eine in der Mineralogie und Geologie gebräuchliche Bezeichnung für das gemeinsame Auftreten ähnlicher chemischer Elemente in einem Mineral bzw. das Vorkommen eines gediegenen Metalls in Kombination mit einem bestimmten Mineral. Metalle treten sehr häufig in Vergesellschaftungen auf. Derartige Vergesellschaftungen hängen von der Entstehung der Lagerstätten (z.B. hydrothermal und sedimentär) und der chemischen Ähnlichkeit der im Erz enthaltenen chemischen Elemente ab. Bekannt sind die Vergesellschaftungen von Blei-Zink-Silber-, Silber-Kupfer- oder Eisen-Mangan-Vererzungen, aber auch die Seltenerdmetalle (Scandium, Yttrium, Lanthan, Lanthanoide) kommen in der Natur in der Regel zusammen mit anderen Elementen dieser Gruppe vor.



3.1.3.2 Menschenrechte

Insbesondere Zinn, Tantal (Coltan), Wolfram und Golderze werden als sogenannte „Konfliktrohstoffe“ bezeichnet. Deren Abbau, Weiterverarbeitung und Handel, führen etwa in der Demokratischen Republik Kongo und den umliegenden Ländern, immer wieder zu gewalttätigen Konflikten und schweren Menschenrechtsverletzungen [Bundesregierung 2015].

Die oben genannten Rohstoffe werden als sogenannte 3TG (engl. Tantalum, Tin, Tungsten, Gold) bezeichnet. Sie unterliegen gemäß Titel 15 Abschnitt 1502 des Dodd-Frank Act (Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act) einem US-amerikanischen Bundesgesetz aus dem Jahr 2010 zur Finanzmarkttransparenz, besonderen Dokumentations- und Publizitätsverpflichtungen. Börsennotierte Unternehmen sollen durch diese Verpflichtungen sicherstellen, dass sie mit der Verwendung dieser Rohstoffe keine bewaffneten Konflikte in der Demokratischen Republik Kongo oder einem angrenzenden Land finanzieren.

Neben diesen 3TG Rohstoffen, ist jedoch eine Reihe von weiteren Rohstoffen bekannt, deren Abbau und Verarbeitung mit erheblichen Menschenrechtsverletzungen in Verbindung gebracht werden. Typischerweise zählen dazu Kinder- und Zwangsarbeit, schwere Gesundheitsgefährdung beim Abbau, Verstöße gegen arbeitsrechtliche Mindeststandards, Abbau in Konfliktgebieten sowie die Enteignung, Vertreibung und Umsiedlung der ortsansässigen -oft indigenen- Bevölkerung. Eine besondere Rolle spielt dabei der sogenannte informelle Bergbau. Dabei handelt es sich typischerweise um Kleinstbergbau, der außerhalb staatlicher Kontrolle agiert, oftmals händische Abbaumethoden nutzt und neben Verstößen gegen Menschenrechte, aufgrund der Verwendung giftiger Chemikalien in der Regel mit sehr hohen Umweltauswirkungen verbunden ist [Pilgrim et al 2017].

Eine hohe Kritikalität in der sozial-ökonomischen Dimension wird, neben den 3TG Rohstoffen, den seltenen Erden zugeschrieben. Ihr Abbau und ihre Verarbeitung werden mit Menschenrechtsverletzung und Kinderarbeit in Verbindung gebracht sowie als potentielle Konfliktressource bewertet. Für die Metalle der Platingruppe (PGM) aber auch für Kupfer sind insbesondere der illegale Handel mit Sekundärmaterial als kritisch zu bewerten [Bleischwitz et al 2018].

Als Förderlich für das Ausmaß an Kritikalität in der sozial-ökonomischen Dimension gilt die staatliche Verfasstheit eines Landes. Die sogenannte Natural Resource Governance. Sie bezieht sich auf die Normen, Institutionen und Prozesse, die bestimmen, wie Macht und Verantwortung über natürliche Ressourcen ausgeübt werden, wie diesbezügliche Entscheidungen getroffen werden und wie Bürger - Frauen, Männer, indigene Völker und örtliche Gemeinschaften - die Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen mitgestalten können und davon profitieren. Wirksamkeit und Gerechtigkeit derartiger Governance-Prozessen bestimmen maßgeblich, inwieweit Ökosysteme zum Wohlbefinden der ansässigen Menschen beitragen und die Erhaltung der Natur langfristig gewährleistet ist. Grundgedanke dabei ist, dass durch die Sicherstellung bürgerlicher Rechte und die gemeinsame und gleichberechtigte Gestaltung der Bewirtschaftung von Naturressourcen sowohl den Menschen als auch der natürlichen Umwelt zu Gute kommt [Springer 2016]. Die folgende Tabelle zeigt die Typologie für die Ressourcengovernance von Ländern [Erdmann et al 2011].

Tabelle 3-6: Typologie für die Ressourcengovernance von Ländern

		Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
	Typ- beschreibung	Kollabierter/ fragiler Staat	Transformations- land / junge De- mokratie	Etablierte Demokratie	Autoritärer Staat
		Angebotsland	vor allem Angebotsland	Angebots- und Nachfrageland	Angebots- und Nachfrageland
Governance im Abbau- und Exportland	Stabilität und Konfliktgeschichte	Instabilität, (post-)Konflikt	Fragile Stabilität	Stabilität	Eingeschränkte Stabilität
	Rechtsstaatlichkeit und Korruption	Kein Rechts- staat, systema- tische Korruption	Rechtsstaat & Korruption	Rechtsstaat, geringe Korrupti- on	Kein Rechtsstaat, Korruption
	Effektivität staatlicher Institu- tionen	Nicht vorhan- den	Niedrig	Mittel bis Hoch	Mittel bis Hoch
	Verteilung von Gewinnen und Verlusten	Politisch- militärisch Mächtige er- halten alle Gewinne	Wenig transpa- rent, in Ansätzen umgesetzt	Transparent umgesetzt	Intransparent, kaum umgesetzt
	Umwelt- und Sozial- gesetzgebung	Defizitär & nicht umge- setzt	Besteht in Grund- zügen aber kaum umgesetzt	Besteht, wird umgesetzt	Besteht in Grund- zügen, sporadisch umgesetzt
Ressourcengovernance	Gestaltung des Rohstoffsektors	Klientelismus; Förderung von Investition im Abbau; Ver- kauf von Roh- stoffen	Eingeschränkter Protektionismus; Förderung von FDI und Investiti- onen in die Wert- schöpfung	Marktinstrumente; Förderung der eigenen Wett- bewerbsfähigkeit, ggf. Investition in Abbau im Aus- land	Protektionismus; Marktrestriktionen, Investition in Ab- bau im Ausland
	Handelspolitik in Bezug auf Rohstoffe	Intransparente Zölle und Steu- ern	Selektive Liberalisierung	Multi- und bi- laterales Vorge- hen gegen Han- delshemmnisse	Exportkontrollen oder Zölle
	Ressourcen- management	Nicht existent	Fragmentierte Ansätze	Fokus auf Angebots- steigerung und Effizienz (entlang der Wert- schöpfungskette)	Steuerung des Angebots nach Wirtschafts- und Entwicklungs- zielen

Wie sich die Ressourcengovernance z.B. hinsichtlich der Verteilung der Rohstoffgewinne, der Umwelt- und Sozialgesetzgebung sowie der effektiven Implementierung von Gesetzgebung auf nationaler Ebene darstellt, hängt im Einzelnen von den jeweiligen Förder- und Exportländern der jeweiligen Rohstoffe ab und muss daher in Einzelfallstudien empirisch erhoben werden.

Am Beispiel der Seltenen Erden lassen sich einige zentrale Punkte von Governance Profilen exemplarisch darstellen. So sind der Abbau sowie die Aufbereitung Seltener Erden mit erheblichen Umwelteinflüssen verbunden. Hauptrisiko sind Absetzteiche und Halden, die Abwässer und Rückstände der Seltenen Erden-Produktion enthalten und zum Teil radioaktiv sind. Bei der Verarbeitung von 100.000

Tonnen Seltene-Erden-Konzentrat entsteht ein Schlamm, der ca. 200 Tonnen radioaktives Thoriumdioxid enthält. Je nachdem welche Aufbereitungsmethode verwendet wird, können pro hergestellter Tonne Seltene-Erden-Konzentrat bis zu 12.000 Kubikmeter Abgase entstehen, die Fluoride, Schwefeldioxid und -trioxid enthalten, sowie 75 Kubikmeter säurehaltiges Abwasser und eine Tonne radioaktiver Abfall entstehen [Erdmann et al 2011]. Da 97 % aller Seltenen Erden in China produziert werden, ist der Markt durch chinesische Staatsunternehmen beherrscht. Als Land mit einem Einparteiensystem das von kommunistischen Parteifunktionären regiert wird, gleichwohl aber mit marktwirtschaftlichen Elementen versetzt ist, kann die Volksrepublik (VR) China als stellvertretendes Beispiel für ein Typ-4-Land aufgefasst werden. Trotz einer augenscheinlich starken und effektiven Zentralregierung ist China von Korruption und Nepotismus vor allem auf lokaler Ebene mit enger Verstrickung von Partei- und Wirtschaftseliten betroffen. Da die Zentralregierung für die Implementierung und Umsetzung von Umwelt- und Sozialgesetzgebung auf lokale Behörden angewiesen ist. Dies führt dazu, dass gesetzliche Vorlagen lokal missachtet oder durch Korruption unterwandert werden, was zu illegalem Abbau und Handel führt. Vor diesem Hintergrund kam es 2005 in der Förderregion Zhejiang zu gewalttätige Ausschreitungen, nachdem dort Proteste und Petitionen um verseuchtes Ackerland und verpestete Luft erfolglos blieben. Dabei drangen einige 10.000 Dorfbewohner in Chemiefabriken ein, verursachten dort erheblichen Sachschaden und griffen lokale Regierungsvertreter an. Erst nachdem die Regierung 10.000 Soldaten schickte, kam die Lage wieder unter Kontrolle. Das Beispiel zeigt auch, wie negative und positive Auswirkungen der Industrialisierung oder der Rohstoffproduktion ungleich verteilt werden. Die sich durch Agrarwirtschaft ernährende Landbevölkerung bleibt arm und verliert ggf. durch zunehmenden Bergbau Land und Einkommen auf Grund von Enteignung oder Umweltverschmutzung [Erdmann 2011].

Der Environmental Justice Atlas [ejatlas 2018], herausgegeben von einem Netzwerk unterschiedlicher zivilgesellschaftlicher Akteure, benennt zahlreiche Minenstandorte die mit unterschiedlichen Menschenrechtsverletzungen in Verbindung gebracht werden.

Die folgende Abbildung gibt diesbezüglich einen Überblick

Abbildung 3-12: Minenstandorte mineralischer Rohstoffe mit Menschenrechtsverletzungen oder Umweltschäden



Exemplarisch soll das Massaker in Kilwa in der Provinz Katanga, DR Kongo als Beispiel für einen Eintrag in den Environmental Justice Atlas umrissen werden. Bei dem Massaker von Kilwa im Jahr 2004, nutzte das kongolesische Militär die Logistik und das Personal der Kupfer- und Silbermine Dikulushi des kanadischen Kupferproduzenten „Anvil Mining“, um gegen vermeintlich bewaffnete Rebellen in der Stadt vorzugehen. In den Auseinandersetzungen wurden etwa 100 Menschen, überwiegend Zivilisten, getötet. [ejatlas kilwa 2004].

Die britische Organisation Global Witness berichtet im Jahr 2015, dass 185 Umweltschützer*innen ihren Protest mit ihrem Leben bezahlten [Global Witness 2016]. Allein 42 von ihnen wandten sich gegen Bergbauprojekte. Kein anderer Industriesektor war in so viele Morde verwickelt. Das unterstreichen auch Zahlen der UN: In den letzten 60 Jahren standen 40 Prozent aller Konflikte mit Rohstoffen in Verbindung, wobei die UN auch Konflikte um die Gewinnung energetischer Rohstoffe mit einschließt (UNEP 2009).

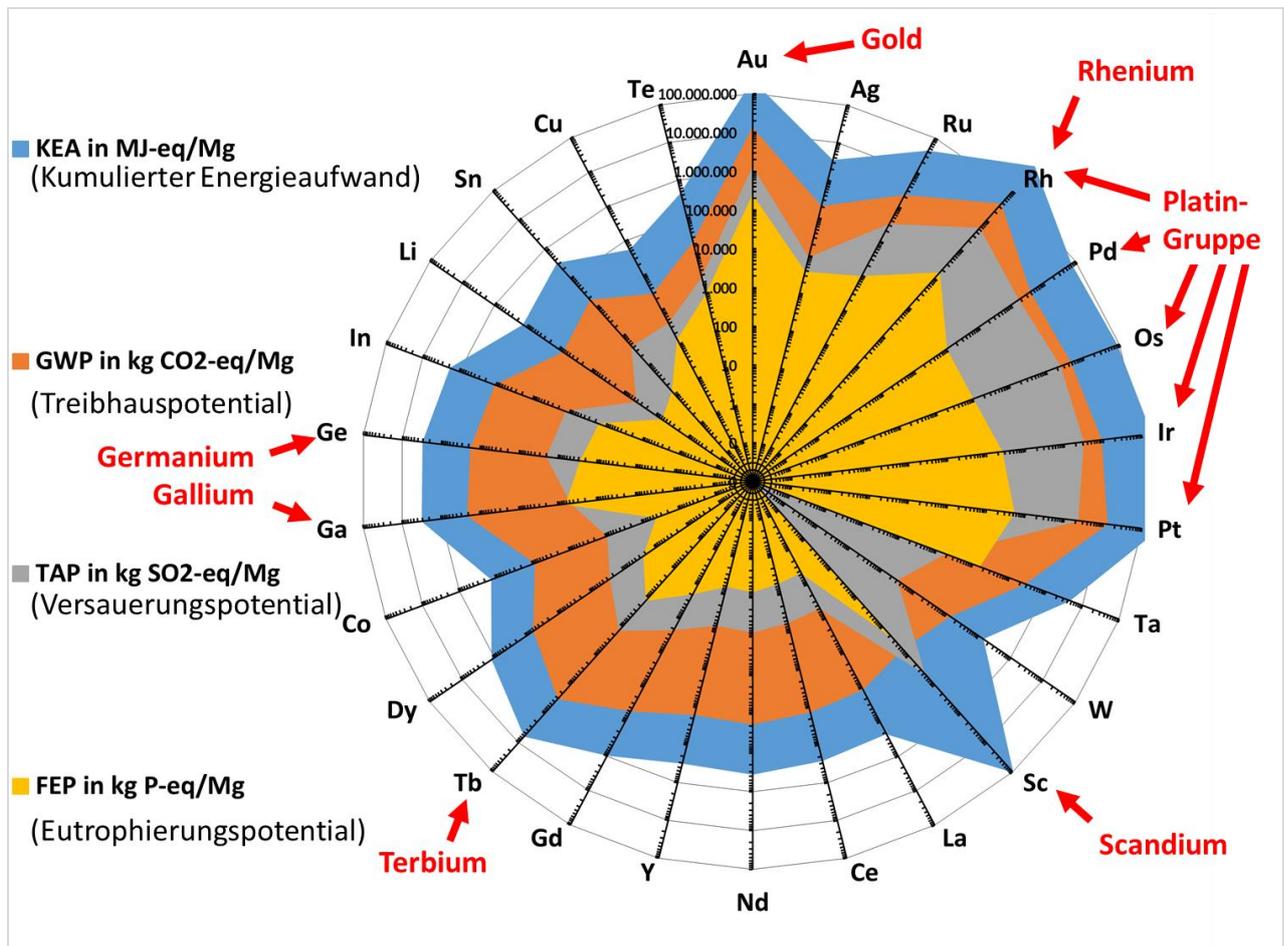
3.1.3.3 Umweltauswirkungen

Für die Beurteilung der ökologischen Folgen des Einsatzes von metallischen Rohstoffen in Elektrogeräten ist es notwendig die gesamte Wertschöpfungskette eines bestimmten Rohstoffes von dessen spezifischen Rohstoffgewinnung über seine Weiterverarbeitung bis hin zur Herstellung von unterschiedlichen Vor- und Zulieferprodukten zu betrachten. Einen ersten Ansatz dazu findet sich bei Nuss et al 2014. Dort wurde in Anlehnung an den „cradle-to-gate“-Ansatz ein Life Cycle Assessment für insgesamt 63 Metalle durchgeführt. Untersucht wurde dabei die Wertschöpfungskette von der Extraktion über die Anreicherung bis hin zur Raffination. Als Wirkkategorien wurden dabei der kumulierte Energieaufwand (KEA), das globale Treibhauspotential (GWP), das terrestrische Versauerungspotential (TAP), die Frischwasser Eutrophierung (FEP) sowie die Toxizität für den Menschen herangezogen. Im Resultat zeigte sich das die Metalle der Platingruppe insbesondere Rhenium sowie Gold die höchsten ökologischen Wirkungen aufweisen. Die größten Umweltwirkungen fanden sich dabei bis auf wenigen Ausnahmen in der Aufbereitung und der Raffination von Erzkonzentraten in ihre jeweiligen metallischen Formen.

Die Abbildung auf der folgenden Seite gibt einen Gesamtüberblick über die Ergebnisse.

Für die in Elektrokleingeräten besonders relevanten Metalle ergeben sich folgende Ergebnisse hinsichtlich deren Umweltauswirkungen.

Abbildung 3-14: Umweltauswirkungen der in Elektrokleingeräten relevanten Metalle



Die obige Abbildung quantifiziert die Umweltwirkungen kritischer Metalle, die in Elektrogeräten enthalten sind für die Wirkkategorien Energieeinsatz, Klimawandel, Versauerung und Überdüngung. Bilanziert wurden die Rohstoffentnahme, die Weiterverarbeitung sowie die Raffination der Metalle.

Es wird deutlich, dass über alle Kategorien hinweg die Metalle der Platingruppe und Gold die höchsten Umweltwirkungen aufweisen. Innerhalb der Platingruppe ist es insbesondere das Rhodium, gefolgt von Platin, welche über alle Kategorien die höchsten Umweltauswirkungen verursachen. Die Platingruppenmetalle Palladium, Osmium und Iridium weisen hinsichtlich Treibhaus- und Versauerungspotential sowie ihrem kumulierten Energieaufwand besonders hohe Werte auf, während bei Ruthenium lediglich GWP und KEA hohe Werte aufweist.

Bei den seltenen Erden sticht Scandium, mit erheblichen Abstand gefolgt von Terbium und Dysprosium für deren Herstellung ein besonders hoher kumulierter Energieaufwand notwendig ist. Vergleichbar hohe KEA Werte lassen sich aber auch bei Gallium, Germanium und Indium finden, welche zudem auch über erhebliche Potentiale zur Klimaerwärmung verfügen.

Erwähnenswert ist ebenfalls das hohe Eutrophierungspotential von Gold, Tantal, Scandium sowie der Metalle der Platingruppe. Besonders problematisch ist dabei, dass die Beweglichkeit insbesondere von Schwermetallen unter eutrophen Bedingungen zunimmt und damit der Zugang zu ökotoxischen Zielkompartimenten erleichtert wird.

Die Tabelle auf der folgenden Seite fasst die Ergebnisse der Kritikalität von Metallen in Elektroklein-geräten in den Dimensionen Versorgungssicherheit, Menschenrechte und Umweltwirkung zusammen. Hinsichtlich der Angaben zu den derzeit abbauwürdigen Erzkonzentrationen ist allerdings zu ergänzen, dass der Metallgehalt von Erzen sich nur bedingt mit den Metallgehalten in Elektrogeräten vergleichen lässt, da beim Abbau der Primärrohstoffe nicht nur der Erzgehalt für die Wirtschaftlichkeit ausschlaggebend ist, sondern auch Faktoren wie Infrastruktur, Governance, Lagerstättengröße und -reserven, Beiprodukte der Erze, Tiefe der Vorkommen. u.a., die für jede Lagerstätte spezifisch sind und kaum Durchschnittswerte erlauben [vgl. Bookhagen, et al 2018].

Abschätzungen gehen allerdings davon aus, dass der Gehalt an Edelmetallen und kritischen Metallen (precious metals) im Schrott elektronischer Leiterplatten (PWB) im Durchschnitt um den Faktor 10 bis 100 höher ist als in entsprechenden Erzen wie sie in der Primärrohstoffproduktion eingesetzt werden [Biletewski, et al 2017, S. 278].

Für Haushaltkleingeräte werden folgende Zusammensetzungen berichtet [EMPA 2010]

Tabelle 3-7: Zusammensetzung von Haushaltkleingeräten 2010

	in % des Gesamtgewichts
Glas	0,16
Fe	29
Al	9,3
Cu	17
Au	6,10E-07
Ag	7,00E-06
Palladium	3,24E-06
Indium	0,00E+00
Pb	5,70E-01
Cd	8,30E-03
Hg	1,90E-05
Plastik	37
Bromiertes Plastik	0,75
other	6,90E+00

Tabelle 3-8: Ausgewählte kritische Metalle mit besonderer Relevanz für Elektrokleingeräte der privaten Haushalte

Element	Beispiele für Einsatz in Geräten	Minen-/Raffi- nadprodukt- ion 2017	Derzeit abbauwür- dige Erzkonzentra- tion	Kritikalität	Recyclingsituation aktuelle Erkennt- nisse	Menschenrechtssitua- tion	Umweltwirkungen
Au	Kontakte, Stecker, Leiterplatten, Drähte, Re- lais	3,15 kt	gediegen, 0,5-1,5 g/t		> 50%	Konfliktmineral, Ressourcen Governance	GWP, KEA, TAP, FEP, Toxizität
Ag	Lot, Kontakte, leitfähige Kleber, Tastaturmat- ten, Kondensatoren, RFID	25kt	gediegen 0,01-1 Gew. %	Versorgungsrisiko dt. Unternehmen, Bedarf Zukunftstechnologien	> 50%	Ressourcen Governance	
PGM Leicht: Ru, Rh, Pd Schwer: Os, Ir, Pt	Ru: Speicherschicht in Festplatten, elektr. Kontakte, Schleifringe, Reed-Relais; Rh: Katalysator, Legierung, Thermoelement. Pd: Katalysator, Leiterplatten, Kontakte, Os: Katalysatorbestandteil, Ir: elektr. Kontakte, Katalysator Pt: Katalysator, Thermoelement, Heizwider- stand, Magnetwerkstoff	Ru: Rh: 52. t Pt: 200 t Os: 100kg Pd: 210 t	0,5 ppm (Seifenla- ger) 3-10ppm Pd: 1-8 ppm (Bushveld-Lager)	Rh: Versorgungsrisiko dt. Unterneh- men, Bedarf Zukunftstechnologien, Vulnerabilität	Ru: 10-25% Rh: 10-25% Pd: 10-25% Os: < 1% Ir: 25-50 % Pt: > 50%		GWP, KEA, TAP, FEP, Toxizität
Ta	Mikrokondensatoren, Kameralinsen, Touchs- creens	1.400 t	0,03 Gew. %	Bedarf Zukunftstechnologien	Ta: < 1%	Konfliktmineral	
W	Glühdraht, Elektroden	95.000 t	0,1-0,7 Gew. %	Versorgungsrisiko dt. Unternehmen	W: 10-25%	Konfliktmineral	
SE	Dauermagnete, Mikrowellen, Generatoren, Nickelmetallhydrid-Akkumulatoren, LED/OLED, Katalysator	130 t	0,05-0,2 Gew. % (Ionenadsorption Stone) 2-6 Gew. % 0,12-1,76 Gew.% Nd2O3	Versorgungsrisiko dt. Unternehmen, Bedarf Zukunftstechnologien, Vulne- rabilität	SE: < 1%	Ressourcen Governance	KEA, dissipative Verwen- dung, Recyclingpotential
Co	Elektroden von Lithium-Ionen-Akku	110.kt	0,3-0,7 Gew.%	Bedarf Zukunftstechnologien,	Co: > 50%	Informeller Bergbau, Res- ourcen Governance	
Ga	IC, WLED, Transistor	315 t		Bedarf Zukunftstechnologien	Ga: < 1%		GWP, KEA Toxizität, dissi- pative Verwendung, Re- cyclingpotential
Ge	IR-Technologie, PV	134 t (refinery)	100-400 ppm	Versorgungsrisiko dt. Unternehmen	Ge: < 1%		GWP, KEA, dissipative Verwendung
In	Displays, LED	720 t (refinery)	1-100 ppm	Versorgungsrisiko dt. Unternehmen, Vulnerabilität	In: < 1%		KEA, Recyclingpotential
Li	Lithium-Ionen-Akku,	43.000 t	0,2-9%	Bedarf Zukunftstechnologien	Li: < 1%	Ressourcen Governance	GWP, Recyclingpotential
Sn	Lote, Leiterplatten	290kt	0,3-2%		SN: > 50%	Konfliktmineral	
Cu	Kabel, Motoren, Transformatoren, Leiterplat- ten	19.7 kt	0,4-2 %	Bedarf Zukunftstechnologien, Vulne- rabilität	Cu: > 50%	Ressourcen Governance	Schrotlexport
Te	Thermoelement, Fotodioden, Leiterplatten	420 t (refinery)		Vulnerabilität	Te: < 1%		Recyclingpotential

3.1.3.4 Verlust von kritischen Metallen durch Nicht-Erfassung

Mit Hilfe der Materialzusammensetzung und den nicht getrennt erfassten Mengen an Elektroaltgeräten lässt sich der Verlust an kritischen Metallen aufgrund unzureichender Getrennsammlung abschätzen. Die folgende Tabelle gibt einen entsprechenden quantitativen Überblick über die durchschnittlichen jährlichen Materialverluste. Zu beachten ist dabei, dass der Metallgehalt in Elektroklein-geräten nach Gerätetyp erheblichen Schwankungen unterworfen ist. Im Wesentlichen hängt der Gehalt an kritischen Metallen eines Gerätes (vgl.: Kap. 3.1.3.1 und insbesondere Tabelle 3-8) von der Menge und der Art an elektronischen Bauteilen ab, die in einem Geräte verbaut wurden. Da elektronische Bauteile in der Regel auf elektronische Leiterplatten verbaut werden, gibt die Masse an Leiterplatten einen ersten Hinweis über die im Gerät enthaltenen kritischen Metalle. Aufgrund der unterschiedlichen Funktionalität der Geräte variieren die Zusammensetzung und der Gehalt der Metalle der Leiterplatten allerdings ebenfalls von Gerät zu Gerät. Schließlich ist eine Quantifizierung der Verluste an kritischen Metallen durch nicht erfasste Elektroaltgeräte auch von der Datenverfügbarkeit abhängig. Insbesondere für die Platingruppenmetalle Osmium und Iridium liegen kaum Daten über deren Einsatz in der Elektronik von Elektroklein-geräten vor. Ähnliches gilt für die sogenannten seltenen Erden der Lanthanoidgruppe. Hier sind es insbesondere die schweren Lanthanoide über die kaum Daten vorliegen. Um dennoch eine Abschätzung der metallischen Stoffverluste vorzunehmen, wurde maßgeblich auf eine Schweizer Untersuchung der eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt [Blaser et al 2012] zurückgegriffen. Genutzt wurde der Metallgehalt von Leiterplatten aus mülltonnengängigen Elektrogeräte aus Haushalten sowie der prozentuale Anteil dieser Leiterplatten am Gesamtgewicht der jeweiligen Geräte. Der angenommene Leitplattenanteil liegt zwischen 10% und 20% des Gerätegewichts. Um der Unsicherheit Rechnung zu tragen wurden jeweils der höchste und der kleinste Metallgehalt in den gerätespezifischen Leiterplatten berücksichtigt. Die so angenommenen Spannbreiten an Metallgehalten wurden schließlich mit den jährlichen Mengen an nicht getrennt gesammelten Elektroaltgeräten der Jahre 2006 bis 2016 multipliziert (vgl. Abbildung 3-3) und der mittlere jährliche Stoffverlust ausgewiesen.

Tabelle 3-9: Jährlichen Materialverluste durch nicht getrennt erfasste kleine Elektroaltgeräte

Element	Konzentration in mülltonnengängige Elektroklein-geräte der Haushalte in mg/kg		Mittlerer jährlicher Stoffverlust durch defizitäre Erfassung für die Jahre 2006 bis 2016 in Mg		
	maximal	minimal	maximal	minimal	
Kobalt	105,6	8,1	8,40	0,64	
Gallium	23,3	1,4	1,85	0,11	
Germanium	28,3	2,0	2,25	0,16	
Gold	280,7	37,4	22,32	2,97	
Indium	17,5	0,2	1,39	0,02	
Lithium	23,5	1,3	1,87	0,10	
Platinmetalle	Rhenium	105,8	47,5	8,42	3,77
	Palladium	72,9	0,5	3,77	0,04
	Platin	2,7	0,2	0,21	0,02
Seltene Erden	Cer	160,2	3,1	12,74	0,25
	Dysprosium	10,1	11,4	0,80	0,90
	Lanthan	162,7	3,1	12,94	0,25
	Gadolinium	14,1	19,6	1,12	1,56
	Neodym	523,5	15,7	41,63	1,25
Tantal	1.507,2	67,2	119,86	5,34	
Tellur	19,6	11,3	1,56	0,90	
Wolfram	458,4	2,0	36,46	0,16	
Zinn	5.050,0	2.287,4	401,59	181,90	

Trotz erheblicher Schwankungsbreite kann der obigen Tabelle 3-9 entnommen werden, dass die Verluste von kritischen Metallen durch eine mangelhafte getrennte Erfassung erheblich sind. Zu berücksichtigen ist dabei, dass die Tabelle lediglich eine quantitative Schätzung der metallischen Verluste durch nicht getrennt erfasste Elektrokleingeräte der Haushalte ausweist. Die stofflichen Verluste durch die mangelhafte Getrennsammlung anderer Gerätearten bleiben dabei unberücksichtigt und wären bei einer Quantifizierung der Gesamtverluste hinzu zu zählen.

3.1.3.5 Kunststoffe

Die Elektro- und Elektronikindustrie ist ein wesentlicher Nachfrager nach Kunststoffen. Kunststoffe werden zur Isolierung von Kabeln, Leitungen, Bauteilen, zur Herstellung von Gehäusen, für Tastaturen und Schalter, als Trägermaterialien für Leiterplatten sowie zur Kapselung elektronischer Bauelemente eingesetzt. Die erhebliche Sortenvielfalt der eingesetzten Kunststoffe wird verursacht durch die unterschiedlichen Funktionsanforderungen der Bauteile eines Gerätes. Aufgrund dieser Vielfalt der eingesetzten Kunststoffe mit spezifischen Schmelz- und Zersetzungstemperaturen stellt eine gemeinsame Verarbeitung die zentrale Herausforderung des Kunststoffrecyclings aus Elektroaltgeräten dar. Die Vielfalt der in der Elektroindustrie eingesetzten Kunststoffe illustriert die folgende Auflistung von Beispielen für technische Artikeln aus der Spritzgussproduktion [Kost et al 1994]:

- PS Gerätegehäuse
- ABS Telefongehäuse
- PA Gehäuse, Zahnräder, Umlenkrollen
- PC Steuerplatten, Akkuhalter, Frontplatten, Gehäuse
- mod. PPO Auslösergehäuse
- PEI Schaltergehäuse
- SAN Sichtfenster
- POM Mechanikgrundplatten, Konter- und Lagerringe, Führungen, Rollen

Wesentlich für die Werkstoffeigenschaften eines Kunststoffes sind neben der Kunststoffsorte die zugesetzten Additive, die im Durchschnitt 10%, jedoch insbesondere bei Weichmachern, Füllstoffen und Verstärkungsmittel bis zu 70% der Kunststoffmasse ausmachen können. Die Verwendung von Additiven führt dazu, dass das eigentliche Makromolekül lediglich die Grundmatrix einer Kunststoffsorte darstellt, deren Eigenschaften durch Zusätze auf einen bestimmten Einsatzzweck zugeschnitten wird. Eine Aufstellung der in der kunststofferzeugenden Industrie eingesetzten Additive und deren Anteil im Kunststoff zeigt folgend Tabelle [Handke 1995]:

Tabelle 3-10: Eingesetzte Additive in Kunststoffen

Additiv	Anteil im KS in Gew.-%
Füllstoffe/Verdickungsmittel	bis 75
Weichmacher	bis 50
Farbmittel	0,5 - 5 (tlw. Schwermetallhaltig)
Flammschutzmittel	1 - 30 (tlw. Halogenhaltig)
Gleitmittel	0,5
Antioxidantien	0,02 - 1

Neben diesen Additiven, welche die Eigenschaft der Produkte verbessern, können einem Kunststoff noch weitere Hilfsmittel zur Verbesserung seiner Verarbeitung zugesetzt sein. Zu diesen Hilfsmitteln zählen beispielsweise Härter (Vernetzer), Beschleuniger, Aktivator, Vulkanisationsmittel, Extender, Elastifizierungsmittel, Treibmittel, Haftvermittler oder Primer.

Von einigen Kunststoffadditiven ist die ökologische Relevanz aufgrund ihrer toxikologischen Eigenschaft bekannt. Hierzu zählen insbesondere die schwermetall- und halogenhaltigen Kunststoffadditive. Zu den klassischen Farbpigmenten zählen insbesondere Cadmiumoxide. Des Weiteren können Farbpigmente Blei, Nickel, Titan, Chrom und Antimon enthalten. Obwohl Schwermetalle als Kunststoffadditiv zunehmend durch weniger toxische Substanzen substituiert werden, ist weiterhin aus älteren Gerätegeneration sowie aus importierten Elektrogeräte mit Einträgen von Schwermetallen aus Kunststoffen der Elektrogeräte in den Siedlungsabfall, auszugehen.

Eine besonders relevante Additivgruppe stellen die Flammschutzmittel dar, die in der Regel sowohl in verschiedenen duroplastischen Leiterplattenmaterialien, als auch in thermoplastischen technischen Kunststoffen enthalten sind. Zum Einsatz kommen dabei halogenierte organische, anorganische oder phosphorhaltige Verbindungen.

Flammschutzmittel können die Erhitzung und die Abspaltung flüchtiger Gase des Leiterplattenmaterials vermindern sowie die Entzündung der Pyrolyseprodukte und das Weiterbrennen verhindern. Die Wirkungsweise von Flammschutzmittel lässt sich einteilen in physikalische und chemische Funktionsprinzipien:

Bei einem physikalischen Funktionsprinzip besteht der Flammschutz durch:

- Kühlung bei Hitzeentwicklung durch Wasserabspaltung,
- Ausbildung einer Schutzschicht aus inerten Gasen,
- Ausbildung einer Oberflächenverkrustung als Schutzschicht.

Bei einem chemischen Funktionsprinzip besteht der Flammschutz durch:

- Unterbrechung der Brennreaktion durch Einfang der Flammradikale,
- Ausbildung einer Kohleschicht als Schutzschicht,
- Unterbrechung der Flammreaktion durch Umpolymerisierung

Der Anteil der flammgeschützten Kunststoffe ist abhängig von den einzelnen Gerätegruppen und variiert ebenfalls stark zwischen den Gerätearten.

Die folgende Tabelle zeigt beispielhaft den Anteil flammgeschützter Kunststoffe in Elektrogeräten privater Haushalte [Käufer 2015]:

Tabelle 3-11: Anteil flammgeschützter Kunststoffe in Elektrogeräten privater Haushalte

Gerätetyp	Flammgeschützter Anteil in der Kunststofffraktion
Haushaltskleingeräte	6%
Fernsehgeräte	54%
Elektrowerkzeuge	80%
Kommunikationstechnik	77%
Informationsverarbeitung	40%

Aufgrund ihrer breiten und vielfältigen Verwendung in Kunststoffen, Textilien und elektrischen/elektronischen Geräten nehmen die bromierten Flammenschutzmittel (brominated flame retardants – BFR) unter den Flammschutzmitteln eine zentrale Rolle ein.

Die fünf Hauptklassen von BFR und ihre häufigsten Verwendungen sind:

- Polybromierte Diphenylether (PBDE) – Kunststoffe, Textilien, Gussteile für elektronische Anwendungen, Schaltungen;
- Hexabromcyclododecane (HBCDD) – Wärmedämmung im Bauwesen;
- Tetrabrombisphenol A (TBBPA) und andere Phenole – Leiterplatten, Thermoplaste (hauptsächlich in TV-Geräten);
- Polybromierte Biphenyle (PBB) – Textilien, Schaumstoffe, Klein- und Haushaltsgeräte;
- Andere bromierte Flammenschutzmittel.

Diese Klassen von BFR sind als technische Gemische unter verschiedenen Handelsmarken im Verkehr, deren chemische Zusammensetzung innerhalb der einzelnen Klassen nochmals variiert.

Halogenierte Flammenschutzmittel auf Diphenylbasis enthalten bereits produktionsbedingt mit halogenierten Dibenzodioxinen und –furanen. Dies gilt insbesondere bei der früher üblichen Verwendung von polychlorierten Biphenylen als Flammenschutzmittel. Mit Chlor oder Brom halogenierte organische Flammenschutzmittel können bereits bei Zimmerbränden zu Dioxin- oder Furanbildung führen. Ferner können Dioxine und Furan aus dem Kunststoff herausdiffundieren [efsa, o.J.].

Als gesichert ist anzunehmen, dass die Flammenschutzmittel Decabrom-Biphenyl sowie Decabrom-Diphenylether als Pyrolyseprodukte Tetrabrom-Dibenzodioxine abspalten [ZVEI 1993]

In der Hausmüllverbrennung führen mit bromierten Flammenschutzmittel versetzte Leiterplatten zur Bildung von stark toxischen organischen Verbindungen. So konnte durch die gezielte Zugabe von Leiterplatten mit einem Gehalt von 4,8% Pentabrom-Diphenyl in der MVA Bielefeld-Herford in den Elektrofilterstäube sowohl polybromierte als auch -überraschenderweise- polychlorierte Dioxine und Furane nachgewiesen werden [Lahl 1991].

Bei einer ähnlichen Messung in der MVA-Berlin-Ruhleben wurde das Angebot von Brom durch die Zugabe von Tetra-Brom-Kohlenstoff um den Faktor 10 erhöht. Als Ergebnis wurde eine Zunahme der gemischt halogenierten Benzole, Dioxine und Monobrom-polychlor-Furanverbindungen gemessen [Lahl 1991b].

Neuere Untersuchungen gehen davon aus, dass es sich bei der Entstehung von PCDD/F um eine durch Flugasche katalysierte Reaktion von nichtchlorierten Kohlenstoffstrukturen in Gegenwart einer Chlorquelle sowie geeigneten Metallkatalysatoren wie Kupfer handelt, die bei Anwesenheit von Sauerstoff und im Temperaturbereich von 200-450 °C erfolgt [Sircar 2002].

Aufgrund ihrer Persistenz in der Umwelt bestehen jedoch nach wie vor Bedenken hinsichtlich der von diesen chemischen Verbindungen ausgehenden Gesundheitsrisiken. Aus den mit BFR behandelten Erzeugnissen werden – während des Gebrauchs oder der Entsorgung – BFR in die Umwelt, ausgelaugt und kontaminieren Wasser, Boden und Luft. Die Kontaminanten können so in die Nahrungskette gelangen, wo sie hauptsächlich in Lebensmitteln tierischen Ursprungs wie Fisch, Fleisch und Milch sowie daraus hergestellten Erzeugnissen nachzuweisen sind. Vor diesem Hintergrund wurden in der EU Rechtsvorschriften erlassen, um den Verkauf und die Verwendung bestimmter besonders toxischer bromierter Flammschutzmittel zum Schutz von Gesundheit und Umwelt einzuschränken.

- Mit der Richtlinie 2003/11/EG über das Inverkehrbringen und die Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen wurde der Verkauf zweier Handelsgemische von PBDE, und zwar Penta-BDE und Octa-BDE, in Konzentrationen von mehr als 0,1 Gew.-% verboten.
- Seit 2006 dürfen gemäß der Richtlinie 2002/95/EG vom 27. Januar 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten neue Elektro- und Elektronikgeräte gar keine PBB und PBDE mehr enthalten.
- Im Juli 2008 wurde ein drittes PBDE-Gemisch (Deca-BDE), dessen Verwendung ursprünglich von den Beschränkungen ausgenommen war, vom Europäischen Gerichtshof (EuGH Urteil ECLI:EU:C:2008:176) ebenfalls verboten. Die Verwendung von Deca-BDE in Elektrogeräten ist seitdem verboten.
- Mit der EU Verordnung 2017/227 vom 09.02.2017 über die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) betreffend Bis(pentabromphenyl)ether darf DecaBDE nach dem 2. März 2019 weder bei der Produktion verwendet, noch in Verkehr gebracht werden, als Bestandteil eines anderen Stoffs, als Gemisch oder als Erzeugnis oder als Teil eines Erzeugnisses, in Konzentrationen von $\geq 0,1$ Gewichtsprozent.
- Die europäische-Kunststoffstrategie setzt das Ziel, dass bis 2030 mindestens die Hälfte der Kunststoffabfälle recycelt werden sollen. Das UBA empfiehlt auf Basis von Forschungsergebnissen sogar eine werkstoffliche Verwertungsquote für Gesamtkunststoffabfälle von 55 Prozent bis 2030

Flammschutzmittel in Haushaltskleingeräten

Während der Anteil flammgeschützter Kunststoffe in Telekommunikationsgeräten auf ca. 75% und in Werkzeugen auf 80% geschätzt wird, liegt der Anteil flammgeschützter Kunststoffe bei Haushaltskleingeräten deutlich niedriger [Wilts, u.a., 2016]

Eine Analyse halogener Flammschutzmittel in kleinen Elektroaltgeräten in der Schweiz hat 2011 insbesondere für die bromierten Spezies TBBPA, DecaBDE (BDE 209), DBDPE, BTBPE und OctaBDE erhöhte Konzentrationen gefunden [Sander, u.a., 2018]. Die folgende Tabelle gibt diesbezüglich einen quantitativen Überblick.

Tabelle 3-12: Konzentrationen von Flammschutzmittel in EAG-Kleingeräten in der Schweiz

Flammschutzmittel	Mittelwert [mg/kg]
Tetrabrombisphenol A (TBBPA)	630
Decabromdiphenylether (BDE 209)	390
Decabromdiphenylethan (DBDPE)	340
1,2-Bis(2,4,6-tri-bromphenoxy)ethan (BTBPE)	150
Octabromdiphenylether (OctaBDE)	120

In zwei chemischen Analysen von Haushaltskleingeräten (HHKG) die großflächig heiß werden (Bügeleisen, Fritteusen, Kaffeemaschinen, Waffeleisen, u. ä.) ergaben in ähnlicher Weise, dass die bromierten Flammschutzspezien TBBPA, DecaBDE (BDE 209) und DBDPE die größten Beiträge zur Fracht an bromierten Flammschutzmittel beisteuern [Sander, u.a., 2018].

Die folgende Tabelle gibt diesbezüglich einen quantitativen Überblick.

Tabelle 3-13: Konzentrationen von Flammschutzmittel in der Kunststofffraktion von HHKG die heiß werden Deutschland 2018

Flammschutzmittel	Konzentration in der Kunststofffraktion [mg/kg]	
	Analyse 1	Analyse 2
Decabromdiphenylether (BDE 209)	45	4.700
Tetrabrombisphenol A (TBBPA)	19.000	4.700
Decabromdiphenylethan (DBDPE)	12	100
1,2-Bis(2,4,6-tri-bromphenoxy)ethan (BTBPE)	2	24
2,2,3,4,4,5,6-Hep-tabromdiphenylether (BDE 183)	1,7	13
Octabromdiphenylether	0,68	4,7
Hexabromcyclododecan (HBCD)	< 10	< 20
Brom Gesamt	0,57	0,65

Die Analyseergebnisse in der obigen Tabelle zeigen ferner, dass die Konzentrationen an bromierten Flammschutzmitteln in Kunststoffen von Elektrokleingeräten erheblichen Schwankungen unterworfen sind. Gleichwohl überschreiten die Gesamt Bromkonzentrationen der Kunststofffraktion aus Haushaltskleingeräten die heiß werden, die Grenzwerte des Europäischen Komitees für elektrotechnische Normung (CENELEC) in Höhe von 0,2 Gew.-%, um den Faktor 3 deutlich.

4 Bestehende Erfassungs- und Recyclingketten

4.1 Erfassung von Elektroaltgeräten

Hinsichtlich der Sammlung von Elektroaltgeräten lassen sich drei Erfassungswege unterscheiden

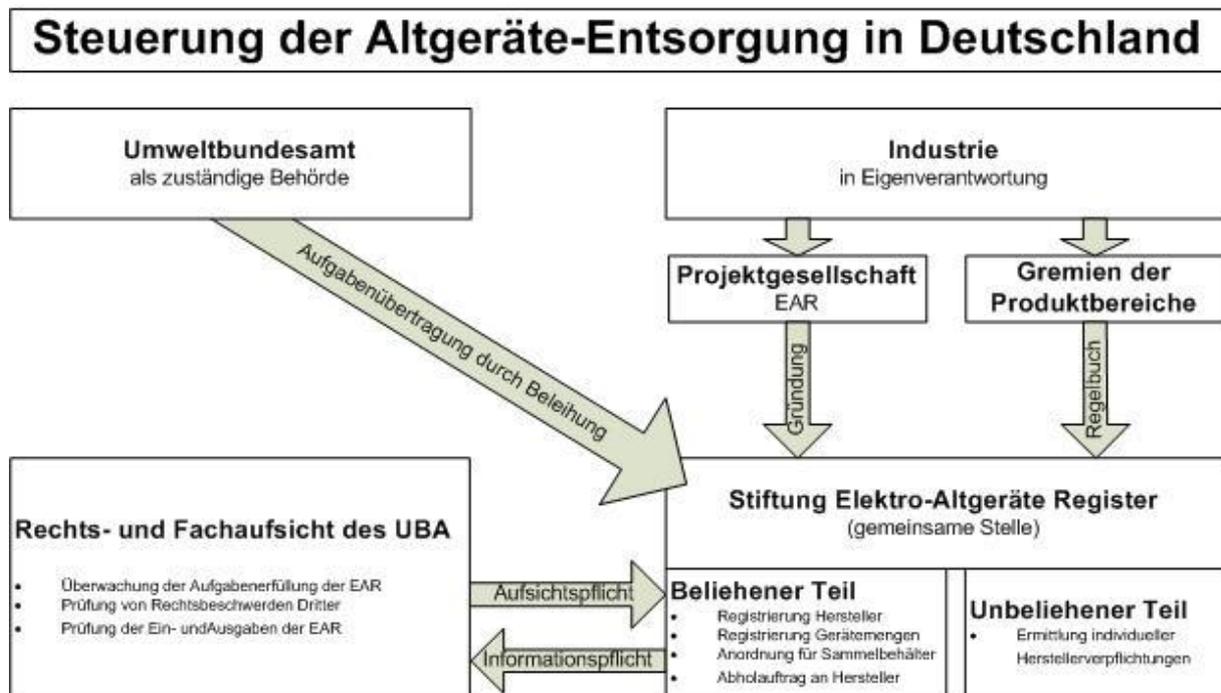
- Vereinbarungen durch Groß- und Einzelhandel zur Rücknahme gebrauchter Geräte auf freiwilliger Basis;
- Nutzung von Erfassungsmechanismen aufbauend auf kommunalen Sammelstellen (z.B. Wertstoffannahmestellen) und selektiven Sammlungen (Straßensammlung/Abrufsystem). Dazu werden üblicherweise separate Container für die getrennte Erfassung unterschiedlicher Gerätearten (z.B. Kühlgeräte, Leuchtstoffröhren, Fernsehgeräte, Haushaltsgeräte, Informations- und Telekommunikationsgeräte, Multimedia- und Unterhaltungsgeräte) genutzt. Alternativ werden die Geräte nach Fraktionen getrennt z.B. bei der Wertstoffannahmestelle erfasst und zur Weiterverwertung bereitgestellt.
- Nutzung von Sammelsystemen zur Erfassung trockener Wertstoffe (z.B. Sammlung von Verpackungsabfällen) zur Miterfassung von Elektro- und Elektronikkleingeräten (z.B. als Modell "trockene Tonne" bzw. Gelbe Tonne Plus)

4.2 Entsorgungswege

Für die Entsorgung von Elektroaltgeräten ist in Deutschland die so genannte geteilte Produktverantwortung eingeführt worden. Damit sind die wesentlichen Entsorgungspflichten zwischen des öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern und den Herstellern von Elektro(nik)geräten aufgeteilt worden. Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger sind verpflichtet, Sammelstellen für Elektroaltgeräte einzurichten und diese dort grundsätzlich kostenlos zurückzunehmen. Derzeit erfolgt dies in rund 2.000 kommunalen Sammelstellen. Zusätzlich können Hersteller freiwillig eigene Rücknahmesysteme anbieten. Auch der Handel darf Elektroaltgeräte freiwillig zurücknehmen. Seit Juli 2016 sind Verkäufer mit einer Verkaufsfläche ab 400 m² verpflichtet kleine Altgeräte deren äußere Abmessungen 25 cm nicht übersteigen auch ohne Neukauf zurückzunehmen (die sogenannte 0:1 Rücknahme). Bei Neukauf eines funktional im Wesentlichen gleichen Gerätes sind alle Altgeräte unabhängig von den äußeren Abmessungen zurückzunehmen (die sogenannte 1:1 Rücknahme). Für die ordnungsgemäße Behandlung der zurückgenommenen Elektroaltgeräte sind wiederum die Hersteller verantwortlich. Sie tragen die finanzielle Produktverantwortung für die Entsorgung der in Verkehr gebrachten Elektrogeräte.

Die folgende Abbildung skizziert die administrative Steuerung der Entsorgung von Elektroaltgerät in Deutschland.

Abbildung 4-1: Übersicht über die administrative Steuerung der Entsorgung von Elektroaltgerät in Deutschland



Bereits mit der Vorlage des ersten Entwurfes für eine Elektronikschrottverordnung 1991/92 wurde die gemeinsame Produktverantwortung von Herstellern, Händlern und der Konsumenten betont. Im Zuge der weiteren Diskussion ist eine mittelständische Branche entstanden die sich mit der der Verwertung von Elektronikschrott beschäftigt. Mit dem „Mittelständischen Elektronikschrott-Recycling-Konzept (MERK) haben ihre Verbände⁸⁾ drei grundsätzliche Schritte im Umgang mit Elektroaltgeräten formuliert. Demzufolge erfolgt die Behandlung in folgenden drei grundsätzlichen Schritten [Weslau, u.a., 1998]:

1. Die **Manuelle Vorzerlegung** erfolgt mit pneumatischen Werkzeugen. Abgesehen von den schadstoffhaltigen Bauteilen werden auch große Transformatoren und Lüfter, Eisenrahmen u. ä. manuell zerlegt.
2. Die **Schadstoffentfrachtung** erfolgt manuell bei der Demontage der Geräte. Nasskondensatoren werden wegen der PCB-Gefahr ebenso wie Ni-Cd-Akkus, Lithiumbatterien, Hg-Schalter und LCD-Anzeigen demontiert. Die Lagerung der Stoffe und die Entsorgung erfolgt nach den abfallrechtlichen und lagertechnischen Vorschriften.
3. Die **Kaltvermahlung und Trennung** (z.B. trockenmechanische Aufbereitung) erfolgt schrittweise durch Zerkleinerung der elektronischen Bauteile mit verschiedenen Mühlen zu einem sandkorngroßen Produkt. Das so aufgeschlossene Material wird anschließend über verschiedene Trennverfahren (Magnete, Hochleistungssichter, Siebanlagen) in die Fraktionen Metall, Kunststoff und Kunststofffasern getrennt.

Im Einzelnen werden dabei folgende sieben Fraktionen zur Verwertung separiert [Weslau, u.a., 1998]:

⁸⁾ Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V. (bvse) sowie Bundesvereinigung mittelständischer Elektro- und Elektronikgeräte-Entsorgungs- und Verwertungsunternehmen (BEVU).

1. **Metalle** werden nach sortenreinen Fraktionen getrennt, wobei Verbundmaterialien mechanisch aufbereitet werden. Die Fraktionen werden anschließend verhüttet.
2. **Kunststoffe** werden stofflich verwertet, soweit dies bei Sortenreinheit möglich ist, andernfalls (Mischkunststoffe) findet eine thermische und energetische Nutzung statt.
3. **Glas** kann als Bildschirmvorderglas von der Glasindustrie wiedereingesetzt werden; kontaminierte Bildschirmgläser (Konusglas) können als Schlackenbildner eingesetzt werden.
4. **Leiterplatten** ermöglichen thermische und elektrolytische Metallrückgewinnung; die Restschlacken werden deponiert.
4. **Bauteile** werden soweit als möglich aufbereitet, andernfalls als Sondermüll verbrannt oder in Untertagedeponien verbracht.
5. **Stecker und Steckverbindungen**, aus denen maschinell und thermisch Metalle zurückgewonnen werden; die Kunststoffe werden stofflich und thermisch verwertet
6. **Kabel**, deren Metallbestandteile maschinell zurückgewonnen werden, während die Kunststoffe stofflich oder thermisch verwertet werden.

Mit der Weiterentwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen wurde die so genannte geteilte Produktverantwortung für die Entsorgung von Elektroaltgeräten festgeschrieben und konkretisiert. Dies bedeutet, dass wesentliche Pflichten zum einen bei den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (örE), zum anderen bei den Herstellern von Elektro(nik)geräten liegen. Die örE sind verpflichtet, Sammelstellen für Elektroaltgeräte einzurichten und diese dort grundsätzlich kostenlos zurückzunehmen. Dies geschieht derzeit an rund 2.000 kommunalen Sammelstellen. Die Hersteller können außerdem freiwillig eigene Rücknahmesysteme anbieten. Auch der Handel darf Elektroaltgeräte freiwillig zurücknehmen; seit Juli 2016 sind überdies Vertreiber mit einer Verkaufsfläche für Elektro- und Elektronikgeräte von mindestens 400m² verpflichtet, Altgeräte, die in keiner äußeren Abmessung größer als 25 Zentimeter sind ohne Neukauf (sog. 0:1-Rücknahme) bzw. alle Altgeräte bei Neukauf eines neuen Gerätes mit im Wesentlichen den gleichen Funktionen (sog. 1:1-Rücknahme) zurückzunehmen. Bei einem Vertrieb durch Onlinehändler zählen hier entsprechend die Lager- und Versandflächen. Die Verbraucherinnen und Verbraucher sind verpflichtet, Elektroaltgeräte auf einem dieser Wege abzugeben und dürfen diese keinesfalls im Hausmüll entsorgen.

In Deutschland wird die Behandlung von Elektroaltgeräten durch das aktuell geltende Elektro- und Elektronikaltgeräte gesetz (ElektroG) geregelt. Dort werden die Anforderungen an die Produktverantwortung für diese Geräte festgelegt und den verschiedenen Akteuren dabei unterschiedliche Aufgaben zugeordnet. Diese so genannte geteilte Produktverantwortung bedeutet, dass wesentliche Pflichten zum einen bei den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (örE), zum anderen bei den Herstellern von Elektro(nik)geräten liegen.

Die verschiedenen Akteure entlang der Wertschöpfungskette wie Herstellung, Handel, Nutzung, Sammlung, Demontage, Aufbereitung, Sortierung, Refining, Verwertung und Entsorgung können einen ganz unterschiedlichen Einfluss auf den Gesamt-Recyclingenerfolg haben. Werden z.B. bereits in der Sammlung nur 30% der Geräte gesammelt und in der mechanischen Aufbereitung nur 60% zurückgewonnen ist trotz einer Rückgewinnungsquote von 90% in der Raffinierungsstufe, gemessen an der Menge der anfallenden Elektroaltgeräte, nur eine Gesamt-Rückgewinnungsquote von 16% zu erzielen.

Das ElektroG regelt zudem in § 21, dass die Erstbehandlung von Elektroaltgeräten nur durch zertifizierte Erstbehandlungsanlagen ausgeführt werden darf, für die weiterführende Verpflichtungen z.B. hinsichtlich der regelmäßigen Überprüfung durch unabhängige Umweltgutachter, Anerkennung als Entsorgungsfachbetrieb, u.a. gelten.

4.3 Vorgelagerte Reparatur- und Aufarbeitungsprogramme

Die Nutzung von Reparatur- und Aufarbeitungsmethoden sollte der bevorzugte Weg im Umgang mit Elektro- und Elektronikgeräten sein. Diese können in Abhängigkeit vom Zustand der erfassten Altgeräte in einem mehrstufigen Prozess zur Ausführung kommen. In Frage kommen dabei

- der Wiederverkauf von gut aussehenden Geräten nach Funktionsprüfung,
- die Aufarbeitung zur Weiternutzung, oder
- die vollständige Demontage einschließlich Rückgewinnung und Nutzung von brauchbaren Komponenten und Ersatzteilen.

4.4 Demontage

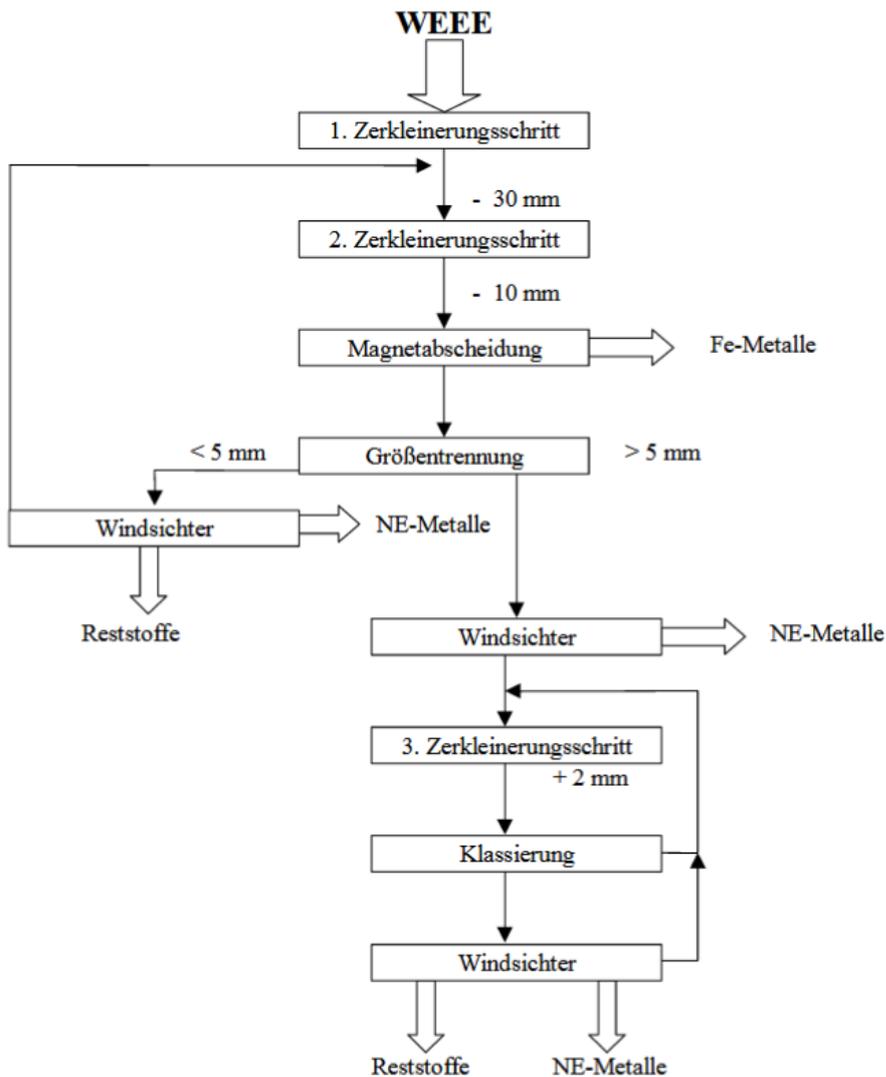
Die Demontage von Elektro- und Elektronikgeräten wird zur Abtrennung von gefährlichen Komponenten (z.B. . polychloriertes Biphenyl, Kondensatoren, Quecksilber enthaltende Mess- und Kontrolltechnik) sowie den wiedergewinnbaren wertvollen Materialien, nutzbaren Komponenten und Metalle vom restlichen Material angewandt. Die Demontage erfolgt größtenteils manuell. Dabei werden üblicherweise die folgenden Fraktionen erzeugt:

- Eisen- und Nichteisenmetalle
- Kabel
- Metall-Kunststoff-Verbunde
- Kunststoffe
- Leiterplatten und Platinen
- Gummi
- Batterien
- Holz
- gefährliche Bestandteile

4.5 Aufbereitung von Elektro- und Elektronikaltgeräten

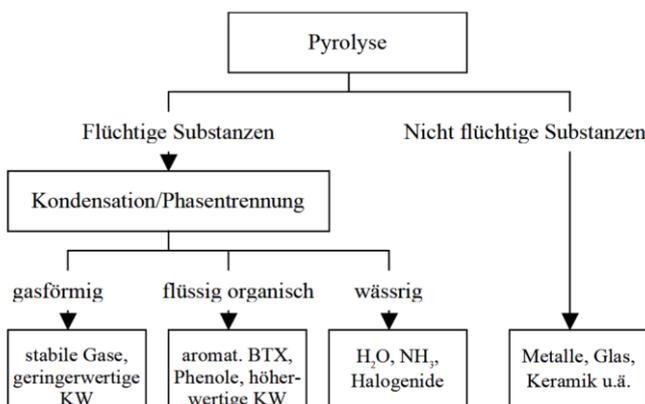
Die Aufbereitung beinhaltet mechanische, thermische und chemische Prozesse, welche eine weitere Verwertung von Materialien erlauben.

Abbildung 4-2: Fließschema eines mechanischen Aufbereitungsprozesses



Mechanische Prozesse werden vorzugsweise für die Trennung von Metall-Kunststoff-Verbunden mit dem Ziel des Recyclings und der Materialverwertung durchgeführt.

Abbildung 4-3: Pyrolyseschema bei Anwendung auf Elektro- und Elektronikaltgeräte



Thermische Prozesse (z.B. Pyrolyse) werden insbesondere beim Recycling von Mikroelektronikbauteilen und Leiterplatten genutzt. Bei der Pyrolyse werden thermisch organische Komponenten abgebaut, Verbundstoffe versprödet und durch Schmelzen des Lötmetalls die Lötverbindungen gelöst.

Klassische Trennmethode können bei der Wiedergewinnung von wertvollen Metallen genutzt werden. Angereichert im Anodenschlamm nach elektrolytischer Raffination können diese auf dem Weg hydrometallurgischer Methoden bzw. der Elektrolyse rückgewonnen werden.

Die Nutzung verschiedener Verwertungsoptionen lässt sich durch die Kombination unterschiedlicher Verfahren erreichen. Typische Prozessschritte sind dabei

- Funktionsprüfung
- Gewinnung von Einzelkomponenten und Ersatzteilen
- Schadstoffentfrachtung,
- Zerlegung
- Rückgewinnung von Glas, Metall und Kunststoff
- Materialverwaltung.

Üblicherweise werden die Prozessschritte auf mehrere Arbeitsstationen verteilt, die sich auf unterschiedliche Fraktionen, Gerätearten oder Arbeitsgänge und Zerlege-, Zerkleinerungs- und Trenntechnologien spezialisieren, um auch komplex zusammengesetzte Elektroschrotte und unterschiedliche Elektroaltgeräte zu behandeln und Wertstoffe zurückzugewinnen. Typische Reinheiten für die gewonnenen Sekundärrohstoffe liegen bei Eisen: 95-99%, Nichteisenmetalle: 95% Kunststoffe: 95% [Bilewski, et al 2017b].

Insgesamt zielt die Erstbehandlung und Aufbereitung von Elektro- und Elektronikaltgeräten primär auf die Erzeugung von Materialfraktionen mit geeigneter Qualität für anschließende Verwertungs- und Entsorgungsprozesse ab. Dabei werden in Abhängig von der Materialzusammensetzung der zu behandelnden Elektro- und Elektronikaltgeräten Recyclate erzeugt, welche neben der energetischen Verwertung in die folgenden fünf Hauptwege des Materialrecyclings eingespeiste werden [Rotter, u.a., 2014]:

1. Umschmelzen von Aluminiumschrott in einer Sekundäraluminiumhütte,
2. Nutzung der eisenhaltigen Fraktionen als Konverter-Kühlschrott und in Elektrolichtbogenöfen der Stahlproduktion
3. Einsatz von Nichteisenmetallen mit Hauptfraktionen Kupfer und Buntmetallen in Sekundärkupferhütten
4. Regranulierung von Thermoplasten,
5. integrierte Hüttenprozesse mit Kupfer- und Edelmetallraffination sowie Bleiverhüttung.

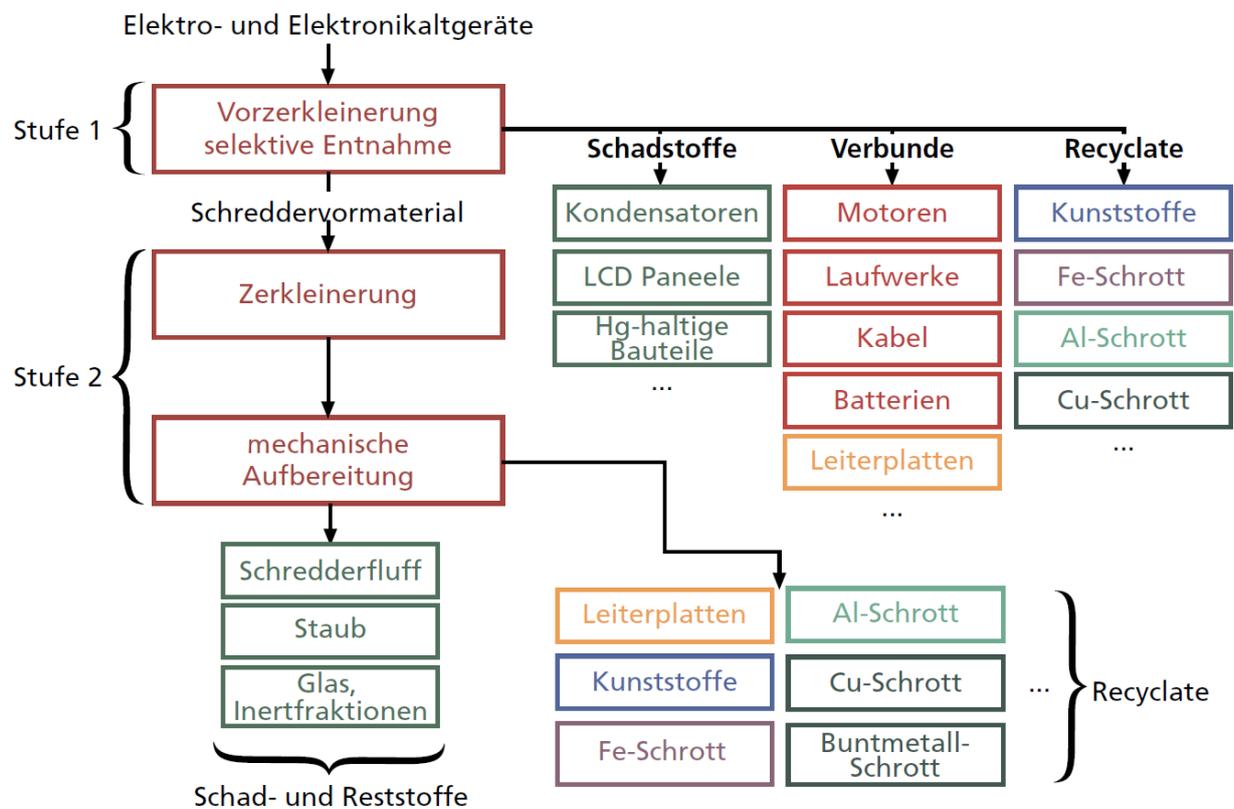
Anlagen zur Erstbehandlung lassen sich demzufolge vereinfacht in drei Typen klassifizieren:

1. rein mechanische Anlagen ohne manuelle Separation,
2. rein mechanische Anlagen mit manueller Separation
3. rein manuell arbeitende Verfahren

Allerdings gibt es insbesondere für IKT Geräte und die Unterhaltungselektronik einen deutlichen Trend hin zu tieferen selektiver Separierung wertstoffreichere Komponenten wie Leiterplatten und

anderen Elektronikbauteilen. Diese Separierung erfolgt flexibel auf manuellem Wege und vor der mechanischen Stufe. Eine wesentliche Output-Fraktion aus den Rückständen der manuellen Demontage ist das sogenannte Shredder-Vormaterial, welches anschließend ebenfalls in die mechanische Aufbereitung eingespeist wird. Die Aufbereitungstiefe und damit die Spezifikation der Outputfraktionen der jeweiligen Behandlungsstufen sind stark abhängig von den aktuellen Marktbedingungen bezüglich der zu erzielenden Wertstoffertlöse und den aktuellen materialspezifischen Entsorgungspreisen. Dementsprechend variieren die Aufbereitungstiefe und die gewonnenen Wertstofffraktionen nicht nur von Anlage zu Anlage, sondern auch innerhalb einer Anlage sowie über die Zeit. Die folgende Abbildung stellt die Prozessschritte in der Erstbehandlung von Elektroaltgeräten zusammenfassend dar [Rotter, u.a., 2014]:

Abbildung 4-4: Systematische Prozessdarstellung bei der Erstbehandlung von Elektroaltgeräten



Abhängig von der Materialzusammensetzung von Elektroaltgeräten zielt die Erstbehandlung darauf ab, Materialfraktionen zu erzeugen, deren Qualität für die anschließenden Verwertungsprozesse geeignet ist. Fünf Hauptwege des Materialrecyclings lassen sich dabei unterscheiden [Rotter, u.a., 2014]:

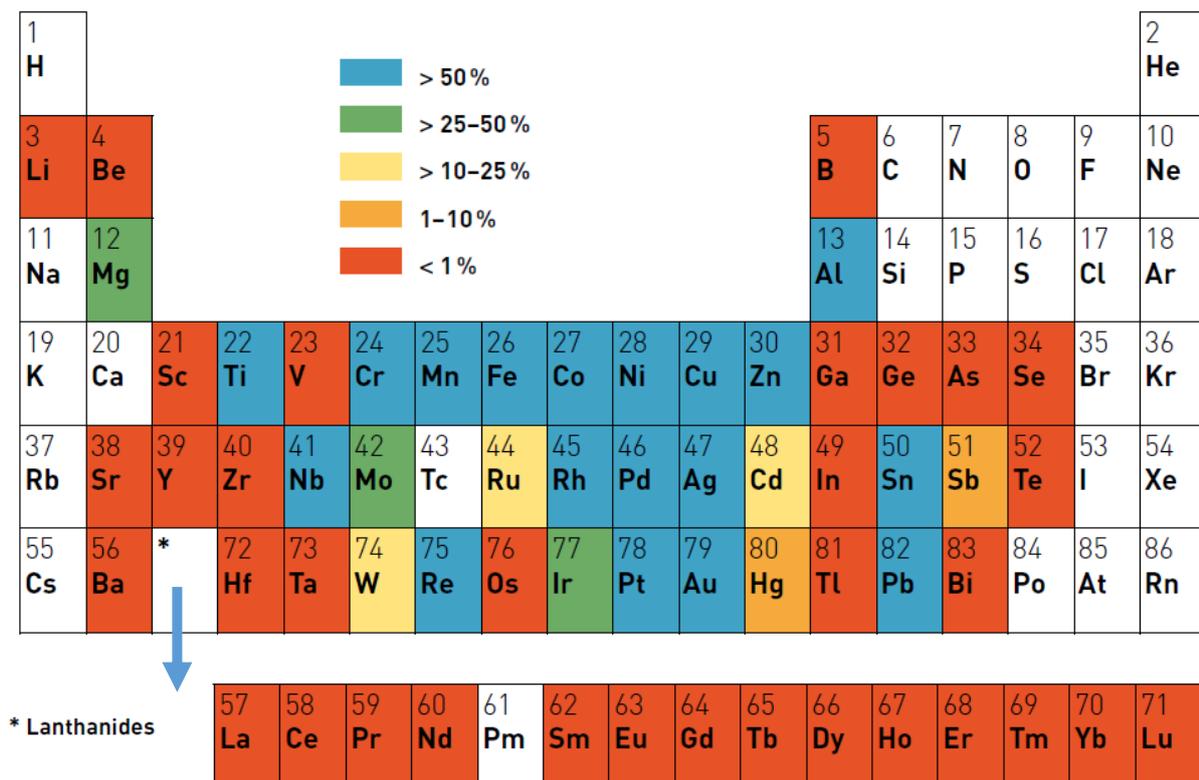
1. Umschmelzen von Aluminiumschrott in einer Sekundäraluminiumhütte,
2. Nutzung von eisenhaltigen Fraktionen in der Stahlproduktion als Konverter-Kühlschrott und in Elektrolichtbogenöfen,
3. Einsatz von Nichteisenmetallen mit Hauptfraktionen Kupfer und Buntmetallen in die Sekundärkupferhütten,
4. die Regranulierung von Thermoplasten und
5. integrierte Hüttenprozesse mit Kupfer- und Edelmetallraffination sowie Bleiverhüttung.

Während die massen- und inputbezogenen bezogenen Recyclingquoten durchaus bis zu 90% betragen können, weisen die Recyclingquoten von strategischen Metallen nur sehr geringe Werte auf [Rotter, u.a., 2014] denn bei der bisherigen Behandlung von Elektroaltgeräten beschränkt sich das Recycling von Metallen im Wesentlichen auf die leicht rückgewinnbaren Massenmetalle Eisen/Stahl, Kupfer und Aluminium sowie auf die Edelmetalle. Bezogen auf den Netto-Wertinhalt liegt die Recyclingausbeute lediglich bei 60% des angelangten Gerätemasse [Rotter, u.a., 2014].

Kritische Metalle werden bislang kaum zurückgewonnen [Buchert et al 2012] sondern gehen überwiegend in den anderen Trennfractionen -z.B. in den Aufbereitungsrückständen wie der Shredderleichtfraktion- dissipativ verloren [Rotter, u.a., 2014]. Ein dazu typisches Beispiel ist der dissipative Totalverlust von seltenen Erden die in Festplatten enthaltenen sind. Sie werden in den meisten Entsorgungsbetrieben zusammen mit anderen Geräteteilen einer mechanischen Zerkleinerung und Sortierung zugeführt. Denn die Magnete der Festplatten in denen die seltenen Erden enthalten sind, haften in der Sortierung an den Stahlteilen und werden somit vollständig in die Stahlfraction sortiert, im Folgenden in den Stahlkreislauf eingeschleust und gehen dort verloren [Spoo 2017].

Die folgende Abbildung gibt diesbezüglich einen Überblick über die globalen Recyclingraten von 60 Metallen aus End-of-Life Produkten.

Abbildung 4-5: Globale End-of-Life Recyclingraten von 60 Metallen



In Anlehnung an: [Graedel et al 2011]

Die obige Abbildung verdeutlicht die bisherige Fokussierung des Metallrecyclings auf Massenmetalle und Edelmetalle, während kritische Metalle kaum recycelt werden. Vor allem Seltene Erden (Lanthanide plus Scandium und Yttrium) sowie Tantal, Gallium und Indium weisen demnach globale End-of-Life Recyclingraten von unter 1% auf. Deutlich besser ist demgegenüber die Recyclingsituation bei den Edelmetallen (Platin, Palladium, Gold, Silber) sowie Kobalt mit Raten über 50%. Für diese Metalle

existieren bereits ausgereifte Recyclingverfahren und zumindest für einige Anwendungen (z.B. Industriekatalysatoren, Speziallegierungen) funktionierende Erfassungssysteme.

Für die Metalle Indium, Seltene Erden, Tantal, Gallium und Germanium wird das Recycling aus Geräten wie Smartphones explizit als derzeit ökonomisch und ökologisch nicht umsetzbar erachtet, weil diese Metalle in den Geräten in zu geringen Mengen enthalten, dissipativ in den geräten verteilt sowie zu komplex verbaut seien [Bookhagen et al 2018].

5 Analyse der Recyclingqualität

Die Analyse der Recyclingqualität zielt darauf ab, Aussagen darüber zu treffen, inwieweit die bisherigen Erfassungs- und Recyclingpraktiken einem qualitativ hochwertigen Recycling genügen und welche Möglichkeiten der Verbesserungen vorhanden sind.

Dazu ist es notwendig, die Kriterien für ein qualitativ hochwertiges Recycling zu benennen und auf dieser Basis die entsprechenden Anforderungen abzuleiten.

Grundsätzlich ist hinsichtlich der Behandlung von Elektroaltgeräten auf die Abfallhierarchie gemäß EU-Abfallrahmenrichtlinie von 2008 (2008/98/EG)⁹⁾ und § 6 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)¹⁰⁾ zu verweisen. Dem zufolge gelten, nach Maßgabe der zu erwartenden Emissionen, der Schonung natürlicher Ressourcen, der einzusetzenden oder zu gewinnenden Energie und der Anreicherung von Schadstoffen, folgende Prioritäten hinsichtlich der Behandlung von Abfällen:

1. Vermeidung
2. Vorbereitung zur Wiederverwendung
3. Recycling
4. Sonstige Verwertung (insb. energetische Verwertung und Verfüllung)
5. Beseitigung

Unter Vermeidung werden Maßnahmen verstanden die ergriffen werden bevor eine Stoff oder Erzeugnis Abfall geworden ist und die darauf abzielen Abfallmengen durch Wiederverwendung oder Verlängerung der Lebensdauer, schädliche Auswirkungen oder den Gehalt an schädlichen Inhaltsstoffen zu reduzieren.

Die Wiederverwendung zielt darauf ab Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, für denselben Zweck zu verwenden, für den sie ursprünglich bestimmt waren. Damit zählen zur Vorbereitung zur Wiederverwendung alle Maßnahmen der Prüfung, Reinigung oder Reparatur bei dem Erzeugnisse oder deren Bestandteile die zu Abfällen geworden sind, so vorbereitet werden, dass sie ohne weitere Vorbehandlung wiederverwendet werden können.

Unter Recycling werden alle Maßnahmen zusammengefasst, welche Erzeugnisse, Materialien oder Stoffe entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereiten. Die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind, zählen dabei nicht zum Recycling.

⁹⁾ Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien. Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=DE>. Zuletzt abgerufen am: 12.12.2018

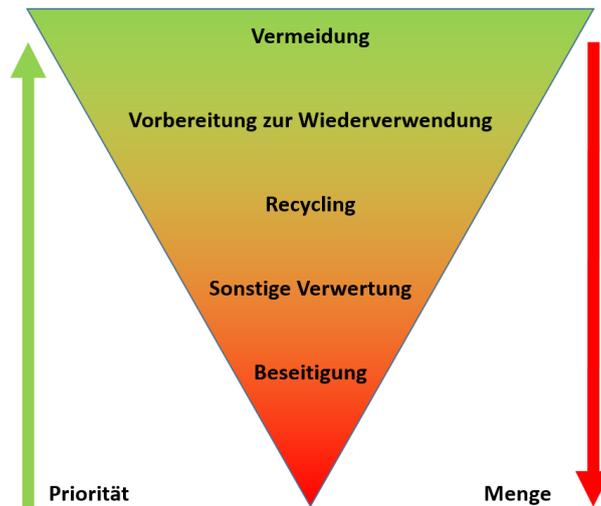
¹⁰⁾ Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG). Online Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/>. Zuletzt abgerufen am: 12.12.2018

Als Verwertung werden alle Verfahren verstanden, bei denen Abfälle einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie andere Materialien ersetzen, die ansonsten verwendet worden wären.

Als Beseitigung werden alle Behandlungsverfahren von Abfällen verstanden, die nicht zur Verwertung führen. Dies gilt auch wenn als Nebenfolge Stoffe oder Energie zurückgewonnen wird. Dazu zählt beispielsweise die Deponierung, die Verpressung in geologischen Hohlräumen, die Einleitung in Gewässer oder die Verbrennung an Land und auf See.

Die folgende Abbildung illustriert diese fünfgliedrige Hierarchie der Abfallbehandlung:

Abbildung 5-1: Abfallhierarchie gemäß EU-Abfallrahmenrichtlinie 2008 und Kreislaufwirtschaftsgesetz 2017



Damit wird deutlich, dass auch im Hinblick auf ein qualitativ hochwertiges Recycling, die Vermeidung und die Wieder- oder Weiterverwendung vorzuziehen sind. Dies gilt insbesondere auch deshalb, weil mit der Anforderung an ein qualitativ hochwertiges Recycling, Sekundärmaterialien herzustellen, welche gegenüber Primärmaterial weitestgehend werkstofflich gleichwertig sind, vorausgesetzt werden muss, dass technische oder toxische Störstoffe vermieden werden. Damit greift das hierarchisch prioritäre Vermeidungsgebot auch in die nachgelagerte Recyclingebene ein, wenn diese dem Anspruch einer qualitativen Hochwertigkeit genügen will.

Als weiterer diesbezüglicher Aspekt kann angeführt werden, dass die Ausbringungsquoten von Recyclingverfahren letztlich aufwandgesteuert sind. Dabei ist eine vollständige und sortenreine Separierung aller enthaltenen Materialien sowohl technisch kaum machbar als auch ökonomisch nicht darstellbar. Damit kommt wiederum der Inputsteuerung insoweit eine entscheidende Steuerungsrolle zu, als sie möglichst aufwandarme und maximal sortenreine Separationsverfahren zu ermöglichen hat. Dies verdeutlicht, dass die vorgelagerten Bereiche der demontagegerechten und recyclingfreundlichen Konstruktion sowie der Substitution von Problemstoffen für ein hochwertiges Recycling unverzichtbar sind.

Für alle Abfallarten gültige, allgemein anerkannte oder gar rechtlich kodifizierte Kriterien für ein qualitativ hochwertiges Recycling gibt es nicht. Vgl. [ITAD 2015]¹¹⁾. Allenfalls für spezifische Abfallarten wie z.B. den Verpackungsabfall lassen sich Kriterien zur Bemessung der Recyclingfähigkeit finden. Demzufolge ist eine 100% Recyclingfähigkeit dann gegeben, wenn das Erzeugnis aus dem

¹¹⁾ Interessengemeinschaft Thermische Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V.: Stellungnahme der ITAD zum Entwurf einer Novelle der Gewerbeabfallverordnung vom 12.02.2015. Online verfügbar unter: <https://www.itad.de/presse/stellungnahmen/20150313ITADStellungnahmeGewAbfVE.pdf>. Zuletzt abgerufen am 12.12.2018

Blickwinkel der Produktverantwortlichen die stoffliche und physikalische Voraussetzung erfüllt, nach der Gebrauchsphase vollständig zu einem materialgleichen Sekundärprodukt zu werden [Christiani 2017]¹²⁾.

Für die vorliegende Studie werden folgende Kriterien für ein qualitativ hochwertiges Recycling zugrunde gelegt:

- Ausschluss der thermischen Verwertung
- Sichere Entnahme und Separation von öko- und humantoxischen Schadstoffen
- Gewinnung möglichst sortenreiner Wertstoffe
- Größtmögliche Beibehaltung der werkstofflichen Eigenschaften
- Störungsfreier Einsatz in die Stoffströme der Primärrohstoffe
- Gleichwertiger Einsatz des Sekundärmaterials in den ursprünglichen Anwendungsfeldern

¹²⁾ Joachim Christiani (Institut cyclos-HTP GmbH Institut für Recyclingfähigkeit und Produktverantwortung): „Klassifizierung und Bemessung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen“. Auf IK-Fachtagung: „Schließung von Kreisläufen durch recyclinggerechte Gestaltung von Verpackungen“ 02. Februar 2017

6 Weiterführende Erfassungs- und Recyclingtechnologien

In einem vom UBA in Auftrag gegebenen Sachverständigengutachten über die nachhaltige Gestaltung von Abfallmanagement und dabei unterstützenden Technologien lassen sich auch Hinweise für weiterführende Erfassungs- und Recyclingtechnologien beim Umgang mit Elektroaltgeräten finden [Biletewski, et al 2017].

Gemäß Hierarchie der Abfallbehandlung werden **Reparatur und Aufarbeitung** (refurbishment) als erster Schritt für einen fortschrittlichen Umgang mit Elektroaltgeräten benannt.

Im Einzelnen wird darunter die separate Entnahme von brauchbaren Gerätekomponenten, ihre Funktionsprüfung und ggf. Ihre Aufarbeitung und anschließenden Wiederverkauf verstanden. Der Export gebrauchter Elektrogeräte zur Wieder- und Weiterverwendung in Ländern mit geringeren Umwelt- und Sozialstandards ist dabei weitgehend ausgeschlossen.

Für eine fortschrittliche **Demontage** von Elektroaltgeräten ist die Separierung folgender Fraktionen zu nennen [Biletewski, et al 2017]:

- Eisen- und Nichteisen-Metalle
- Glas
- Kabelmaterial
- Metall-Kunststoff-Verbunde
- Kunststoff
- Gedruckte Leiterplatten
- Batterien
- Gefährliche Substanzen
- Holz
- Gummi

Die mechanische und chemische Aufbereitung von Elektroaltgeräten hat im Grundsatz so zu erfolgen, dass sie die Trennung und Herstellung von allen recyclingfähigen Materialien umfasst. Für die nachfolgenden Zerkleinerungs-, Trenn- und Aufkonzentrationsschritte gilt die Trennung von Metallen und Nicht-Metallen sowie von Eisen- und Nicht-Eisenmetallen dabei als Mindeststandard [Biletewski, et al 2017]:

Für die mechanische Behandlung von Elektroaltgeräten werden folgende Zielkonzentrationen der aufbereiteten Stoffströme quantifiziert [Biletewski, et al 2017]:

Tabelle 6-1: Qualitätsziele der hergestellten Materialströme einer fortschrittlichen mechanischen Aufbereitung

Hergestellter Materialstrom	Konzentration im hergestellten Materialstrom in Gew.-%		
	Fe-Metall	Nicht-Eisenmetalle	Nicht-Metalle
Eisenmetalle	95 - 99	0,1 - 5	0,5 - 5
Nicht-Eisenmetalle		> 95	0,5
Kunststoff- /Staub-Gemische	0 - 2	1 - 5	> 95

Zu einer effektiven **Rückgewinnung von Kunststoffen** zählen die Volumenreduktion durch Zerkleinerung, die Reinigung von anhaftenden Verschmutzungen und Schadstoffen sowie die Trennung nach

Kunststoffsorten als fortschrittliche Behandlungsverfahren. Als anspruchsvolle Trennverfahren werden die Dichte-Trennung durch 2-stufige Hydrozyklon-Prozesse, die Schwimm-Sink-Scheidung sowie die doppelte elektrostatische Separation genannt. Die hergestellten kunststoffhaltigen Output-Ströme sollten mindestens die folgenden sechs Kunststoffe umfassen [Biletewski, et al 2017]:

1. Gemischte Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE) und PE Fraktion
2. Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)
3. High Impact Polystyrene (HIPS)
4. Polycarbonat (PS)
5. PS –ABS-Verbunde
6. Sonstige Kunststoffe wie Nylon und Polyvinylchlorid (PVC)

Als markfähiges Sekundärmaterial gilt dabei die gemischte PE/PP-Fraktion. Als Kunststoffe mit den höchsten Wertgehalten gelten die Kunststoffe HIPS, ABS PS sowie PS –ABS-Verbunde

Hinsichtlich der **Behandlung von gedruckten Leiterplatten** lässt sich feststellen, dass es sich um ein Gerätekomponente handelt welche einerseits Stoffe mit den höchsten Materialwert enthält, aber andererseits auch Stoffe mit sehr toxischen Eigenschaften beinhaltet. Allerdings können hohe Recyclingeffizienzen der Metalle und ein hohes emissionsseitiges Umweltschutzniveau sichergestellt werden, wenn aus den bei der EAG-Behandlung gewonnenen Leiterplattenfraktionen eine fortschrittliche Rückgewinnung von Kupfer- und Edelmetall nach Stand der Technik erfolgt [Sander, u.a., 2018]. Für die Gewinnung einer möglichst sortenreinen Leiterplattenfraktion sind neben der manuellen Demontage und Entnahme teilerstörende Prozessschritte als weiterführende Recyclingtechnologie zu nennen. Diese erfolgen maschinelle und werden vor der maschinellen Zerstörung mittels Shredder durchgeführt. Sie werden daher auch Pre-Shredding genannt. [Behrendt 2018]. In der Regel handelt es sich um langsam laufende, drehmomentstarke Zweiwellen-Zerkleinerer. Die Zerkleinerung findet sowohl zwischen den rotierenden Werkzeugen als auch durch eine feststehenden Reißstisch bzw. einer Traverse unterhalb der Wellen statt. Pre-Shredder werden als erster Verfahrensschritt der maschinellen Zerkleinerung eingesetzt und zielen auf eine Reduzierung der Stückgröße und eine Homogenisierung des Aufgabematerials, um die Trennschärfe der nachfolgenden Separationsschritte zu verbessern.

Als fortschrittliche Behandlung von Leiterplatten zählt es, vor der metallurgischen Behandlung z.B. in der Kupferproduktion, die nicht-metallischen Bestandteile der Leiterplatten zu separieren, die bis zu 70% des Gesamtgewichts ausmachen können. Die metallurgische Aufkonzentration der Edelmetalle erfolgt üblicherweise in der bleihaltigen Schlacke sowie ihrer anschließenden Auslaugung und elektrolytischer Separation. Die Reinigung der Metalle erfolgt ebenfalls durch anschließende mehrstufige Raffinationsschritte [Biletewski, et al 2017].

6.1.1 Metalle

Hinsichtlich der technologischen Reife von Verfahren zur Rückgewinnung von Metallen gibt die folgende Tabelle einen Überblick [Blaser, u.a., 2012]. Differenziert wird dabei zwischen den drei Reifegraden Industriemaßstab, Pilotanlage und Labormaßstab.

Tabelle 6-2: Technologische Reife der Rückgewinnung von Metallen aus der Post-consumer EAG

Verfügbare Rückgewinnungstechnologien		
Industriemaßstab	Pilotanlagen	Labormaßstab
Ag, Au, Co, Ir, Li, Os, Pd, Pt, Rh, Ru, Sb, Sn, Te	In, Ce, La, Nd, Pr (Ce, La aus NiMH-Batterien)	Ce, Dy, Ga, Tb, Be, Ge, Nb, Re, Ta, W (Ce, Tb aus Leuchtstoffen)

Aus der Tabelle wird deutlich, dass für die Metalle Gold, Kobalt, Iridium, Osmium, Palladium, Platin, Rhodium, Ruthenium, Antimon, Zinn und Tellur Technologien existieren, die deren Rückgewinnung im Industriemaßstab aus End-of-Life-Produkten erlauben.

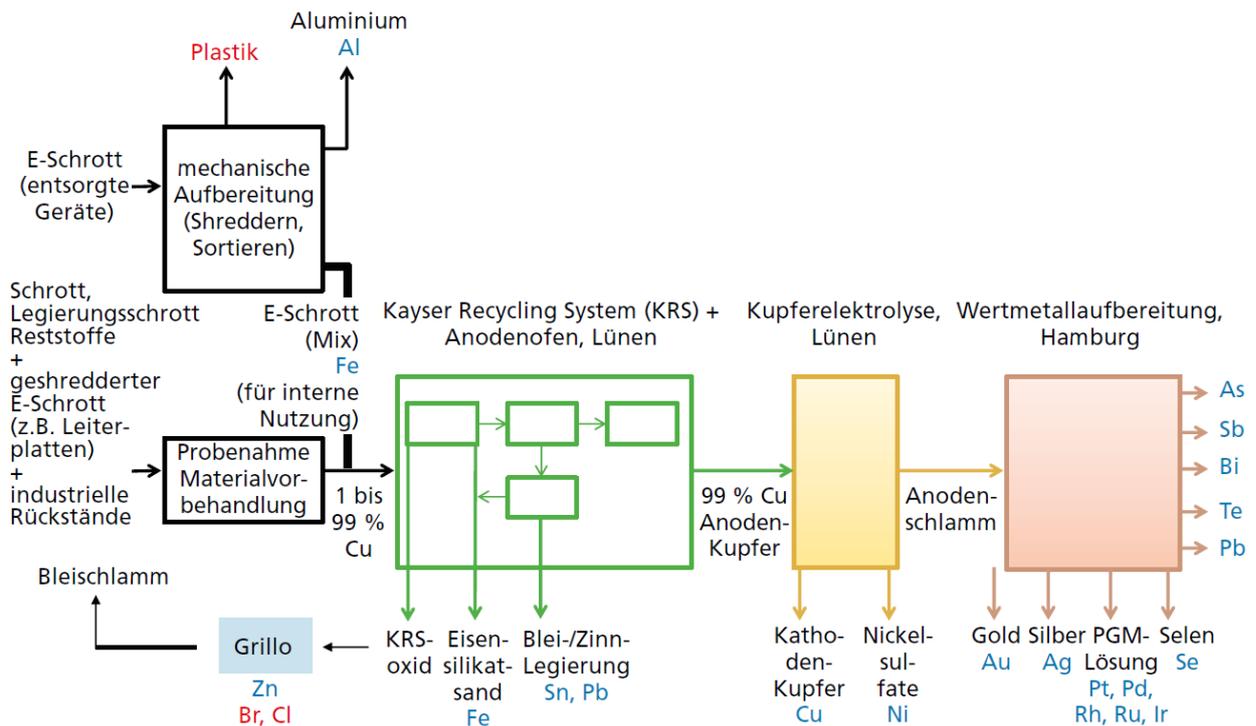
Demgegenüber ist die Rückgewinnung von Beryllium, Germanium, Niob, Rhenium, Tantal und Wolfram post-consumer-Altprodukten zurzeit nicht oder nur sehr erschwert möglich. Ursächlich dafür sind unterschiedliche technologische Herausforderungen. So fehlen z. B. hinreichend spezifische Separationsverfahren für wertstoffhaltige Bauteile, um z.B. bei Beryllium, Tantal und Wolfram die für die Rückgewinnung notwendigen Konzentrationen und Reinheiten zu erreichen oder es fehlen wie z.B. für Rhenium geeignete Rückgewinnungsverfahren. Für die Elementgruppe der seltenen Erden (Ce, Dy, Pr, Nd, Gd, Tb) stehen für den post-consumer Bereich erst im Labormaßstab oder in Pilotanlagen Technologien zur Rückgewinnung zur Verfügung. Im industriellen Maßstab stehen derartige Rückgewinnungstechnologien noch nicht zur Verfügung [Blaser, u.a., 2012; Sander, u.a., 2018]

Bei der mechanischen Behandlung von Leiterplatten kommt es mit zunehmendem Aufschlussgrad zu Verschleppung von Edelmetalle aus der Leiterplattenfraktion in andere Fraktionen welche nicht den spezifischen metallurgischen Rückgewinnungsprozessen wie z.B. in integrierten Kupferhütten zugeführt werden. Zur Vermeidung derartiger Verschleppung wird eine möglichst weitgehende vorgeschaltete manuelle und zerstörungsarme Behandlung empfohlen.

Die Elemente Germanium, Gallium und Indium, sind in Leiterplatten in so geringen Mengen enthalten, dass eine Rückgewinnung nur mit sehr hohen Aufwänden verbunden ist und daher in den bisher praktizierten Recyclingprozessen vollständig verloren gehen. Einzig für Tantal als Kondensatormaterial bietet sich eine Separierung an. Allerdings ist die dafür notwendige manuelle Abtrennung von der Leiterplatten sowie die Unterscheidung zwischen tantalhaltigen und tantalfreien Kondensatoren schwierig und birgt das Risiko der Verschleppung anderer Metalle in den Prozessen zur Rückgewinnung von Tantal [Sander, u.a., 2018].

Eine Möglichkeit für ein hochwertiges Metallrecycling stellt die **Multi-Metall-Gewinnung** dar, wie sie z.B. von der Aurubis AG bereits praktiziert wird [Nolte2018]. Als Trägermetall werden dabei Kupfer und Blei genutzt, die über Schwebeschmelz- und Anodenschachtöfen mit anschließenden Elektrolyseprozessen raffiniert werden. Die anfallenden Anodenschlämme der Elektrolysen werden über kombinierte Edelmetall- und Bleigewinnung final raffiniert. Dieses Vorgehen erlaubt es, durch die Integration von mechanischen sowie pyro- und hydrometallurgische Aufbereitungsschritten optimale Einsatzgemische herzustellen und so auch komplexe Rohstoffe mit sehr unterschiedlicher Konsistenz wie Leiterplatten- und metallische Shredderfraktionen, Galvanikschlämmen und gebrauchten Katalysatoren zu verarbeiten. Dabei können enthaltenes metallisches Eisen und die organischen Bestandteile der Leiterplatten als Reduktionsmittel genutzt werden. Es ermöglicht ferner auch auf die schwierige mechanische Trennung der Materialverbände von Leiterplatten zu verzichten. Zudem wird die industrielle Wiederverwertung von Brom aus den flammhemmenden Verbindungen der Leiterplattenkunststoffe ermöglicht, indem durch eine Flüssig-Flüssig-Extraktion (Strippen) ein vermarktungsfähiges Bromsalzprodukt erzeugt wird [Nolte 2018]. Die folgende Abbildung zeigt die Abfolge der schrittweisen Metallraffination aus Recycling-Rohstoffen als Kombination von mechanischen, pyro- und hydrometallurgischen Verfahrensschritte.

Abbildung 6-1: Abfolge der Metallraffination bei der Multi-Metall-Gewinnung der Aurubis AG



[Nolte 2018].

Als weiterführende Recyclingtechnologie mit hohem Potential aber noch geringer technologischer Reife kann die **Biohydrometallurgie** zur Rückgewinnung von Metallen u.a. aus Elektronikschrott angesehen werden. Dabei werden die biologischen Eigenschaften von Mikroorganismen für technische Prozesse eingesetzt. Das Prinzip beruht auf einer Bioelektrochemie zur Metallrückgewinnung aus Lösungen. Dabei wird in einem bioelektrischen System (Elektrobioreaktor) von Mikroorganismen, die an einer Anode anhaften (elektroaktiver Biofilm) organische Substanz oxidiert. Die dabei freiwerdenden Elektronen dienen an der Kathode zur elektrochemischen Reduktion von Metallkationen zu reinen Metallen in elementarer Form. Die Separierung zu reinen Metallen erfolgt im Weiteren mittels einer abgestuften Einstellung des elektrochemischen Potentials. Neben Kupfer, Blei Cadmium und Zinn lassen sich auf diese Weise auch Kobalt, Chrom, Quecksilber, Silber und Selen zurückgewinnen. Die industrielle Anwendung der Biohydrometallurgie erfolgt in der Aufbereitung sulfidischer Erze im Bergbau. Im Labormaßstab kommen für die Rückgewinnung hochpreisiger Metalle wie Platingruppenmetalle und Gold aus Elektronikschrott sowohl *Acidithiobacillus* als auch Cyanid- oder Metallorganokomplexe-bildende, heterotropher Pilze und Bakterien wie der Cyanidbildner *Chromobacterium violaceum* oder der Sulfatreduzierer *Desulfovibrio desulfuricans* zum Einsatz [Schipper et al 2018].

6.1.2 Kunststoffe

Voraussetzung für ein erfolgreiches Kunststoffrecycling ist die sortenreine Trennung des Materials. Mechanische Eigenschaften wie Korngröße oder Dichte können als Trennkriterium allerdings erst nach vorhergehenden Aufbereitungsschritten des Elektroaltgerätes angewendet werden, da die Zusammensetzung, die Größe und damit auch Dichte und Korngröße von Elektrogeräten sehr variabel ist. Typische Aufbereitungsschritte sind die Demontage und Entfernung von Schadstoffen und die mechanischer Zerkleinerung (vgl. Kapitel 4.5). Eine Alternative zur manuellen Sortierung der so gewonnenen Kunststofffraktion stellt die sensorgestützte Sortierung dar. Sie unterscheidet folgende Merkmale [Rotter et al 2006]:

- Form und Größe durch Bildanalyse,
- Kunststoffspezies durch Nahinfrarotspektroskopie,
- Metalle durch Metallsensoren,
- Verhältnis von organischen (Kunststoffe, Textilien, Holz) zu anorganischen (Metalle, Glas, Keramik) Materialien durch Röntgensensoren

Die Erkennung von verschiedenen Kunststoffspezies in der **Nahinfrarotspektroskopie** ist jedoch limitiert auf nicht vollständig absorbierende Materialien. Somit werden schwarze Kunststoffe wie sie z.B. insbesondere für Gehäuse von EAG Anwendung finden, oder stark verschmutzte Teile nicht erkannt.

Bei der **Röntgensortierung** werden dem gegenüber die atomaren Zusammensetzungen als Trenneigenschaft genutzt. So können sowohl verschmutzte Materialien als auch chlorhaltige Kunststoffe sortiert werden. Die Unterscheidung verschiedener Kunststoffspezies ist jedoch trotz dessen auch bei der Röntgensortierung nicht bei allen Kunststoffen möglich, da sich beispielsweise die atomare Zusammensetzung von Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE) nicht unterscheidet.

Eine weitere Möglichkeit der farbusabhängigen Kunststoff-Sortierung stellt die Hochleistung-Laserspektroskopie dar. Ihre typische Anwendung erfolgt zur Aussortierung von Kunststoffen aus der Shredderrestfraktion. Dabei werden die Kunststoffteile mit starkem Laserlicht zum Leuchten gebracht und anschließend das Lichtspektrum analysiert, das die einzelnen Teile aussenden bzw. streuen. Durch die geschickte Anordnung von optischer Anregung, Erfassung der Fluoreszenzstrahlung und Spektralanalyse sowie einer sehr hohen Signalverarbeitungsgeschwindigkeit lassen sich pro Sekunde bis zu eine Millionen Spektren generieren und auswerten. Somit lassen sich gemischte Stoffströme, ohne Vorsortierung schwarzer Kunststoffe, in sortenreine Kunststoffsorten aufspalten [Meyer et al 2017].

Da Kunststoffe nicht nur chlorierte, sondern auch bromierte und andere Flammschutzmittel wie z.B. Antimontrioxid enthalten, kommt auch die **Röntgenfluoreszenzanalyse** zur Gewinnung einer hochwertigen, stofflich verwertbaren Kunststofffraktion in Frage. Dadurch lassen sich sowohl Kunststoffe sortenrein zurückgewinnen, welche durch antimon- und bromhaltige Flammschutzmittel die Grenzwert der RoHS-Richtlinie 2 (Richtlinie 2011/65/EU vom 8.6.2011) überschreiten, als auch schwermetallhaltige Kunststoffe sortenrein gewinnen, welche die Grenzwerte für Chrom, Cadmium, Blei und Quecksilber in industriellen Anwendungen gemäß RoHS-Richtlinie 2 sehr wohl einhalten und entsprechend die EU-Konformitätserklärung erfüllen. Im Ergebnis lässt sich so eine flammenschutzmittelarme

Fraktion gewinnen, die bis zu 90% des Ursprungsmaterials ausmachen kann und dessen werkstoffliche Qualität z.B. hinsichtlich Melt Flow Index¹³⁾, Schlag- und Zugeigenschaften. u.a., den einschlägigen Normanforderungen an Primärmaterial entspricht [Spitzbart et al 2007].

Eine weitere Möglichkeit zur Gewinnung von hochwertigem Sekundärmaterial aus Mischkunststoffen wie z.B. PVC-Gemische und ABS-HIPS-Gemische aber auch Kunststoff-Metall-Verbunde, bieten

lösemittelbasierte Kunststoffrecyclingverfahren. So konnten unter dem Namen CreaSolv®-Prozess auf dieser Weise aus der Mischkunststofffraktion von mehreren EAG-Aufbereitungsanlagen sortenreine, schadstoffarme und qualitativ hochwertige Recyclate gewonnen werden [Flamme et al 2010].

Weitere Kunststoffaufbereitungsmöglichkeiten umfassen Friktionswäsche, Schwimm/Sinktrennung, Sortierung mittels Nassstoßherd, mechanische und thermische Trocknung sowie Entstaubung.

Eine neue Möglichkeit des rohstofflichen **PET-Recyclings** stellen integrierte Shredder-Feeder-Extruder Prozesse dar wie sie z.B. als **Liquid State Polykondensation (LSP)** vom österreichischen Unternehmen Next Generation Recyclinganlagen entwickelt und am Markt angeboten werden¹⁴⁾. Bei der **Shredder-Feeder-Extruder Integration** wird das mittels Shredder zerkleinerte Ausgangsmaterial mittels Feeder direkt in den Extruder weiterbefördert. Im Kern handelt es sich dabei, um eine aufeinander abgestimmte Prozessführung der Teilprozesse Shredder-Feeder-Extruder, um flexibler auf Schwankungen des Eingangsmaterials reagieren zu können und so Rezyklate mit bedarfsgerechten Werkstoffeigenschaften herzustellen. Bei der Liquid State Polykondensation (LSP) erfolgt die sogenannte Dekontamination also das Reinigen des Materials in der Flüssigphase des PET. Durch dieses Aufbereitungsprinzip können die Eingangsmaterialien flexibler gehalten, unterschiedliche Formen von PET-Abfällen vermischt und recycelt werden sowie die mechanischen Eigenschaften des recycelten PET selektiv gesteuert werden. Hat das Material den LSP-Reaktor durchlaufen, so kann es entweder granuliert oder über nachgeschaltete Anlagenkomponenten wie Extruder, Glättwerk, Schneidvorrichtungen, o.ä. mit definierten optischen und mechanischen Eigenschaften weiter verarbeitet werden [NGR 2018].

Als weitere fortschrittliche Erfassungs- und Recyclingtechnologie ist die getrennte Erfassung von Kunststoffen mit bromierten Flammschutzmitteln zu nennen, wie sie sich auch aus der europäischen Artikel 6 Absatz 1 der WEEE Richtlinie zur selektiven Behandlung¹⁵⁾ ergibt. Im Fokus steht dabei besonders Decabromdiphenylether (DecaBDE), da dieses als einziges der beschränkten Flammschutzmittel noch bis 2008 in großen Mengen eingesetzt wurde, weil sein Einsatz erst nachträglich verboten wurde (vgl. EuGH Urteil ECLI:EU:C:2008:176) und entsprechend in den anfallenden Elektroaltgeräten noch regelmäßig enthalten ist. Da Kunststoffe, die verbotene bromierte Flammschutzmittel enthalten, nicht werkstofflich recycelt werden dürfen, da Produkte aus Recyclingwerkstoffen sonst diese verbotenen Stoffe enthalten würden und es zudem z.Zt. nicht möglich ist, die noch in den Altgeräten vorhandenen Flammschutzmittel PBB, Penta- und OctaBDE separat auszusortieren, müssen alle bromierten Flammschutzmittel abgetrennt werden, um ausschließlich bromfreie Kunststoffe als

¹³⁾ Unter den Melt –Flow-Index wird die sogenannte Schmelze-Volumenfließrate (englisch MVR = Melt Volume-flow Rate) verstanden. Es ist eine Maßzahl zu Charakterisierung des Fließverhaltens (Formmassenprüfung) eines Thermoplasten bei bestimmten Druck- und Temperaturbedingungen.

¹⁴⁾ [NGR 2018]Next Generation Recyclingmaschinen GmbH, HQ, Production & Customer Care Center Europe Gewerbepark 22, 4101 Feldkirchen, Austria: „PET Up/Recycling“. Online verfügbar unter: <http://www.ngr.at/applikationen/pet-uprecycling>. Letzter Zugriff am 15.12.2018

¹⁵⁾ Richtlinie 2002/96/EG, selektive Behandlung gemäß Artikel 6 Absatz 1, Anhang II Nr. 1.

Recyclingwerkstoffe einzusetzen [UBA 2007]. Als halogenfreie Ersatzstoffe zu Decabromdiphenylether kommen Organophosphorverbindungen wie RDP (Resorcinol-bis(diphenyl-Phosphat)) in Betracht. Organophosphorverbindungen werden üblicherweise auch für die Gehäusekunststoffe von Elektrogeräten mit dem Umweltzeichen „Blauer Engel“ eingesetzt, für die ein halogenfreier Flammenschutz gefordert wird [UBA 2007].

Eine weiterführende Recyclingtechnologie für Kunststoffe stellt das **CreaSolv®-Verfahren** dar, das am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) entwickelt wurde. Mit Hilfe dieses Verfahrens lässt sich Antimon zusammen mit Titan aus bromhaltigen Mischkunststoffen von Elektroaltgeräten zurückgewinnen. Antimon findet sich in Form von Antimontrioxid als Flammenschutzmittel in Kunststoffen von Elektrogeräten. Derzeit findet ein Antimonrecycling jedoch überwiegend aus Bleilegierungen statt obwohl flammgeschützte Kunststoffe die Hautanwendung von Antimon darstellen. Die Rückgewinnung von Antimon aus flammgeschützten Kunststoffen steht allerdings vor der Herausforderung, dass sie auch bromierte Flammschutzsysteme enthalten die als persistente organische Schadstoffe nach geltendem Recht sicher separiert und zerstört werden müssen und eben nicht verwertet werden dürfen. Auf der Basis des lösungsmittelbasierten CreaSolv-Prozesses ist es möglich aus bromhaltigen Kunststoffen die Kunststoffe ABS und PS in Lösung zu bringen und Antimon zusammen mit Titan gravimetrisch zu separieren und auszuschleusen. In der nachfolgenden CreaSolv-Extraktion erfolgt die Abtrennung von Brom aus der Polymerlösung. Die flammschutzmittelfreien Polymere werden in einem letzten Schritt vom Lösungsmittel getrennt, granuliert und als Sekundärkunststoffe vermarktet. Um das zurückgewonnene Antimon als marktfähiges Sekundäradditiv für den Wiedereinsatz bereitzustellen bedarf es allerdings noch weiterer thermo-chemischer Aufbereitungs- und Reinigungsschritte [Schlummer 2018].

7 Optimierungspotenziale und Ableitungen von Empfehlungen

7.1 Generelle Optimierungsziele

Elektroaltgeräte zählen aufgrund der enthaltenen Stoffe sowie ihrer Schadstoffgehalte zu den besonderen und zudem europaweit steigenden Abfallströmen [Biletewski, et al 2017]. Aus europäischer Perspektive lassen sich damit als erster Bezugsrahmen grundsätzliche Ziele zum ressourcenschonenden Umgang mit Elektroaltgeräten spezifizieren, wie sie in der europäischen Abfallstrategie „Roadmap to a Resource Efficient Europe“¹⁶⁾ beschlossen wurde.

Zunächst lassen sich demzufolge für Elektroaltgeräte, wie für jeden Abfall auch, übergeordnete Ziele hinsichtlich eines anzustrebenden Umgangs anwenden. Dazu zählt die vollständige Recyclingwirtschaft die auf Wiederverwendung basiert, deren Restabfallaufkommen nahe Null liegt und die energetische Verwertung auf nicht recyclingfähige Werkstoffe begrenzt sowie keine Abfälle deponiert [EU-KOM 2011].

Des Weiteren lassen sich mit Blick auf Elektroaltgeräte als Abfall weitere Zielsetzungen spezifizieren [EU-KOM 2011]:

- Absenkung des absoluten pro-Kopf Aufkommens an Elektroaltgeräten
- Unterbindung der illegalen Verbringung von Abfällen
- Hochwertiges Recycling insbesondere von
 - Werkstoffe die erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt haben und von
 - kritischen Rohstoffen
- Nachfrage nach recycelten Werkstoffen
- Mindestanteile für recycelte Werkstoffe
- Ausweitung der Verantwortung der Hersteller
- Verwendung öffentlicher Mittel vorrangig nach höherer Stufe in der Abfallbehandlungshierarchie
 - Vermeidung vor Verwendung
 - Verwendung vor Verwertung
 - Stoffliche Verwertung vor thermischer Verwertung
 - Werkstoffliche Verwertung vor rohstofflicher Verwertung
 - Recycling vor Beseitigung

Einzubetten ist eine Umsetzung eines derartigen Zielsystems in eine Kombination von Strategien hinsichtlich Produktdesign nach dem Lebenszykluskonzept, verstärkte Zusammenarbeit aller Marktteilnehmer der Wertschöpfungskette, bessere Abfallsammelsysteme, Anreize für Abfallvermeidung und Recycling sowie eines geeigneten rechtlichen Regelungsrahmens [EU-KOM 2011].

¹⁶⁾ [EU-KOM 2011] Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: „Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa“. KOM/2011/0571 endgültig „Roadmap to a Resource Efficient Europe“. Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0571&from=EN>. Zuletzt aufgerufen am 13.12.2018

7.2 Ökodesign

Eine wesentliche Voraussetzung für Recycling und in besonderer Weise für ein qualitativ hochwertiges Recycling mit ambitionierten Recyclingzielen, ist das Zusammenspiel von demontage- und recyclinggerechter Produktkonstruktion und Aufbereitungsverfahren. Da bisherige Zerkleinerungsverfahren aus ökonomischen Gründen auf Massenströme ausgelegt sind, könnte das Recycling von weiteren Rohstoffen wie z.B. der strategischen Metalle stark erleichtert werden, wenn bereits bei der Designplanung elektrischer Geräte und deren konstruktiver Umsetzung die Aufbereitungsverfahren zur Rückgewinnung dieser Rohstoffe beachtet würden. Trotz zahlreicher Normen und Checklisten (z.B.: VDI-Richtlinie 2243 „*Recyclingorientierte Produktentwicklung*“)¹⁷⁾ zum umwelt- und recyclinggerechten Design ist es bisher kaum zu einer Standardisierung der Produktkonstruktionen gekommen. Stattdessen haben zunehmende Komplexität und Leistungsverdichtung der Geräte zu einer Materialvielfalt geführt, welches das Recycling tendenziell erschwert [Behrendt 2018].

Ein Ansatzpunkt liefert die europäische Öko-Design Richtlinie¹⁸⁾. Sie legt allgemeine und spezifische Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte fest, mit dem Ziel ökoeffiziente Produkte zu fördern. Mit Blick auf Elektrokleingeräte ist dabei insbesondere die demontagegerechte Verbindungstechnik, der modulare und austauschbare Aufbau sowie die werkstoffgerechte Verringerung der Materialvielfalt und die Substitution besonders kritischer Stoffe zu nennen.

Zur Förderung recyclinggerecht konstruierter Geräte wird empfohlen gesetzliche Mindeststandards für ein Ökodesign festzulegen und dies mittels Produktkennzeichnung (z.B.: Weitere Integration in die gerätespezifischen Vergabegrundlage des Blauen Engels, Ökodesignlabel, u. ä.) zur Verbesserung der Verbraucheraufklärung zu nutzen. Weiterführende Möglichkeiten liegen in der Schaffung finanzieller Anreize zur Anschaffung umweltschonenderer Elektrogeräte sowie ihre verpflichtende Bevorzugung im Rahmen des öffentlichen Beschaffungswesens (vgl.: [DU 2018]).

7.3 Erfassung

Erhebliches Optimierungspotenzial liegt in der Erfassung von Elektroaltgeräten. Die bisherigen Erfassungsquoten von durchschnittlich ca. 42% stellen einen erheblichen Verlust an Elektroaltgeräten und deren Materialien dar. Durchschnittlich werden jährlich ca. 80.000 Mg kleine Elektroaltgeräte nicht getrennt erfasst, sondern gelangen in den Restabfall oder den illegalen Export [Jokic 2016] vgl. Tabelle 3-9: Jährlichen Materialverluste durch nicht getrennt erfasste kleine Elektroaltgeräte.

Für ein qualitativ hochwertiges Recycling mit ambitionierten Recyclingzielen, insbesondere bei den strategischen Metallen, sind daher eine Ausweitung der Sammelstruktur und eine Erhöhung der Sammelquoten insbesondere auch für Kleingeräte essentiell [Behrendt 2018].

Empfehlenswert ist diesbezüglich eine schrittweise Erhöhung der Sammelquote, eine Rücknahmepflicht für den Handel beim Kauf eines Neugeräts sowie eine Verbesserung beim Vollzug illegaler Verbringung von Altgeräten. Denkbar ist auch eine Pfandpflicht für kleine Elektro-Elektronikprodukte wie z.B. Handys wie sie sowohl vom Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) als auch vom Rat

¹⁷⁾ VDI-Richtlinie: VDI 2243 Recyclingorientierte Produktentwicklung. Online einsehbar unter: https://www.vdi.de/uploads/tx_vdirili/pdf/9276187.pdf. Zuletzt abgerufen am 15.12.2018.

¹⁸⁾ Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte

für nachhaltige Entwicklung (RNE) [Behrendt 2018] sowie von Umweltverbänden z.B.: [DU 2018] gefordert werden.

7.4 Wiederverwendung

Gemäß Hierarchie der Abfallbehandlung (vgl.: Abbildung 5-1) ist die Wiederverwendung prioritär anzustreben. Die Ausweitung der Wiederverwendung und deren Vorbereitung stellen aufgrund der bisher geringen Wiederverwendungsraten von lediglich 1-2 % bei Elektrokleingeräten (vgl.: Abbildung 3-6) ein wichtiges Optimierungspotential dar. Zur konkreten Förderung der Wiederverwendung wird empfohlen, das Separierungsverbot gemäß § 14 Abs. 4 ElektroG-E aufzuheben sowie in § 11 den Zugang von Wiederverwendern zu den Sammelstellen gesetzlich einheitlich zu regeln (vgl.: [DNR o.J.]). Denkbare weiterführende Maßnahmen zur Förderung der Wiederverwendung sind die Verpflichtung für Hersteller, Händler und Kommunen zurückgenommene Geräte schrittweise bis zu einem Anteil von 15 Prozent für eine Wiederverwendung vorzubereiten und den Mehrwertsteuersatz für gebrauchte Produkte von 19 auf 7 % abzusenken [DU 2018].

7.4.1 Reparatur

Um eine Ausweitung der Wiederverwendung voranzutreiben ist die Reparaturfähigkeit von gebrauchten Elektrogeräten eine zentrale Voraussetzung. Hier ist ebenfalls ein erhebliches Optimierungspotential ausschöpfbar. Die Reparaturfähigkeit sollte daher auch im Rahmen des Ökodesign als Konstruktionsmerkmal gestärkt werden und im Rahmen der Verbraucherinformation Eingang in die ökologische Produktkennzeichnung finden. Für Reparaturen ist, analog zu gebrauchten Geräten, ebenfalls ein reduzierter Mehrwertsteuersatz von 7 % empfehlenswert. Zur Ermöglichung von Reparaturen ist eine Verpflichtung für Hersteller denkbar, originale Ersatzteile zu verhältnismäßigen Preisen, kostenfreie Reparaturanleitungen, Explosionszeichnungen und Software-Updates für die erwartete Lebensdauer der Geräte, zumindest jedoch für 7 Jahre, zur Verfügung zu stellen.

7.5 Recycling

Die bisherige Behandlung von Elektroaltgeräten mit ihrer Ausrichtung auf das Recycling von Massenerzeugnissen, ihrer thermischen Verwertung und Beseitigung erfüllt nicht die Anforderungen an ein qualitativ hochwertiges Recycling (vgl. Kap.: 5). Erhebliche Optimierungspotentiale werden in der Demontage und der Separation vor der maschinellen Zerkleinerung -dem sogenannten Pre-Shredding- [Behrendt 2018] sowie der Trenntiefe der aufbereiteten Materialströme gesehen.

Neben diesen verfahrenstechnischen Optimierungspotentialen im Recyclingprozess sind auch konkrete rechtliche Aspekte im Sinne eines geeigneten rechtlichen Regelungsrahmens (vgl.: Kap. 7.1) für ein qualitativ hochwertiges Recycling von Belang. Um den Recyclingerfolg transparent zu halten wird empfohlen für verpflichtende Recyclingquoten anstatt einer Input-basierten Quantifizierung, Output-basierte Recyclingquoten zu Grunde zulegen, die sich zudem noch selbstlernend erhöhen [Sander, u.a., 2018]). Um das Recycling von strategischen Materialien zu erhöhen, sind zudem separate Recyclingquoten für besonders kritischer Technologiemetalle, aber auch für Kunststoffe empfehlenswert. Weitere diesbezügliche Empfehlungen sind Mindestquoten für den Einsatz von Rezyklaten und finanzielle Anreize für Geräte mit hohem Rezyklatanteil (vgl.: [DU 2018]).

7.5.1 Separation

Eine grundlegende Anforderung an ein qualitativ hochwertiges Recycling ist die Entfernung von besonders schadstoffhaltigen Gerätekomponenten. Dies gilt auch für kleine Elektroaltgeräte aus privaten Haushalten. Die Entfernung sollte dabei obligatorisch vor der mechanischen Zerkleinerung erfolgen, um Verschleppungen in den nachfolgenden Trennfraktionen zu verhindern. Dies gilt in gleicher Weise für die Entfernung von Gerätekomponenten mit besonders hohen Wertstoffgehalten wie z. B. Leiterplatten.

7.5.1.1 Kondensatoren

Zu den besonders schadstoffhaltigen Gerätekomponenten zählen PCB-haltige Kondensatoren. Ihre Separation sollte zerstörungsfrei erfolgen, sodass keine Flüssigkeiten austreten. Neben PCB-haltigen Kondensatoren sollte die Separation auch sonstige Elektrolytkondensatoren mit bedenklichen Stoffen umfassen. Um die Verschleppung der Schadstoffe in die nachfolgenden Trennfraktionen aufgrund mangelhafter Entfernung zu verhindern, ist ein Grenzwert (z.B.: 50 mg PCB/kg) für die feinste nicht-metallische Restfraktion (NMRF) empfehlenswert [Sander, u.a., 2018].

7.5.1.2 Batterien

Zu den schadstoffhaltigen Gerätekomponenten die bei einem qualitativ hochwertigen Recycling von kleinen Elektroaltgeräten zu entfernen sind, zählen auch die Gerätebatterien. Die Batterien sind ebenfalls vor der mechanischen Zerkleinerung der Geräte zerstörungsfrei zu separieren. Dabei sollte die Identifizierbarkeit des chemischen Systems der Batterie nach der Separation erhalten bleiben. Um die Demontage und Separation der Gerätebatterien zu gewährleisten, ist eine Entnahmekquote (z.B.: mind. 1,8 kg Altbatterien pro Tonne Kleingeräte-Input) empfehlenswert [Sander, u.a., 2018]. Um die problemlose Austauschbarkeit von Batterien und Akkumulatoren zu gewährleisten, empfiehlt sich zudem eine entsprechende verpflichtende Anforderung an die Produktkonzeption, wie sie in § 4 ElektroG geregelt ist [DNR o.J.].

Bei der Entnahme der Gerätebatterien ist allerdings darauf zu achten, dass dadurch die Möglichkeiten der Wiederverwendung nicht eingeschränkt werden, denn die Neubeschaffung eines hochwertigen Akkumulators kann den Wiederverkaufswert gebrauchter Elektrogeräte schnell übersteigen. Es wird daher empfohlen Batterien und Akkumulatoren solange in Elektroaltgeräte zu belassen, bis über ihrer Wiederverwendbarkeit entschieden wurde [DNR o.J.].

7.5.1.3 Sonstiges

Holz stellt ein leicht separierbares Material dar. Die Entfernung von Holzmaterial ist mit Blick auf seine Verschleppung in nachfolgende Trennfraktionen empfehlenswert. Für ein qualitativ hochwertiges Recycling wird daher vorgeschlagen, Holz und Holzverbundstoffen vor der mechanischen Zerkleinerung aus allen Geräten zu entnehmen und zu separieren. Ggf. ist eine Begrenzung auf Geräte mit einer Kantenlänge von > 25 cm vorzunehmen (vgl.: [Sander, u.a., 2018]).

Staubsaugerbeutel stellen eine besondere Quelle zur Erhöhung der Feinfraktion dar und die Verschleppung seines Inhalts führt damit zu einer Verdünnung der enthaltenen Wertstoffe in den feinsten Trennfraktionen. Daher wird empfohlen Staubsaugerbeutel ebenfalls vor der mechanischen Zerkleinerung zu entnehmen und zu separieren (vgl.: [Sander, u.a., 2018]).

7.5.2 Leiterplatten

Zu einem qualitativ hochwertigen Recycling von kleinen Elektroaltgeräten zählt, insbesondere bei der Zielsetzung auch kritische Metalle zu recyceln, die Entfernung der besonders wertstoffhaltigen Leiterplatten. Sie sollte manuell und vor der mechanischen Zerkleinerung erfolgen. Für einzelne Kleingeräte mit besonders leistungsfähigen Leiterplatten wie z.B. Smartphones, Digitalkameras, DVD-/CD-Player, Spielkonsolen, Navigationssysteme, Router, Festplatten, u. ä. ist eine verpflichtende Separation empfehlenswert. Für die metallurgische Rückgewinnung aus den Leiterplattenfraktionen sind für ausgewählte Metalle verpflichtende Rückgewinnungsraten (z.B.: 90 % für Cu, Ag und Pd im Rückgewinnungsprozess) denkbar [Sander, u.a., 2018]. Ferner ist die verpflichtende Rückgewinnung weiterer Metalle wie Sn, Pb und Sb in den nachgelagerten Prozessketten der Rückgewinnungsanlagen empfehlenswert. Für die Rückgewinnungsanlage selber ist sicherzustellen, dass die BVT-Schlussfolgerungen für die NE-Metallindustrie unter der Industrieemissionsrichtlinie 2010/75/EU erfüllt werden und die BVT- Emissionswerte für PCDD/F eingehalten werden [Sander, u.a., 2018].

7.5.3 Kunststoffe

Kunststoffe stellen aufgrund ihrer Sortenvielfalt, möglichen Einbußen ihrer werkstofflichen Eigenschaften durch das Recycling sowie der enthaltenen Schadstoffe eine besondere Herausforderung für ein qualitativ hochwertiges Recycling dar, denn Kunststoffe in Elektroaltgeräten sind oftmals mit bromierten Flammenschutzmitteln ausgestattet. Zudem ist aufgrund der Zielsetzung der schadstoffarmen Rohstoffkreisläufe, in einer Kreislaufwirtschaft eine Entfrachtung sinnvoll. Durch die Separation von Kunststoffen vor dem mechanischen Aufschluss kann eine Verteilung bromierter Flammenschutzmittel in den Fraktionen aufwandarm minimiert werden. Anzustreben ist eine Separation und Ausschleusung aller halogenhaltigen Kunststoffe sowie eine werkstoffliche Verwertung von halogenfreien Kunststoffen wie die massenrelevantesten Kunststoffe ABS, PP/PE, PS mit möglichst definierten und gleichbleibenden Materialeigenschaften.

Für kleine Elektroaltgeräte wird eine verpflichtende werkstoffliche Verwertung von 10 % der Inputmasse mit einer Steigerung, um weitere 5 % nach 5 Jahren empfohlen (vgl.: [Sander, u.a., 2018]). Diese Forderung deckt sich mit dem Ziel der europäischen Kunststoffstrategie, [EU-KOM 2018]¹⁹⁾ bis 2030 mindestens die Hälfte aller Kunststoffabfälle zu recyceln. Das Umweltbundesamt schlägt diesbezüglich vor, analog zu den Verpackungsabfällen, auch für Elektroaltgeräte spezifische Recyclingquoten für deren Kunststoffanteil festzusetzen. Insgesamt hält das Umweltbundesamt eine werkstoffliche Verwertungsquote für Gesamtkunststoffabfälle von 55 Prozent bis 2030 für realistisch [UBA 2018] und schlägt darüber hinaus vor, Standards für Mindestqualitäten oder Klassifizierung von Rezyklatqualitäten sowie Mindestrezyklatanteile in Produkten, wie zum Beispiel bei Mülltonnen festzusetzen sowie im Rahmen der öffentlichen Beschaffung Kunststoffprodukte mit einem hohen Rezyklatanteil zu bevorzugen [UBA 2018]. Zum Nachweis hoher Rezyklatanteil wird empfohlen auf bestehende Produktkennzeichnungen wie z.B. das RAL- Gütezeichen „Rezyklate aus haushaltsnahen Wertstoffsammlungen“ GZ 720²⁰⁾ zurückzugreifen.

¹⁹⁾ [EU-KOM 2018] Mitteilung der Kommission an das EU- Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: „Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa: Eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft“. COM (2018) 28 final vom 16.01.2018.

²⁰⁾ Gütegemeinschaft Rezyklate aus haushaltsnahen Wertstoffsammlungen e.V. Online einsehbar unter <https://www.ral-guetezeichen.de/ressourcenschonung-durch-recycelten-hausmuell/>. Zuletzt abgerufen am 15.12.2018.

Um eine werkstoffliche Verwertung von halogenhaltigen Kunststoffen zu vermeiden, ist für den Gesamtbromgehalt der Kunststofffraktionen zur werkstofflichen Verwertung, ein Grenzwert zum zulässigen Gesamtbromgehalt (z.B. 900 ppm) empfehlenswert. Bei Grenzwertüberschreitungen ist sicherzustellen, dass die Überschreitungen nicht von den nach POP-VO, REACH und RoHS regulierten bromhaltigen Stoffen herrührt und eine Behandlung der grenzwertüberschreitenden Kunststofffraktion entsprechend der POP-VO²¹⁾ erfolgt. Für den Nachweis der Halogenfreiheit könnte auf die „Definition of Halogen-Free“ der International Electrochemical Commission's (IEC)²²⁾ zurückgegriffen werden.

8 Rahmenbedingungen und Regulierungsansätze

Ziel von Arbeitspaket 2: „Rahmenbedingungen und Regulierungsansätze“ war es zu prüfen, wie die in Arbeitspaket 1 abgeleiteten Anforderungen an ein hochwertigeres Recycling (vgl.: Kap. 5: Analyse der Recyclingqualität) durch geeignete Maßnahmen im Rahmen der bestehenden gesetzlichen und untergesetzlichen Anforderungen im ElektroG implementiert werden könnten bzw. wo ggf. Anpassungen in dieser rechtlichen Rahmung notwendig wären.

Zu diesem Zweck erfolgten

- eine Auswertung der rechtlichen Rahmung aus:
 - den EU Richtlinien 2008/98/EG-Abfallrahmenrichtlinie²³⁾ (AbfRRL), einschließlich der Änderungsrichtlinie 2018/851/EU zur Abfallrahmenrichtlinie²⁴⁾ und der Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronik-Altgeräte²⁵⁾ („WEEE-RL“)
 - sowie der aktuellen Umsetzung in deutsches Recht durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz²⁶⁾ (KrWG) und das Elektro- und Elektronikgeräte-Gesetz²⁷⁾ (ElektroG)
- dahingehend, inwiefern diese Anforderungen an ein hochwertiges Recycling enthalten
- und eine Prüfung möglicher Maßnahmen und ihrer Umsetzbarkeit in den Handlungsfeldern:
 - Steigerung der Erfassungsquote
 - Stärkung der Wiederverwendung
 - Festlegung von Separations- und Recyclingquoten

²¹⁾ EG-Verordnung Nr. 850/2004 vom 29. April 2004 über persistente organische Schadstoffe.

²²⁾ International Electrochemical Commission's (IEC) IEC 61249-2-21:2003: "Materials for printed boards and other interconnecting structures - Part 2-21: Reinforced base materials, clad and unclad - Non-halogenated epoxide woven E-glass reinforced laminated sheets of defined flammability, copper-clad". Online: www.vde-verlag.de/iec-normen/preview-pdf/info_iec61249-2-21%7Bed1.0%7Db.pdf. Zuletzt abgerufen am 15.12.2018.

²³⁾ Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien, *ABl. L 312 vom 22.11.2008*, S. 3–30

²⁴⁾ Richtlinie (EU) 2018/851 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle, *ABl. L 150 vom 14.6.2018*, S. 109–140

²⁵⁾ Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte, *ABl. L 197 vom 24.7.2012*, S. 38–71

²⁶⁾ Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG), vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 9 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808)

²⁷⁾ Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz - ElektroG), vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1739), zuletzt geändert durch Artikel 16 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966)

9 Bestehende rechtliche Anforderungen an ein hochwertiges Recycling

9.1 Vorgehen bei der Identifizierung und Darstellung der rechtlichen Anforderungen

Im Rahmen eines ersten Arbeitsschritts wurden die kürzlich geänderte AbfRRL und das Kreislaufwirtschaftsgesetz dahingehend geprüft, ob diese allgemeinen Abfallgesetzgebungen Anforderungen an ein „hochwertiges“ Recycling von Kunststoffen und Metallen stellen. Anschließend wurde der Betrachtungsrahmen der rechtlichen Rahmenbedingungen auf die speziellere Gesetzgebung für Elektrogeräte in Form der EU Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronik-Altgeräte und ihrer Umsetzung in das nationale ElektroG erweitert, um weitere potenzielle Ansatzstellen für ambitioniertere Recyclingziele zu identifizieren. Die Identifizierung möglicher bestehender Anforderungen an das Recycling wurde dabei mit Blick auf die beiden Aspekte „Produktkonzeption“ und „Umgang mit Produktabfällen“ vorgenommen.

9.2 Ergebnis der Auswertung bestehender rechtlicher Anforderungen

Die AbfallRRL enthält allgemeine Anforderungen insbesondere an den Umgang mit Produkt-Abfällen, worunter auch Elektroaltgeräte fallen.²⁸⁾ Ein grundlegendes Prinzip der AbfRRL bildet die Abfallhierarchie, die in Art.4, Abs.1 normiert ist. Sie legt die Prioritätenfolge im Umgang mit Abfällen fest und sieht vor, dass an oberster Stelle die Vermeidung steht, gefolgt von der Vorbereitung zur Wiederverwendung (VzW), dem Recycling, einer sonstigen Verwertung (thermisch) und zuletzt der Beseitigung. Weitergehende generelle Anforderungen in Hinblick auf die Art und Weise des Recyclings von Produkt-Abfällen finden sich nicht. Gemäß Art. 8 Abs. 1 Satz 2 können derartige Abfälle aber dem Regime der Produktverantwortung unterworfen und in diesem Rahmen auch weitergehende Anforderungen an die Art und Weise der Bewirtschaftung der Abfälle formuliert werden.

Die Umsetzung der AbfRRL in deutsches Recht erfolgt über das KrWG²⁹⁾, in dem sowohl die Abfallhierarchie als auch die Anforderungen an die Produktverantwortung wiederzufinden sind. § 23 Abs. 2 KrWG zur Produktverantwortung, wird hier detailreicher, als dies in der AbfRRL der Fall ist. In diesem wird skizziert welche Anforderungen im Rahmen der Produktverantwortung an die Entwicklung, die Herstellung, die Kennzeichnung aber auch die Rücknahme von Erzeugnissen gestellt werden.

Explizite Anforderungen an ein „hochwertiges“ Recycling von Kunststoffen und Metallen sind weder in der WEEE-RL noch im ElektroG zu finden. Es gibt jedoch Anforderungen, z. B. an das „Handling“ von Elektro- und Elektronikaltgeräten, die ein hochwertiges Recycling unterstützen können. Diese führen allerdings „kausal“ nicht zwingend bereits zu einem hochwertigen Recycling.

Anforderungen an die Art und Weise der Erstbehandlung der EAG sind „nur“ untergesetzlich beschrieben – beispielsweise über die Merkblätter der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA). Die LAGA hat zum Ziel einen bundeseinheitlichen Vollzug des Abfallrechts zu garantieren. Die Merkblätter der LAGA beinhalten bislang keine substantiell über das Gesetz hinausgehenden Anforderungen an die Behandlung in EBA oder den weiteren Verwertungsanlagen. Im Merkblatt 31 B der LAGA zur Behandlung von EAG wird spezifiziert für welche Bauteile eine manuelle Demontage empfohlen ist und wann hiervon abgesehen

²⁸⁾ Vgl. hierzu Anhang „Darstellung der rechtlichen Anforderungen an die Produktkonzeption und an den Umgang mit Abfällen)

²⁹⁾ Die Änderungen der AbfRRL waren zum Zeitpunkt der vorliegenden Studie noch nicht im Kreislaufwirtschaftsgesetz umgesetzt.

werden kann. Zudem wird für ausgewählte EAG beschrieben, wie diese gemäß dem Stand der Technik und der Anforderungen des ElektroG zu behandeln sind. Im LAGA Merkblatt 31 B finden sich bislang keine Quoten zur Entnahme von gefährlichen Bauteilen (Batterien, Kondensatoren) oder von flammgeschützten Kunststoffen (hierauf wird in den Abschnitten 10.3.4 und 10.3.5 näher eingegangen). Da sich die LAGA somit in ihren Merkblättern auf das bestehende Recht bezieht, werden Anforderungen an die Behandlung, die über das geltende Abfallrecht hinausgehen, vermutlich nicht in die Merkblätter der LAGA Einzug halten.

10 Ableitung und Prüfung von Maßnahmen- und Handlungsempfehlungen

In Hinblick auf die Stärkung eines möglichst hochwertigen Recyclings der Ressourcen, die in Elektroaltgeräten „gebunden“ sind, lassen sich drei grundlegende Handlungsbereiche unterscheiden:

- Steigerung der Erfassungsquote von EAG
- Stärkung der Wiederverwendung von EAG nach ihrer Vorbereitung zur Wiederverwendung
- Festlegung von Separations- und Recyclingsquoten

Diesen grundlegenden Handlungsbereichen können jeweils verschiedene konkrete Maßnahmen zugeordnet werden. So ergibt sich das nachstehende Gesamtbild:

Abbildung 10-1 Handlungsbereiche und zugehörige Maßnahmenvorschläge für die Stärkung eines hochwertigen Recyclings

Steigerung der Erfassungsquote von EAG	Stärkung der Wiederverwendung von EAG	Festlegung von Separations- und Verwertungsquoten
<ul style="list-style-type: none"> • Pfandsysteme für EAG • Vollzug bei illegalen Exporten stärken • Vertreiberrücknahme verbraucherfreundlicher gestalten • Informationspflicht zu Entsorgungsmöglichkeiten stärker umsetzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Umsatzsteuersatz auf gebrauchte Produkte verringern • Vorbereitung zur Wiederverwendung stärken • Anforderungen an die Behältnisse zur Sammlung stellen • Gebrauchtgeräte in öffentlicher Beschaffung integrieren 	<ul style="list-style-type: none"> • Output-basierte Recyclingquoten • Materialspezifische Recyclingquoten für kritische Metalle • Materialspezifische Recyclingquoten für Kunststoffe • Separationsquoten für Kunststoffe, die beschränkte Flammschutzmittel enthalten • Separationsquoten für Schadstoffe (Kondensatoren und Batterien)

Nachstehend werden die Handlungsbereiche und die Maßnahmen jeweils nochmals kurz begründet, konkretisiert und in Hinblick auf ihre rechtliche Umsetzbarkeit bewertet.

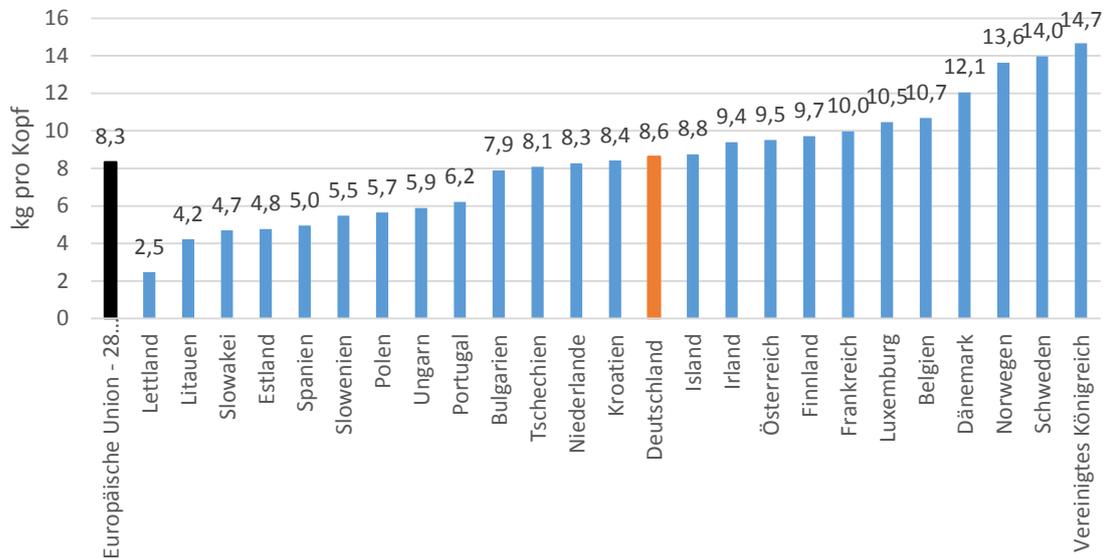
10.1 Handlungsbereich 1: Steigerung der Erfassungsquoten von Elektroaltgeräten

Zentraler Hebel für das Erreichen höherer Kreislaufführungsraten von Ressourcen im Bereich der Elektroaltgeräte ist eine Steigerung der Erfassungsquoten von EAG und damit ihrer Zuführung zu den spezifischen Verwertungssystemen.

Derzeit wird in Deutschland das in der WEEE-RL gesetzte Mindestsammelziel von 45 Gew-Prozent bezogen auf die in den letzten drei Jahren auf den Markt gebrachte Masse an EAG

knapp verfehlt. Dies ist insbesondere relevant, da ab 2019 eine auf den Wert von 65 Gew.-Prozent angehobene Zielstellung gilt.

Abbildung 10-2 Gesammelte Elektroaltgeräte pro Kopf im europäischen Vergleich im Jahr 2016



(Quelle: Destatis)

Um die Erfassungsquote von EAG zu steigern, kann auf der einen Seite der Letztbesitzer der Elektrogeräte dabei unterstützt werden, diese Geräte der Getrenntsammlung zuzuführen. Diese Unterstützung kann dabei von einer möglichst einfachen Verfügbarkeit entsprechender Informationen zu Sammelstellen und Rückgabepflichten, über niedrigschwellig verfügbare Abgabemöglichkeiten bis hin zu gezielten Anreizsystemen für eine Abgabe reichen.

Flankierend zu dieser Unterstützung der Letztbesitzer ist die Stärkung der Maßnahmen gegen den (illegalen) Abfluss von EAG in nicht-geordneten Entsorgungsstrukturen möglicherweise sinnvoll.

10.1.1 Maßnahme 1.1: Prüfung der Einführung eines Pfandsystems für Elektrogeräte

Ein Pfandsystem für Elektrogeräte setzt finanzielle Anreize für den Letztbesitzer des Gerätes, dieses am Ende der Nutzungsdauer einer geregelten Entsorgung zuzuführen. Durch die Aussicht der Pfanderstattung bei Abgabe des Elektrogerätes an einer Sammelstelle soll somit die Hürde zur Rückgabe gesenkt und die Sammelquote erhöht werden. Die hohen Rücknahmequoten von 94-99 % je nach Gebindetyp (Schüler 2017), welche durch das Einwegpfand im Getränkesektor erreicht werden konnten, zeigen welche prinzipielle Steuerungswirkung dieses ökonomische Instrument haben kann.

§ 25, Abs. 1, Nr. 2 KrWG eröffnet Herstellern oder Vertreibern, deren Erzeugnisse einem System der Produktverantwortung nach § 23 KrWG unterworfen sind, grundlegend die

Möglichkeit, ihrer Rücknahmeverpflichtung über die Erhebung eines Pfandes nachzukommen:

„Die Produktverantwortung umfasst insbesondere [...] den Hinweis auf Rückgabe-, Wiederverwendungs- und Verwertungsmöglichkeiten oder –pflichten und Pfandregelung durch Kennzeichnung der Erzeugnisse“.

Derzeit wird dies sowohl im Bereich der Verpackungen wahrgenommen und über §31, VerpackG separat geregelt, als auch im Altfahrzeug Sektor mit einem Pfand auf Starterbatterien, wie er in §10, BattG festgelegt ist. Für Elektrokleingeräte sind bislang nur sehr vereinzelt freiwillige Initiativen einzelner Herstellern zu beobachten³⁰⁾. Ein unternehmensübergreifende Pfandsystem für eine oder mehrere Gerätearten besteht bislang nicht.

Im Getränkesektor konnten seit Einführung des Einwegpfandes hohe Rücknahmeraten erreicht werden. Seit Inkrafttreten der dritten Verordnung zur Änderung der Verpackungsverordnung zum 1. Mai 2006 können alle leeren Einwegflaschen und Dosen überall dort zurückgegeben werden, wo Einweg des gleichen Materials verkauft wird. Ausschlaggebend ist hier allein das Material und nicht die Form, die Marke oder der Inhalt der Verpackungen³¹⁾. Dennoch ist die Anwendbarkeit auf den Bereich Elektrogeräte nur bedingt gegeben, da es sich bei Elektroaltgeräten um einen stark heterogenen Abfallstrom mit großen Unterschieden im Wert der einzelnen Altgeräte handelt. Aufgrund der großen Vielfalt an Elektrogeräten und deren unterschiedlicher Wertigkeit stellt die Festlegung der Pfandhöhe im Gegensatz zum Pfandsystem für Getränkeverpackungen eine Herausforderung dar. Um das System möglichst verbraucherfreundlich zu gestalten und den administrativen Aufwand zu begrenzen, sollte die Pfandhöhe daher über weite Bereiche von Gerätekategorien hinweg gleich hoch sein.

Forschungsbedarf zur Pfandhöhe

An dieser Stelle besteht Forschungsbedarf, denn wissenschaftliche Analysen des Effekts der Pfandhöhe auf das Rückgabeverhalten der Konsumenten sind rar. In den vorhandenen Untersuchungen wurde deutlich, dass die Höhe des angebotenen Pfandes die Bereitschaft ein Elektro(klein)gerät abzugeben deutlich beeinflusst. Bei zu niedrigen Pfandhöhen (z. B. 5 € für ein Handy) beschränkt sich die Bereitschaft zur Rückgabe auf Geräte, die keinerlei subjektiven Wert mehr für den Verbraucher haben, wohingegen bei zu hohen Pfandhöhen (z. B. 100 € für ein Handy) negative Effekte dadurch auftreten können, dass auch Geräte abgegeben werden, welche andernfalls noch an Freunde verschenkt worden wären oder auf dem Gebrauchsgütermarkt eine Wiederverwendung gefunden hätten (Siegmann 2013). In einer repräsentativen Verbraucherumfrage könnte untersucht werden bei welcher Pfandhöhe abhängig vom Gerät eine Lenkungswirkung besteht und basierend auf diesen Informationen könnten Gerätekategorien mit einheitlichem Pfandwert definiert werden.

³⁰⁾ Bei Einreichen eines Pfandformulars und Rücksendung des Handys im Originalkarton wird ein Pfand in Höhe von 22 € in Form eines Shop-Gutscheins zurückerstattet; <https://www.shiftphones.com/pfand/>

³¹⁾ Vergleich hierzu die Erläuterungen der Verbraucherzentrale zum neuen Verpackungsgesetz, <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/umwelt-haushalt/abfall/fragen-und-antworten-zum-einweg-pfand-dosenpfand-11505>

Pfandsystem: Mit besonders ressourcenrelevanten Geräten anfangen

Bei der Einführung von Pfand auf Elektrogeräte könnte mit einzelnen, besonders ressourcenrelevanten Gerätekategorien begonnen werden. Im Hinblick auf die Edelmetalle Gold, Silber und Palladium sowie Gallium und Tantal liegt hier der Einsatzbereich vorwiegend bei Leiterplatten, welche sich wiederum mit unterschiedlichen Metallgehalten in nahezu allen Elektrogeräten wiederfinden. Leiterplatten, welche von Recyclern als besonders wertvoll eingestuft werden, finden insbesondere in Geräten der Informations- und Telekommunikationstechnik (IKT) und speziellen Messgeräten Verwendung (Sander et al. unveröffentlicht). Computer und Laptops beinhalten darüber hinaus Indium und Yttrium (hauptsächlich in LCD-Bildschirmen und Touchscreens) und Neodym sowie Dysprosium, welche sich in den Magneten von Festplatten wiederfinden (Rotter et al. 2012). Eine getrennte Erfassung ohne Vermischung mit weniger ressourcenrelevanten EAG hätte den Vorteil, dass die wertvollen Metalle im Abfallstrom nicht verdünnt werden und spezifische Behandlungsverfahren angewendet werden können. Eine getrennte Kennzeichnung im Handel und auf den Geräten selbst könnte beispielsweise die besonders ressourcenrelevanten Elektrogeräte als solche auszeichnen und hierdurch sowohl für private als auch für öffentliche und gewerbliche Verbraucher kenntlich machen, dass es sich hierbei um Geräte handelt, für die Pfand im Verkaufspreis enthalten ist. Auch bei diesem Pfandsystem für ressourcenrelevante Geräte sollte sich die Pfandhöhe an der Größe und Wertigkeit des Gerätes orientieren.

Offene Fragen

Bei der praktischen Umsetzung eines Pfandsystems ergeben sich abgesehen von der Pfandhöhe weitere Fragen. Geklärt werden müsste beispielsweise wie der Unterschied zwischen pfandpflichtigen und pfandfreien Geräten (z. B. Geräte, die vor Einführung des Gerätspfands verkauft wurden) für den Kunden eindeutig erkennbar gemacht werden und darüber hinaus Betrugssicherheit gewährleistet werden kann. Eine grundsätzliche Frage bei der Einführung eines Pfandsystems ist die nach der Trägerschaft des Systems. Im Falle des Einwegpfands im Verpackungssektor wird diese Rolle von der Deutschen Pfandsystem GmbH (DPG) übernommen, welche das Pfandclearing übernimmt und den rechtlichen und organisatorischen Rahmen für den Ausgleich zwischen den beteiligten Unternehmen stellt. Es könnte ggf. geprüft werden, inwieweit die Stiftung Elektroaltgeräte-Register (ear), ähnlich der DPG für das Getränkeverpackungspfand, die Meldungen der Hersteller und Händler über die zurückgenommenen pfandpflichtigen EAG sowie den Pfandausgleich im System übernehmen könnte. Verbunden mit dem Pfandclearing³²⁾ sind auch die Fragen nach der Verteilung von Kosten und Pfandausfallgewinnen durch Pfandschlupf zu klären. Pfandschlupf tritt dann auf, wenn Geräte für die beim Kauf Pfand gezahlt wurde, nicht dem Sammelsystem zurückgeführt werden und somit der Betrag des Pfandes als Gewinn für das System anfällt, beispielsweise wenn Geräte, auf die ein Pfand gezahlt wurde, ohne Pfandrückzahlung in Depotcontainern aufgegeben werden. Die Etablierung eines Systems, bei dem an den derzeitigen unterschiedlichen Rückgabe- und Sammelstellen (Wertstoffhof, Handel, Rückgabe per Postweg) ein Pfand ausgezahlt wird und über ein Clearing System wieder an

³²⁾ Ausgleichszahlungen zwischen den Beteiligten im System

diese Stellen zurückfließt, wird auch dadurch erschwert, dass unterschiedliche Bundesländer unterschiedliche Sammelstrukturen haben. Aus der Analyse des bestehenden Pfandsystems für Getränkeverpackungen können jedoch Rückschlüsse auf die Voraussetzungen für ein funktionierendes Elektrogeräte-Pfand gezogen werden.

Des Weiteren sollte beachtet werden, dass ein ökonomischer Anreiz zur Rückgabe noch keine Verbesserung des Sammelsystems an sich bewirkt, wie sie z. B. durch eine höhere Dichte der Rücknahmestellen erreicht werden kann. Ein Pfandsystem für EAG kann nicht unabhängig vom bestehenden Sammelsystem betrachtet werden, jedoch kann die Pfandrückzahlung eine Entschädigung für den Aufwand auf Seiten der Verbraucher darstellen, der auftritt um das Gerät zu einer Rücknahmestelle zu bringen. Ein Pfand kann somit einen Anreiz zur Rückgabe bieten. Für den Handel und öffentlich-rechtliche Entsorger (öRE) entstünde durch die Einrichtung von Rückgabeorten mit Pfanderstattung ein Mehraufwand, die Erhöhung der „Besucher“-Zahlen auf Wertstoffhöfen könnte jedoch auch eine Möglichkeit darstellen auch die Sammlung anderer Gerätegruppen zu erhöhen. Denkbar wäre auch eine Rückgabe über Automaten, wie sie in den USA bereits für kleine EAG im Einsatz sind („Eco-ATM“³³), hierbei sind jedoch sowohl der Kostenaufwand zu überprüfen, welcher vom gesamten System zu tragen wäre (Sander et al. unveröffentlicht) ,als auch die abfallrechtlichen Fragen, die sich bei einer Abgabe eines Altgerätes an einen Automaten ergeben.

Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, zunächst die Entwicklung der erfassten Mengen von Elektrokleingeräten zu verfolgen, die sich auf der Grundlage des neuen ElektroG mit der Einbindung des Handels (derzeit > 400 m² Ladenfläche) und dem offenen Anwendungsbereich ergeben. Mit dem Ziel die ambitionierten Sammelziele aus der WEEE-RL einzuhalten, sollten darüber hinaus auch Instrumente, wie die Einführung des Gerätepfands abgewogen werden und im Rahmen von Forschungsvorhaben bereits alle damit verbundenen offenen Fragen geklärt werden.

10.1.2 Maßnahme 1.2: Vollzug des Exportverbots von nicht funktionsfähigen Geräten stärken

Die Mengen illegal exportierter EAG betragen im Jahr 2008 schätzungsweise 155.000 t, welche in Nicht-EU-Staaten und 200.000 t, die innerhalb der EU exportiert wurden (Sander und Schilling 2010). Die Studie „CWIT-Project-Countering WEEE Illegal Trade“ befand, dass nur 35 % aller EAG in Europa (im Jahr 2012) über die offiziellen Sammel- und Verwertungssysteme erfasst wurden (Huisman et al. 2015). Der Export von Geräten, die nicht als Altgeräte deklariert sind, erfolgt oftmals in einem Graubereich der Abgrenzung zwischen Gebrauchtprodukt und Altgerät.

Seit August 2018 gilt mit ElektroG Anlage 6, Art. 3 die sog. „Beweislastumkehr“, gemäß derer grundsätzlich der Exporteur die Funktionsfähigkeit und direkte Wiederverwendbarkeit des exportierten Gerätes belegen muss. Bislang gibt es noch kaum Erfahrungen mit der Um-

³³) Vgl. online: www.ecoatm.com/

setzung der Beweislastumkehr und deren Effekte auf die Menge illegal exportierter Elektroaltgeräte. Weitere Handlungsansätze sind im Folgenden ausgeführt. Sie bestehen im Wesentlichen darin,

- das Monitoring zu verbessern und die Vernetzung zwischen nationalen und internationalen Behörden zu stärken
- sowie den preislichen Wettbewerb zwischen Behandlungsanlagen über ökonomische Instrumente zu entschärfen.

Derzeit krankt der Vollzug insbesondere an fehlendem Personal bei den Zollbehörden, welche auf Ebene der Bundesländer hierfür verantwortlich sind und aufgrund einer steigenden Anzahl an Aufgaben, die ihnen zugewiesen werden, unter Personalengpässen leiden. Um die nachfolgenden Maßnahmen umzusetzen und einen wirksamen Vollzug zu ermöglichen, ist es von ausschlaggebender Bedeutung, dass die Länder finanzielle Unterstützung erfahren.

Verbessertes Monitoring und Vernetzung der nationalen und internationalen Behörden

Eine Chance die Informationslage zu Ressourcenverlusten in Regionen mit niedrigen Recycling-, Umwelt- und Arbeitsstandards zu verbessern besteht in einer Verbesserung des Monitoring der internationalen Stoffströme von Gebrauch- und Neugeräten. Die Einführung separater Codes für Gebrauch- und Neugeräte in die Kombinierte Nomenklatur des Zolls würde eine Differenzierung der Stoffströme in den europäischen Statistiken ermöglichen. Die Möglichkeit, die Initiative zur Realisierung zu ergreifen, wird am ehesten beim Umweltbundesamt (UBA) bzw. Bundesumweltministerium (BMU) in Kooperation mit dem Bundesfinanzministerium (BMF) gesehen (Sander und Schilling 2010).

Das BMF sollte darüber hinaus Anforderungen an die Datenerfassung-, Speicherungs und Auswertungsroutinen für die Export-Datenbanken initiieren, um ein Monitoring des Exports durch die Abfallüberwachungsbehörden und polizeilichen Stellen der Länder zu ermöglichen. In diesem Zugang zu den Export-Datenbanken wird eine wichtige Voraussetzung gesehen, Verdachtsfälle mit polizeilichen Mitteln zu identifizieren und gezielte Kontrollen vornehmen zu können. Risikoprofile solcher Exporte, bei denen ein Verdacht auf illegale EAG Verbringung besteht, sollten entwickelt werden und entsprechende Anwendung finden. Auch international, zwischen europäischen Seehäfen, sollte ein Austausch derartiger Risikoprofile von Exporten gestärkt werden. Der Austausch zwischen den zuständigen Behörden der Bundesländer könnte über den Aufbau eines entsprechenden Netzwerks weiter gestärkt werden. Über dieses Netzwerk sollte es dann auch möglich sein Ergebnisse der Kontrollen von Abfalltransporten zentral zu erfassen und allen Behörden bereitzustellen. (Sander und Schilling 2010)

Entschärfung des ökonomischen Wettbewerbs zwischen Behandlungsanlagen

Eine große Herausforderung für die Reduzierung illegaler Exporte von EAG besteht darin, eine Wettbewerbsgleichheit für Behandlungsanlagen von EAG zu schaffen. Dort wo die Überwachung und der Vollzug der Anlagen lückenhaft sind, bietet es sich den Anlagenbetreibern an, zur Reduzierung des Kostenaufwands bei der Art und Weise der Behandlung

und bei der korrekten Berichterstattung zu sparen. Im Falle einer nicht regelkonformen Behandlung können beispielsweise die Kosten für die Schadstoffentfrachtung, die weitergehende Behandlung, die Entsorgung und Berichterstattung eingespart werden. Marktakteure können sich hierdurch einen Wettbewerbsvorteil verschaffen und darüber hinaus die Preise für die Behandlung auf dem EAG-Recyclingmarkt insgesamt verzerren (Magalini und Huisman 2018; Huisman et al. 2015). Eine Möglichkeit solchen illegalen Praktiken entgegenzuwirken und Wettbewerbsgleichheit für Behandler, die sich an die rechtlichen Vorschriften halten, zu schaffen, besteht darin die Behandlungskosten regelmäßig zu erfassen und eine Untergrenze für die Einhaltung aller rechtlichen Vorgaben zu etablieren (Magalini und Huisman 2018). Vorbild hierfür könnte auch das Schweizer Modell sein in dem die EAG-Behandlung von zwei privatwirtschaftlich organisierten Entsorgungssystemen durchgeführt werden, welche durch eine vorgeschaltete sog. „vorgezogene Recyclinggebühr“ (vRG) auf Neugeräte finanziert werden. Somit kann der Kostendruck bei den Anlagen reduziert werden und es entfällt der Anreiz zur Kostenersparnis durch nicht regelkonforme Behandlung der Geräte bzw. dem illegalen Export nicht funktionstüchtiger Geräte (=Abfälle) ins Ausland.

Infobox Umsetzung der Produktverantwortung für Elektrogeräte: Schweizer Modell und deutsches Modell

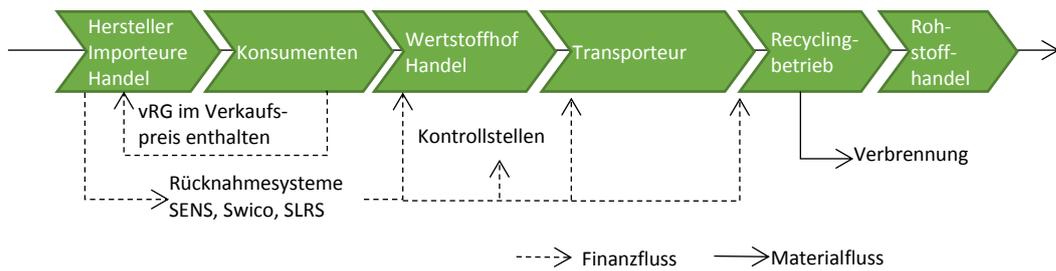
Schweizer Modell

Im Schweizer Modell kommen die Hersteller, Inverkehrbringer und der Handel ihrer erweiterten Produktverantwortung nach, indem sie in die gemeinsame Stiftung SENS e-Recycling³⁴⁾ einzahlen, welche Transport- und Sammelkosten der EAG durch die drei großen Rücknahmesysteme SENS, Swico und SLRS deckt sowie Kontrollen bei den Sammelstellen und die Behandlung der EAG finanziert. Das System ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Diese Art der „finanziellen Verantwortung“ über reine Geldabgaben an eine gemeinsame Stelle ist so auch in mehreren EU-Staaten zu finden mit nationalen Herstellersystemen (unter anderem in Frankreich und Irland).

Einzigartig in der Schweiz ist die „vorgezogene Recyclinggebühr“ (vRG), die beim Kauf eines neuen Gerätes im Gerätepreis inbegriffen ist. Die Einnahmen aus der vRG werden von den Herstellern an die neutrale Stiftung SENS übertragen. Der Letztutzer hat im Schweizer System die Möglichkeit das ausgediente Gerät beim Handel abzugeben (unabhängig von der Marke des Gerätes und der Größe des Ladens), bei öffentlichen Sammelstellen oder direkt beim Hersteller. Die vRG ist kein pauschaler Betrag, sondern wird auf der Basis der Gerätekategorie und dem Gewicht des Gerätes errechnet und ermöglicht somit eine Beteiligung der Hersteller an den Behandlungskosten über die Menge und Art der verkauften Geräte (Albiez 2016).

³⁴⁾ Vgl. online: www.erecycling.ch/

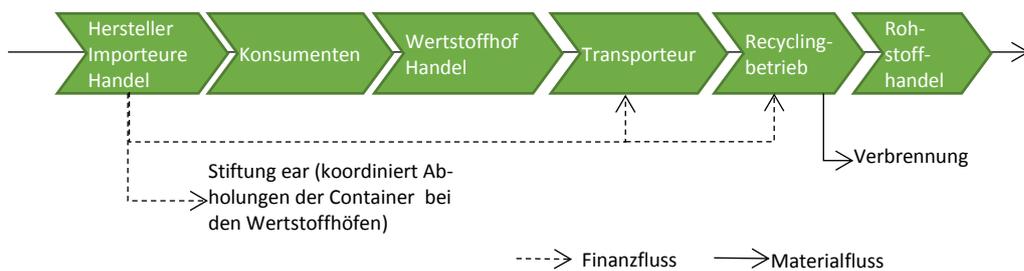
Abbildung 10-3 Schweizer System der Sammlung und Behandlung von EAG



Deutsches System

Das deutsche System dahingegen basiert auf einer operativen Verpflichtung der Hersteller volle Container mit EAG bei den Wertstoffhöfen abzuholen (bzw. abholen zu lassen) und zu einer Behandlungsanlage zu transportieren. Diese Abholung wird koordiniert von der Stiftung ear, die basierend auf den Marktanteilen der Hersteller und der Meldungen der Wertstoffhöfe zu vollen Containern bestimmt, welcher Hersteller wann einen vollen Container abzuholen und durch einen leeren Container zu ersetzen hat, unabhängig von der Marke und Geräteart der gesammelten EAG (Abholkoordination). Somit tragen die Hersteller in Deutschland die wirtschaftliche und operative Verantwortung für die Entsorgung der EAG, wohingegen im schweizer System die Verantwortung durch eine Stiftung getragen wird, welche die Finanzströme verwaltet.

Abbildung 4 Deutsches System der Sammlung und Behandlung von EAG



Im Gegensatz zur operativen Verantwortung im deutschen System ermöglicht die schweizer Lösung die Finanzierung unterschiedlicher Stellen im System, wie die Sammelstellen im Handel (unabhängig der Handelsfläche) und in den Gemeinden, die Kontrolle der Sammelstellen und die Zertifizierung der Recyclingbetriebe nach CENELEC Standards sowie deren Auditierung (SENS et al. 2018).

10.1.3 Maßnahme 1.3: Vertreiberrücknahme so gestalten, dass sie verbraucherfreundlicher ist

Um die Sammelquoten für EAG zu steigern, ist es essentiell die Rückgabemöglichkeiten für den Letzbesitzer eines Elektrogerätes so zu gestalten, dass sie niedrigschwellig erreichbar ist. Neben der Abgabe an kommunalen Wertstoffhöfen, deren Erreichbarkeit oftmals durch eine auf einzelne Tage und begrenzte Zeiten beschränkte Öffnung sowie räumliche Entfernungen eingeschränkt ist, spielt daher die Rückgabemöglichkeit im Handel („Vertreiberrücknahme“) eine wichtige Rolle. Die Rücknahmepflicht von EAG durch den Handel ist im „neuen“ ElektroG in § 17, Abs. 1 und 2 ausgeführt. Seit dem 24. Juli 2016 ist der Handel ab

einer Ladenfläche von mindestens 400 m² für Elektro(nik)geräte in der Verpflichtung sowohl beim Kauf eines neuen Gerätes ein EAG der gleichen Geräteart unentgeltlich zurückzunehmen als auch EAG die in keiner Abmessung größer 25 cm sind ohne Bindung an einen Neukauf zurückzunehmen. Für den Onlinehandel gilt, dass dieser geeignete Rückgabemöglichkeiten in zumutbarer Entfernung zum Letztbesitzer einzurichten hat.

Status Quo der Vertreiberrücknahme in Deutschland

Derzeit wird dieser Rücknahmeverpflichtung des Handels jedoch offenbar z.T. unzureichend nachgekommen, wie Tests der Deutschen Umwelthilfe e.V. ergeben haben (Deutsche Umwelthilfe e.V. 2018).

Die Tests ergaben, dass Kunden derzeit ihre EAG im Handel „nicht oder nur nach mehrmaliger Nachfrage ausnahmsweise“ (vgl. ebd.) abgeben können. Geeignete Rücknahmeangebote gibt es im Filialhandel nur vereinzelt z. B. in Form von stabilen Rücknahmeboxen am Aus- und Eingang der Geschäfte. Der Online-Handel hingegen bietet derzeit ausschließlich die Möglichkeit zum kostenfreien Rückversand der Geräte per Postweg oder die Rücknahme an eigenen Filialstandorten des Unternehmens an (z. B. Obi). Hierfür beauftragen die Online Händler, laut Rücknahmeverzeichnis der Stiftung EAR, Dritte³⁵⁾, welche sich um den Rückversand der EAG vom Letztutzer an die Hersteller kümmern. Rechtlich und aus Sicherheitsgründen ist die Rücknahme von EAG über den Postweg allerdings heikel, da es sich hierbei um Abfall handelt. Insbesondere für die Rücknahme von Altlampen und Geräten mit Lithium-Ionen-Batterien, bei denen die Gefahr der Selbstentzündung besteht, sollte der Postweg vermieden werden und zentrale Rückgabeorte in der Nähe des Konsumenten eingerichtet werden bzw. mitfinanziert werden. Eine derartige finanzielle Verantwortung für die Einrichtung von Sammelstellen ist im deutschen System, in dem der Handel seiner Produktverantwortung über die Einrichtung einer eigenen Rücknahme bzw. die Beauftragung Dritter nachkommen kann, allerdings nicht festgeschrieben (siehe Infobox zum schweizer Modell und deutschem Modell). Die Verpflichtung zur finanziellen Beteiligung an Sammelstellen im Filialhandel oder öffentlichen Sammelstellen der öRE würde eine Umstellung des Systems erfordern.

In Deutschland machte die Rücknahme durch den Handel laut Jahresstatistik der Stiftung ear für die Jahre 2016 und 2017, in denen die Vertreiberrücknahme erstmalig galt, rund 15 % der gesammelten Menge aus, in den Jahren vor 2016 lag der Anteil der im Handel zurückgenommenen Geräte an der Sammelmenge bei rund 5 %.

Status Quo der Vertreiberrücknahme in anderen Ländern

Ein Blick auf diejenigen EU-Mitgliedsstaaten mit den höchsten Sammelquoten zeigt, dass hier die Rückgabesysteme einen hohen Komfort für den Endnutzer aufweisen. Die hohe Sammelquote der Schweiz beispielsweise – 16 kg pro Einwohner verglichen mit knapp 9 kg pro Einwohner in Deutschland – ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass hier alle

³⁵⁾ Im Verzeichnis zu Rücknahmestellen der Stiftung EAR sind flächendeckend 495 Dienstleister genannt, welche für den Online Handel die Vertreiberrücknahme übernehmen, darunter die DHL, UPS, take-e-back und weitere.

Händler, Hersteller und Importeure verpflichtet sind, ausgediente elektrische und elektronische Geräte, von der Art derer die sie in ihrem Sortiment führen, gratis zurückzunehmen. Dies gilt auch, wenn der Kunde kein neues Gerät kauft und ist unabhängig von der Größe der Verkaufsfläche für Elektro- und Elektronikgeräte (Böni 2012). Auch in Irland sind die höheren Sammelquoten von 10,3 kg möglicherweise auf komfortable Rückgabemöglichkeiten zurückzuführen, wie sie über öffentliche Rückgabeaktionen in Regionen mit wenigen Verkaufsstellen oder schlechtem Zugang zu Wertstoffhöfen angeboten werden. Organisiert werden diese öffentlich angekündigten Rückgabeaktionen von einer Herstellerorganisation, die über die Gebühren der Hersteller und Inverkehrbringer sowohl die Sammlung als auch den Transport der EAG finanziert. Schweden erreicht seine hohen Sammelquoten von 14,7 kg pro Einwohner vermutlich durch eine Kombination an hohem öffentlichen Bewusstsein für die Entsorgung von EAG und einem System aus unterschiedlichen Sammelstellen für unterschiedliche Regionen (z. B. mobile Sammlung im ländlichen Raum) welches von den Gemeinden koordiniert und über Herstellerorganisationen finanziert wird (Zotz et al. 2017).

Der Herausforderung „neuer“ Arten von Elektrogeräten gerecht werden

Eine Ausweitung der Rücknahmepflicht des Handels scheint auch im Hinblick auf den offenen Anwendungsbereich, welcher seit 15. August 2018 gilt, sinnvoll. Neu im Anwendungsbereich des ElektroG sind nun z. B. auch Kleidungs- und Möbelstücke mit elektr(on)ischen Bauteilen wie Schuhe mit Blinklichtern oder Massagesessel. Um den wachsenden Abfallstrom dieser „cross-over“ Produkte zu erfassen, ist es essentiell dem Letztbesitzer geeignete und möglichst verbraucherfreundliche Rückgabemöglichkeiten zu bieten und über diese zu informieren. Eine Rückgabemöglichkeit von Kleidungs- und Möbelstücken am Ort des Verkaufes unabhängig von der Verkaufsfläche für Elektro(nik)geräte und ohne Bindung an einen Neukauf verspricht eine höhere Verbraucherfreundlichkeit als wenn die Rückgabe z. B. auf Baumärkte und Elektrofachhändler beschränkt ist.

Verbraucherfreundlichere Rücknahmemöglichkeiten von EAG

Eine Ausweitung der Rücknahmepflicht scheint derzeit im Hinblick auf die dünne Datenlage zu der seit Juli 2016 eingeführten Vertreiberrücknahme jedoch schwer umsetzbar. Ein wesentlicher Schritt wäre damit getan, wenn die derzeit verpflichteten Vertreiber ihrer Verantwortung nachkommen und die EAG-Rücknahme durch entsprechende Angebote verbraucherfreundlich ausgestalten würden. Dies könnte unter anderem durch eine verbesserte Kommunikation der Rückgabemöglichkeiten mit gut sichtbaren Hinweisen z. B. in Filialen, auf Kassenzetteln und Rechnungen der Neugeräte, online auf Produktseiten oder Rücknahmeaktionen in Verbindung mit Verkaufsaktionen geschehen, wie in Abschnitt 0 weiter ausgeführt.

10.1.4 Maßnahme 1.4: Informationspflicht der Verreiber zu Entsorgungsmöglichkeiten konkretisieren und umsetzen

Die Kenntnis der Verbraucher über die bestehenden Rückgabemöglichkeiten und –pflichten ist für die Wirksamkeit aller aufgeführten Instrumente von ausschlaggebender Bedeutung.

Gemäß ElektroG §18, Abs. 2 sind zusätzlich zu den öRE auch die Hersteller, deren Bevollmächtigte und Verreiber in der Pflicht Informationen über die von ihnen geschaffenen Rückgabemöglichkeiten an die privaten Haushalte zu vermitteln – auch unabhängig vom Kauf eines Neuprodukts. Ziel sollte es dabei sein, dass die Kunden offensichtlich und nicht erst auf Nachfrage hin gut verstehbare und konkrete Informationen über die Entsorgungsmöglichkeiten erhalten.

Status Quo der Umsetzung der Informationspflicht

Die derzeitige Umsetzung der Informationspflicht wird diesem Ziel noch nicht umfassend gerecht. Einschlägige Studien³⁶⁾ zeigen, dass im Filialhandel schriftliche Informationen und Hinweisschilder zu Rückgabemöglichkeiten nicht flächendeckend verfügbar sind. Lediglich die Hälfte der getesteten Filialen hatte entsprechende Hinweisschilder. Zudem ist das Verkaufspersonal häufig nicht ausreichend geschult und gibt auf Nachfrage hin falsche Auskünfte bezüglich der Rückgabemöglichkeit in der Filiale und der Entsorgung von Elektroaltgeräten allgemein. Auch im Online-Handel zeichnet sich ein wenig optimistisches Bild. So führte keiner der Online-Händler auf seinen Produktseiten flächendeckend für alle Produkte Informationen zu Rückgabemöglichkeiten an, teilweise waren diese in den Allgemeinen Geschäftsbedingungen (AGBs) versteckt, nur für manche Produkte zugänglich oder lückenhaft.

Konkretisierung der Informationspflicht

Vor diesem Hintergrund erscheint eine weitere Konkretisierung der Informationspflicht zielführend. So wäre es z. B. denkbar, dass bei Neukauf eines Geräts der Kunde verpflichtend über die entsprechenden Rückgabemöglichkeiten eines gleichwertigen Altgerätes in der jeweiligen Region zu informieren ist. Eine konkretisierte Informationspflicht vereinfacht zudem den Vollzug, zudem kann der Vollzug durch die Festlegung einer Bußgeldsumme im ElektroG gestärkt werden.

Auch könnte getestet werden ob die Einführung von Rückgabekleber, wie sie im Handel für Verpackungen zu finden sind, gut sichtbar im Ausgangsbereich des Elektrofachhandels für Elektrokleingeräte aufgestellt und mit Informationen versehen werden. Diese Maßnahme hat Schnittpunkte mit Maßnahme 1.3 zur verbraucherfreundlichen Ausgestaltung der Verreiberücknahme.

³⁶⁾ Deutsche Umwelthilfe e.V. Tests zur Rücknahme von Elektro- und Elektronikgeräten

10.1.5 Übersicht über die Maßnahmen zur Steigerung der Sammelquoten: Chancen, Hemmnisse und Adressaten

Chancen	Hemmnisse	Adressat
<p>Maßnahme 1.1 Prüfung der Einführung eines Pfandsystems für Elektrogeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> Mit der Prüfung einer Einführung von Pfand auf Elektrogeräte bei einzelnen, besonders ressourcenrelevanten Kleingeräten (Gerätekategorien) beginnen 		
<ul style="list-style-type: none"> Hohe Erfassungsquoten erreichbar (vgl. Einweggetränkeverpackungen) Separate Erfassung (und Behandlung) besonders ressourcenrelevanter Geräte möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Heterogener Gerätetypen erschwert einheitliches Pfandsystem Pfand allein vermutlich nicht ausreichend zur Verbesserung des Rückgabesystems 	<p>BMU und/oder Sektorverbände (Forschungsvorhaben fördern)</p>
<p>Maßnahme 1.2 Vollzug des Exportverbots von nicht funktionsfähigen Geräten stärken</p> <ul style="list-style-type: none"> Separate Codes für Gebraucht- und Neugeräte in die kombinierte Nomenklatur des Zolls einführen Zugang zu Export-Datenbanken durch Abfallbehörden und polizeiliche Stellen ermöglichen Aufbau eines Netzwerks zwischen den zuständigen (internationalen) Behörden Untergrenze für Behandlungskosten bei EBA erfassen 		
<ul style="list-style-type: none"> Erschließung des Ressourcenpotentials von ansonsten exportierten Geräten Einführung von getrennten Codes für Neu- und Gebrauchtgeräte in die Nomenklatur des Zolls Zugang zu den Export-Datenbanken für Abfallüberwachungsbehörden und Aufbau eines Netzwerks zwischen den Behörden 	<ul style="list-style-type: none"> Personalengpässe beim Zoll, welcher auf Länderebene für den Vollzug verantwortlich ist Kostensparnis durch nicht vorschriftsgemäße Behandlung von EAG gibt Behandlungsanlagen Wettbewerbsvorteil 	<p>BMF (geeignetes Instrument zu prüfen)</p>
<p>Maßnahme 1.3 Vertreiberrücknahme so gestalten, dass sie verbraucherfreundlicher ist</p> <ul style="list-style-type: none"> Mehr Rückgabeorte in der Nähe der Letztbesitzer einrichten Gemeinsame Finanzierung öffentlicher Sammelstellen auch im ländlichen Raum 		

Chancen	Hemmnisse	Adressat
<p>Ausweitung der Rücknahmepflicht des Handels auf Ladenflächen < 400 m² auch in Hinblick auf Geräte im offenen Anwendungsbereich („cross-over“ Produkte)</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Rücknahmesysteme mit hohem Komfort können Sammelquote möglicherweise steigern (siehe Schweiz, Irland) • Ausweitung der Rücknahmepflicht des Handels auf Ladenflächen < 400 m² auch in Hinblick auf Geräte im offenen Anwendungsbereich („cross-over“ Produkte) sinnvoll 	<ul style="list-style-type: none"> • Rücknahme im Online- und Filialhandel derzeit lückenhaft und nicht verbraucherfreundlich • Versand von EAG über den Postweg ist aus Sicherheitsgründen zu vermeiden und rechtlich heikel • Finanzierung von Sammelstellen durch Hersteller ist im deutschen System nicht vorgesehen 	<p>BMU (Rahmensetzung), Vertreiber, Länder (Vollzug)</p>
<p>Maßnahme 1.4 Informationspflicht der Vertreiber zu Entsorgungsmöglichkeiten konkretisieren und umsetzen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Konkretisierung der Informationspflicht im ElektroG und Vollzug auf Länderebene 		
<ul style="list-style-type: none"> • höhere Erfassungsquoten durch Kenntnis der Verbraucher über Rückgabemöglichkeiten und –pflichten erreichbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Bisher weder im Filialhandel noch im Onlinehandel Informationen flächendeckend verfügbar 	<p>BMU (Rahmensetzung), Vertreiber, Länder (Vollzug)</p>

10.2 Handlungsansatz 2: Stärkung der Wiederverwendung von Elektrogeräten

Abfallvermeidung stellt nach AbfRRL/KrWG die oberste Stufe der Abfallhierarchie dar. Durch die Wiederverwendung verlängert sich die Nutzungsdauer eines Elektrogeräts. Damit können Ressourcen, welche für die Herstellung eines neuen Gerätes verwendet werden würden, eingespart werden und mögliche Schadstofffreisetzungen und Umweltbelastungen durch den Abbau dieser Ressourcen können vermieden werden. Auch vor dem Hintergrund von Energieeffizienzsteigerungen bei neuen Geräten, kann laut einer Ökopol Studie eine verlängerte Nutzungsdauer bis über die technische Lebensdauer hinaus ökobilanziell positiv bewertet werden (Sander et al. 2019). Soweit das Gerät noch funktionstüchtig ist oder (mit annehmbarem Aufwand) repariert werden kann, ist eine Wiederverwendung somit sinnvoll.

Status Quo der Wiederverwendung und der Reparatur in Deutschland

Die Vorbereitung zur Wiederverwendung (VzW) hat in Deutschland derzeit allerdings nur einen Anteil von 1-2 % an der gesamten Sammelmenge. Der größte Anteil, dieser zur Wiederverwendung vorbereiteten Elektrogeräte stammt dabei von Altgeräten aus gewerblichen Nutzungen, die von den Herstellern zurückgenommen werden. Haupthemmnisse für eine stärkere VzW sind die Beschädigungen der Elektrogeräte die aus der derzeitigen Form der Erfassung und des Transports zur Erstbehandlungsanlage (EBA) resultieren. Dies erschwert es den Behandlungsanlagen in ausreichender Menge wiederverwendungsgeeignete Altgeräte zu identifizieren.

Von der VzW getrennt zu betrachten ist die Reparatur und die daraus resultierende verlängerte Nutzung von Elektrogeräten bevor diese zu Abfall werden. Hier erschweren die im Vergleich zu den Neupreisen teilweise unverhältnismäßig hohen Kosten für die Reparatur und für Ersatzteile die weitere Nutzung. Aber auch die Produktkonzeption behindert bei einigen Geräten die Reparaturmöglichkeiten. Hier könnte über finanzielle Ausgleichsmechanismen die Reparatur von Elektrogeräten gegenüber dem Neukauf gestärkt und über rechtliche Vorgaben zum Öko-Design von Produkten ein „Design for Repair“ umgesetzt werden. Anforderungen an eine „Reparatureffizienz“ von Elektrogeräten - konkret an die Verfügbarkeit von Ersatzteilen, den Zugang zu notwendigen Informationen zur Reparatur und zu Reparaturservices - und an die Langlebigkeit der Geräte, wurden erstmals in den Entwürfen der revidierten Verordnungen für Waschmaschinen, Kühlschränke und Bildschirme der Ökodesign Richtlinie³⁷⁾ umgesetzt, welche voraussichtlich ab April 2021 in Kraft treten.

10.2.1 Maßnahme 2.1: Verringerter Umsatzsteuer-Satz auf gebrauchte Produkte und Reparatur

Laut einer Umfrage im Auftrag des Verbraucherzentrale Bundesverbands (vzbv) sehen 74 % der Befragten ein Haupthemmnis für die Reparatur von Elektrogeräten darin, dass eine Reparatur zu teuer wäre (Kantar Emnid 2017). Ein Grund für die hohen Kosten wird darin gesehen, dass eine Reparatur oftmals nur durch den Hersteller möglich ist und dies nach Ende der Garantielaufzeit kostspielig wird. Damit auch unabhängige Dienstleister, Reparaturen anbieten können, müssen dafür Ersatzteile und Reparaturanleitungen von den Herstellern zur Verfügung gestellt werden.

Eine weitere Möglichkeit die Kosten der Reparatur zu senken besteht in einem verminderten Steuersatz für Reparaturdienstleistungen und auf Gebrauchsgütern. Somit könnte die Kostenrelation gegenüber einem Neukauf verbessert und der Anreiz zur Reparatur defekter Geräte gestärkt werden. In Deutschland gilt derzeit ein Standard Steuersatz von 19 % und ein reduzierter Steuersatz von 7 %. Darüber hinaus sind einige Mitgliedstaaten ermächtigt worden, besonders ermäßigte Umsatzsteuersätze (unter 5 %) anzuwenden. Beispiele für einen Nullsatz finden sich in Großbritannien auf die meisten Nahrungsmittel, Arzneimittel und andere Güter des täglichen Bedarfs. Anhang IV der Umsatzsteuerrichtlinie

³⁷⁾ Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte, ABl. L 285 vom 31.10.2009, S. 10–35

(2006/112/EG)³⁸⁾ bietet in Verbindung mit Artikel 106 den Mitgliedsstaaten die Möglichkeit eines reduzierten Steuersatzes auf Reparaturleistungen von „Fahrrädern, Kleidung und Schuhen“. Dieser findet sich derzeit in mehreren Mitgliedsstaaten (Belgien, Luxemburg, Niederlande)³⁹⁾ und könnte auf Reparaturleistungen für Elektrogeräte und den Verkauf von Gebrauchsgütern ausgeweitet werden. Hierfür wäre eine Änderung des deutschen Umsatzsteuergesetzes durch das BMF notwendig.

Eine Studie der spanischen Organisation aeres befand, dass die Einführung eines Nullsatzes für Reparaturdienstleistungen am zielführendsten und die Kosten für den staatlichen Finanzhaushalt nicht signifikant seien (Asociación Española de Recuperadores de Economía 2018). Auch wenn es schwierig die Verbindung zwischen einer Senkung der Umsatzsteuer und einer verstärkten Vorbereitung zur Wiederverwendung zu quantifizieren, so ist doch davon auszugehen, dass sich ein reduzierter Steuersatz deutlich positiv auf die Nachfrage nach Reparaturdienstleistungen auswirken würde.

10.2.2 Maßnahme 2.2: Zerstörungsarme Sammlung und Transport von EAG

§14, Abs.1-3 ElektroG, legen fest, dass die öRE geeignete Behältnisse bereitstellen, welche so befüllt werden, dass ein Zerbrechen der EAG möglichst vermieden wird.

Im Widerspruch zu dieser gesetzlichen Anforderung haben exemplarische Untersuchungen gezeigt, dass sich für EAG der Sammelgruppe 3 (insbesondere Bildschirmgeräte) derzeit vielfach eine Entsorgungspraxis etabliert hat, bei der die Altgeräte weder separat noch bruch sicher erfasst werden. Durch die Sammlung und den Transport in einfachen Containern und insbesondere auch bei einfachen Umladevorgängen (Schütten) werden die EAG z.T. erheblich beschädigt, was nicht nur eine VzW bei der EBA unmöglich macht sondern auch die Gefahr birgt, dass Schadstoffe freigesetzt werden (Brüning 2011).

Entwicklung von Behältnissen für bruch sichere Sammlung und Transport

Ein möglicher Handlungsansatz, um dieser Praxis entgegenzuwirken, ist die Entwicklung geeigneter Behältnisse, welche eine bruch sichere Sammlung und Transport ermöglichen. Diese sind abhängig von der Gerätekategorie zu entwickeln und auf den Sammelplätzen zu testen. Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass fachkundiges Personal an den Rücknahmestellen eingesetzt wird, um eine Verringerung von Beschädigungen der EAG zu gewährleisten.

³⁸⁾ Richtlinie 2006/112/EG des Rates vom 28. November 2006 über das gemeinsame Mehrwertsteuersystem, *ABl. L 347 vom 11.12.2006*, S. 1–118

³⁹⁾ https://ec.europa.eu/taxation_customs/sites/taxation/files/resources/documents/taxation/vat/how_vat_works/rates/vat_rates_en.pdf

10.2.3 Maßnahme 2.2: Umsetzung eines Gesamtkonzepts zur systematische Stärkung der Vorbereitung zur Wiederverwendung

Die Wiederverwendungseignung von EAG ist gemäß § 20 Abs. 1 ElektroG vor der Erstbehandlung der Altgeräte zu prüfen. Bis EAG über die unterschiedlichen Rücknahmewege über den Handel, Wertstoffhöfe oder Depotcontainer die Erstbehandlungsanlage (EBA) erreichen, wo die Prüfung zur Wiederverwendung nach den etablierten Entsorgungskonzepten heute meist durchgeführt werden soll, sind sie aufgrund der eher „robusten“ Sammel- und Transportbedingungen (siehe oben) faktisch meist nicht mehr zur Wiederverwendung geeignet. Auch darüber hinaus fehlte bislang ein Gesamtkonzept, welches dazu geeignet ist das bestehende System der Erfassung, Sammlung und Verwertung von EAG im Rahmen der in Deutschland etablierten geteilten Produktverantwortung so zu transformieren, dass eine verstärkte Nutzung der Option der Vorbereitung zur Wiederverwendung an Attraktivität gewinnt. Im Rahmen eines Ressortforschungsvorhabens des Umweltbundesamts wurde 2018 ein derartiges Gesamtkonzept vorgelegt (Sander et. al, 2018). Nachfolgend werden einige der Kernelemente dieses Gesamtkonzeptes skizziert.

Prüfung der Wiederverwendungseignung direkt nach Übergabe durch den Letztbesitzer

Ein Element ist die verpflichtende Eignungsprüfung für die Vorbereitung zur Wiederverwendung (VzW) aller EAG - und nicht erst bei den Erstbehandlungsanlagen, wenn deutliche zusätzlichen Mengenpotenziale für die Wiederverwendung erschlossen werden sollen.

Die verpflichtende Prüfung der Eignung zur Wiederverwendung gemäß § 20 Abs. 1 Satz 2 ElektroG der EAG müsste folglich direkt bei der Übergabe der Altgeräte von den Letztbesitzern erfolgen, also bei den Sammelstellen der öffentlich-rechtlichen Entsorger (örE), um Beschädigungen aus Erfassung und Transport wirksam zu verhindern.

Die Altgeräte, die im Rahmen dieser Prüfung als potenziell VzW-geeignet eingestuft wurden, wären dann direkt durch die örE zu separieren und einer spezialisierten Wiederverwendungseinrichtung zuzuführen. Dort könnte dann eine vertiefte technische Prüfung und anschließend die eigentliche Vorbereitung zur Wiederverwendung z. B. im Rahmen einer Reparatur oder einer substantiellen Reinigung durchgeführt werden.

Um dieses Vorgehen auch in den Fällen zu ermöglichen, bei denen die örE nicht für die entsprechenden Sammelgruppen optiert haben, müsste das Separierungsverbot des § 14 Abs. 4 ElektroG in derartigen Fällen aufgehoben werden.

Erforderlich wäre dafür eine Änderung des ElektroG, um für die VzW eine generelle Ausnahme vom bestehenden Separierungsverbot an örE-Sammelstellen zu schaffen sowie um die Zuständigkeit für die an diesen Sammelstellen erfolgende, vorgezogene Eignungsprüfung i. S. d. § 20 Abs. 1 Satz 2 ElektroG zu verankern. Die Verordnungsermächtigung des § 11 Nr. 1 ElektroG lässt keine Abweichungen vom ElektroG zu. Sie ermöglicht nur „weitergehende Anforderungen an die Durchführung und Organisation der getrennten Erfassung von Altgeräten, die zur Wiederverwendung vorbereitet werden sollen“. Für die skizzierten Änderungen ist sie daher nicht ausreichend.

Unterstützung spezialisierter Wiederverwendungseinrichtungen

Um einen wirtschaftlichen Betrieb der spezialisierten Wiederverwendungseinrichtungen zu ermöglichen, wäre es darüber hinaus notwendig, das EAG, die sich bei der vertiefenden technische Prüfung als doch nicht für die VzW geeignet herausstellen, kostenfrei von den öRE zurückgenommen und wieder dem „normalen“ Entsorgungsstrom (Optierung oder Abholkoordination) zugeführt werden.

Außerdem würde es für die spezialisierten Wiederverwendungseinrichtungen eine Erleichterung bieten, wenn für sie eine vereinfachte Form der Zertifizierung „nur“ als EBA VzW möglich wäre.

Vorliegende rechtliche Prüfungen legen nahe, dass auch dafür eine entsprechende Anpassung des ElektroG notwendig wäre (vergl. Sander et al. 2018)

Einführung von Quoten für die Zuführung von EAG zur Vorbereitung zur Wiederverwendung

Ein weiteres Instrument, um die VzW zu stärken, könnten Zuführungsquoten pro Gerätegruppe sein. Derzeit besteht lediglich eine gemeinsame Quote für Recycling und VzW, welche mindestens 55 % betragen muss (§ 22, Abs. 1 ElektroG). Der Anteil der EAG welcher in die VzW geht macht dabei derzeit nur 1,3 % der ordnungsgemäß erfassten EAG aus (Jahr 2016). Eine separate Quote für die VzW pro Gerätegruppe könnte als entsprechender Steuerungsanreiz im ElektroG etabliert werden. Die Menge der tatsächlich zur Wiederverwendung vorbereiteten Geräte könnte dann über die Zuführungsquote zur VzW-EBA abzüglich der Geräte, welche diese als nicht wiederverwendbar wieder als EAG verlassen, erfasst werden.

Für die Festlegung einer solchen Quote in einer Höhe die eine deutliche Steuerungswirkung hin zur Stärkung der VzW entfaltet, die aber unter den bestehenden Bedingungen der erfassten EAG auch sinnvoll erreichbar ist, fehlen aktuell die notwendigen Grundlagendaten. Erschwerend kommt hinzu, dass durch den seit August 2018 geltenden „offenen Anwendungsbereich“ des ElektroG, die Mengen und die Zusammensetzungen der EAG nochmals grundlegenden Änderungen unterliegen. Soll eine VzW Quote festgelegt werden, so sollten zunächst die anderen vorstehenden skizzierten Änderungen im Rahmen des Gesamtkonzeptes zur Stärkung der VzW umgesetzt und ein belastbares Monitoring der entsprechenden Mengenströme erfolgen. Auf Basis der Informationen zu dieser veränderten Situation könnte dann eine Quotenfestlegung erfolgen.

10.2.4 Maßnahme 2.4: Verpflichtung der öffentlichen Beschaffung zur Nutzung von Gebrauchtgeräten

Ein Hindernis in Hinblick auf eine deutliche Ausweitung des Anteils der Geräte, die in eine Wiederverwendung gelangen, könnte auch darin bestehen, dass die Nachfrage nach Gebrauchtgeräten z.B. auf Grund entsprechender Vorbehalte ggf. limitiert ist. Die öffentliche Hand hat an dieser Stelle die Möglichkeit über ihre Beschaffung vornehmlich Gebrauchtgeräte zu verwenden und somit Nachfrage zu stärken und eine Vorbildfunktion wahrzunehmen.

Gemäß § 45, Abs.1 Nr. 1 Buchst. c KrWG ist durch die öffentliche Beschaffung zu prüfen, inwiefern „Erzeugnisse eingesetzt werden können, die durch Vorbereitung zur Wiederverwendung oder durch Recycling aus Abfällen hergestellt worden sind.“ Nach Erkenntnissen der Autoren aus Gesprächen mit Beschaffungsstellen im Rahmen von Abfallvermeidungsbestrebungen besteht hier eine signifikante Diskrepanz zur derzeitigen Beschaffungspraxis. Gebrauchtgeräte spielen dabei bislang faktisch keine Rolle.

Um der Vorbildfunktion der öffentlichen Hand beim Thema Gebrauchtgeräte gerecht zu werden, können konkrete Ausschreibungsempfehlungen für die Vergabestellen hilfreich sein, in denen der Fokus auf Geräten aus der VzW oder dem Recycling liegt. Solche Leitfäden und Arbeitshilfen könnten z. B. durch die Kompetenzstelle für nachhaltige Beschaffung in Zusammenarbeit mit dem UBA und beteiligten Organisationen aus der VzW entwickelt werden. Derartige Leitfäden vereinfachen es den Beschaffungsstellen rechtlich sicher für die öffentliche Hand einzukaufen.

Es ist zu prüfen inwieweit sich aus der Aufnahme in die Beschaffungsleitfäden auch Anforderungen an die Qualität der Geräte aus der VzW ergeben. In diesem Zusammenhang wäre die Entwicklung von Qualitätsstandards für die Geräte aus der VzW und dem Recycling anzuraten.

10.2.5 Übersicht über Maßnahmen zur Stärkung der Wiederverwendung: Chancen, Hemmnisse und Adressaten

Chancen	Hemmnisse	Adressat
Maßnahme 2.1 Verringerter Umsatzsteuer-Satz auf gebrauchte Produkte u. Reparatur <ul style="list-style-type: none"> • Verminderter Steuersatz auf Reparatur und Gebrauchtware (z. B. Absenkung auf 7 %) • Ersatzteile und Reparaturanleitungen auch unabhängigen Dienstleistern zur Verfügung stelle 		
<ul style="list-style-type: none"> • Verringerung der Kosten für Reparatur kann diese attraktiver machen gegenüber Neukauf • Reduzierte USt. auf Reparaturdienstleistungen für Elektrogeräte und für gebrauchte Elektrogeräte könnte deren Absatz stärken 	<ul style="list-style-type: none"> • Derzeit (z.T. diskriminierend) hohe Kosten für Ersatzteile und Reparatur von Elektrogeräten • Möglichkeit zur Reparatur oftmals nur bei Herstellern oder professionellen Reparaturstellen 	BMF
Maßnahme 2.2 Umsetzung von Anforderungen an die Behältnisse zur Sammlung <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung und Verwendung von Behältnissen für bruchsichere Sammlung/Transport für Sammelstellen der öRE und des Handels 		
<ul style="list-style-type: none"> • Bruchsichere Sammlung ermöglicht VzW der Altgeräte 	<ul style="list-style-type: none"> • Finanzieller Aufwand auf Seiten der Hersteller 	BMU & Länder

Chancen	Hemmnisse	Adressat
<p>Maßnahme 2.3 Umsetzung eines Gesamtkonzeptes zur systematischen Stärkung der VzW</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Separierungsverbot des § 14 Abs. 4 ElektroG für nicht optierte EAG zum Zweck einer vorgezogenen „vor-Ort“ Prüfung aufheben • VzW-geeignete Geräte direkt am Punkt der Übergabe identifizieren • Unterstützung der Wiederverwendungseinrichtungen durch die Einführung einer „EBA VzW Zertifizierung“ • kostenlose Rückführung von (doch) nicht wiederverwertbaren Geräten in den Verwertungsstrom • Aufnahme einer separaten Quote für die VzW pro Gerätegruppe ins ElektroG 	<ul style="list-style-type: none"> • Gesteigerte Verfügbarkeit wiederverwendungs-geeigneter Geräte durch Eignungsprüfung direkt am Punkt der Übergabe • Stützung der Wiederverwendungseinrichtungen durch spezielle EBA vzW Zertifizierung, kostenlose Rückführung von (doch) nicht wiederverwertbaren Geräten in den Verwertungsstrom • Aufnahme einer separate Quote für die VzW pro Gerätegruppe iins ElektroG 	<ul style="list-style-type: none"> • Derzeitige Entsorgungspraxis führt bei Sammlung und Transport zu Schäden die VzW ausschließen • Vorgezogene Prüfung der VzW Eignung derzeit in vielen Konstellation rechtlich nicht zulässig und nicht finanziert • Fehlende differenzierte Mengenstrominformationen erschweren die Festlegung sachgerechter Zielvorgaben
<p>Maßnahme 2.4 Verpflichtung der öffentlichen Beschaffung zur Nutzung von Gebrauchtgeräten</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Ausschreibungsempfehlungen für Vergabestellen entwickeln • Entwicklung von Qualitätsstandards für Geräte aus der VzW 	<ul style="list-style-type: none"> • Steigerung der Nachfrage nach Gebrauchtgeräten durch die öffentliche Hand • Vorbildfunktion der öffentlichen Hand 	<ul style="list-style-type: none"> • Aktuell faktisch keine Beschaffung von Gebrauchtgeräten
<ul style="list-style-type: none"> • Gesteigerte Verfügbarkeit wiederverwendungs-geeigneter Geräte durch Eignungsprüfung direkt am Punkt der Übergabe • Stützung der Wiederverwendungseinrichtungen durch spezielle EBA vzW Zertifizierung, kostenlose Rückführung von (doch) nicht wiederverwertbaren Geräten in den Verwertungsstrom • Aufnahme einer separate Quote für die VzW pro Gerätegruppe iins ElektroG 		<p>BMU</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Steigerung der Nachfrage nach Gebrauchtgeräten durch die öffentliche Hand • Vorbildfunktion der öffentlichen Hand 	<ul style="list-style-type: none"> • Aktuell faktisch keine Beschaffung von Gebrauchtgeräten 	<p>Kompetenzstelle für nachhaltige Beschaffung, Beschaffungsstellen des Bundes, der Länder und Kommunen</p>

10.3 Handlungsansatz 3: Formulierung differenzierter, materialspezifischer Separations- und Verwertungsquoten

Ein hochwertiges Recycling von Kunststoffen und Metallen aus EAG setzt voraus, dass diese vor den eigentlichen Verwertungsschritten in Fraktionen sortiert werden, die die Anwendung von spezifischen Verwertungsverfahren möglich machen, welche zu einer hohen Ausbeute an qualitativ hochwertigen Recyclingmaterialien führen.

Wie in Abschnitt 9 beschrieben, beinhaltet die derzeitige Gesetzgebung zu Abfall allgemein und Elektroaltgeräten speziell keine konkreten Anforderungen an eine entsprechende Vorbehandlung oder ein hochwertiges Recycling insgesamt. Die gesetzlichen Vorgaben beschränken sich auf massenbezogene Verwertungs- und Recyclingquoten für die einzelnen in den Gesetzestexten definierten Gerätekategorien und benennen Schadstoffe, welche in der Erstbehandlung zu entfernen sind. Hieraus ergibt sich gerade bei kleineren Geräte eine Behandlungspraxis, welche ausschließlich darauf abzielt besonders massenrelevante Materialien und Bauteile zu separieren.

Meist werden die Geräte geshreddert und das Shreddermaterial in die folgenden Zielfraktionen getrennt:

- Eisenmetall-Fraktion
- Nicht-Eisenmetall-Fraktion
 - Aluminium
 - Kupfer- und Edelmetallfraktion
- Gemischte Kunststofffraktion
- Sowie feiner Shredderrückstand

Aufgrund der Trenngrade, die sich bei einer an der Wirtschaftlichkeit orientierten Fahrweise der Anlagen realisieren lassen, finden sich in allen Fraktionen relevante Anteile der jeweils anderen Fraktionen. Diese gehen in den nachfolgenden Verwertungsverfahren entweder verloren (wie Kunststoffe und Aluminium in der Eisenmetallfraktion oder auch einige Edelmetalle in der Kupferfraktion) oder sie führen als Störstoffe zur Reduzierung der Sekundärmaterialqualität (wie z. B. bei Kupfer in der Eisenmetallverwertung oder bei der Vermischung unterschiedlichen Legierungsarten in der Aluminiumverwertung).

Die für eine werkstoffliche Nutzung der Kunststoffe notwendige weitere Sortierung des Shreddermaterials in Kunststoffsorten ist recht aufwändig und erfolgt unter den bestehenden ökonomischen Rahmenbedingungen meist nicht.

Die vorstehend skizzierte Verwertungssituation ist aus einzelwirtschaftlicher Perspektive der Behandlungs- und Verwertungsanlagen rational. Angesichts niedriger und z. T. stark schwankender Preise für einen Teil der Sekundärmaterialien sind Investitionen in gezieltere Vorbehandlungsverfahren oder weitere Post-Shredder Trennverfahren betriebswirtschaftlich schwer realisierbar.

Für eine stärker an der hochwertigen Bewirtschaftung der (natürlichen) Ressourcen orientierte Behandlungs- und Verwertungspraxis sind deshalb entweder verbindliche Vorgaben an die Behandlungsverfahren oder an die Behandlungsziele notwendig.

Da Zielvorgaben mehr Freiräume für technologische Entwicklungen lassen als die Festlegung von Verfahrensschritten, werden nachfolgend unterschiedliche Ansätze zu einer stärker ressourcenorientierten Ausgestaltung der Quotenvorgaben vorgeschlagen.

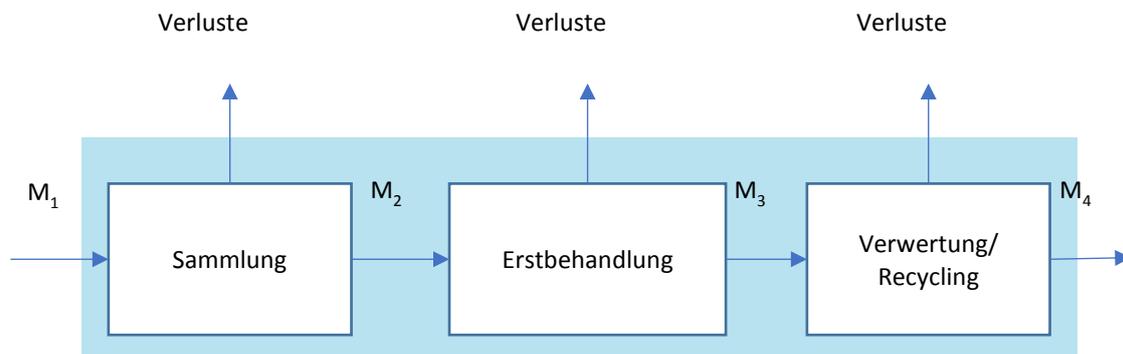
10.3.1 Maßnahme 3.1: Anpassung der Bezüge der Recyclingquote

Ziel einer angepassten Recyclingquote wäre, dass weniger massenrelevante, dafür jedoch umso ressourcenrelevantere Bauteile, wie Platinen, Magnete und Hintergrundbeleuchtung aus Bildschirmen (Sander, Otto, Rödiger, & Wagner, 2018) bei der Behandlung abgetrennt und anschließend separat gezielten Vorbehandlungs- und Verwertungsverfahren zugeführt werden.

Status Quo der Berechnung der Recyclingquote

Abbildung 10-4 stellt die Prozesskette im Recyclingsystem vereinfacht dar und hilft dabei die vorgeschlagenen Anpassungen der Quotenberechnung nachzuvollziehen. Die Berechnungsmethode für die kombinierte Quote aus dem Recycling und der Vorbereitung zur Wiederverwendung wird derzeit in § 22, Abs.1 ElektroG festgelegt. Danach berechnen sich die Quoten auf Basis des Gewichts der Altgeräte(-Teile) einer Gerätekategorie welche einer Verwertungsanlage zugeführt werden (M_3), geteilt durch die Masse an Altgeräten dieser Gerätekategorie die insgesamt getrennt erfasst wurden (M_1). Es handelt sich demnach um eine sogenannte „Zuführungsquote“.

Abbildung 10-4 Vereinfachtes Schema der Recyclingprozesse mit den Massenströmen M_1 - M_4 aus den einzelnen Prozessschritten



Eine Berechnung auf der Basis des Gewichts der der Verwertung zugeführten Altgeräte(- Teile) führt dazu, dass bei der Zerkleinerung und anschließenden Sortierung der EAG besonderer Fokus auf die massenrelevanten Elemente wie Kupfer und Eisenmetalle gelegt wird um die Quoten einzuhalten. Darüber hinaus ermöglicht das derzeitige Monitoring der Quoten rein auf der Ebene gewichtsbasierter Zuführungsquoten zur Verwertung keinerlei Aussage über die Qualität des Recyclings und die Hochwertigkeit oder Menge der aus der Verwertung resultierenden Output-Fractionen (M_4) abzüglich der Verluste im Recycling.

Outputbezogene Quoten einführen

Prinzipiell ergeben sich die folgenden Möglichkeiten für die Anpassung von Quoten:

- Die massenbezogenen Quoten werden nicht mit dem Input in die Verwertungsanlage (M_3) berechnet, sondern dem Output (M_4), welcher den Recyclingprodukten entspricht. Da die Verwertungsanlagen, welche in der Regel spezialisiert sind auf Kunststoffaufbereitung, Eisen-, Aluminium- oder Kupferschmelzprozesse nicht nur für die Verwertung von EAG betrieben werden, sondern Stoffströme unterschiedlicher Herkunft verwerten, ist eine direkte Zuordnung der Recyclingprodukte (Polymer-Regranulate, Eisen, Kupfer, Aluminium, etc.) zu aus EAG herstammenden Input-Materialien allerdings regelmäßig mit großen Unschärfen und Unsicherheiten verbunden.
- Zusätzlich zu den massenbezogenen Quoten, werden materialspezifische Quoten definiert, welche auf Basis des Shreddermaterials, welches in die Verwertungsanlage geht, berechnet werden. Da die Materialien welche einer Verwertung zugeführt werden, dem Output der Erstbehandlungsanlage (M_3) entsprechen, sind solche Quoten Steuerungsmöglichkeiten für die Prozesse bei den EBA. Solche „Erstbehandlungsquoten“ können sowohl materialspezifisch (z.B. 10 Gew. % Kunststoff des Gesamtinputs Elektrokleingeräte müssen einem Recycling zugeführt werden) als auch bauteilspezifisch sein (z.B. eine Leiterplattenfraktion mit 4 Gew. % des Gesamtinputs Flachbildschirmgeräte muss abgetrennt und einem Recycling zugeführt werden).

Mögliche materialspezifische Quoten für die Stoffströme, welche am Ende der Erstbehandlung die EBA verlassen, werden im folgenden Abschnitt für kritische Metalle und Kunststoffe genauer betrachtet.

10.3.2 Maßnahme 3.2: Materialspezifische Recyclingquoten für kritische Metalle

Materialspezifische oder auch bauteilspezifische Recyclingquoten besitzen im Gegensatz zu massenbezogenen Quoten, wie sie derzeit in der WEEE-RL und im ElektroG zu finden sind, den Vorteil einer größeren Steuerungsmöglichkeit der Behandlung von EAG. Ziel derartiger Quoten wäre die Abtrennung und Aufkonzentrierung kritischer Metalle und Kunststoffe während der Behandlung, um diese separat der Verwertung zuführen zu können.

Auf Grundlage der Verordnungsermächtigung des § 24 Abs. 2 ElektroG ist die Bundesregierung ermächtigt eine Verordnung zu erlassen, welche weitergehende Anforderungen an die Behandlung von Altgeräten festlegt. Diese Anforderungen können prozessbezogen, informationsbezogen oder materialbezogen sein, z. B. in Form materialspezifischer Quoten.

Im Gegensatz zu materialunspezifischen, gewichtsbasierten Recyclingquoten können spezifische Quoten für das Recycling bestimmter Materialien oder Bauteile – beispielsweise von Kunststoffen, Leiterplatten und Magneten – nicht auf den Gesamtstrom der getrennt erfassten EAG bezogen werden. Sie müssen sich auf die Zusammensetzung des Altgeräte-Stroms beziehen, welcher die EBA erreicht. Eine Quote für Leiterplatten von 4 Gew. % des Gesamtinputs Flachbildschirmgeräte beispielsweise muss basiert sein auf einem experimen-

tell und durch die Erfahrung der EBA bestätigten Gehalt an Leiterplatten in der Sammelgruppe 2 (Bildschirme, Monitore und Geräte mit Bildschirm mit einer Oberfläche von mehr als 100 cm²).

Da sich diese Zusammensetzung erfahrungsgemäß kontinuierlich mit den auf dem Markt befindlichen Produkten verändert (zeitlich versetzt um die Nutzungsdauer), müssten solche materialspezifischen Quoten regelmäßig über Zerlegeversuche der Produktgruppen überprüft und zusätzlich sowohl über Zukunftsprognosen der Materialzusammensetzung des EAG-Stroms als auch hinsichtlich der Entwicklung von Behandlungs- und Verwertungstechniken entsprechend angepasst werden, um die Entwicklung nicht zu beschneiden und bestehende Ressourcenpotenziale zu heben. Wenn solche offiziellen Zukunftsprognosen öffentlich gemacht werden und die dynamischen Recyclingquoten den EBA frühzeitig bekannt gemacht werden, können sie auch einen Impuls zur Investition in fortgeschrittene Behandlungs- und Verwertungstechniken erzeugen, in die nicht investiert würde, wenn die zukünftige Menge und Zusammensetzung des Inputs bzw. die Nachfrage mit Unsicherheiten behaftet wäre.

10.3.3 Maßnahme 3.3: Materialspezifische Recyclingquoten für Kunststoffe

Materialspezifische Recyclingquoten für Kunststoffe könnten dazu dienen diese Art der Verwertung gegenüber der thermischen Verwertung zu stärken. Entsprechend einer Studie für das „Nordic Council of Ministers“ von Baxter (2014) beträgt der Anteil von Kunststoffen in EAG zwischen 5 % und 20 % (siehe Tabelle 10-1). Allerdings sieht das ElektroG – im Gegensatz zur Altfahrzeugverordnung⁴⁰⁾ – keine Separation von Kunststoffteilen vor.

Alle aufgeführten Gerätearten in dieser Tabelle können gemäß der Definition des ElektroG seit dem 01.12.2018 in die Sammelgruppe 5 (SG 5) fallen, da diese Kleingeräte und kleine Geräte der Informations- und Telekommunikationstechnik umfasst, die in keiner äußeren Abmessung mehr als 50 cm messen und keine Bildschirme größer 100 cm² beinhalten.

Tabelle 10-1 Kunststoffgehalt je Gerätekategorie nach Anhang II der WEEE-RL; Quelle: (Baxter et al. 2014)

Gerätekategorien	Kunststoffgehalt (Gew.-%)
IT- und Telekommunikationsgeräte	20 %
Unterhaltungselektronik, Beleuchtungskörper, Werkzeug, Medizingeräte	20 %
Spielzeug, Freizeit-, Sportgeräte, Überwachungs-, Kontrollinstrumente	5 %

⁴⁰⁾ Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen (Altfahrzeug-Verordnung - AltfahrzeugV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. Juni 2002 (BGBl. I S. 2214), zuletzt geändert durch durch Artikel 3 der Verordnung vom 2. Dezember 2016 (BGBl. I S. 2770)

Aus den etwa 20 % Kunststoffgehalt der SG 5 können derzeit nur die massenrelevanten Polymere ABS, PP/PE und PS werkstofflich verwertet werden, da die restlichen Kunststofffraktionen in zu geringen Konzentrationen im Abfallstrom vorliegen, um die notwendigen Separationsschritte wirtschaftlich tragfähig zu machen.

Für Elektrokleingeräte in der SG 5 machen die genannten Polymere ABS, PP/PE, PS durchschnittlich 80 % des gesamten Kunststoffanteils aus (Dimitrakakis et al. 2009). Die Separation dieser Polymertypen kann mittels einer Kombination der etablierten Sortiertechniken

- Schwimm-Sink-Trennung (über die Dichte der Polymere),
- elektrostatische Trennung (durch das triboelektrische Verhalten der Polymere)
- und eine mechanische Trennung unterstützt durch Nah-Infrarot Sensoren,

erfolgen, welche in der Lage sind unterschiedliche Polymerarten zu detektieren sowie über Röntgenfluoreszenzanalyse bromierte Flammschutzmittel (FSM) zu erkennen.

Hinsichtlich dem Gehalt von Flammschutz in Elektrokleingeräten liegen widersprüchliche Daten vor. In Geräteanalysen konnten insbesondere in Haushaltskleingeräten die heiß werden, durchaus bromierte Flammschutzmittel nachgewiesen werden (vgl. Tabelle 3-13). Laut Informationen aus der Verwertungsbranche hingegen kann entnommen werden, dass Haushaltskleingeräte nahezu keine FSM beinhalten (Sander et al. 2016), wohingegen der Anteil flammgeschützter Kunststoffe in Telekommunikationsgeräten, welche ebenfalls in SG 5 anzutreffen sind, laut entsprechender Studien (Wäger et al. 2010) circa 75 % entspricht. Aus den Separationsverfahren zur Abtrennung der wirtschaftlich verwertbaren Polymerfraktionen von den Restpolymeren und den Kunststoffen, welche bromierte FSM enthalten, erreichen Kunststoff-Recyclinganlagen derzeit eine Ausbeute von 50-70 % des Inputs in die Verwertungsanlage. Diese Ausbeute kann dann tatsächlich werkstofflich verwertet werden, wohingegen die restlichen 30-50 % gemischte und/oder flammgeschützte Polymere einer thermischen Verwertung zugeführt werden (Baxter et al. 2014; Sander et al. unveröffentlicht).

Materialspezifische, dynamische Recyclingsquoten einführen

In Anbetracht der derzeit erreichbaren Recycling-Ausbeute von etwa 70 % des Kunststoffs, könnte bei einem angenommenen Kunststoff-Gehalt von 20 % der EAG der Elektrokleingeräte eine separate Recyclingquote für Kunststoffe mit circa 15 Gew. % des Gesamtinputs dieser SG 5 angesetzt werden. Diese Quote sollte dynamisch an die sich verändernde Zusammensetzung der SG 5 und auch hinsichtlich verbesserter Separationstechnologien angepasst werden. Bei einer Anhebung der Kunststoff-Recyclingquote ist jedoch zu beachten, dass die Recyclingprodukte weiterhin hohen Qualitätsanforderungen entsprechen müssen, um einen Absatz auf dem Kunststoffmarkt zu finden. Hier sind insbesondere Anforderungen an den beschränkten Gehalt gefährlicher Stoffe von Bedeutung, welche die Menge an werkstofflich verwertbaren Kunststoffen einschränkt. Die Definition einheitlicher Zielqualitäten für werkstofflich zurückgewonnene Kunststoffe z.B. über entsprechende Standardisierungen würde sowohl die Steuerung der Verwertungsprozesse als auch den Absatz der Sekundärmaterialien vermutlich deutlich unterstützen.

10.3.4 Maßnahme 3.4: Separationsquote für flammgeschützte Kunststoffteile

Ziel einer Separationsquote für flammgeschützte Kunststoffe wäre das Erreichen einer höheren Reinheit bei der Kunststofffraktion, um eine werkstoffliche Verwertung zu ermöglichen. Die EU-Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (Richtlinie 2011/65/EU⁴¹) – „RoHS Richtlinie“, die durch die Elektro- und Elektronikgeräte-Stoff-Verordnung⁴² (ElektroStoffV) in deutsches Recht umgesetzt ist, legt fest, welche gefährlichen Stoffe im Fokus für EAG und Kunststoffe aus EAG stehen – vier Schwermetalle und zwei Arten von bromierten Flammschutzmitteln (BFSM). Das Vorhandensein dieser Stoffe über den Grenzwerten schließt eine werkstoffliche Verwertung der Kunststoffe rechtlich aus und sieht vor, die darin enthaltenen persistenten organischen Schadstoffe durch thermische Verwertung zu zerstören oder unumkehrbar umzuwandeln. Die Grenzwerte liegen bei maximal 0,01 % (100 ppm) des Gewichts je Werkstoff für Cadmium und 0,1 % (1000 ppm) für Quecksilber, Blei, sechswertiges Chrom, polybrominierte Biphenyle (PBB) und polybromierte Diphenylether (PBDE). Ziel des Recyclings sollte also eine möglichst gründliche Abtrennung der mit BFSM verunreinigten Kunststoffe vom restlichen Abfallstrom (durch entsprechend geeignete Trennaggregate) sein.

Status Quo der Separation flammgeschützter Kunststoffbauteile

Da keine Informationen über die flammgeschützten Bauteile bei den Erstbehandlern vorliegen und auch keine einfachen Erkennungsmethoden für diese verfügbar sind, können die BFSM-Kunststoffe nicht direkt bei einer Zerlegung abgetrennt werden, sondern werden erst geschreddert und dann mittels geeigneter Trennaggregate möglichst gründlich vom restlichen Kunststoff-Strom getrennt. Dies kann durch Verfahren der Dichtentrennung, mit Nahinfrarot (NIR) und Röntgenanalytik (XIR) erfolgen, jedoch kann nie von einer absolut reinen Trennung ausgegangen werden.

Prinzipiell gehen hohe Ausbeuten an Kunststoffen für eine werkstoffliche Verwertung mit Qualitätsverlusten des Rezyklats einher und eine optimale Abtrennung kann nur auf Kosten der Ausbeute oder durch eine kostenintensive Kombination von Separationsschritten erfolgen. Somit ergeben sich sowohl Verluste an „sauberen“ Kunststoffen welche fälschlicherweise aussortiert wurden, als auch Verunreinigungen der einzelnen Polymerfraktionen welche recycelt werden. Gängige Praxis ist es daher recycelte Kunststoffe in niedrigen Konzentrationen mit Neugranulat („virgin“ Material) zu vermischen um die darin enthaltenen Schadstoffe zu verdünnen (Tange et al. 2013).

⁴¹) Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten, ABl. L 174 vom 1.7.2011, S. 88–110

⁴²) Elektro- und Elektronikgeräte-Stoff-Verordnung vom 19. April 2013 (BGBl. I S. 1111), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 3. Juli 2018 (BGBl. I S. 1084)

Technologische Entwicklung durch Einführung einer Separationsquote und die Entwicklung von Branchenstandards vorantreiben

Um das Ziel eines hochwertigen Kunststoffrecyclings zu erreichen, sind bessere Methoden zur Erkennung und Separation der BFSM nötig. In mehreren Versuchen wurde untersucht, inwiefern eine manuelle Zerlegung der Geräte mit einer Erkennung der BFSM unter Anwendung von XIR und NIR vor dem Shreddern oder über eine Liste der Geräte, welche gemäß der Erfahrungen oft belastet sind zu besseren Abscheideraten und Reinheiten führen kann (Tange et al. 2013; Sander et al. unveröffentlicht; Sander et al. 2016). Eine manuelle Separation der BFSM-Kunststoffteile wäre mit höheren Kosten verbunden, wobei kein Konsens darüber besteht, ob eine Abtrennung auf Basis einer „Verdachtsliste“ zu einer effizienteren Abtrennung führt. Über eine sensorgestützte Erkennung von BFSM vor einer mechanischen Zerkleinerung konnten geringe Verunreinigungen der „sauberen“ Kunststofffraktion erreicht werden, jedoch bisher nur in einzelnen Versuchen und nicht im industriellen Maßstab. Weitere Forschung ist notwendig um mögliche Separationstechnologien oder Verfahrensweisen für eine bessere Abtrennung von BFSM-Kunststoffteilen bzw. Kunststoffen zu entwickeln.

Um solche Technologieentwicklungen bei den Recyclingbetrieben zu fördern, ist es wichtig für wirtschaftliche Anreize für ein höherwertiges Recyclingprodukt zu sorgen. Hierfür besteht die Möglichkeit die Qualität von Sekundärkunststoffen aus EAG genau zu definieren um somit einen Markt für Sekundärmaterialien einer definierten Qualität zu schaffen und deren Absatz zu fördern. Die Anforderungen an diese Qualitäten wären, ähnlich wie unter Abschnitt 10.3.3 beschrieben, etwa in Branchenstandards unter Einbezug relevanter Industrieakteure zu definieren. Ob ein Verweis auf diese Standards sinnvollerweise in die in der Erarbeitung befindliche Behandlungsverordnung aufzunehmen wäre, wäre zu prüfen.

10.3.5 Maßnahme 3.5: Separationsquote für Gerätebatterien und Kondensatoren

Der Anforderung zur Schadstoffentfrachtung von EAG gemäß § 20, Abs. 2 ElektroG, kommen die Betreiber der Erstbehandlungsanlagen derzeit auf unterschiedliche Art nach. Manche Erstbehandler entfernen Batterien, Kondensatoren und andere Bauteile, die Schadstoffe nach Anlage 4 ElektroG enthalten, nach einem schonenden mechanischen Aufschluss der Geräte andere durch eine ausschließlich manuelle Demontage. Wichtig ist hierbei, dass die Batterien möglichst unbeschädigt bleiben und nach der Entfernung identifizierbar sind, um in die elektrochemischen Verwertungssysteme sortiert werden zu können. Neben der Identifizierbarkeit der Batterien steht hier vor allem die Sicherheit im Vordergrund. Beschädigte Batterien gasen ggf. aus und stellen eine Gefahr für Mitarbeiter dar, zudem können durch beschädigte Lithium-Ionen-Batterien durch Selbstentzündung Brände in der EBA, beim Transport zur Verwertungsanlage oder in der Verwertungsanlage selbst entstehen. Eine Verwertung beschädigter Batterien ist hingegen nur noch unter besonderen Sicherheitsvorkehrungen möglich. Das LAGA Merkblatt M 31 B empfiehlt daher die möglichst schonende manuelle Entnahme noch vor einer maschinellen Zerkleinerung der Geräte. Ein mechanischer Grobaufschluss sollte vermieden werden, sofern die Batterien lose entnommen werden können und nur bei fest verbauten Batterien gefolgt von einer manuellen Entnahme zum Einsatz kommen.

Batterien sind vor allem in Bezug auf Kleingeräte relevant in denen sie häufig zum Einsatz kommen. Eine Übersicht über die Art der Schadstoffentfrachtung und die Menge der entnommenen Batterien bei den EBA liegt nicht vor, laut Informationen der Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien stammen 30 % der Altbatterien aus EAG (Sander et al. 2018). Diese Erreichen das Gemeinsame Rücknahmesystem (GRS) teilweise in stark beschädigtem Zustand, welcher die Identifizierung und stoffliche Verwertung stark einschränkt (vgl. ebd.). Eine spezifische Separationsquote von Gerätebatterien wäre demnach sinnvoll.

Auch für (Elektrolyt-) Kondensatoren, welche anorganische und organische Säuren mit verschiedenen Lösemitteln und Additiven für den Korrosionsschutz enthalten, gilt die Empfehlung, Geräte, die diese enthalten, nur dann mechanisch zu öffnen, wenn sichergestellt werden kann, dass die Kondensatoren dabei nicht beschädigt werden. Besonders Kondensatoren, die polychlorierte Biphenyle (PCB) enthalten, welche wegen ihrer hervorragenden chemischen und physikalischen Eigenschaften von 1929 bis etwa 1990 als Hydrauliköle, Schmier- und Flammenschutzmittel und als Dielektrikum in Kondensatoren eingesetzt wurden (chemsuisse 2011), stellen eine Gefahr für Mensch und Umwelt dar, wenn sie unsachgemäß behandelt werden. Beim Shreddern PCB-kontaminierter Metallfraktionen werden PCDD und PCDF (polychlorierte Dibenzodioxine und -furane) freigesetzt. Heute ist die Verwendung und das Inverkehrbringen von PCB in Produkten verboten, jedoch können in Ausnahmefällen z. B. aus dem Rückbau alter Gebäude noch EAG, mit PCB-haltigen Kondensatoren in die Verwertung gelangen, insbesondere Deckenleuchten, Ölbrenner und Dunstabzugshauben (Sander et al. 2018).

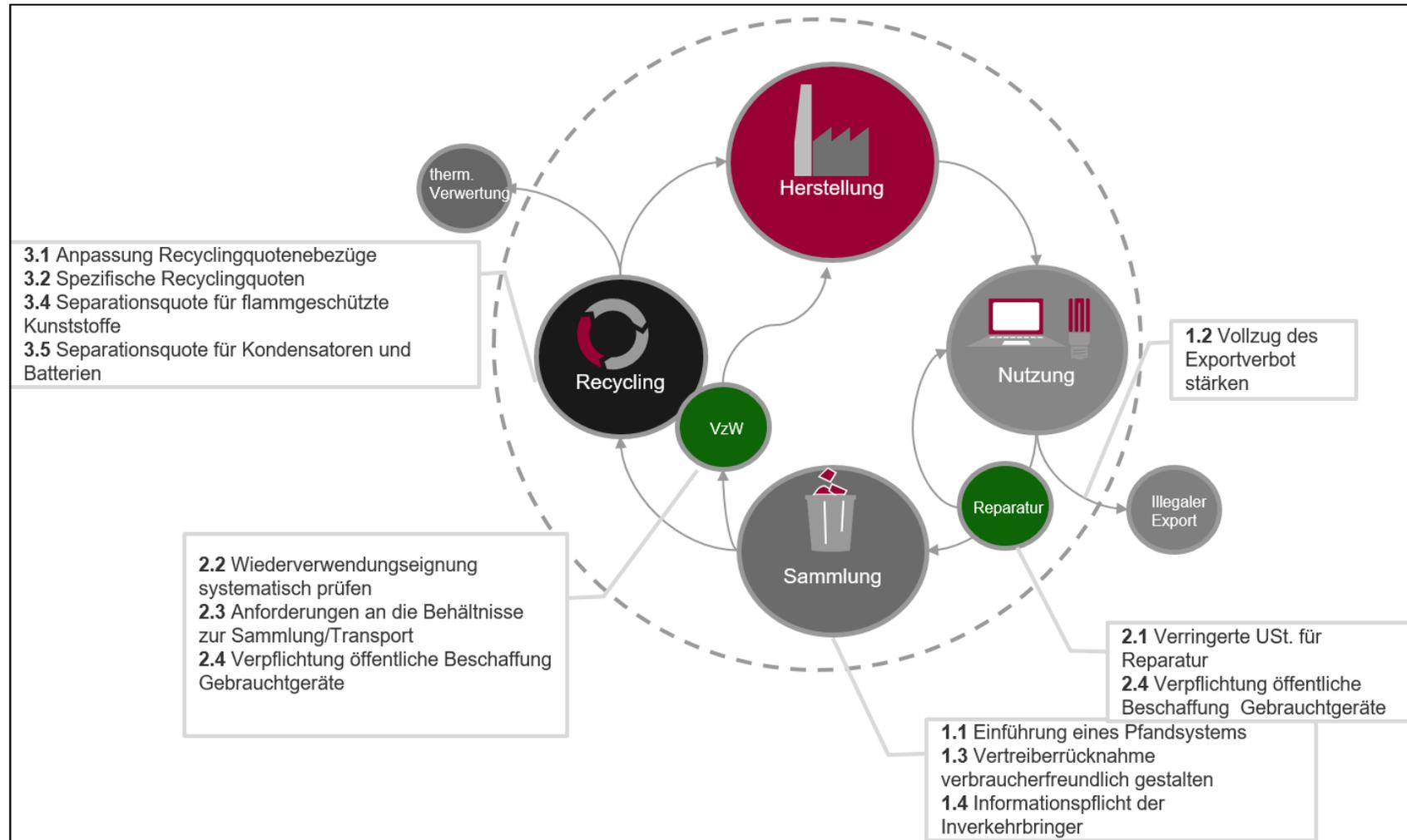
Daher wäre die Maßnahme, eine Separationsquote für (Elektrolyt-)kondensatoren einzuführen aus Sicht der Gutachter ebenfalls zu empfehlen.

10.3.6 Übersicht über Maßnahmen zur Formulierung differenzierter Separations- und Verwertungsquoten: Chancen, Hemmnisse und Adressaten

Chancen	Hemmnisse	Adressat
Maßnahme 3.1 Anpassung der Bezüge der Recyclingquote <ul style="list-style-type: none"> Vorgabe und Berechnung der Recyclingquote bezogen auf den Output aus der Verwertungsanlage, um das tatsächliche Recycling darzustellen 		
<ul style="list-style-type: none"> Die tatsächlich recycelten und zu recycelnden Materialmengen werden abgebildet 	<ul style="list-style-type: none"> Verwertungs- und Recyclinganlagen beziehen ihre Inputs aus mehreren Quellen, Output nicht direkt auf einen bestimmten Input zurückzuführen Bislang „traditionell“ ausschließlich Inputquoten durch den Gesetzgeber normiert Gesetzesänderung notwendig 	UBA / BMU
Maßnahme 3.2 Materialspezifische Recyclingquoten für kritische Metalle <ul style="list-style-type: none"> Festlegung von outputbezogenen Recyclingquoten für ausgewählte (kritische) Metalle 		
<ul style="list-style-type: none"> Förderung einer getrennten Erfassung und Behandlung von relevanten Bauteilen, die kritische Metalle enthalten 	<ul style="list-style-type: none"> Vorgeschriebene Quoten müssten dynamisch an den Inputstrom und die Separationstechniken angepasst werden Rechtliche Anpassung erforderlich 	UBA / BMU
Maßnahme 3.3 Materialspezifische Recyclingquoten für Kunststoffe <ul style="list-style-type: none"> Festlegung von outputbezogenen Recyclingquoten für Kunststoffe Materialspezifische Recyclingquoten pro Gerätekategorie einführen, z. B. 15 Gew. % des Gesamtinputs der SG 5 (Kleingeräte) 		
<ul style="list-style-type: none"> Förderung der Separierung und getrennten Behandlung von Gehäusekunststoffen 	<ul style="list-style-type: none"> Vorgeschriebene Quoten müssten dynamisch an den Inputstrom und die Separationstechniken angepasst werden Rechtliche Anpassung erforderlich 	UBA / BMU

Chancen	Hemmnisse	Adressat
Maßnahme 3.4 Separationsquote für flammgeschützte Kunststoffteile <ul style="list-style-type: none"> • Festlegung einer Separationsquote für flammgeschützte Kunststoffe 		
<ul style="list-style-type: none"> • Erreichen geringerer Verunreinigungen der Kunststoff-Fraktion für das Recycling und geringerer Verluste an „sauberen“ Kunststoff durch Separation vor dem Shreddern 	<ul style="list-style-type: none"> • Manuelle Demontage der Geräte ist mit hohen Kosten verbunden • Information, ob Gerät flammgeschützte Kunststoffe enthält ist nicht verfügbar bei EBA • Rechtliche Anpassung erforderlich 	<p>UBA / BMU</p>
Maßnahme 3.5 Separationsquote für Kondensatoren und Gerätebatterien <ul style="list-style-type: none"> • Festlegung einer Separationsquote für Kondensatoren und Gerätebatterien 		
<ul style="list-style-type: none"> • Bessere Identifizierbarkeit des Batterietyps, höhere Sicherheit und Vermeidung von Schadstoffkontamination bei Entnahme vor dem Shreddern 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Daten vorhanden zur Schadstoffentfrachtung bei den EBA • Hoher Kostenaufwand für die manuelle Entnahme von Batterien und Kondensatoren 	<p>UBA / BMU</p>

Abbildung 10-5 Grafische Darstellung der Ansatzpunkte für die vorgeschlagenen Maßnahmen im bestehenden System für die Sammlung und Behandlung von Elektroaltgeräten



11 Literaturverzeichnis

- [Albiez 2016] Albiez, Tobias (2016): Elektrorecycling – Bekanntheit und Akzeptanz der vRG bei der Schweizer Bevölkerung. Fachhochschule Nordwestschweiz.
- [Asociación Española de Recuperadores de Economía, 2018]: Asociación Española de Recuperadores de Economía (2018): Estudio de fiscalidad ambiental aplicada a la jerarquía de residuos.
- [AWSH 2010] Restabfallanalysen für die AWSH Abfallwirtschaft Südholstein GmbH. Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie. Witzenhausen. Oktober 2010. Online verfügbar unter: https://www.awsh.de/fileadmin/media/PDFs/AWK/Abfallanalyse_AWSH.pdf. Zuletzt abgerufen am 10.04.2019
- [Bangs, u.a. 2016] Colton Bangs, Christina Meskers, Thierry Van Kerckhoven: “Trends in electronic products – the canary in the urban mine?”. Conference Paper. Electronics Goes Green 2016+. Berlin , September 7-9 2016.
- [Baxter 2014] Baxter, John; Wahlstrom, Margareta; Castell-Rüdenhausen, Malin zu; Fråne, Anna (2014): Plastic value chains: Case: WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment). Hg. v. Nordic Council of Ministers, zuletzt geprüft am 29.01.2019.
- [Behrendt 2018] Siegfried Behrendt: „Recycling von Technologiemetallen“ Transformationsfeldanalyse im Rahmen des Projektes „Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy“ Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung. Berlin 2018. Online verfügbar unter https://www.izt.de/fileadmin/publikationen/IZT_Text_7-2018_Recycling.pdf. Letzter Aufruf 15.12.2018
- [Berthold, u.a. 2010] Eva Berthold, Petra Hoeß: „Untersuchung des Restabfalls aus Haushalten in der Stadt Schweinfurt (Ziel-2-Gebiet).“ BABION GbR Naturschutz-Landschaft-Abfallwirtschaft. Endbericht im Auftrag Bayerisches Landesamt für Umwelt. Würzburg 2007. Online verfügbar unter: www.abfallberatung-unterfranken.de/fachbeitraege/25/hausmuellanalyse_07_stadt_sw.pdf. Zuletzt abgerufen am 10.04.2019
- [Biletewski, et al 2017] Bernd Biletewski, Jörg Wagner, Jan Reichenbach: “Best Practice Municipal Waste Management Information pool on approaches towards a sustainable design of municipal waste management and supporting technologies and equipment” Sachverständigenuntersuchten Projektnummer 56401.UBA-FB 002527/CD. UBA Texte 40/2018. Umweltbundesamt (Hrsg.) Dessau-Roßlau. 2017. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-05-30_texte_40-2018-municipal-waste-management_en.pdf. Zuletzt abgerufen: 01.11.2018.
- [Biletewski, et al 2017b] Bernd Biletewski, Jörg Wagner, Jan Reichenbach: “Best Practice Municipal Waste Management Information pool on approaches towards a sustainable design of municipal waste management and supporting technologies and equipment” Sachverständigenuntersuchten Projektnummer 56401. Zwischenbericht: Verwertung spezieller Abfallströme. Datenblatt: SWSM-06_WEE. o. J. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/stoffstrom_einf_streams.pdf. Letzter Zugriff am 7.11.2018.
- [Blaser, u.a., 2012] Fabian Blaser, Stefano Castelanelli, Patrick Wäger und Rolf Widmer: „Seltene Metalle in Elektro- und Elektronikgeräten. Vorkommen und Rückgewinnungstechnologien“. Empa (Hrsg.) im Auftrag des Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU) Abt. Abfall und Rohstoffe. Bern.2012. Online verfügbar unter <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/en/doku->

- mente/abfall/fachinfo-daten/seltene_metalle_inelektro-undelektronikgeraeten-vorkommenundru.ec.pdf.download.pdf/seltene_metalle_inelektro-undelektronikgeraeten-vorkommenundru.ec.pdf. Letzter Zugriff am 12.12.2018.
- [Bleischwitz et al 2018] Raimund Bleischwitz, Bettina Bahn-Walkowiak, Felix Ekardt, Heidi Feldt, Lili Fuhr: „International Resource Politics- New challenges demanding new governance approaches for a green economy. Heinrich Böll Stiftung Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg.). Berlin ISBN 978-3-86928-088-2 . Online verfügbar unter: <https://www.boell.de/sites/default/files/2012-06-International-Resource-Politics.pdf>. Zuletzt abgerufen am 6.11.2018.
- [Böni 2012] Böni, H. W. (2012): Conformity assessment of WEEE take-back schemes: the case of Switzerland. In: Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Handbook: Elsevier, S. 78–92.
- [Bookhagen, et al, 2018] Britta Bookhagen, Ulrike Dorner, Sophie Damm, Jana Bergholtz, Christine Opper, Johanna Irrgeher, Thomas Prohaska, Cristian Koeberl: „ Rohstoffverbrauch von Smartphones“. In: Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann (Hrsg.): „Recycling und Rohstoffe“. Band 11, S. 519-531. Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, Nietwerder 2018. ISBN: 978-3-944310-40-4
- [Buchert et al 2012] Matthias Buchert, Andreas Manhart, Daniel Bleher, Detlef Pingel, Öko-Institut e.V., Geschäftsstelle Freiburg: „Recycling kritischer Rohstoffe aus Elektronikaltgeräten, LANUV Fachbericht 38, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW(Hrsg.), Recklinghausen 2012.
- [Bundesregierung 2015] Antwort der Bundesregierung vom 17.06.2015 auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Caren Lay, Niema Movassat, Karin Binder, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE zur Diskussion um den Entwurf einer Verordnung der Europäischen Union zu Konfliktmineralien – Drucksache 18/5030 –. Online verfügbar unter: <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/052/1805241.pdf>. Zuletzt aufgerufen am 31.10.2018.
- [Brüning 2011] Brüning, Ralf (2011): Sendeschluss. In: recovery (2).
- [bvse 2018] Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e. V. nach statista. online verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/169232/umfrage/materialien-im-elektronikschrott-in-deutschland/>. Letzter Aufruf: 01.11.2018)
- [chemsuisse 2011]: chemsuisse (2011): Kondensatorenverzeichnis. Erkennung und Entsorgung PCB-haltiger Kondensatoren. Unter Mitarbeit von Roland Arnet und Elmar Kuhn. Hg. v. chemsuisse.
- [Christiani 2017] Joachim Christiani (Institut cyclos-HTP GmbH Institut für Recyclingfähigkeit und Produktverantwortung): „Klassifizierung und Bemessung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen“. Auf IK-Fachtagung: „Schließung von Kreisläufen durch recyclinggerechte Gestaltung von Verpackungen“ 02. Februar 2017.
- [Dimitrakakis, 2009] Dimitrakakis, Emmanouil; Janz, Alexander; Bilitewski, Bernd; Gidakos, Evangelos (2009): Small WEEE: determining recyclables and hazardous substances in plastics. In: Journal of hazardous materials 161 (2-3), S. 913–919. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.04.054.
- [DU 2018] Deutsche Umwelthilfe e.V. (2018): Rücknahme von Elektro- und Elektronikgeräten. DUH-Tests im Handel.
- [DU 2018] Deutschen Umwelthilfe: Elektro- und Elektronikgerätegesetz Positionspapier der Deutschen Umwelthilfe 17.09.2018. Online verfügbar unter: <https://www.duh.de/fileadmin/u->

- ser_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/Elektro-
ger%C3%A4te/180315_DUH_Positionspapier_ElektroG_web.pdf. Zuletzt aufgerufen am
15.12.2018
- [DNR o.J.] Deutscher Naturschutzring: Gemeinsame Stellungnahme zur Stärkung der Wiederverwen-
dung im ElektroG. Online verfügbar unter: https://www.dnr.de/fileadmin/Positionen/DNR_Stellungnahme_Staerkung_Wiederverwendung_im_ElektroG.pdf. Zuletzt abgeru-
fen am 15.12.2018
- [efsa, o. J.] European Food Safety Authority (efsa): "Bromierte Flammschutzmittel". Online verfügbar
unter: <https://www.efsa.europa.eu/de/topics/topic/brominated-flame-retardants>. Zuletzt
abgerufen: 13.12.2018
- [ejatlas 2018] Environmental Justice Atlas. Online verfügbar unter: <https://ejatlas.org>. Letzter Aufruf
7.11.2018
- [ejatlas kilwa 2004]. Eintrag im Environmental Justice Atlas. Online verfügbar unter: <https://ejatlas.org/conflict/kilwa-mine> . Letzter Aufruf 7.11.2018
- [EMPA 2010] Esther Müller, Rolf Widmer, Empa, Abteilung für Technologie und Gesellschaft: "Mate-
rialflüsse der elektrischen und elektronischen Geräte in der Schweiz. Im Auftrag des Bundes-
amtes für Umwelt (BAFU). September 2010.
- [Empa 2015] Heinz Böni, Patrick Wäger, Esther Thiébaud, Xiaoyue Du, Renato Figi, Oliver Nagel, Rai-
ner Bunge, Ariane Stäubli, Andy Spörry, Maya Wolfensberger-Malo, Marie Brechbühler-Pes-
kova und Stefan Grösser: "Rückgewinnung von kritischen Metallen aus Elektronikschrott am
Beispiel von Indium und Neodym". Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
(Empa) Bundesamt für Umwelt (BAFU) 8/31/2015. St. Gallen 31.08.2015.
- [Erdmann et al 2011] Lorenz Erdmann, Siegfried Behrendt, Moira Feil. „Kritische Rohstoffe für
Deutschland. Identifikation aus Sicht deutscher Unternehmen wirtschaftlich bedeutsamer
mineralischer Rohstoffe, deren Versorgungslage sich mittel- bis langfristig als kritisch erwei-
sen könnte“. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) und adelphi. Ab-
schlussbericht im Auftrag der KfW Bankengruppe. Berlin 30. September 2011. Online unter:
[https://www.kfw.de/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-
Sonderpublikationen/Kritische-Rohstoffe-KF.pdf](https://www.kfw.de/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Sonderpublikationen/Kritische-Rohstoffe-KF.pdf). Zuletzt abgerufen am 31.10.2018.
- [EU-KOM 2011] Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäi-
schen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: „Fahrplan für ein
ressourcenschonendes Europa“. KOM/2011/0571 endgültig „Roadmap to a Resource Effi-
cient Europe“. Online verfügbar unter: [https://eur-lex.europa.eu/legal-con-
tent/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0571&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0571&from=EN). Zuletzt aufgerufen am 13.12.2018
- [EU-KOM 2018] Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäi-
schen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: „Fahrplan für ein
ressourcenschonendes Europa: Eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislauf-
wirtschaft“. COM (2018) 28 final vom 16.01.2018. Online verfügbar unter: [https://eur-lex.eu-
ropa.eu/resource.html?uri=cellar:2df5d1d2-fac7-11e7-b8f5-
01aa75ed71a1.0002.01/DOC_3&format=DOC](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2df5d1d2-fac7-11e7-b8f5-01aa75ed71a1.0002.01/DOC_3&format=DOC). Zuletzt aufgerufen am 15.12.2018.
- [Flamme et al 2010] Flamme, S.; Krämer, P.; Walter, G.: Gewinnung hochwertiger Kunststofffraktio-
nen aus Elektroaltgeräten. In Lorbeer et al. (Hrsg.) Tagungsband zur 10. Depotech-Konferenz;
Leoben: Montanuniversität Leoben, 2010.

- [Fröhlich 2018] Hannes Fröhlich: "Ständiger Wandel bei der Elektroaltgeräte-Aufbereitung". In: Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann (Hrsg.): „Recycling und Rohstoffe“. Band 11, S. 503-517. Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, Nietwerder 2018. ISBN: 978-3-944310-40-4
- [Global Witness 2016]. Global Witness (2016): On Dangerous Ground. ISBN 978-0-9933597-4-3; online unter: https://www.globalwitness.org/documents/18482/On_Dangerous_Ground.pdf. Zuletzt abgerufen: 5.11.2018.
- [Graedel et al 2011] Graedel, T. E.; Reck, B.; Buchert, M.; Hagelüken C. et al. "Recycling rates of metals", United Nations Environment Programme, (UNEP edits.) 2011.
- [Handke 1995] Volker Handke: „Die Umweltrelevanz von mülltonnengängigen Elektroaltgeräten“. Technische Universität Berlin Institut für technischen Umweltschutz Fachgebiet Abfallwirtschaft. Berlin 1995
- [Handke 2008] Volker Handke: „Materialeffizienz und Ressourcenschonung am Beispiel von strategischen Metallen“. Initiative für Nachhaltige Entwicklung e.V. 11. November 2008. Humboldt Universität Berlin.
- [Huisman u.a. 2015] Huisman, J.; Botezatu, I.; Herreras, L.; Liddane, M.; Hintsu, J.; Di Luda Cortemiglia, V. et al. (2015): Countering WEEE Illegal Trade (CWIT) Summary Report. Market Analysis Legal Analysis Crime Analysis Recommendations roadmap. Lyon.
- [Jokic 2016].Gerhard Jokic, Denise Dortmann: „ WEEE komplex – Vielfältige Qualitätsanforderungen am Beispiel der Elektrokleingeräterecyclings“. In: Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann (Hrsg.): „Recycling und Rohstoffe“. Band 09, S. 345-360. Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, Nietwerder 2016. ISBN: 978-3-944310-27-5
- [JRC 2013] JRC (2013): Joint Research Center „Critical Metals in the Path towards the Decarbonisation of the EU Energy Sector“.
- [Kantar 2017] Kantar Emnid (2017): Haltbarkeit und Reparierbarkeit von Produkten. Hg. v. Verbraucherzentrale Bundesverband (vzbv).
- [Käufer 2015] Käufer, H., Winter, H.H. (Hrsg.):Basisstudie zum Materialstromfluß von Altkunststoffen in Berlin. Kunststoff-Recycling-Zentrum Verband Berlin e.V. Eigenverlag, Berlin Juni 2015.
- [Kost et al 1994] Kost, T., Handke, V.: Die Stoffflußanalyse bei der Kunststoffverarbeitung zur Ermittlung von Vergleichsparametern für die Planung von Abfallvermeidungsmaßnahmen. Hauptstudiumsprojekt an der Technischen Universität Berlin, Fachgebiet Abfallwirtschaft,
- [Lahl 1991] Uwe Lahl, Michael Wilken, A. Wiebe: Polybromierte Diphenylether in der Müllverbrennung. In: Müll und Abfall. Heft 2/91 Seite 83- 87, E. Schmidt Verlag, Berlin 1991.
- [Lahl 1991b] Uwe Lahl, Michael Wilken, Barbara Zeschmar-Lahl, Johannes Jager: „PCDD/PCDF balance of different municipal waste management methods“. In: Chemosphere Volume 23, Issues 8–10, 1991, Pages 1481-1489, Doi: 10.1016/0045-6535(91)90173-B. Online verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004565359190173B>. Zuletzt abgerufen am 7.11.2018
- [Luiold et al o. J.] Stefan Luiold et al: "Kritische Rohstoffe für die Hochtechnologieanwendung in Österreich". Endbericht FFG-Nr. 834246 i.A. bmvit. Online verfügbar unter: https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_217769.pdf. Zuletzt abgerufen am 6.11.2018.

- [Lukas 2012] Sonja Lukas: "Bilanzierung einer Elektroaltgeräte-(EAG)Aufbereitungsanlage mittels Stoffstromanalyse" Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik". Leoben. 2012. Online verfügbar unter: <https://pure.unileoben.ac.at/portal/files/1906262/AC09414477n01vt.pdf>. Zuletzt abgerufen am 6.11.2018.
- [Magalini, u.a. 2018] Magalini, Federico; Huisman, Jaco (2018): WEEE Recycling Economics. The shortcomings of the current business model. Hg. v. Unidet Nations University. Salzburg.
- [Marscheider-Weidemann et al 2016] Marscheider-Weidemann, F., Langkau, S., Hummen, T., Erdmann, L., Tercero Espinoza, L., Angerer, G., Marwede, M., Benecke, S. (2016): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016. DERA Rohstoffinformationen 28:353 S., Berlin.
- [Mat Ressource 2015] Leitfaden zur Bewertung von Ressourceneffizienz in Projekten der BMBF-Fördermaßnahme MatRessource. Partner des Begleitprojekts MaRKT (Hrsg.) 2015. Online Verfügbar unter: https://matressource.de/fileadmin/user_upload/Publikationen_Allgemein/Leitfaden_Bewertung_von_Ressourceneffizienz_V4.pdf. Zuletzt abgerufen am 6.11.2018
- [Mat Ressource 2015] Leitfaden zur Bewertung von Ressourceneffizienz in Projekten der BMBF-Fördermaßnahme MatRessource. Partner des Begleitprojekts MaRKT (Hrsg.) 2015. Online Verfügbar unter: https://matressource.de/fileadmin/user_upload/Publikationen_Allgemein/Leitfaden_Bewertung_von_Ressourceneffizienz_V4.pdf. Zuletzt abgerufen am 6.11.2018
- [Meyer et al 2017] Jan Meyer, Dirk Fey, Stefanie Krieg: „Kunststoffsartierung aus Shredd3errückständen mit Hochleistungs-Laserspektroskopie“. In: Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann (Hrsg.): „Recycling und Rohstoffe“. Band 10, S. 193-198. Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, Nietwerder 2018. ISBN: 9783944310343
- [NGR 2018] Next Generation Recyclingmaschinen GmbH, HQ, Production & Customer Care Center Europe Gewerbepark 22, 4101 Feldkirchen, Austria: „PET Up/Recycling“. Online verfügbar unter: <http://www.ngr.at/applikationen/pet-uprecycling>. Letzter Zugriff am 15.12.2018
- [Nolte 2018] Andreas Nolte: "Metals for Progress – nachhaltige Multi-Metall-Gewinnung bei Aurubis". In: Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann (Hrsg.): „Recycling und Rohstoffe“. Band 11, S. 299-306. Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, Nietwerder 2018. ISBN: 978-3-944310-40-4
- [Nuss et al 2014] Philip Nuss, Matthew J. Eckelman: Life Cycle Assessment of Metals: A Scientific Synthesis, PLoS One. 2014; 9(7): e101298. Published online 2014 Jul 7. doi: 10.1371/journal.pone.0101298, Online verfügbar unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4085040/?report=reader>. Zuletzt abgerufen am 06.11.2018
- [Pilgrim et al 2017] Hannah Pilgrim, Merle Groneweg, Michael Reckordt: „Ressourcenfluch 4.0 Die sozialen und ökologischen Auswirkungen von Industrie 4.0 auf den Rohstoffsektor“. PowerShift – Verein für eine ökologisch-solidarische Energie- & Weltwirtschaft e. V. (Hrsg.) , Berlin 32017. ISBN: 978-3-9814344-9-1.
- [Rotter 2006] Rotter, S.; Janz, A.: Analyse von Material - und Aufbereitungskennzahlen für Elektronikschrott. In Lober et al. (Hrsg.) Tagungsband zur 8. Depotech-Konferenz; Leoben: Montanuniversität Leoben, 2006.
- [Rotter, u.a., 2012] Rotter, Vera Susanne; Ueberschaar, Maximilian; Geiping, Julia; Chancerel, Perrine; Flamme, Sabine (2012): Potenziale zum Recycling wirtschaftsstrategischer Metalle aus Elektroaltgeräten. Ergebnisse aus dem UPgrade Projekt. In: ReSource (4).

- [Rotter, u.a., 2012b] Vera Susanne Rotter, Sabine Flamme, Maximilian Ueberschaar und Ramona Götze: „Thermodynamische Herausforderung bei Recycling von Nebenmetallen“. In: Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe. Band 5. Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH Berlin 2012. ISBN: 978-3-935317-81-8.
- [Rotter, u.a., 2014] Vera Susanne Rotter, Julia Geiping, Sabine Flamme und Maximilian Ueberschaar: „Anlagenbilanzierung als Bewertungsinstrument für ein Qualitätsrecycling von Elektroaltgeräten“. In: Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe. Band 7. Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH Berlin 2014. ISBN: 978-3944310091.
- [Sander o.J.] Sander, Knut; Marscheider-Weidemann, Frank; Wilts, Henning; Hobohm, Julia; Hartfeil, Thorsten; Schöps, Dirk; Heymann, René (unveröffentlicht): RePro. Abfallwirtschaftliche Produktverantwortung unter Ressourcenschutzaspekten. unpublished. Hg. v. Umweltbundesamt.
- [Sander, u.a., 2010] Knut Sander, Stefanie Schilling : „Optimierung der Steuerung und Kontrolle grenzüberschreitender Stoffströme bei Elektroaltgeräten /Elektroschrott“. Umweltbundesamt (Hrsg.) UBA-Txt 11/2010. Dessau-Roßlau, März 2010. Online verfügbar unter: http://www.umweltbundesamt.de/uba-infomedien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3769. Zuletzt abgerufen am 10.04.2019.
- [Sander, u.a. 2016] Sander, Knut; Gößling-Reisemann, Stefan; Zimmermann, Till; Marscheider-Weidemann, Frank; Wilts, Henning; Schebeck, Liselotte et al. (2016): Recyclingpotenzial strategischer Metalle (ReStra). Hg. v. Umweltbundesamt.
- [Sander et al 2017] Knut Sander, Stefan Gößling-Reisemann, Till Zimmermann, Frank Marscheider-Weidemann, Henning Wilts, Liselotte Schebeck, Jörg Wagner, Hanspeter Heegn, Alexandra Pehlken: „Recyclingpotenzial strategischer Metalle (ReStra)“ Abschlussbericht FKZ 3711 93 339, UBA Texte 68/2017, Umweltbundesamt (Hrsg.). Dessau-Roßlau August 2017.
- [Sander, u.a., 2018] Knut Sander, Sarah Julie Otto, Lisa Rödiger; Lukas Wagner, (Ökopol Hamburg): „Behandlung von Elektroaltgeräten (EAG) unter Ressourcen- und Schadstoffaspekten“. FKZ 3716333 22. Umweltbundesamt (Hrsg.) UBA Texte 31/2018 UBA FB 002627. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-04-12_texte_31-2018_behandlung_eag.pdf
- [Schippers et al 2018] Axel Schippers, Sabrina Hedrich: „Stand der Technik und Potential von Biohydrometallurgie für Recycling“. In: Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann (Hrsg.): „Recycling und Rohstoffe“. Band 11, S. 351-360. Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, Nietwerder 2018. ISBN: 978-3-944310-40-4
- [Schlummer 2018] Martin Schlummer, Fabian Wolff: „Rückgewinnung und Wiedereinsatz von Antimontrioxid und Titandioxid aus Kunststofffraktionen“ In: Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann (Hrsg.): „Recycling und Rohstoffe“. Band 11, S. 273-286. Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, Nietwerder 2018. ISBN: 978-3-944310-40-4
- [Schüler, 2017] Schüler, Kurt (2017): Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2015, zuletzt geprüft am 18.01.2019.
- [SENS 2018] SENS; SWICO; SLRS (2018): Fachbericht 2018. Hg. v. SENS, SWICO und SLRS.
- [Sichau 2016] Rüdiger Sichau (Stadtreinigung Hamburg): „Hausmüllanalysen der Stadtreinigung Hamburg“. Zitiert nach: Hamburg-magazin.de o.N.: „Container für kleine Elektrogeräte“ vom 05.04.2016. Online verfügbar unter: <https://www.hamburg-magazin.de/service/recycling/artikel/detail/container-fuer-kleine-elektrogeraete.html>. Zuletzt abgerufen am 10.04.2019

- [Siegmann 2013] Siegmann, Jan (2013): Finanzielle Anreize und Pfand bei Sammelsystemen für Mobiltelefone. Eine experimentelle Willingness-To-Accept Studie.
- [Sircar 2002] Robin Sircar: „Untersuchung der Emissionen aus Einäscherungsanlagen und der Einsatzmöglichkeiten von Barrierenentladungen zur Verringerung des PCDD/F-Austrages“. Dissertation. Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. 202. Online verfügbar unter: <https://sundoc.bibliothek.uni-halle.de/diss-online/02/02H140/>. Zuletzt abgerufen am 7.11.2018
- [Spitzbart et al 2007] Markus Spitzbart, Thomas Leitner, Martin Schlummer, Andreas Mäurer: „Recycling von Mischkunststoffen aus der Elektroaltgeräteaufbereitung“. Sächsische Abfalltage Freiberg 2007. Online verfügbar unter: <http://www.ask-eu.de/Artikel/10487/Recycling-von-Mischkunststoffen-aus-der-Elektroaltger%C3%A4teaufbereitung.htm>. Letzter Aufruf am 7.11.2018
- [Spoo 2017] [Helmut Spoo: „Großes Potenzial Mit einer optimierten Identifikation und gelenkten Stoffströmen können Abfälle wie Altbeton und Elektroaltgeräte hochwertig verwertet werden“. In: ReSource Abfall-Rohstoff-Energie, Fachzeitschrift für nachhaltiges Wirtschaften. 4/2017. Rombos Verlag. Berlin 2017. ISSN 1868-9531]
- [Springer 2016] Jenny Springer: “Initial Design Document for a natural resource governance Framework”. NRGF Working Paper No. 1 International union for conservation of nature and natural resources. Gland, Switzerland: IUCN and CEESP 2016. Online verfügbar unter: https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/nrgf_initial_design_pdf_edited_2.pdf. Zuletzt abgerufen am 7.11.2018
- [Tange 2013] Tange, L.; van Houwelingen, J. A.; Peeters, J. R.; Vanegas, P. (2013): Recycling of flame retardant plastics from WEEE, technical and environmental challenges. In: Adv produc engineer manag 8 (2), S. 67–77. DOI: 10.14743/apem2013.2.154.
- [UBA Texte 43/2018] UBA Texte 43/2018. Stephan Löhle, Sabine Bartnik, Ute Schmiedel, Mathias Ehrenbrink cyclos GmbH, Osnabrück: „Analyse der Datenerhebungen nach ElektroG und UStatG über das Berichtsjahr 2015 zur Vorbereitung der EU-Berichtspflichten 2017“. Projektnummer 72744. UBA-FB 002579. ISSN 1862-4359. Dessau-Roßlau, Mai 2018.
- [UBA 2018] Umweltbundesamt: „Hochwertigeres Recycling für Kunststoffe nötig - Recyclingfreundliches Design, höhere Recyclingquoten und Mindestzyklatanteile können Rohstoffe sparen“. Pressemitteilung der Umweltbundesamtes Nr. 43/2018 vom 12.12.2018. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/hochwertigeres-recycling-fuer-kunststoffe-noetig>. Zuletzt aufgerufen am 15.12.2018.
- [UBA 2007] Umweltbundesamt: „Bromierte Flammschutzmittel in Elektro- und Elektronikgeräten: Das Flammschutzmittel Decabromdiphenylether (DecaBDE) ist durch umweltverträglichere Alternativen ersetzbar,“. UBA Fachpapier vom Februar 2007. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/fachpapier-decabde.pdf>. Zuletzt abgerufen am 15.12.2018.
- [UBA 1990] ITU-Forschung: Praktische Konzepte zur Verminderung der Bildung von polychlorierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen bei kommunalen Müllverbrennungsanlagen. UBA-FB, UFOPLAN Nr.: 1430 378, Umweltbundesamt, Berlin April 1990 .
- [UNEP 2009] UNEP (2009): From Conflict to Peacebuilding. The Role of Natural Resources and the Environment, Geneva; online unter: http://postconflict.unep.ch/publications/pcdmb_policy_01.pdf. Zuletzt abgerufen am: 5.11.2018.

- [UNEP 2009b] Matthias Buchert, Doris Schüler, Daniel Bleher (Öko-Institut e. V.): „Critical Metals for future sustainable Technologies And Their Recycling Potential“. Sustainable Innovation and Technology Transfer Industrial Sector Studies. United Nations Environment Programme & United Nations University (Hrsg.). 2009. Online verfügbar unter: <http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1202xPA-Critical%20Metals%20and%20their%20Recycling%20Potential.pdf>. Letzter Aufruf am 14.12.2018
- [USGS 2018] U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries. Online verfügbar unter: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cadmium/index.html#mcs>. Zuletzt aufgerufen: 6.11.2018
- [Vienbahn et al 2014] Peter Viebahn, Karin Arnold, Jonas Friege, Christine Krüger, Arjuna Nebel, Sascha Samadi, Ole Soukup, Michael Ritthoff, Jens Teubler, Klaus Wiesen, Julia Tenbergen, Mathieu Saurat, Susanne Klein, Monika Wirges: KRESSE -Kritische mineralische Ressourcen und Stoffströme bei der Transformation des deutschen Energieversorgungssystems. Abschlussbericht an das (BMWi) Förderkennzeichen: 0325324. Online verfügbar unter: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/5419/file/5419_KRESSE.pdf. Zuletzt abgerufen am 6.11.2018.
- [Weslau, u.a., 1998] Georg Weslau, Hans Hermann Kraus: „Elektronikschrott(WEEE) 05.05.1998. Generaldirektion Wissenschaft. Direktion B. Abteilung für Umwelt, Energie und Forschung, STOA. Themenpapier Nr. 3 vom 05.05.1998 Pe167.543. Online verfügbar unter: http://www.europarl.europa.eu/workingpapers/envi/pdf/brief3de_de.pdf. Letzter Aufruf: 12.12.2018
- [Wilts, u.a., 2016] Hennin Wilts, Nadja von Gries, Iswing Dehne, Rüdiger Oentjen-Dehne, Nadine Buschow, Joachim Sanden (2016): Entwicklung von Instrumenten und Maßnahmen zur Steigerung des Einsatzes von Sekundärrohstoffen – mit Schwerpunkt Sekundärkunststoffe. Dessau-Roßlau (Texte 65/2016). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_65_2016_steigerung_einsatz_sekundaerohstoffe.pdf. Zuletzt abgerufen am 06.12.2018.
- [Zotz 2017] Zotz, Ferdinand; Huranova, Dana; Kling, Maximilian (2017): WEEE compliance promotion exercise. Final report. Hg. v. European Commission. Bipro.
- [ZVEI 1993] N.N.: A voidance of flame-retardant Additives in Plastic Materials 92-93. Report of the Working Group to the ZVEI Advisory Panel Production Engineering, Selbstverlag Frankfurt a. M. Oktober 1993.

12 Anhang: Darstellung der rechtlichen Anforderungen an die Produktkonzeption und an den Umgang mit Abfällen

I. Anforderungen der allgemeinen Abfallgesetzgebung

Tabelle 12-1 Grundlegende Anforderungen an die Produktkonzeption und den Umgang mit Produktabfällen (inkl. EAG) gemäß AbfRRL

AbfRRL (i.V. mit Änderungsrichtlinie zur AbfRRL)	Anforderung
Abfallhierarchie Art. 4 Abs. 1	„Folgende Abfallhierarchie liegt den Rechtsvorschriften und politischen Maßnahmen im Bereich der Abfallvermeidung und -bewirtschaftung als Prioritätenfolge zugrunde: a) Vermeidung b) Vorbereitung zur Wiederverwendung, c) Recycling, d) sonstige Verwertung, z.B. energetische Verwertung, e) Beseitigung.“
Getrennsammlungspflicht Art. 10 Abs. 2	„Falls dies [...] zur Erleichterung oder Verbesserung der Verwertung erforderlich ist, werden Abfälle getrennt gesammelt, falls dies technisch, ökologisch und wirtschaftlich durchführbar ist, und werden nicht mit anderen Abfällen oder anderen Materialien mit andersartigen Eigenschaften vermischt.“
Produktverantwortung Art. 8 Abs. 1 Satz 2	„Diese Maßnahmen können die Rücknahme zurückgegebener Erzeugnisse und von Abfällen, die nach der Verwendung dieser Erzeugnisse übrig bleiben, sowie die anschließende Bewirtschaftung der Abfälle und die finanzielle Verantwortung für diese Tätigkeiten umfassen. Diese Maßnahmen können die Verpflichtung umfassen, öffentlich zugängliche Informationen darüber zur Verfügung zu stellen, inwieweit das Produkt wiederverwendbar und recycelbar ist.“

Tabelle 12-2 Grundlegende Anforderungen an die Produktkonzeption und den Umgang mit Produktabfällen (inkl. EAG) gemäß KrWG

Kreislaufwirtschaftsgesetz	Anforderung
§ 6 Abfallhierarchie Abs. 1	„Maßnahmen der Vermeidung und der Abfallbewirtschaftung stehen in folgender Rangfolge: 1. Vermeidung, 2. Vorbereitung zur Wiederverwendung, 3. Recycling, 4. sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung, 5. Beseitigung.“
§ 9 Getrennthalten von Abfällen zur Verwertung, Vermischungsverbot Abs. 1	„Soweit dies zur Erfüllung der Anforderungen nach § 7 Absatz 2 bis 4 und § 8 Absatz 1 erforderlich ist, sind Abfälle getrennt zu halten und zu behandeln.“
§ 14 Förderung des Recyclings und der sonstigen stofflichen Verwertung Abs. 2	„Die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling von Siedlungsabfällen sollen spätestens ab dem 1. Januar 2020 mindestens 65 Gewichtsprozent insgesamt betragen.“
§ 23 Produktverantwortung Abs. 2	„Die Produktverantwortung umfasst insbesondere 1. die Entwicklung, die Herstellung und das Inverkehrbringen von Erzeugnissen, die mehrfach verwendbar, technisch langlebig und nach Gebrauch zur ordnungsgemäßen, schadlosen und hochwertigen Verwertung sowie zur umweltverträglichen Beseitigung geeignet sind, 2. den vorrangigen Einsatz von verwertbaren Abfällen oder sekundären Rohstoffen bei der Herstellung von Erzeugnissen, 3. die Kennzeichnung von schadstoffhaltigen Erzeugnissen, um sicherzustellen, dass die nach Gebrauch verbleibenden Abfälle umweltverträglich verwertet oder beseitigt werden, 4. den Hinweis auf Rückgabe-, Wiederverwendungs- und Verwertungsmöglichkeiten oder -pflichten und Pfandrege-lungen durch Kennzeichnung der Erzeugnisse sowie 5. die Rücknahme der Erzeugnisse und der nach Gebrauch der Erzeugnisse verbleibenden Abfälle sowie deren nachfolgende umweltverträgliche Verwertung oder Beseitigung.“
§ 25 Anforderungen an Rücknahme- und Rückgabepflichten Abs. 1	„Zur Festlegung von Anforderungen nach § 23 wird die Bundesregierung ermächtigt, nach Anhörung der beteiligten Kreise (§ 68) durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates zu bestimmen, dass Hersteller oder Vertrieber 6. bestimmte Erzeugnisse nur bei Eröffnung einer Rückgabemöglichkeit abgeben oder in Verkehr bringen dürfen, 7. bestimmte Erzeugnisse zurückzunehmen und die Rückgabe durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen haben, insbesondere durch die Einrichtung von Rücknahmesystemen, die Beteiligung an Rücknahmesystemen oder durch die Erhebung eines Pfandes [...]“

II. Anforderungen der spezielleren Gesetzgebung für Elektroaltgeräte

Tabelle 12-3 Spezifische Anforderungen an die Produktkonzeption und den Umgang mit EAG gemäß WEEE-RL

WEEE-RL 2012/19/EU	Anforderung
Produktkonzeption Art. 4 Satz 2	„In diesem Zusammenhang ergreifen die Mitgliedstaaten geeignete Maßnahmen, damit die im Rahmen der Richtlinie 2009/125/EG festgelegten Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung zur Erleichterung der Wiederverwendung und Behandlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten angewandt werden [...]“
Getrennte Sammlung Art. 5 Abs.1	„Die Mitgliedstaaten erlassen geeignete Maßnahmen, um die Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten in der Form von unsortiertem Siedlungsabfall möglichst gering zu halten, die ordnungsgemäße Behandlung sämtlicher gesammelter Elektro- und Elektronik-Altgeräte sicherzustellen und eine hohe Quote getrennt gesammelter Elektro- und Elektronik-Altgeräte [...] zu erreichen.“
Beseitigung und Beförderung von gesammelten Elektro- und Elektronik-Altgeräten Art. 6 Abs. 2 Satz 1	„Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass die Sammlung und Beförderung von getrennt gesammelten Elektro- und Elektronik- Altgeräten so ausgeführt werden, dass die Vorbereitung zur Wiederverwendung, das Recycling und die Rückhaltung gefährlicher Stoffe unter optimalen Bedingungen erfolgen können.“
Sammelquote Art. 7 Abs. 1 Satz 2	„Die Mindestsammelquote muss ab 2016 45 % betragen und wird anhand des Gesamtgewichts der Elektro- und Elektronik-Altgeräte, die in einem gegebenen Jahr gemäß Artikel 5 und 6 in dem Mitgliedstaat gesammelt wurden, berechnet und als Prozentsatz des Durchschnittsgewichts der Elektro- und Elektronikgeräte, die in den drei Vorjahren in dem Mitgliedstaat in Verkehr gebracht wurden, ausgedrückt. Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass die Menge der gesammelten Elektro- und Elektronik-Altgeräte von 2016 bis 2019 schrittweise steigt, soweit die in Unterabsatz 2 genannte Sammelquote nicht bereits erreicht ist. Ab 2019 beträgt die jährlich zu erreichende Mindestsammelquote 65 % des Durchschnittsgewichts der Elektro- und Elektronikgeräte, die in den drei Vorjahren im betreffenden Mitgliedstaat in Verkehr gebracht wurden, oder alternativ dazu 85 % der auf dem Hoheitsgebiet dieses Mitgliedstaats anfallenden Elektro- und Elektronik-Altgeräten.“
Ordnungsgemäße Behandlung Art. 8 Abs. 2	„Die ordnungsgemäße Behandlung, abgesehen von der Vorbereitung zur Wiederverwendung, und Verwertungs- oder Recyclingmaßnahmen umfassen mindestens die Entfernung aller Flüssigkeiten und eine selektive Behandlung gemäß Anhang VII.“
Zielvorgaben für die Verwertung Art. 11 Abs. 1	„In Bezug auf alle gemäß Artikel 5 getrennt gesammelten und gemäß den Artikeln 8, 9 und 10 der Behandlung zugeführten Elektro- und Elektronik-Altgeräte stellen die Mitgliedstaaten sicher, dass die Hersteller mindestens die in Anhang V genannten Zielvorgaben erfüllen.“
Zielvorgaben für die Verwertung Art. 11 Abs. 2	„Die Erfüllung der Zielvorgaben wird berechnet, indem für jede Gerätekategorie das Gewicht der Elektro- und Elektronik- Altgeräte, die nach ordnungsgemäßer Behandlung im Hinblick auf Verwertung oder Recycling in Einklang mit Artikel 8 Absatz 2 der Verwertungs- oder Recyclinganlage/Anlage zur Vorbereitung zur Wiederverwendung zugeführt werden, durch das Gewicht aller getrennt gesammelten Elektro- und Elektronik-Altgeräte dieser Gerätekategorie geteilt wird, ausgedrückt als prozentualer Anteil.“
Mindestzielvorgaben für die Verwertung gemäß Artikel 11 Anhang V	Mindestzielvorgaben je Kategorie ab dem 15. August 2018 in Bezug auf die Gerätekategorien des Anhangs III: a) Elektro- und Elektronik-Altgeräte, die unter die Gerätekategorie 1 oder 4 des Anhangs III fallen, — sind zu 85 % zu verwerten und — zu 80 % zur Wiederverwendung vorzubereiten und zu recyklieren. b) Elektro- und Elektronik-Altgeräte, die unter die Gerätekategorie 2 des Anhangs III fallen, — sind zu 80 % zu verwerten und — zu 70 % zur Wiederverwendung vorzubereiten und zu recyklieren. c) Elektro- und Elektronik-Altgeräte, die unter die Gerätekategorie 5 oder 6 des Anhangs III fallen, — sind zu 75 % zu verwerten und — zu 55 % zur Wiederverwendung vorzubereiten und zu recyklieren. d) Elektro- und Elektronik-Altgeräte, die unter die Gerätekategorie 3 des Anhangs III fallen, sind zu 80 % zu recyklieren.

WEEE-RL 2012/19/EU	Anforderung
Selektive Behandlung von Werkstoffen und Bauteilen von Elektro- und Elektronik-Altgeräten Gemäss Artikel 8 Absatz 2 Anhang VII	<p>„Mindestens folgende Stoffe, Gemische und Bauteile müssen aus getrennt gesammelten Elektro- und Elektronik-Altgeräten entfernt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> — PCB-haltige (PCB: polychlorierte Biphenyle) Kondensatoren im Sinne der Richtlinie 96/59/EG des Rates vom 16. September 1996 über die Beseitigung polychlorierter Biphenyle und polychlorierter Terphenyle (PCB/PCT) (1), — quecksilberhaltige Bauteile wie Schalter oder Lampen für Hintergrundbeleuchtung, — Batterien, — Leiterplatten von Mobiltelefonen generell sowie von sonstigen Geräten, wenn die Oberfläche der Leiterplatte größer ist als 10 Quadratzentimeter, — Tonerkartuschen, flüssig und pastös, und Farbtoner, — Kunststoffe, die bromierte Flammschutzmittel enthalten, — Asbestabfall und Bauteile, die Asbest enthalten, — Kathodenstrahlröhren, — Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (H-FCKW) oder teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW), Kohlenwasserstoffe (KW), — Gasentladungslampen, — Flüssigkristallanzeigen (gegebenenfalls zusammen mit dem Gehäuse) mit einer Oberfläche von mehr als 100 Quadratzentimetern und hintergrundbeleuchtete Anzeigen mit Gasentladungslampen, — externe elektrische Leitungen, — Bauteile, die feuerfeste Keramikfasern gemäß der Richtlinie 97/69/EG der Kommission vom 5. Dezember 1997 zur dreiundzwanzigsten Anpassung der Richtlinie 67/548/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe an den technischen Fortschritt (2) enthalten, — Bauteile, die radioaktive Stoffe enthalten, ausgenommen Bauteile, die die Freigrenzen nach Artikel 3 sowie Anhang I der Richtlinie 96/29/Euratom des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen (3) nicht überschreiten, — Elektrolyt-Kondensatoren, die bedenkliche Stoffe enthalten (Höhe > 25 mm; Durchmesser: > 25 mm oder proportional ähnliches Volumen). <p>Diese Stoffe, Gemische und Bauteile sind gemäß der Richtlinie 2008/98/EG zu beseitigen oder zu verwerten.“</p>

Tabelle 12-4 Spezifische Anforderungen an die Produktkonzeption und den Umgang mit EAG gemäß ElektroG

ElektroG	Anforderung
Produktdesign	
§ 4 Produktkonzeption Abs. 1 Satz 1	„Hersteller haben ihre Elektro- und Elektronikgeräte möglichst so zu gestalten, dass insbesondere die Wiederverwendung, die Demontage und die Verwertung von Altgeräten, ihren Bauteilen und Werkstoffen berücksichtigt und erleichtert werden.“
Erfassung EAG	
§ 10 Getrennte Erfassung Abs. 1 Satz 2	„Die Erfassung nach Absatz 1 hat so zu erfolgen, dass die spätere Vorbereitung zur Wiederverwendung, die Demontage und das Recycling nicht behindert werden.“
§ 10 Getrennte Erfassung Abs. 3 Satz 3	„Ab 2019 soll die Mindeste Erfassungsquote 65 Prozent betragen.“
Bereitstellung der EAG durch öRE	
§ 14 Bereitstellen der abzuholenden Altgeräte durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger Abs. 2	„Die Behältnisse müssen so befüllt werden, dass ein Zerbrechen der Altgeräte möglichst vermieden wird. Die Altgeräte dürfen in den Behältnissen nicht mechanisch verdichtet werden.“
Behandlungs- und Verwertungspflichten, Verbringung	
§ 20 Behandlung und Beseitigung Abs. 1	„Altgeräte sind vor der Durchführung weiterer Verwertungs- oder Beseitigungsmaßnahmen einer Erstbehandlung zuzuführen. Vor der Erstbehandlung ist zu prüfen, ob das Altgerät oder einzelne Bauteile einer Vorbereitung zur Wiederverwendung zugeführt werden können. Diese Prüfung ist durchzuführen, soweit sie technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist.“
§ 20 Behandlung und Beseitigung Abs. 2 Satz 1	„Die Erstbehandlung und weitere Behandlungstätigkeiten haben nach dem Stand der Technik im Sinne des § 3 Absatz 28 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zu erfolgen. Bei der Erstbehandlung sind mindestens alle Flüssigkeiten zu entfernen und die Anforderungen an die selektive Behandlung nach Anlage 4 zu erfüllen.“

ElektroG	Anforderung
§ 22 Verwertung Abs. 1	<p>„Altgeräte sind so zu behandeln, dass</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. bei Altgeräten der Kategorien 1 und 4 <ol style="list-style-type: none"> a) der Anteil der Verwertung mindestens 85 Prozent beträgt und b) der Anteil der Vorbereitung zur Wiederverwendung und des Recyclings mindestens 80 Prozent beträgt, 2. bei Altgeräten der Kategorie 2 <ol style="list-style-type: none"> a) der Anteil der Verwertung mindestens 80 Prozent beträgt und b) der Anteil der Vorbereitung zur Wiederverwendung und des Recyclings mindestens 70 Prozent beträgt, 3. bei Altgeräten der Kategorien 5 und 6 <ol style="list-style-type: none"> a) der Anteil der Verwertung mindestens 75 Prozent beträgt und b) der Anteil der Vorbereitung zur Wiederverwendung und des Recyclings mindestens 55 Prozent beträgt und 4. bei Altgeräten der Kategorie 3 der Anteil des Recyclings mindestens 80 Prozent beträgt.“
§ 22 Verwertung Abs. 2	<p>„Der nach Absatz 1 jeweils geforderte Anteil wird dadurch berechnet, dass für jede Gerätekategorie das Gewicht der Altgeräte, die nach ordnungsgemäßer Erstbehandlung der Verwertungsanlage zugeführt werden, durch das Gewicht aller getrennt erfassten Altgeräte dieser Gerätekategorie geteilt wird. Vorbereitende Maßnahmen einschließlich Sortierung und Lagerung vor der Verwertung bleiben im Hinblick auf die Berechnung der Anteile nach Absatz 1 unberücksichtigt.“</p>
Selektive Behandlung von Werkstoffen und Bauteilen von Altgeräten	
Anlage 4 (zu § 20 Abs. 2)	<p>„Mindestens folgende Stoffe, Gemische und Bauteile müssen aus getrennt erfassten Altgeräten entfernt werden:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) quecksilberhaltige Bauteile wie Schalter oder Lampen für Hintergrundbeleuchtung; b) Batterien und Akkumulatoren; c) Leiterplatten von Mobiltelefonen generell sowie von sonstigen Geräten, wenn die Oberfläche der Leiterplatte größer ist als 10 Quadratzentimeter; d) Tonerkartuschen, flüssig und pastös, und Farbtoner; e) Kunststoffe, die bromierte Flammschutzmittel enthalten; f) Asbestabfall und Bauteile, die Asbest enthalten; g) Kathodenstrahlröhren; h) Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (H-FCKW) oder teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW), Kohlenwasserstoffe (KW); i) Gasentladungslampen; j) Flüssigkristallanzeigen (gegebenenfalls zusammen mit dem Gehäuse) mit einer Oberfläche von mehr als 100 Quadratzentimetern sowie hintergrundbeleuchtete Anzeigen mit Gasentladungslampen; k) externe elektrische Leitungen; l) Bauteile, die feuerfeste Keramikfasern gemäß Anhang VI der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (ABl. L 353 vom 31.12.2008, S. 1), die zuletzt durch die Verordnung (EU) Nr. 286/2011 (ABl. L 83 vom 30.3.2011, S. 1) geändert worden ist, enthalten; m) Bauteile, die radioaktive Stoffe enthalten, ausgenommen Bauteile, die nicht die Freigrenzen nach Artikel 3 sowie Anhang I der Richtlinie 96/29/Euratom des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen (ABl. L 159 vom 29.6.1996, S. 1) überschreiten; n) Elektrolyt-Kondensatoren, die bedenkliche Stoffe enthalten (Höhe größer als 25 Millimeter, Durchmesser größer als 25 Millimeter oder proportional ähnliches Volumen); o) cadmium- oder selenhaltige Fotoleitertrommeln. <p>Diese Stoffe, Gemische und Bauteile sind gemäß § 15 Absatz 2 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zu beseitigen oder zu verwerten. Es ist sicherzustellen, dass schadstoffhaltige Bauteile und Stoffe bei der Behandlung nicht zerstört werden und Schadstoffe nicht in die zu verwertenden Materialströme eingetragen werden. Batterien und Akkumulatoren sind so zu entfernen, dass sie nicht beschädigt werden und nach der Entfernung identifizierbar sind.“</p>