

---

# Quantitative und qualitative Identifikation von relevanten sekundären Stoffströmen in Österreich

---

J. Adam et al.

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**40/2015**

**Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

[www.NachhaltigWirtschaften.at](http://www.NachhaltigWirtschaften.at)

# Quantitative und qualitative Identifikation von relevanten sekundären Stoffströmen in Österreich

Dipl.-Ing. (FH) Josef Adam  
Dipl.-Ing. Dr.mont. Roland Pomberger  
Dipl.-Ing. Dr.mont. Helmut Andrekowitsch  
Dipl.-Ing. Dr.mont. Stefan Luidold  
Mag.et Dr.rer.soc.oec. Helmut Zsifkovits  
Dipl.-Ing. Johannes Kapeller  
Mag.rer.soc.oec. Robert Hermann

Montanuniversität Leoben

Leoben, November 2015

**Projektleitung:**

**Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft**

Dipl.-Ing. (FH) Josef Adam

**Projektbearbeitung:**

**Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft**

Dipl.-Ing. Dr.mont. Roland Pomberger

**Lehrstuhl für Nichteisenmetallurgie:**

Dipl.-Ing. Dr.mont. Helmut Antrekowitsch

Dipl.-Ing. Dr.mont. Stefan Luidold

**Lehrstuhl für Industrielogistik:**

Mag.et Dr.rer.soc.oec. Helmut Zsifkovits

Dipl.-Ing. Johannes Kapeller

**Ausseninstitut der Montanuniversität Leoben:**

Mag.rer.soc.oec Robert Hermann

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2 HERAUSFORDERUNGEN UND ZIELE DER STUDIE.....</b>	<b>1</b>
<b>3 METHODE UND VORGEHENSWEISE .....</b>	<b>4</b>
3.1 Auswahl der zu untersuchenden kritischen Rohstoffe .....	5
3.2 Anwendungen der ausgewählten Metalle .....	8
3.3 Auswahl der Produktgruppen.....	17
<b>4 BETRACHTUNG DER PRODUKTGRUPPEN.....</b>	<b>21</b>
4.1 Altfahrzeuge.....	21
4.2 Elektroaltgeräte.....	32
4.3 Photovoltaikanlagen.....	45
4.4 Windkraftanlagen .....	46
4.5 Wendeschneidplatten .....	47
4.6 Poliermittel .....	49
<b>5 QUALITATIVE IDENTIFIZIERUNG .....</b>	<b>50</b>
5.1 Altautos.....	50
5.2 Elektroaltgeräte.....	52
5.3 Sonstige Produkte.....	55
5.4 Übersicht zur qualitativen Identifizierung .....	56
<b>6 QUANTITATIVE IDENTIFIZIERUNG.....</b>	<b>57</b>
6.1 Datenherkunft .....	57
6.2 Zusammenfassung der quantitativen Identifizierung.....	58
<b>7 STOFFFLUSSANALYSE.....</b>	<b>64</b>
7.1 Festlegung der Nutzungsdauer.....	64
7.2 Darstellung und Auswertung.....	65
7.3 Auswertungen 2013 .....	65
7.4 Datenzusammenfassung unter Einfluss von Sammelquoten für das Jahr 2013.....	71
7.5 Auswertungen und Datenzusammenfassung 2030.....	73
<b>8 INDUSTRIELLE PROZESSE UND TECHNOLOGIEN .....</b>	<b>75</b>
8.1 Allgemeines zu den Technologiemetallen.....	76

8.2	Edelmetalle (Ag, Au, Pt, Pd, ...)	78
8.3	Seltene Erden (Ce, Nd, Y, ...)	83
8.4	Refraktärmetalle (W, ...)	87
8.5	Sonstige Technologiemetalle (In, Ga, ...)	91
<b>9</b>	<b>SEKUNDÄRROHSTOFFLANDKARTE</b>	<b>100</b>
9.1	Zusätzliche Datenaufbereitung zu den Bevölkerungsprognosen	100
9.2	Visualisierung	101
9.3	Erstellung eines einheitlichen Templates	102
9.4	Auswahl einer geeigneten Visualisierungsumgebung	104
9.5	Grafische Auswertungen	105
<b>10</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG STAKEHOLDERPROZESS</b>	<b>111</b>
10.1	Expertengespräche	111
10.2	Workshop	116
<b>11</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG</b>	<b>121</b>
<b>12</b>	<b>ROADMAP</b>	<b>123</b>
12.1	Rahmenbedingungen	123
12.2	Sammlung und Logistik	125
12.3	Technologien	126
12.4	Forschung und Entwicklung	127
<b>13</b>	<b>VERZEICHNISSE</b>	<b>128</b>
13.1	Literatur	128
13.2	Abkürzungsverzeichnis	142
13.3	Tabellen	144
13.4	Abbildungen	145
<b>ANHANG I – ENTWICKLUNGEN ABSATZZAHLEN AUSGEWÄHLTER EAG IN ÖSTERREICH</b>		<b>I</b>
<b>ANHANG II – DATEN QUANTITATIVE ANALYSE</b>		<b>I</b>
<b>ANHANG III – STOFFFLUSSANALYSEN 2030</b>		<b>XVIII</b>
<b>ANHANG IV – BEVÖLKERUNGSPROGNOSEN FÜR DIE BEZIRKE IN DEN EINZELNEN BUNDESLÄNDERN</b>		<b>XXIII</b>

# 1 Einleitung

Die Versorgung mit kritischen Rohstoffen stellt den Industriestandort Österreich aufgrund der Importabhängigkeit von Metallen ständig vor neue Herausforderungen und ergibt den damit verbundenen Forschungsbedarf. Bedingt durch laufende technische Innovationen einhergehend mit wachsender Funktionalität von Produkten wird die Nachfrage für Technologiemetalle in den Bereichen Elektronik, Umwelt- und Energietechnik, Mobilität sowie im Anlagen- und Maschinenbau stetig weiter steigen. So liegt beispielsweise Österreich, gemessen an Importen sowie Exporten von Seltenen Erden, im europäischen Spitzenfeld. Die Treibacher Industrie AG als größter heimischer Abnehmer und Verarbeiter von Seltenen Erden erwirtschaftet rund 50 % des Betriebsergebnisses in diesem Bereich. Betrachtet man die 14 Rohstoffe der Europäischen Kommission, welche aufgrund ihrer Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit als kritisch eingestuft werden, stellt für Österreich u.a Wolfram eine hohe Bedeutung dar. Durch die Lagerstätte Felbertal bei Mittersill ist Österreich mit einer Produktionsmenge von 800 t im Jahr 2013 auch international gesehen ein bedeutender Wolframproduzent. [1] Aber auch die Importe von 1.017 t an Wolframmetallen sowie 1.076 t an Wolframkarbiden im Jahr 2012 zeigen die Bedeutung von Wolfram für die verarbeitende Industrie in Österreich. [2] Um zukünftigen Versorgungsengpässen u.a. von kritischen Metallen gegenzusteuern, wurden seitens der Europäischen Union aber auch von Österreich zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsinitiativen ins Leben gerufen. Das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie hat im Jahr 2011 mit dem Start der FTI-Initiative Intelligente Produktion die Bedeutung der kritischen Rohstoffe für die industrielle und technologische Entwicklung in Österreich aufgegriffen und als Schwerpunkt definiert. Im Zuge der FTI-Initiative Produktion der Zukunft im Jahr 2013 wurde unter dem Subschwerpunkt 7.3 die gegenständliche Studie mit dem Titel „Quantitative und qualitative Identifikation von relevanten sekundären Stoffströmen“ ausgeschrieben. Für die von der Europäischen Kommission als kritisch eingestuften kritischen Rohstoffen sind im Wesentlichen die Einsatzgebiete in bestimmten Produkten bzw. Produktgruppen bekannt. Betrachtet man allerdings die Situation nach der Produktnutzung ist oft nicht klar in welchen Abfallströmen einzelne dieser Rohstoffe landen bzw. wo relevante Mengenpotenziale zu erwarten sind. Durch die geopolitische Situation mit einem Mangel an Lagerstätten für Technologiemetalle rückt für Österreich vermehrt das Thema Recycling aus wertstoffhaltigen Sekundärquellen in den Fokus. Vorrangiges Ziel dieses Projektes ist es, relevante Abfallströme zu identifizieren und in weiterer Folge die Qualität und Quantität ausgewählter kritischer Rohstoffe bzw. Metalle zu untersuchen. Des Weiteren erfolgt die Betrachtung von industriellen Prozessen und Technologien für die Rückgewinnung von Technologiemetallen nach dem Stand der Technik. Eine sekundärspezifische Roadmap soll dem Auftraggeber, dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, eine wichtige Grundlage für zukünftige Strategien im Umgang mit der gegenständlichen Thematik liefern. Ein Konsortium der Montanuniversität Leoben, bestehend aus den drei Lehrstühlen Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, Nichteisenmetallurgie, Industriellistik sowie dem Außeninstitut hat die vorliegende Studie erarbeitet. Ergänzend wurden Partner aus der Entsorgungswirtschaft und der produzierenden Industrie in Form von Workshops und Expertengesprächen miteinbezogen.

## 2 Herausforderungen und Ziele der Studie

Vor dem Hintergrund der hohen technischen Bedeutung einzelner kritischer Metalle und Rohstoffe für eine Vielzahl von Zukunftstechnologien stuft die Europäische Kommission im Zuge der Rohstoffinitiative im Juli 2010 die Seltenen Erden (17 Elemente) sowie 13 weitere Grundstoffe aufgrund der wirtschaftlichen Relevanz und der begrenzten Verfügbarkeit als kritisch ein. Im Jahr 2014 wurde diese Liste angepasst bzw. erweitert. Von den ursprünglich laut Liste als kritisch geltenden Rohstoffen wurden zwölf direkt übernommen. Dazu gehören Antimon, Beryllium, Cobalt, Flussspat, Gallium, Indium, Magnesium, Grafit, Niob, die Platingruppenelemente (Ruthenium, Rhodium, Palladium, Osmium, Iridium, Platin) und Wolfram. Die Fraktion der Seltenen Erden (SE) wurde in leichte und schwere Seltene Erden unterteilt. Sechs Stoffe, darunter Borat, Chrom, Magnesit, Kokskohle, Phosphat-Gestein und metallisches Silizium, wurden ebenfalls als kritisch betrachtet und neu aufgenommen. [3], [4]

Außerdem wird erwartet, dass bedingt durch technische Innovationen einhergehend mit der wachsenden Funktionalität von Produkten die Nachfrage für vielseitig einsetzbare Technologiemetalle in sämtlichen Anwendungsbereichen (Elektronik, Umwelt- und Energietechnik, Mobilität, Anlagen- und Maschinenbau etc.) kurz- und mittelfristig weiter steigt, wodurch langfristig Preiserhöhungen zu erwarten sind.

Der Industriestandort Österreich ist bei der Umsetzung von Zukunftstechnologien bedingt durch die geologischen Gegebenheiten von Rohstoffimporten abhängig. Um jedoch eine moderne industrielle Produktion zu ermöglichen, sind insbesondere im Elektronik-, Umwelttechnik- und Energiebereich (Fotovoltaik, Windturbinen etc.) sowie in der Elektromobilität der Einsatz von Rohstoffen, in vielen Fällen auch von kritischen Rohstoffen, zwingend notwendig. So wies Österreich beispielsweise mit einem Import von 1.940 t Seltenen Erden von 1.940 t im Jahr 2012 neben Frankreich, Estland und Deutschland mit 8 % vom europäischen Import die vierthöchste Rate von den 27 Ländern in Europa auf. Somit wurden rund 1,9 % der Weltproduktion von 103.672 t an Seltenen Erden 2012 nach Österreich importiert. So gilt die im kärntnerischen St. Veit ansässige Treibacher Industrie AG als größter heimische Abnehmer und Verarbeiter von Seltenen Erden. Rund 50 % des Betriebsergebnisses aus dem Jahr 2011 wurden im Bereich dieser Elemente erwirtschaftet. Im Jahr 2012 wurden rund 6.600 t an SE-Verbindungen und 500 t an SE-Metallen aus Österreich exportiert. Dadurch liegt Österreich gefolgt von Estland und Frankreich mit einer Exportrate von rund 47 % an der Spitze innerhalb Europas. [2], [5]

Geologisch gesehen sind weltweit zwar genügend Ressourcen in den Lagerstätten vorhanden, womit die natürliche Verfügbarkeit in nur wenigen Fällen ein Problem darstellt. So sind beispielsweise die Seltenen Erden Cer, Yttrium und Neodym, die zum großen Teil als Oxide produziert, gehandelt und verwertet werden, in der Erdkruste häufiger anzufinden als Blei, Molybdän oder Arsen. Die Gehalte an Seltenen Erden sind in dieser bis zu sechzig Mal höher als jene von Gold. [6] Trotzdem sind die Versorgungsrisiken für hoch entwickelte Industrieländer wie Österreich in den letzten Jahren deutlich gewachsen. Dies ist u.a. dadurch bedingt, dass nur wenige Länder über wirtschaftlich abbaubare Rohstoffvorräte verfügen.

Aktuell verfügbare Zahlen belegen, dass 2012 ca. 91 % der Seltenen Erden in China abgebaut und zum Großteil auch dort verarbeitet wurden [2]. Zudem werden viele Rohstoffe nur von wenigen Unternehmen angeboten, woraus Abhängigkeiten resultieren, die mit spontanen Preisanstiegen einhergehen. Darüber hinaus herrscht in vielen Ländern, die über wichtige Rohstoffvorkommen verfügen, eine politisch instabile Lage vor, wodurch potenzielle Investitionen in den Rohstoffabbau zusätzlich erschwert werden. Neben China behindern auch andere Länder die Ausfuhr von Rohstoffen durch vielfältigen Protektionismus, wie Ausfuhrsteuern oder finanzielle Förderungen heimischer Weiterverarbeiter, welche einen Schaden für Industrieländer wie Österreich zur Folge haben. [7] Verglichen mit dem Durchschnittspreis von 2009 verteuerte sich Cer bis Ende 2010 um 1.200 %, Lanthan um 900 %, Samarium um 800 % sowie Praseodym und Neodym um 300 %. Diese Entwicklung setzte sich im Jahr 2010 fort und erreichte im Februar 2011 ihren Höhepunkt, als die chinesische Regierung ankündigte, dass sie eine nationale strategische Reserve an Seltenen Erden in Höhe einer kompletten Jahresausfuhr bilden wolle. Das führte zu einer drastischen Verknappung am Weltmarkt, da chinesische Händler ihre Ware zurückhielten und somit den Preis nach oben trieben. Nachdem die Preise 2011 ihr Rekordhoch erreicht hatten, folgte bedingt durch rückläufige Nachfragen ein kräftiger Rückgang, der im Jahr 2012 bis zu 80 % betrug und sich 2013 fortsetzte. Einerseits wurden Überlegungen hinsichtlich günstigerer Substitute laut, andererseits nahmen zuvor bereits stillgelegte Minen, insbesondere in den USA, schrittweise ihre Produktion wieder auf um die Abhängigkeit des Weltmarkts von China etwas zu kompensieren. [6]

Eine nachhaltige Rohstoffökonomie, um der dargelegten Problematik entgegenzusteuern, kann nach Schüler et al. [8] auf folgenden vier Säulen aufgebaut werden:

1. Steigerung der Effizienz bei Nutzung und Produktion,
2. Substitution von Technologien durch Alternativen,
3. Nachhaltige Gewinnung durch einen umweltgerechten Bergbau und einer umweltschonenden Weiterverarbeitung und
4. Aufbau eines europäischen Recyclingsystems für kritische Rohstoffe.

Die gegenständliche Studie setzt unter Punkt 4 beim Thema Recycling an. Die verbesserte Rückgewinnung von Rohstoffen aus Altprodukten bzw. Abfallströmen durch eine Steigerung der Recyclingeffizienz soll zukünftig einen erhöhten Beitrag zur Rohstoffsicherung liefern.

Auch das österreichische Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft hat als Reaktion auf diese Herausforderungen im Rohstoffsektor eine Strategie entwickelt, die auf drei Säulen aufbaut. Die dritte Säule zielt dabei neben der Schonung von primären Ressourcen auf einen effizienteren Umgang mit Rohstoffen durch Steigerung der Ressourceneffizienz und einer Verbesserung des Recyclings ab. [9]

Jedoch weisen moderne Produkte des täglichen Lebens, welche am Ende ihrer Nutzungsdauer zu Abfall werden, eine zunehmende Stoffvielfalt bei gleichzeitig sinkenden Stoffkonzentrationen auf. Aus technischer Sicht ergeben sich daher große Herausforderungen

für die Gewinnung von kritischen Metallen aus solchen Sekundärrohstoffströmen, da im Bereich der Technologiemetalle derzeit nur ein geringer Anteil des Bedarfs durch das Recycling abgedeckt wird. Beispielsweise liegen bei den Seltenen Erden oder Indium und Gallium die globalen End-of-Life Recyclingraten deutlich unter 1 %. Hingegen ist eine bessere Recyclingsituation zum Beispiel bei den Platingruppenmetallen (Platin, Palladium, Rhodium etc.) oder den Edelmetallen Gold und Silber mit Raten über 50 % gegeben. In Abbildung 1 ist die globale Situation der End-of-Life Recyclingraten von 60 Metallen angeführt. [10]

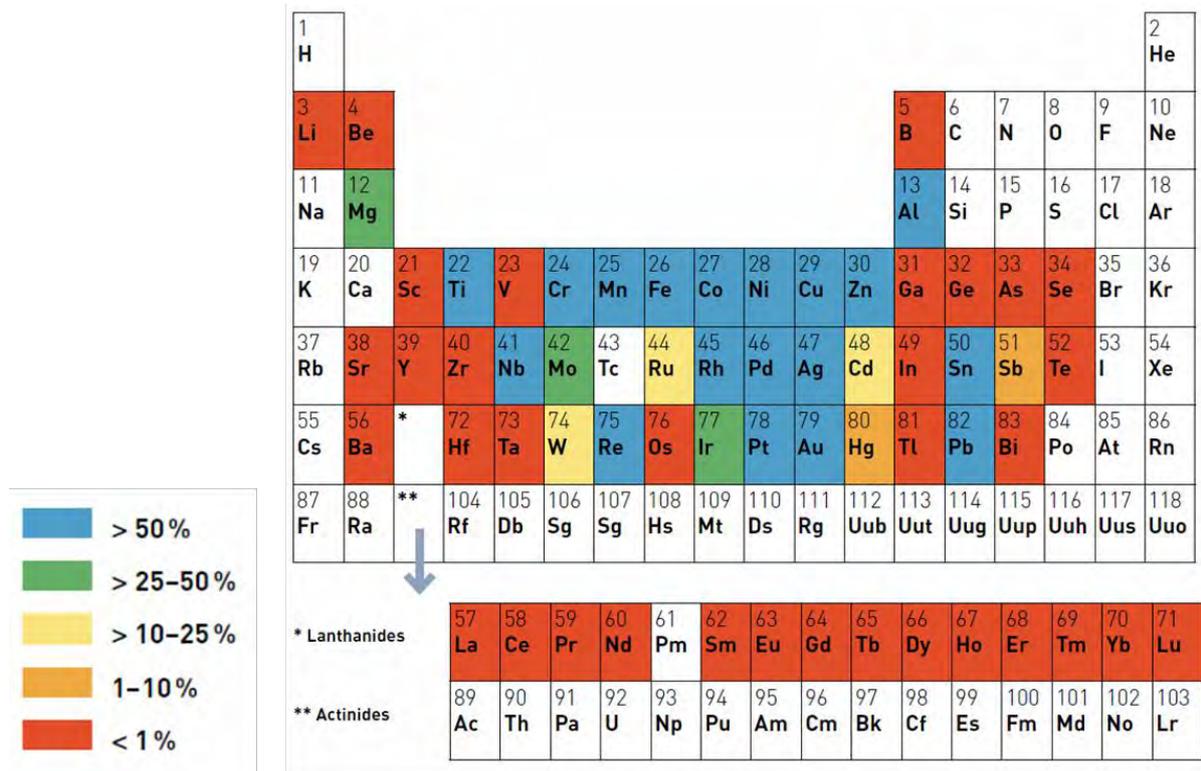


Abbildung 1: Globale End-of-Life Recyclingraten von 60 Metallen [10]

Um vorhandene Potenziale stärker nutzbar zu machen muss die Sammlung, Behandlung und Verwertung weiterentwickelt werden. Hierfür sind Kenntnisse über das vorhandene Mengenpotenzial in einzelnen Sekundärstoffströmen essentiell. In der vorliegenden Arbeit sollen die Potenziale von ausgewählten kritischen Rohstoffen in relevanten Abfallströmen für Österreich erhoben werden. Nach der Durchführung von qualitativen und quantitativen Analysen wird über die sich daraus ergebenden Prognosen eine Sekundärrohstofflandkarte für Österreich im Jahr 2030 erstellt. Zudem sollen Aussagen über die bisherige Logistik bei der Sammlung von relevanten Abfallströmen getroffen werden. Die erarbeiteten Ergebnisse werden in einer sekundärrohstoffspezifischen Roadmap, welche zielgerichtete Maßnahmen und Instrumente für eine bessere Nutzung von Rohstoffen aus Sekundärrohstoffquellen enthalten soll, zusammengefasst. Diese soll für den Auftraggeber, dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, eine wichtige Grundlage für zukünftige Strategien im Umgang mit kritischen Metallen aus Abfallströmen liefern.

### 3 Methode und Vorgehensweise

Ausgehend von den definierten kritischen Rohstoffen laut Ausschreibung des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technik (BMVIT) wird im ersten Schritt die Untersuchungsmenge auf ausgewählte Metalle beschränkt. Für die, u.a. auf Basis deren Anwendungsgebiete ausgewählten Produktgruppen bzw. Abfallströme, erfolgt eine genaue Betrachtung hinsichtlich Mengen, rechtlicher Rahmenbedingungen sowie deren Sammlung und Behandlung in Österreich. Zudem wird, wenn notwendig, eine Spezifizierung auf einzelne Produkte durchgeführt. Nach einer qualitativen und quantitativen Identifikation der wertstoffreichen Abfallströme erfolgt für die jeweiligen Metalle eine Darstellung des theoretisch für die Behandlung zur Verfügung stehenden Potenzials für das Jahr 2013 mittels Stoffflussanalysen. Zudem werden industrielle Prozesse und Technologien, welche für die Rückgewinnung von Technologiemetallen eingesetzt werden, beschrieben. Über die prognostizierten Absatzentwicklungen wird spezifisch für jedes Element eine Sekundärrohstofflandkarte für das Jahr 2030 erstellt. Die Ergebnisse der Studie und dem Workshop mit den am Projekt beteiligten Stakeholdern aus der Entsorgungsbranche und der produzierenden Industrie münden schließlich in eine sekundärrohstoffspezifische Roadmap. Der schematische Aufbau der Studie ist nachfolgend auf Abbildung 2 zu sehen.

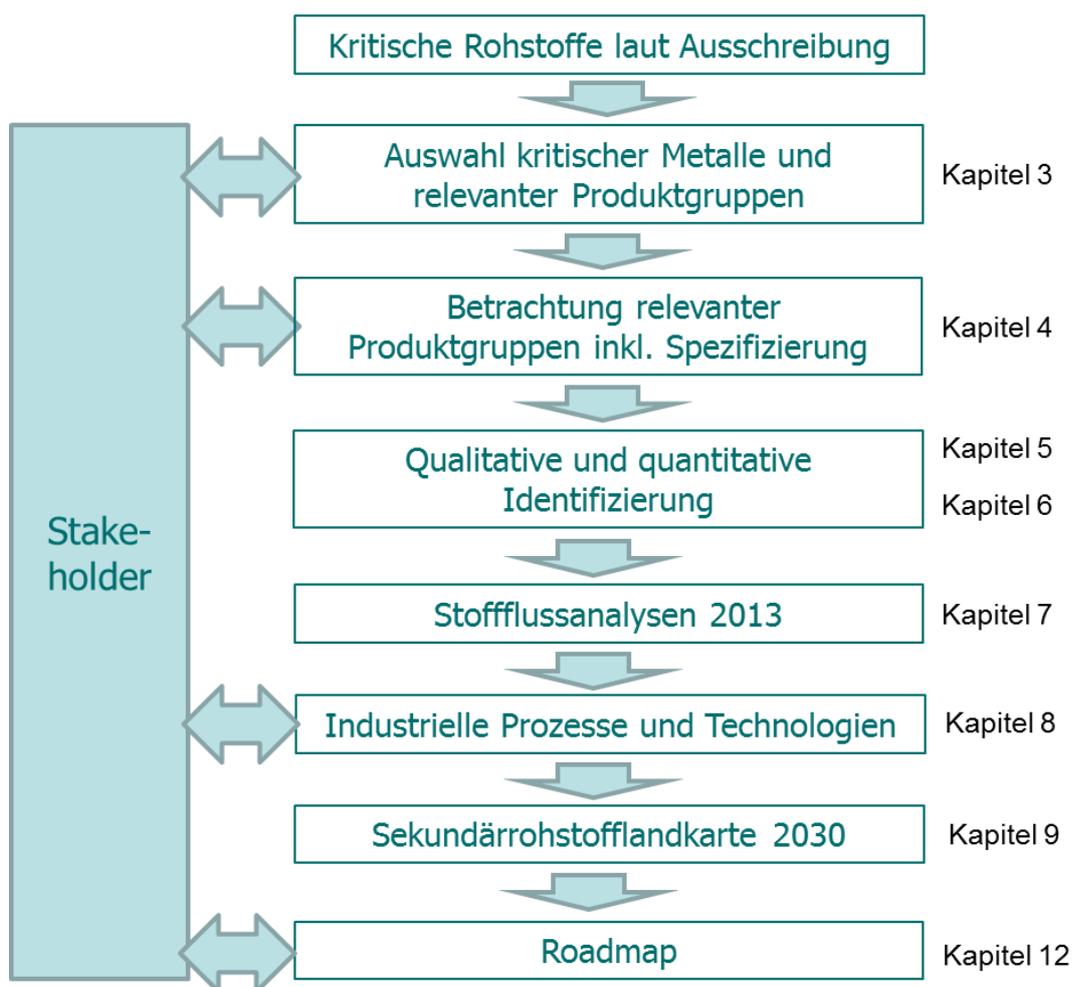


Abbildung 2: Schematische Übersicht über den Aufbau der Studie

### 3.1 Auswahl der zu untersuchenden kritischen Rohstoffe

Als Basis für die Auswahl der in dieser Studie zu untersuchenden kritischen Rohstoffe dient die Ausschreibung des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technik (BMVIT) aus dem Jahr 2012 und dem Jahr 2014. Die gegenständliche Arbeit bezieht sich zwar auf die Ausschreibung 2012, jedoch soll aufgrund einer möglichst hohen Aktualität auch die Ausschreibung 2014 berücksichtigt werden. Die in Tabelle 1 zusammengefassten Rohstoffe wurden dabei für Österreich als kritisch definiert:

Tabelle 1: Kritische Rohstoffe für Österreich laut BMVIT [11] [12]

Kritische Rohstoffe Ausschreibung 2012	Kritische Rohstoffe Ausschreibung 2014
Antimon	Antimon
Chrom	Beryllium
Flussspat	Borate
Gallium	Chrom
Germanium	Flussspat
Grafit	Gallium
Cobalt	Germanium
Magnesit	Grafit
Niob	Indium
PGE (z.B. Platin, Rhodium, Palladium)	Cobalt
Seltene Erden (SE)	Kokskohle
Tantal	Magnesit
Wolfram	Magnesium
	Niob
	PGE (z.B. Platin, Rhodium und Palladium)
	Seltene Erden (SE)
	Silizium als Metall
	Vanadium
-	Wolfram

Einem kritischen Rohstoff liegt dabei folgende Definition zugrunde:

*„Ein mineralischer Rohstoff ist aus nationaler Sicht dann kritisch, wenn mangels einer ausreichenden Eigenproduktion eines für die österreichische Wirtschaft bedeutenden Rohstoffes zufolge der Importabhängigkeit die Versorgungskette empfindlich gestört oder völlig unterbrochen wird. Dies trifft insbesondere für mineralische Rohstoffe mit einer hohen wirtschaftlichen Bedeutung und einem hohen Versorgungsrisiko-Index zu.“ [12]*

Die nachstehende Grafik zeigt die Bewertung der kritischen Rohstoffe für Österreich nach deren wirtschaftlichen Bedeutung und dem Versorgungsrisiko auf Basis der Evaluations-

methode, welche von der Arbeitsgruppe der Europäischen Kommission entwickelt wurde (vgl. Abbildung 3).

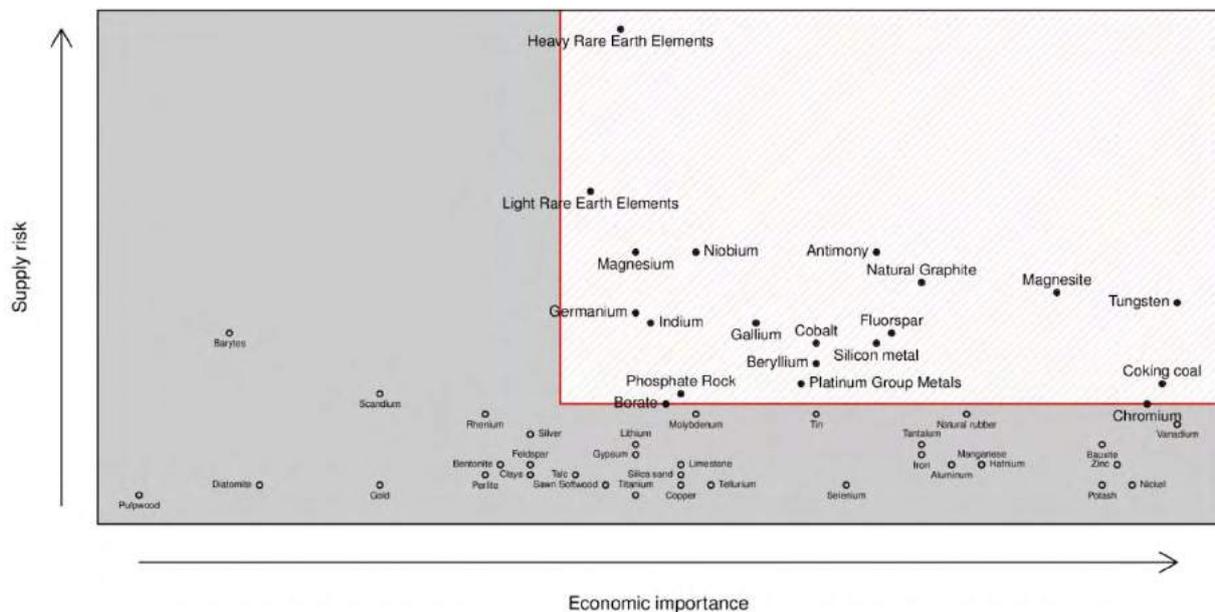


Abbildung 3: Kritische Rohstoffe nach wirtschaftlicher Bedeutung und Versorgungsrisiko [13]

Vergleicht man die einzelnen kritischen Rohstoffe bezogen auf die Weltproduktion 2006 mit dem weltweiten Bedarf für Zukunftstechnologien für das Jahr 2030 nach einer Abschätzung von Angerer et.al. [14], nehmen vorwiegend Gallium, Neodym, Germanium, Platin, Tantal, Cobalt und Palladium eine wesentliche Rolle ein (vgl. Tabelle 2).

Da die angeführten Zukunftstechnologien auch großteils zentrale Bedeutung für die österreichische Elektro- und Elektronik- bzw. Umweltindustrie haben, kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass auch für Österreich die Wichtigkeit und der Bedarf dieser kritischen Rohstoffe zunehmen wird. [15] Zu berücksichtigen ist, dass beispielsweise Tantal bei der Ausschreibung 2014 nicht mehr als kritisch angesehen wurde. Diese Neubewertungen lässt auf einen wesentlich geringeren Bedarf an Tantal für das Jahr 2030, bedingt durch kleiner produzierte Mikrokondensatoren etc., schließen.

Tabelle 2: Effekt von Zukunftstechnologien auf die Weltproduktion von seltenen Metallen/Metalloiden 2006 und 2030 [15]

Metall / Metalloid	Weltweiter Bedarf der 32 Technologien bezogen auf die Weltproduktion im Jahr 2006 (= 100 %)		Zukunftstechnologien, die den größten Bedarf verursachen
	Bedarf im Jahr 2006	Bedarf im Jahr 2030	
Gallium	28 %	609 %	Dünnschicht-Photovoltaik, Integrierte Schaltkreise, WLEDs (Weißlichtemittierende Dioden)
Neodym (SE)	55 %	382 %	Permanentmagnete, Lasertechnologie
Indium	40 %	329 %	Bildschirm, Dünnschicht-Photovoltaik
Germanium	31 %	244 %	Glasfaserkabel, optische Infrarottechnologien
Platin	Niedrig	156 %	Brennstoffzellen, Katalysatoren
Tantal	39 %	101 %	Mikrokondensatoren
Cobalt	19 %	40 %	Lithiumionen-Batterien, synthetische Brennstoffe
Palladium	10 %	34 %	Katalysatoren, Meerwasserentsalzung
Niob	1 %	3 %	Mikrokondensatoren, Stahllegierungen
Ruthenium	0 %	3 %	Farbsensible Solarzellen, Titanlegierungen
Yttrium	Niedrig	1 %	Supraleiter, Lasertechnologie
Antimon	Niedrig	Niedrig	ATO (Antimon-Zinn-Oxid), Mikrokondensatoren
Chrom	Niedrig	Niedrig	Meerwasserentsalzung, Meerestechnologien

Für die Auswahl der zu betrachtenden Elemente in dieser Studie werden zusätzlich die prognostizierten Versorgungsengpässe nach United Nations Environment Programme (UNEP) & Öko-Institut berücksichtigt. [16] Dabei wird für Gallium und Indium ein Engpass in naher Zukunft gesehen, wobei für die Seltenen Erden und den Platingruppenelementen (Palladium, Platin und Ruthenium) erst im Jahr 2020 Probleme prognostiziert werden. Da für Germanium und Cobalt erst im Jahr 2050 eine kritische Versorgung gesehen wird, werden diese Elemente in der gegenständigen Arbeit nicht berücksichtigt. Jedoch sollen die wichtigen Edelmetalle Gold und Silber betrachtet werden. Zusätzlich zu ihrem hohen Wert sind sie nur mit großem Aufwand aus natürlichen Erzen zu gewinnen, wodurch sie einen wichtigen Treiber für Recyclingaktivitäten insbesondere im Bereich von Elektronikprodukten darstellen. Da die Gruppe der Seltenen Erden 17 Elemente umfasst, wurde hier die Auswahl spezifiziert. Stellvertretend sollen als Leitmetall Yttrium für schwere Seltene Erden bzw. Cer für leichte Seltene Erden betrachtet werden. Zudem wird aufgrund der hohen wirtschaftlichen Bedeutung mit Wolfram jenes Element untersucht, das als einziges seltenes Metall in Österreich als Erz abgebaut wird und für die heimische Industrie von hoher Bedeutung ist. [15]

Die Priorisierung der in dieser Studie zu betrachtenden Rohstoffe erfolgt einerseits auf Basis der angeführten Überlegungen und andererseits aufgrund des vorhandenen Wissens der

einzelnen Projektpartner in Bezug auf die Problematik rund um das Thema der kritischen Rohstoffe. In der gegenständlichen Arbeit werden in Summe 8 kritische Metalle sowie Gold und Silber geordnet nach Edelmetalle, leichte und schwere Seltene Erden, Refraktärmetalle sowie sonstige Technologiemetalle näher betrachtet (vgl. Abbildung 4).

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Em	Md	No	Lr

- Edelmetalle (EM)
- Leichte Seltene Erden (LSE)
- Schwere Seltene Erden (SSE)
- Refraktärmetalle (RM)
- Sonstige Technologiemetalle (SOT)

Abbildung 4: Ausgewählte strategische Metalle

### 3.2 Anwendungen der ausgewählten Metalle

Um zu wissen in welchen Abfallströmen die ausgewählten Metalle landen, sind Vorkenntnisse über deren Einsatz notwendig. Hierfür erfolgt in diesem Kapitel eine Beschreibung von Anwendungen sowie eine Auflistung einzelner Einsatzgebiete bzw. Technologie- und Produktbeispielen.

#### Gold (Au)

Die Anwendungen von Gold liegen in der Schmuckindustrie und dem Technologiesektor. Darüber hinaus dient es als Wertanlage. Dabei bezog sich die Gesamtnachfrage von 3.924 t im Jahr 2014 zu 9,9 % auf den Technologiesektor, wobei der Einsatz in diesem Bereich zu 68,7 % vom Elektro- und Elektroniksektor dominiert wird. Die anderen Technologiebereiche umfassen die Zahnmedizin zu 8,8 % sowie die sonstigen Industriezweige mit 22,5 %. [17] In der Elektro- und Elektronikindustrie wird Gold aufgrund seiner Korrosionsbeständigkeit hauptsächlich auf Leiterplatten verarbeitet sowie in integrierten Schaltungen und

Steckverbindungen eingesetzt. [18] Die Abbildung 5 zeigt die einzelnen Anwendungen von Gold.

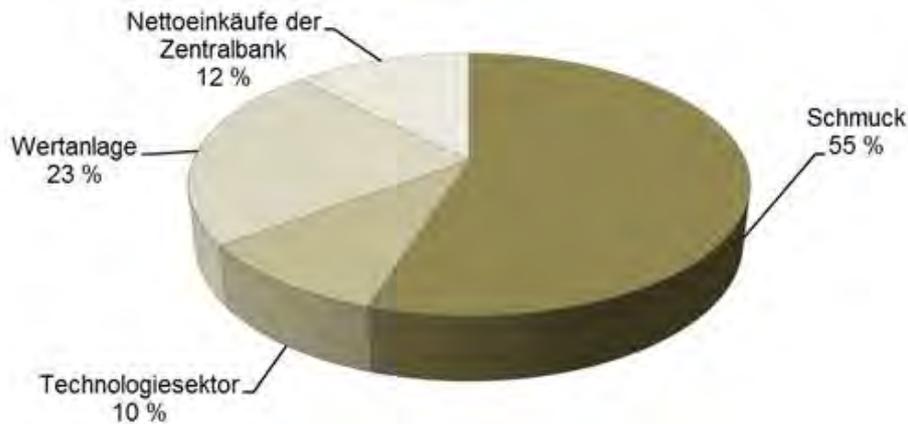


Abbildung 5: Anwendungen von Gold [17]

Einsatzgebiete mit Technologie- und Produktbeispielen für Gold sind unter Tabelle 3 ersichtlich.

Tabelle 3: Einsatzgebiete von Gold [17], [18]

Einsatzgebiet	Technologie- und Produktbeispiele
Schmuckindustrie	Schmuckstücke und Anhänger
Medizin	Zahngold (Füllungen und Ersatzmaterial)
Elektro- und Elektronik	Integrierte Schaltkreise, Leiterplatte, Steckverbindungen
Investment	Börsenhandel, Wertanlage, Goldbarren

### Silber (Ag)

Die wesentlichen Anwendungsgebiete von Silber finden sich im Industriebereich, bei der Herstellung von Schmuck und Silberwaren sowie Münzen und in der Investmentbranche. Den größten Teil der weltweiten Gesamtnachfrage im Jahr 2013 machte mit 18.244 t und einem Anteil von 54,3 % der Industriesektor aus. Aufgrund der sehr guten elektrischen und thermischen Leitfähigkeit von Silber stellt auch hier der Elektro- und Elektronikbereich einen wesentlichen Anteil dar. Das Edelmetall Silber kommt in einer Vielzahl von elektronischen und elektrischen Anwendungen, wie z.B. Leiter, Schalter, Kontakte und Sicherungen, zum Einsatz. [19] In Abbildung 6 sind anteilmäßig die Hauptanwendungen von Silber ersichtlich.

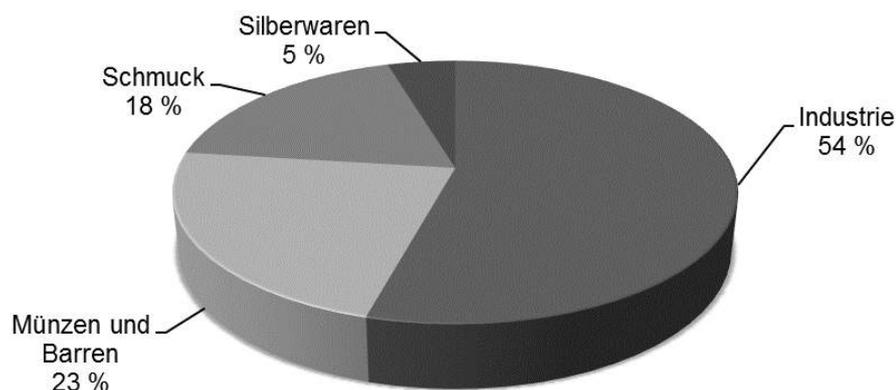


Abbildung 6: Anwendungen von Silber [19]

Einzelne Einsatzgebiete von Silber sind unter Tabelle 4 ersichtlich.

Tabelle 4: Einsatzgebiete von Silber [20]

Einsatzgebiet	Technologie- und Produktbeispiele
Schmuck und Silberware	Juwelier- und Tafelsilber (z.B. Sterlingsilber mit 92,5 % Ag)
Elektro- und Elektronik	Elektrische Kontakte, Solar-Paneel-Elektroden, Plasma-Bildschirme, Silber/Zink-Akkumulatoren, silberbasierte RFID-Tags
Investment	Börsenhandel, Münzsilber mit 5-50 % Kupfer und bis zu 20 % Zink
Wasseraufbereitung	Antibakterielle Imprägnierung
Spiegel und Gläser	Silberbeschichtungen von Scheiben
Katalysatoren	Umwandlung von Ethylen in Ethylenoxid

### Palladium (Pd)

Betrachtet man den europäischen Markt findet Palladium vorwiegend in Autokatalysatoren Einsatz, wo im Jahr 2013 der Anteil 76,9 % an der Gesamtnachfrage von 60,5 t betrug. Die restlichen Anwendungen umfassen die Elektro- und Elektronikindustrie, die chemische Industrie, die Zahnmedizin, den Investmentbereich sowie die Schmuckproduktion (vgl. Abbildung 7). [21] In der Katalysatortechnik wird Palladium häufig in Kombination mit Platin und Rhodium für die Beschleunigung von chemischen Reaktionen bei der Umwandlung von Kraftfahrzeugabgasen eingesetzt. Dabei können Palladium und Platin untereinander substituiert werden, weshalb der Einsatz vom jeweiligen Marktpreis abhängig ist. [22]

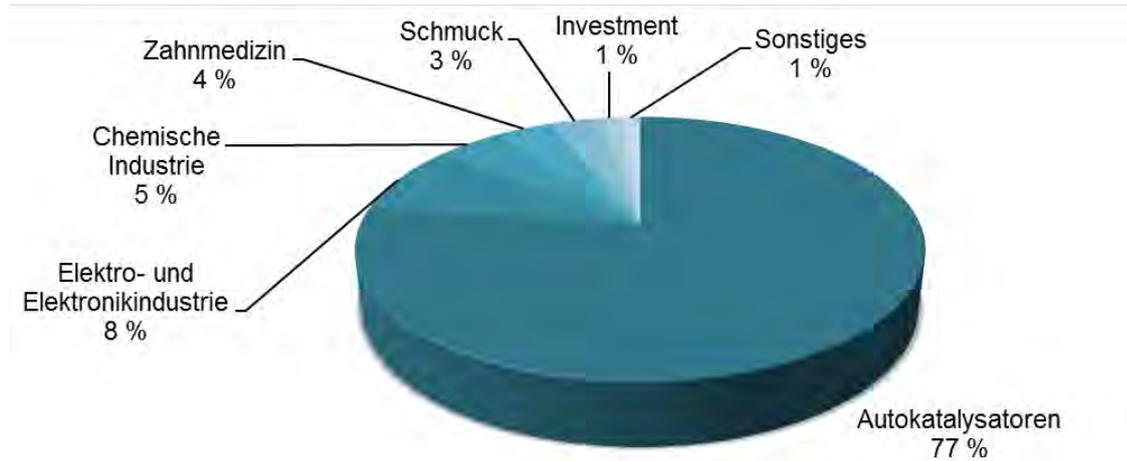


Abbildung 7: Anwendungen von Palladium [21]

Nachfolgend sind einige Technologie und Produktbeispiele für das Edelmetall Palladium ersichtlich (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Einsatzgebiete von Palladium [14]

Einsatzgebiet	Technologie- und Produktbeispiele
Autokatalysatoren	Dreiwegekatalysator in Ottomotoren und Oxidationskatalysator in Dieselmotoren
Elektro- und Elektronik	Steckkontakte, Elektrodenwerkstoffe (Zündkerzen), Lambda-Sonden
Dentaltechnik	Zahnersatz
Sonstige	Schmuck (Weißgold), Tiegel, Wasserstoffspeicher, Vielschichtkondensatoren, medizinische Instrumente

**Platin (Pt)**

Die Anwendungsgebiete von Platin sind ähnlich wie jene von Palladium. Auch für dieses Platingruppen- bzw. Edelmetall war die Nachfrage im Bereich der Autokatalysatoren (55,1 t, 65,7 %) am Höchsten, gefolgt von der Schmuckherstellung mit 10,7 % und der chemischen Industrie mit 5,4 %. Die restlichen Anwendungen sind wie bei Palladium der Investmentbereich und die Elektro- und Elektronikindustrie. Zusätzliche Einsätze ergeben sich in der Medizin- und Biomedizintechnik, in der Erdölindustrie sowie in der Glasindustrie (vgl. Abbildung 8). [23]

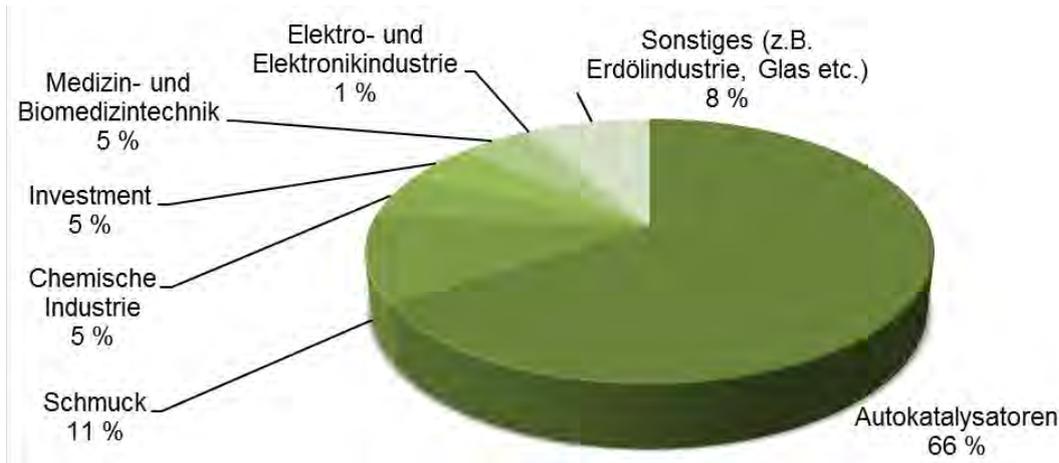


Abbildung 8: Anwendungen von Platin [23]

Einzelne Produktbeispiele von Platin sind unter Tabelle 6 ersichtlich.

Tabelle 6: Einsatzgebiete von Platin [14]

Einsatzgebiet	Technologie- und Produktbeispiele
Autokatalysatoren	Dreiwegekatalysator in Ottomotoren und Oxidationskatalysator in Dieselmotoren
Schmuck	Uhren, Ringe, Schreibfedern, Sondermünzen
Chemie und Petrochemie	Katalysatoren, Apparate, Schmelztiegel
Elektro- und Elektronik und Sonstiges	Brennstoffzellen, Thermoelemente, Widerstandsthermometer, Heizleiter, Zündkerzenelektrode, Lambda-Sonden, Magnetwerkstoffe für Computerfestplatten, Schmelztiegel für Lichtleiter-Glasfasern, Glasfaser-Spinddüsen, Mikrochip-Kontakte, Vielschichtkondensatoren, optische Gläser (z.B. Bildschirmglas), medizinische Implantate, Herzschrittmacher, Elektroden von Retinaimplantaten, Beschichtung von Rasierklingen

### Seltenen Erden: Cer (Ce), Neodym (Nd) und Yttrium (Y)

Zu den Metallen der Seltenen Erden gehören neben den Lanthaniden auch die Elemente der 3. Gruppe im Periodensystem, welche auf Grund ihrer ähnlichen chemisch-physikalischen Eigenschaften und ihres gemeinsamen Vorkommens als Gesamtheit betrachtet werden können. [14] Im Rahmen dieser Studie werden stellvertretend nur die Elemente Cer, Neodym und Yttrium näher untersucht.

Seltene Erden sind heute ein wesentlicher Bestandteil einer Vielzahl technologischer Anwendungen. Die Haupteinsatzgebiete finden sich dabei in Katalysatoren, Magneten, Gläsern, Poliermitteln, Batterien sowie zahlreichen anderen Bereichen (vgl. Abbildung 9). [22]

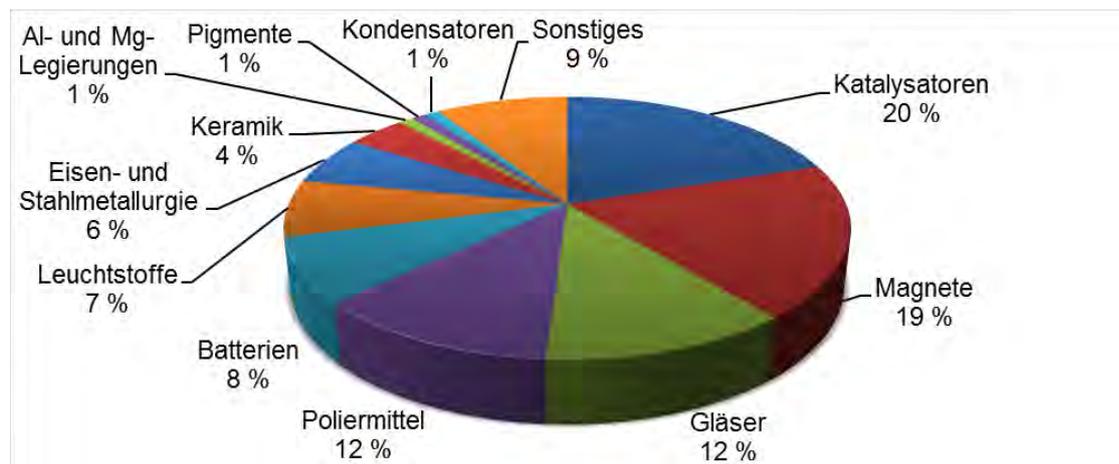


Abbildung 9: Anwendungen von Seltenen Erden [22]

### Cer (Ce)

Anwendungen des Elements sind beispielsweise in Form von Ceroxid als Glaspoliermittel oder in Katalysatoren zu finden. Auch in Zündsteinen für Feuerzeuge oder als Leuchtstoff in Leuchtstoffröhren sowie als Farbstoff in der Glasherstellung wird Cer eingesetzt. [24]

### Neodym (Nd)

Das Hauptanwendungsfeld von Neodym mit 76 % der weltweiten Produktion liegt laut Buchert et.al [25] bei Permanentmagneten. Vor allem moderne Motoren mit kleinen Abmessungen und gleichzeitig hohen Leistungsanforderungen sind in der Regel mit Neodym-Eisen-Bor-Magneten (NdFeB) ausgestattet. Diese Magnete werden in Festplatten, Motoren, im Automobilbereich, in Magnetresonanztomographen sowie in optischen und akustischen Geräten wie miniaturisierten Lautsprechern in Handys oder Mikrofonen, eingesetzt. Nach Du und Graedel [26] setzt sich das Anwendungsgebiet für NdFeB-Magnete aus 35 % Computer, 25 % Audiosystemen, 15 % Automobile, 15 % Windturbinen, 5 % medizinische Anwendungen sowie 5 % sonstige Haushaltsprodukte zusammen. Als weitere wichtige Anwendungsgebiete für Neodym sind NiMeH-Batterien, Katalysatoren sowie der Glas- und Keramikbereich zu sehen. [27]

### Yttrium (Y)

Der Haupteinsatz von Yttrium liegt in der Herstellung von hochwiderstandsfähiger Keramik, welche in Lambda-Sonden, hitzeresistenten Kacheln in der Raumfahrt oder in künstlichen Gelenken und als Zahnersatz Verwendung findet. Zudem wird die Eigenschaft des Yttriums in Kombination mit anderen Seltenen Erden wie Europium (Eu) oder Terbium (Tb) für die Herstellung von Leuchtstoffen, eingesetzt in Leuchtstofflampen, Flachbildschirmen und Displays, genutzt. [28]

In Tabelle 7 sind einige Anwendungsgebiete der ausgewählten Seltenen Erden Cer, Neodym und Yttrium zusammengefasst.

Tabelle 7: Einsatzgebiete der Seltenen Erden Cer, Neodym und Yttrium

Einsatzgebiet	Technologie- und Produktbeispiele
Glasindustrie (Ce und Nd)	Schleif- und Poliermittel, Glasfärbung
Metallindustrie (Ce, Nd und Y)	Legierungen (Festigkeit, Dehnbarkeit, Oxidationsbeständigkeit)
Elektro- und Elektronik (Nd und Y)	Magnete, Lasertechnik, Mikrowellenradar
Schmuckindustrie (Y)	Künstliche Diamanten
Beleuchtung (Ce, Nd und Y)	Leuchtstoffe, Rote Lichtquellen, Bildröhren, Flachbildschirme und Displays
Keramik (Nd und Y)	Lambda-Sonden, Kacheln, künstliche Gelenke

### Wolfram (W)

Der Hauptanteil des weltweit produzierten Wolframs wurde im Jahr 2011 mit 61,1 % für Hartmetalle eingesetzt. Bedingt durch die hohe Härte und Zähigkeit findet vor allem Wolframkarbid häufig Anwendung bei Verschleißteilen, Bohrern und Schneidwerkzeugen, welche beispielsweise in der metallverarbeitenden Industrie, im Bergbau sowie bei Öl- und Gasbohrungen zum Einsatz kommen. Der zweite große Einsatzbereich von Wolfram umfasst mit 20,3 % Schnellarbeitsstähle und Superlegierungen, wo durch das Metall Wolfram Härte, Haltbarkeit und die Korrosionsbeständigkeit erhöht wird. Diese Stähle werden wiederum als Schneid- und Bohrwerkzeug eingesetzt. Des Weiteren wird Wolframmetall in verschiedenen Erzeugnissen wie beispielsweise Glühbirnen, Munition, Elektroden oder Schmuck, verwendet. Der kleinste Anteil mit rund 7,3 % vom Gesamteinsatz wird in der chemischen Industrie oder bei Katalysatoren verwendet (vgl. Abbildung 10). [29]

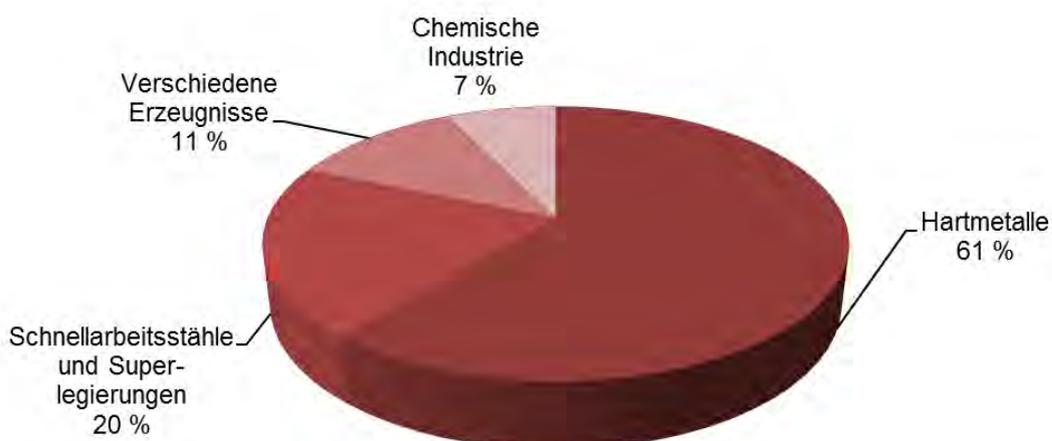


Abbildung 10: Anwendungen von Wolfram [29]

In Tabelle 8 sind einige Anwendungsbeispiele vom Refraktärmetall Wolfram, welches als Konstruktionswerkstoff im Hochtemperaturbereich eingesetzt wird, angeführt.

Tabelle 8: Einsatzgebiete von Wolfram [30]

Einsatzgebiet	Technologie- und Produktbeispiele
Industrie	Hartmetalle (Schneidwerkzeuge und Gewindebohrer), Elektrodenschweißen, Katalysatoren
Raumfahrt	Hitzeschilde und Raketendüsen
Elektro- und Elektronik	Elektroden und Heizleiter
Beleuchtung	Elektroden in Fluoreszenzlampen und Elektrodenröhren
Schmuck	Schwungmasse in Armbanduhren
Waffenindustrie	Panzerbrechende Munition

### Gallium (Ga)

Integrierte Schaltungen, insbesondere in Mobiltelefonen, weisen mit rund zwei Drittel den höchsten Anteil am Gesamteinsatz von Gallium, vorwiegend in Form von Galliumarsenid (GaAs), auf. Weitere relevante Einsatzgebiete sind die Optoelektronik für LEDs und Laserdioden, der Forschungs- und Entwicklungsbereich sowie die Anwendung in Solarzellen und Photodetektoren (vgl. Abbildung 11). [22]

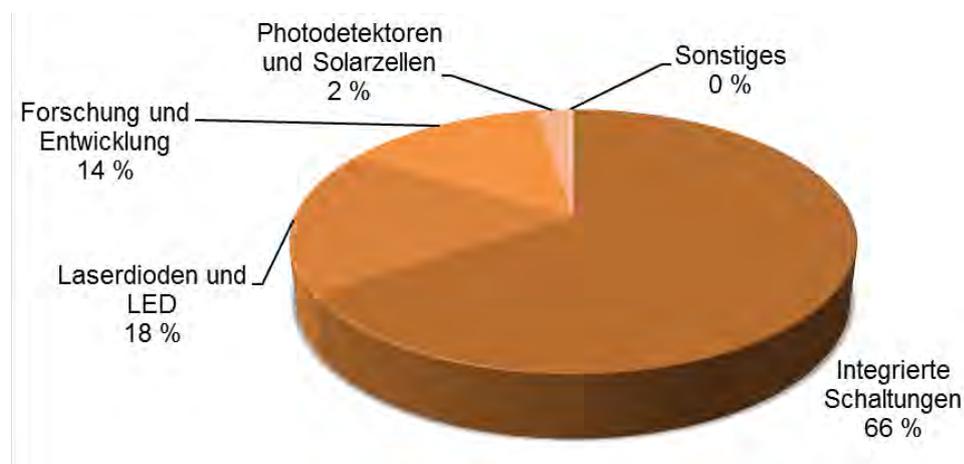


Abbildung 11: Anwendungen von Gallium [22]

Einzelne Technologie- und Produktbeispiele zugeordnet in verschiedene Einsatzbereiche sind in Tabelle 9 zu sehen.

Tabelle 9: Einsatzgebiete von Gallium [14]

Einsatzgebiet	Technologie- und Produktbeispiele
Elektro- und Elektronik	Integrierte Schaltungen (analog und digital), Halbleiter
Optoelektronischer Bereich	LED, Laserdioden, Solarzellen, Leuchtdioden
Medizinischer Bereich	Positronen-Emissions-Tomographie-Aufnahmen

### Indium (In)

Indium wird hauptsächlich als Indium-Zinn-Oxid (ITO), bestehend aus 90 % Indiumoxid und 10 % Zinnoxid, für Flüssigkristallanzeigen (LCD) in Flachbildschirmen eingesetzt. Durch das breite Anwendungsspektrum von ITO in verschiedenen elektronischen Produkten, wie Fernsehern, Mobiltelefonen, Laptops, Computern und sonstigen Geräten, ist dieser Einsatzbereich gemessen an der Gesamtnachfrage mit einem Anteil von 74 % am bedeutendsten. Rund 10 % der ITO-Anwendungen werden für die Beschichtung bei Architektur- und Windschutzgläsern verwendet. Weitere Einsatzgebiete sind verschiedenste Arten von Legierungen und Verbindungen wie beispielsweise CIGS (Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid), eingesetzt in Solarzellen, oder InGaN (Indiumgalliumnitrid), welche in weißen LEDs und Blue-ray discs verwendet werden (vgl. Abbildung 12). [22]

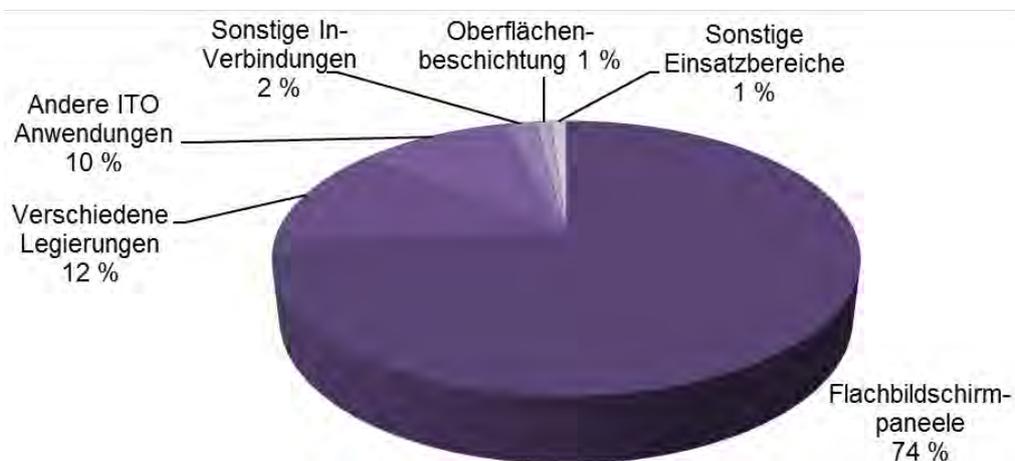


Abbildung 12: Anwendungen von Indium [22]

Spezielle Anwendungen von Indium sind unter Tabelle 10 angeführt.

Tabelle 10: Einsatzgebiete von Indium [14]

Einsatzgebiet	Technologie- und Produktbeispiele
Bildschirme	LCD-Flachbildschirme und Displays
Elektro- und Elektronik	Photovoltaikanlagen, Halbleiterapplikationen
Industrie	Legierungen für Korrosionsbeständigkeit und Schmelzpunktherabsetzung
Sonstige	Spezialbatterien und Infrarot-Reflektoren

### 3.3 Auswahl der Produktgruppen

Ausgehend von den erhobenen Anwendungen und Einsatzgebieten der definierten Metalle erfolgt unter diesem Kapitel im ersten Schritt die Auswahl der zu betrachtenden Produkte bzw. Produktgruppen. Außerdem werden Abfälle die kritische Rohstoffe bzw. Metalle enthalten können auf Basis der Schlüsselnummern (SN) nach ÖNORM S 2100 aufgelistet.

Aus vorhandenen Untersuchungen an den Lehrstühlen der Montanuniversität Leoben geht hervor, dass vor allem in Elektro- und Elektronikgeräten Potenziale an kritischen Metallen vorhanden sind. Durch den Anteil an hochfunktionalen Elementen und durch die relativ kurze Nutzungsdauer stellen somit Elektroaltgeräte (EAG) eine wichtige Sekundärrohstoffquelle dar. Auch die eingebundenen Experten aus der Entsorgungsbranche sehen in diesen Stoffströmen ein hohes Potenzial für eine nachhaltige effiziente Nutzung in Hinblick auf ein verbessertes Recycling.

Ein weiterer Stoffstrom, der aus den Erhebungen in den Fokus rückt, sind Fahrzeuge. Durch den ständig wachsenden Ausstattungsgrad mit Elektro- und Elektronikkomponenten und der zu erwartenden steigenden Nachfrage von Hybrid- und Elektrofahrzeugen stellt dieser Stoffstrom nach Ansicht der Studienautoren eine wesentliche Quelle für die Rückgewinnung kritischer Metalle dar. Auch Kohlmeyer et.al [31] beschreibt, dass durch die verstärkte Rückgewinnung von Edel- und Sondermetallen aus Altfahrzeugen zukünftig ein bedeutender Beitrag zur Ressourcenschonung und Rohstoffsicherheit geleistet werden kann. Hinsichtlich des Gesamtmetallpotenzials könnte insbesondere bei den Metallen Gold, Silber, Palladium und Neodym in zukünftigen Altfahrzeugen ähnliche Größenordnungen wie bei Elektroaltgeräten erreicht werden. In der nachfolgenden Tabelle 11 sind die errechneten Gesamtpotenziale für einzelne Metalle in 30 Arten von Elektrogeräten nach Sander et al. [27] sowie jene für Personenkraftwagen (PKW) von Kohlmeyer et al. [31] für Deutschland gegenübergestellt.

Tabelle 11: Gesamtpotenziale kritischer Metalle in Elektrogeräten und PKW für Deutschland

Metall	Potenzial Elektrogeräte [t]	Potenzial PKW [t]
Gold	3,3-11,2	2,9
Silber	20,2-54,4	4,8
Palladium	1,1-2,9	0,6
Gallium	0,26-0,31	0,04
Indium	2,9-3,0	0,07
Neodym	61,8-96,8	21
Yttrium	198,9-457	0,1

Photovoltaikmodule (PV-Module) nehmen im Bereich der erneuerbaren Energiequellen einen immer größer werdenden Stellenwert ein. Aufgrund der relativ niedrigen weltweiten Primärproduktionsmengen einiger kritischen Metalle (vgl. Tabelle 12), welche in PV-Modulen eingesetzt werden, beispielsweise Gallium und Indium, rücken auch in diesem Bereich Altmodule als Sekundärquellen in den Fokus. [32]

Tabelle 12: Primärproduktion kritischer Metalle aus PV-Module

Metall	Produktion 2009 [t]	Produktion 2010 [t]	Produktion 2011 [t]	Produktion 2012 [t]
Gallium	79	182	292	273
Indium	546	609	662	670

Eine weitere Wachstumsbranche, wo das zu betrachtende kritische Metall Neodym eingesetzt wird, ist die Windenergie. Ende des Jahres 2014 waren in Österreich 1.016 Windkraftanlagen mit einer Nennleistung von 2.095 MW am Netz. [33] Auch hier ist von zukünftigen Potentialen nach der Nutzungsdauer auszugehen.

Aus einem Fachbeitrag im Rahmen der Depo Tech 2014, organisiert vom Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, geht hervor, dass das Recycling von Seltenen Erden aus Polierschlämmen Potentiale beinhaltet. Die dabei betrachteten Poliermittel bestehen u.a. aus Ceroxiden, wodurch ein Bezug zu dieser Studie gegeben ist. [34] Aufgrund des Einsatzes des für Österreich wichtigen strategischen Metalls Wolfram in Wendeschneidplatten erfolgt auch hier eine nähere Betrachtung.

Anhand der ÖNORM S 2100 wird eine Übersicht über relevante Abfallströme, in denen Potenziale an kritischen Rohstoffen bzw. Metallen vermutet werden, nach der Abfallgruppe, Abfallbezeichnung und Schlüsselnummer gegeben (vgl. Tabelle 13).

Tabelle 13: Abfallströme mit Potenzialen an kritischen Metallen

Abfallgruppe	Abfallbezeichnung gemäß ÖNORM S 2100	Schlüsselnummer nach ÖNORM S 2100
<b>312</b> Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube	Schlacken aus NE-Metallschmelzen	31203
	Filterstäube, NE-metallhaltig	31217
	Sonstige Schlacke aus der Stahlerzeugung	31221
	Stäube, Aschen und Krätzen aus sonstigen Schmelzprozessen	31223
<b>313</b> Aschen, Schlacken und Stäube aus der thermischen Abfallbehandlung und aus Feuerungsanlagen	Schlacken und Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen	31308
<b>316</b> Mineralische Schlämme	Glasschleifschlamm	31617
<b>351</b> Eisen- und Stahlabfälle	Kfz-Katalysatoren und andere Edelmetall-Katalysatoren	35107
<b>352</b> Elektrische und elektronische Geräte, Fahrzeuge	Elektrische und elektronische Geräte und Geräteteile, mit umweltrelevanten Mengen an gefährlichen Abfällen oder Inhaltsstoffen	35201
	Elektrische und elektronische Geräte und Geräteteile, ohne umweltrelevante Mengen an gefährlichen Abfällen oder Inhaltsstoffen	35202
	Fahrzeuge, Arbeitsmaschinen und -teile, mit umweltrelevanten Mengen an gefährlichen Anteilen oder Inhaltsstoffen (z.B. Starterbatterie, Bremsflüssigkeit, Motoröl)	35203
	Fahrzeuge, Arbeitsmaschinen und -teile, ohne umweltrelevante Mengen an gefährlichen Anteilen oder Inhaltsstoffen	35204
	Leiterplatten, bestückt	35207
	Leiterplatten, entstückt oder unbestückt	35208
	Elektrolytkondensatoren	35209
	Bildröhren (nach dem Prinzip der Kathodenstrahlröhre)	35210
	Flüssigkristallanzeigen (LCD)	35211
	Bildschirmgeräte, einschließlich Bildröhrengeräte	35212
	Elektro- und Elektronik-Altgeräte – Großgeräte mit einer Kantenlänge größer oder gleich 50 cm, mit gefahrenrelevanten Eigenschaften	35220
	Elektro- und Elektronik-Altgeräte – Großgeräte mit einer Kantenlänge größer oder gleich 50 cm	35221
	Elektro- und Elektronik-Altgeräte – Kleingeräte mit einer Kantenlänge kleiner	35230

Abfallgruppe	Abfallbezeichnung gemäß ÖNORM S 2100	Schlüsselnummer nach ÖNORM S 2100
	50 cm, mit gefahrenrelevanten Eigenschaften	
	Elektro- und Elektronik-Altgeräte – Kleingeräte mit einer Kantenlänge kleiner 50 cm	35231
<b>353</b> NE-Metallabfälle	Batterien, unsortiert	35338
	Gasentladungslampen (z.B. Leuchtstofflampen, Leuchtstoffröhren)	35339
<b>355</b> Metallschlämme	Metallschleifschlamm	35502
	sonstige Metallschlämme	35506
<b>511</b> Galvanikschlämme	edelmetallhaltiger Galvanikschlamm	51110
	sonstige Galvanikschlämme	51112
<b>578</b> Schredderrückstände	Schredderleichtfraktion, metallarm	57801
	Filterstäube aus Schredderanlagen	57802
	Schredderleichtfraktion, metallreich	57803
	Schredderschwerfraktion	57804
	gefährlich verunreinigte Fraktionen und Filterstäube aus Schredderanlagen	57805

Ordnet man die ausgewählten Produkte nach ihrer Nutzungsdauer einer Abfallart und Schlüsselnummer gemäß ÖNORM S 2100 zu, ergeben sich folgende relevanten Sekundärstoffströme:

- Glasschleifschlamm (31617)
- Kfz-Katalysatoren und andere Edelmetall-Katalysatoren (SN 35107)
- Elektrische und elektronische Geräte und Geräteteile (SN 35201 und SN 35202)
- Fahrzeuge (SN 35203 und SN 35204)
- Leiterplatten (SN 35207 und 35208)
- Flüssigkristallanzeigen (LCD) (35211)
- Elektrogroßgeräte (SN 35220 und SN 35221)
- Elektro- und Elektronik- Kleingeräte (SN 35230 und SN 35231),
- Bildschirmgeräte (SN 35212)
- Gasentladungslampen (SN 35339)

## 4 Betrachtung der Produktgruppen

In diesem Kapitel erfolgt eine genauere Betrachtung der definierten Produktgruppen für Österreich. Dabei werden vor allem die beiden genannten Gruppen der Altfahrzeuge und der Elektroaltgeräte einer tieferen Betrachtung hinsichtlich Sammlung, Behandlung und rechtlichen Rahmenbedingungen unterzogen. Bei den Elektroaltgeräten erfolgt aufgrund der Vielfalt eine Spezifizierung unterschiedlicher Kategorien und Produkten. Zudem werden Entwicklungsprognosen für die einzelnen Produkte in Hinblick auf die Sekundärrohstofflandkarte für das Jahr 2030 angegeben.

### 4.1 Altfahrzeuge

Die individuelle Mobilität durch Personenkraftwagen bildet weltweit gesehen den zentralen Anteil am Verkehr. Auch in Österreich zählt der PKW mit einem Motorisierungsgrad von 546 PKW pro 1000 Einwohner am Jahresende 2013 zu den Hauptverkehrsmitteln. [35] [36] Ein Personenkraftwagen besteht aus rund 10.000 Einzelteilen und ca. 40 verschiedenen Werkstoffen. [37] Mit dem Übergang vom Gebrauchtwagen zu einem Altfahrzeug (AFZ) steht damit eine bedeutende Sekundärrohstoffquelle zur Verfügung. Unter Altfahrzeuge versteht man im Sinne der Altfahrzeuge-Verordnung gebrauchte Fahrzeuge die als Abfall gelten. Abfall liegt vor, wenn sich der Halter des Fahrzeuges dessen entledigen will, entledigt hat oder entledigen muss um öffentliche Interessen nicht zu beeinträchtigen (siehe § 2 Abs. 1 AWG 2002). Oldtimer gelten nicht als Altfahrzeuge. Zum Großteil bestehen Altfahrzeuge aus Materialien, deren brauchbare Teile als Ersatzteile weiterverwendet werden können und/oder in Aufbereitungsanlagen einer Verwertung zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen zugeführt werden. Die stoffliche Zusammensetzung von Altfahrzeugen ist als sehr heterogen zu sehen und abhängig von Faktoren wie Art, Bauweise, Größe oder Ausstattungsgrad. So bestehen Altfahrzeuge aus ca. 55-70 % Eisen/Stahl, 3-8% Leichtmetallen, 8-18 % Kunststoffen und Textilien, 2-4 % Gummi, 2-5 % Glas, 2-5 % Betriebsflüssigkeiten und 5-10 % aus anderen Materialien. [37]

Neben den stetig wachsenden Anforderungen an effiziente Antriebe, Fahreigenschaften, Komfort, Kommunikation und Qualität gewinnen auch Sicherheits- und Umwelanforderungen immer mehr an Bedeutung. [38] Bedingt durch die ansteigende Funktionalität erhöht sich auch der Ausstattungsgrad moderner Fahrzeuge mit Elektronik- und Elektronikkomponenten kontinuierlich. In Abbildung 13 ist die Entwicklung des Ausstattungsgrades von Neuwagen in Deutschland mit ausgewählten Komponenten vom Jahr 2000 bis heute ersichtlich.

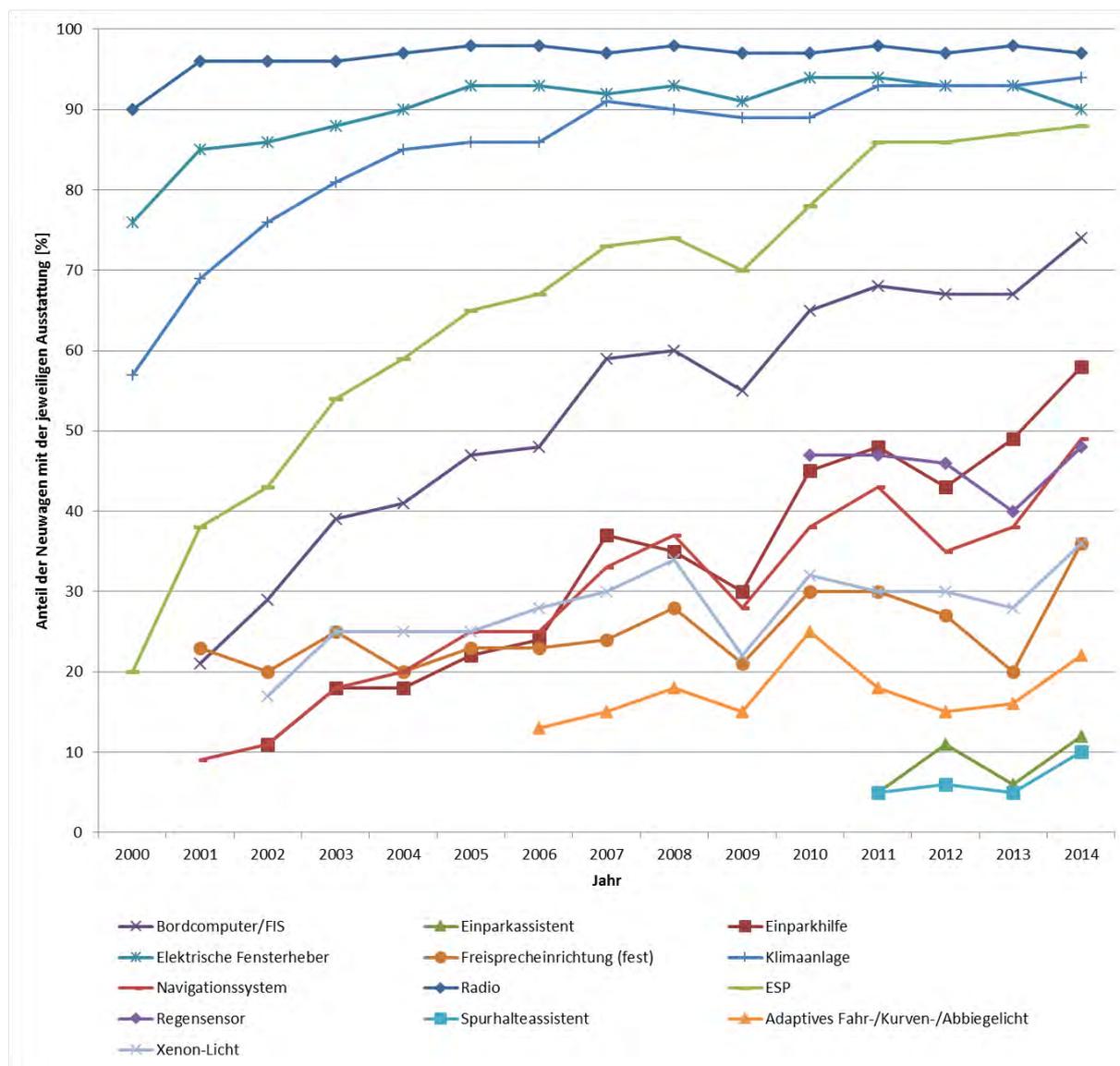


Abbildung 13: Entwicklung des Ausstattungsgrades von Neuwagen mit ausgewählten Komponenten ab 2000 [39]

Betrachtet man diese Entwicklung findet man beispielsweise Komponenten wie Radio oder elektrische Fensterheber, die in Fahrzeugen bereits seit vielen Jahren zur Grundausstattung gehören. Hingegen waren Ausstattungen wie Bordcomputer, Navigationssysteme oder Klimaanlage vor 15 Jahren noch nicht weit verbreitet, verzeichneten einen Anstieg und gelten heute als Standard bei Neuwagen. Zudem finden neben sicherheitstechnischen Ausstattungskomponenten wie Spurhalte-assistenten, Regensensoren oder ein elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP) auch Assistenzsysteme wie Einparkhilfen oder im Bereich Komfort Freisprecheinrichtungen zunehmend Verbreitung. Aus diesem Hintergrund wird auch der Einsatz von Fahrzeugelektronik und -elektrik in Form von Elektromotoren, Sensoren oder Steuergeräten in den nächsten Jahren ansteigen, wodurch auch das Potenzial an kritischen Metallen in Altfahrzeugen erhöht wird. [31] Als Beispiel kann die Entwicklung von Steuergeräten in verschiedenen Modellen des VW Golfs gesehen werden. War in der ersten Generation (Baujahr 1974-1983) nur ein Steuergerät vorhanden, stieg die Anzahl

kontinuierlich auf 28 Steuergeräte im VW Golf 5 (2003-2008) an. [40] Bei aktuellen Untersuchungen eines VW Golf 7 wurden rund 60 elektronische Bauteile gefunden. [38]

Ende 2013 wuchs der PKW-Bestand in Österreich auf 4.641.308 Fahrzeuge. Bei 319.035 Neuzulassungen hat sich der Bestand gegenüber 2012 um 57.106 Fahrzeuge erhöht. Betrachtet man die Entwicklung des Fahrzeugbestandes über die letzten 10 Jahre so ist ein durchschnittlicher jährlicher Anstieg von 1,34 % zu beobachten. Die Anzahl der ausgeschiedenen Altfahrzeuge im Jahr 2013 lag mit 261.929 Stk. unter den beiden Vorjahren. Davon wurden allerdings nur 67.000 Altfahrzeuge dokumentiert, welche ordnungsgemäß verwertet wurden. Gemessen am vorhandenen Potenzial sind somit nur 26 % in die Verwertungskette gelangt, was einen unklaren Verbleib von 194.929 Altfahrzeugen bedeutet. Diese Problematik ist mit einem durchschnittlichen Wert von lediglich 30,7 % an verwerteten Fahrzeugen im Betrachtungszeitraum 2004-2013 schon seit Jahren existent. Lediglich im Jahr 2009 war eine signifikante Zunahme der Verwertungszahlen, bedingt durch die Ökopremie, zu verzeichnen (vgl. Abbildung 14).

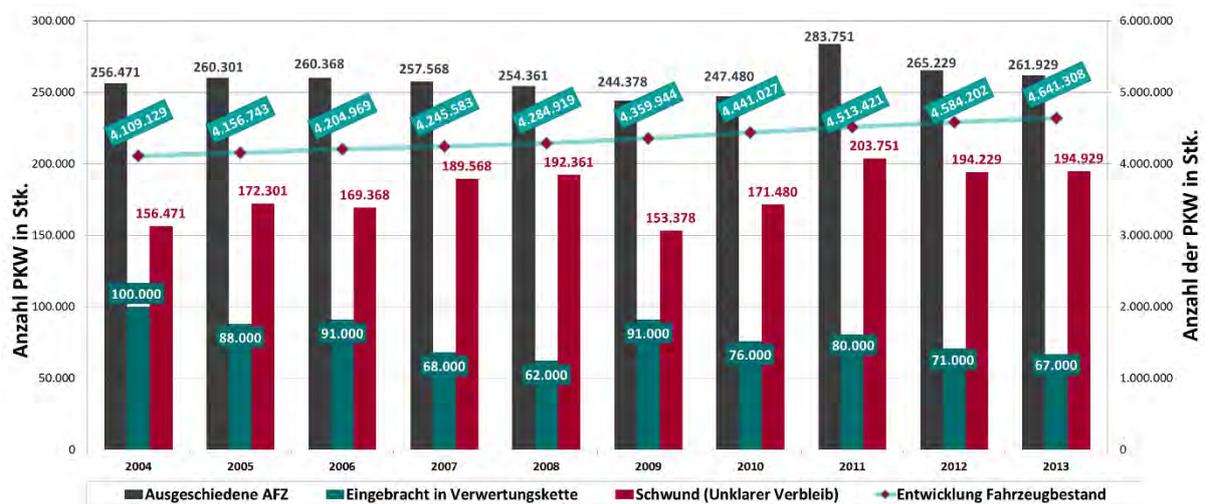


Abbildung 14: Entwicklung der Altfahrzeugverwertung in Österreich von 2004 – 2013

Der Thematik des Rohstoffabflusses durch den ungeklärten Verbleib einer großen Menge ausgeschiedener Fahrzeuge nimmt auch in Hinblick auf die Potenziale von kritischen Metallen in Personenkraftwagen einen hohen Stellenwert ein.

#### 4.1.1 Rechtliche Grundlagen

Der rechtliche Rahmen hinsichtlich Sammlung und Behandlung von Altfahrzeugen wird durch die Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments (zuletzt geändert durch die Richtlinie 2013/28/EU) gebildet. Die Umsetzung in nationales Recht erfolgte in Österreich durch die Verordnung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von Altfahrzeugen (Altfahrzeugverordnung), BGBl. II Nr. 407/2002, novelliert in den Jahren 2005,

2006, 2010, 2012 und 2014. Hinsichtlich der Sammlung und Verwertung kritischer Rohstoffe sind folgende Punkte relevant:

- Hersteller und Importeure müssen Altfahrzeuge eigener Marken zurücknehmen, sowie gegebenenfalls Marken, die in Österreich nicht verkauft wurden. Dabei sind ausreichende Rücknahmestellen einzurichten, wobei deren Entfernung nicht größer sein darf als zu den Verkaufsstellen der jeweiligen Fahrzeuge.
- Betreiber eines Sammel- und Verwertungssystems übernehmen durch Verträge mit Hersteller, Importeure oder Erstübernehmern festgelegte Verpflichtung und haben diese in Hinblick auf die Sammlung und Verwertung von Fahrzeugen zu erfüllen.
- Nicht wiederverwendbare und nicht wieder verwendete Bauteile sind einer stofflichen Verwertung zuzuführen, soweit dies ökologisch vorteilhaft und technisch möglich ist und die Mehrkosten im Vergleich zu anderen Verfahren der Behandlung nicht unverhältnismäßig sind. Ab dem 1.1.2015 sind mindestens 95 % des durchschnittlichen Fahrzeuggewichts aller Altfahrzeuge pro Kalenderjahr wieder zu verwenden oder zu verwerten. Der Anteil der Wiederverwendung und der stofflichen Verwertung muss pro Kalenderjahr mindestens 85 % des durchschnittlichen Fahrzeuggewichts aller Altfahrzeuge betragen.
- Für jeden in Verkehr gesetzten neuen Fahrzeugtyp sind innerhalb von sechs Monaten Demontageinformationen bereitzustellen. Im Hinblick auf Wiederverwendungs- und Verwertungsziele sind einzelne Fahrzeugbauteile und -Werkstoffe anzugeben. Zudem sind den genehmigten Verwertungsanlagen auf Anforderung angemessene Informationen zur Demontage, Lagerung und Prüfung von wieder verwendbaren Teilen zur Verfügung zu stellen.
- Informationen betreffend verwertungsgerechter Konstruktion von Fahrzeugen und deren Bauteilen, die Entwicklung und Optimierung von Möglichkeiten zur Wiederverwendung von Altfahrzeugen und Bauteilen sowie die Fortschritte zur Erhöhung der Verwertungsquote müssen zugänglich sein.
- Gewerbliche Übernehmer müssen Altfahrzeuge oder Altbauteile aus der Reparatur einem Verpflichteten übergeben um eine Verwertung oder Beseitigung zu gewährleisten.
- Technische Mindestanforderungen
  - Die Zerlegung und Lagerung sind so durchzuführen, dass die Fahrzeugbauteile für die Wiederverwendung und die Verwertung, insbesondere die stoffliche Verwertung, geeignet sind.
  - Bei Behandlung zur Verbesserung der stofflichen Verwertung sind die Katalysatoren zu entfernen sowie die metallreiche Schredderleichtfraktion einer weiteren Behandlung zur Rückgewinnung von Metallfraktionen zuzuführen. [41]

Zur bundeseinheitlichen Vollziehung der Altfahrzeugverordnung erfolgte seitens des BMLFUW im April 2015 ein Erlass, welcher insbesondere detaillierte Ausführungen zur Beurteilung der Abfalleigenschaft von Fahrzeugen und der grenzüberschreitenden Verbringung von Altfahrzeugen und Gebrauchtfahrzeugen enthält. Des Weiteren wird auf die Pflichten der Halter,

Fahrzeughändler, Fachwerkstätten und KFZ-Versicherungen in Bezug auf Altfahrzeuge eingegangen. [42]

#### 4.1.2 Sammlung von Altfahrzeugen

Durch die Novelle der Altfahrzeugverordnung 2010 können gesetzliche Verpflichtungen der Hersteller oder Importeure sowie Erstübernehmer auf Betreiber von Sammel- und Verwertungssysteme übertragen werden. In Österreich sind derzeit mit Stand Mai 2014 zwei genehmigte Sammel- und Verwertungssysteme vorhanden (vgl. Tabelle 14). [43]

Tabelle 14: Genehmigte Sammel- und Verwertungssysteme für Altfahrzeuge in Österreich

Systembetreiber	Kontakt Daten	Fahrzeuge
ÖCAR Automobilrecycling GmbH	Lindengasse 43/19 1071 Wien www.oecar.at	Chrysler, Daihatsu, DFSK, Dodge, Ferrari, Honda, Hyundai, Infinity, Isuzu, IVECO, Jeep, KIA, Lotus, McLaren, Maserati, MG, Mitsubishi, Nissan (Datsun), Rover, Ssang Yong und Think
Österreichische Schredder Altauto Entsorgungs- und Entwicklungs GmbH & Co KG	Linzer Straße 21 4650 Edt bei Lambach www.arge-Schredder.at  (Seite im Juli 2015 noch im Aufbau)	Abarth, Alfa Romeo, Alpina, Audi, Autobianchi, Bedford, Bentley, BMW, Bugatti, Buick, Cadillac, Chevrolet, Chrysler, Citroen, Dacia, Dodge, Daewoo, Fiat, Fiat Professional, Ford, Innocenti, Isuzu, Jaguar, Jeep, Lamborghini, Lancia, Land Rover, Lexus, Mazda, Mini, Oldsmobile, Opel, Peugeot, Pontiac, Porsche, Renault, Renault Tech, Rolls— Royce, Saab, Seat, Skoda, Subaru, Suzuki, Toyota, Vauxhall, Volvo und VW

Insgesamt kann die Sammlung von Altfahrzeugen in Österreich in 3 Bereiche gegliedert werden (vgl. Abbildung 15):

- Etwa 1.500 Rücknahmestellen im Auftrag der beiden Sammel- und Verwertungssysteme ÖCAR und Österreichische Schredder,
- Rücknahme durch ca. 4.000 Betriebe des Fahrzeughandels bei Zug-um-Zug-Geschäften als erlaubnisfreie Sammler,
- Rücknahme durch ca. 200 abfallrechtlich genehmigte Sammler / Behandler, wie z.B. Teileverwerter, Schrotthändler oder Entsorgungsunternehmen.



Abbildung 15: Gliederung der Sammlung von Altfahrzeugen in Österreich [44]

### 4.1.3 Behandlung von Altfahrzeugen in Österreich

Die technischen Mindestanforderungen für die Behandlung von Altfahrzeugen laut Altfahrzeugverordnung umfassen im Wesentlichen die Schadstoffentfrachtung, die Trockenlegung sowie die Entfernung von Teilen wie Katalysatoren für eine verbesserte stoffliche Verwertung. In Österreich erfolgt die Verwertung von Altfahrzeugen gemäß Stand der Technik auf vier Ebenen (vgl. Abbildung 16):

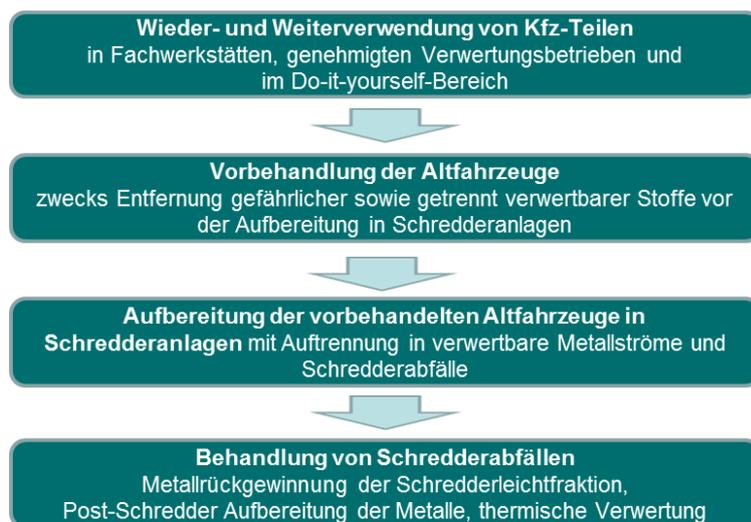


Abbildung 16: Die vier Ebenen der Verwertung von Altfahrzeugen [37]

Basierend auf den Quotenergebnissen der ARGE-Schredder im Jahr 2013 wurde für die bessere Veranschaulichung die Auswertungen einzelner Mengenströme für die Behandlung von Altfahrzeugen als Stoffflussanalyse in Prozent dargestellt. Dabei wird nach der Korrektur des Eingangsgewichtes (85,3 %) für die Quotenberechnung die verbleibende Masse als 100 % herangezogen. Betrachtet man die zu erreichenden Verwertungsziele wurden diese mit rd. 84 % für die stoffliche Verwertung und Wiederverwendung (mind. 80 %) sowie mit rd. 96 % für die Wiederverwendung und Verwertung insgesamt (mind. 85 %) erreicht. Das durchschnittliche Eigengewicht der im Jahr 2013 verwerteten Altfahrzeuge betrug rund 1.000 kg, wodurch sich die Bemessungsgrundlage auf rd. 853 kg beschränkte. Davon bildet die FE-Fraktion mit rd. 62 % den größten Anteil der rückgewonnenen Wertstoffe (vgl. Abbildung 17).

[44]

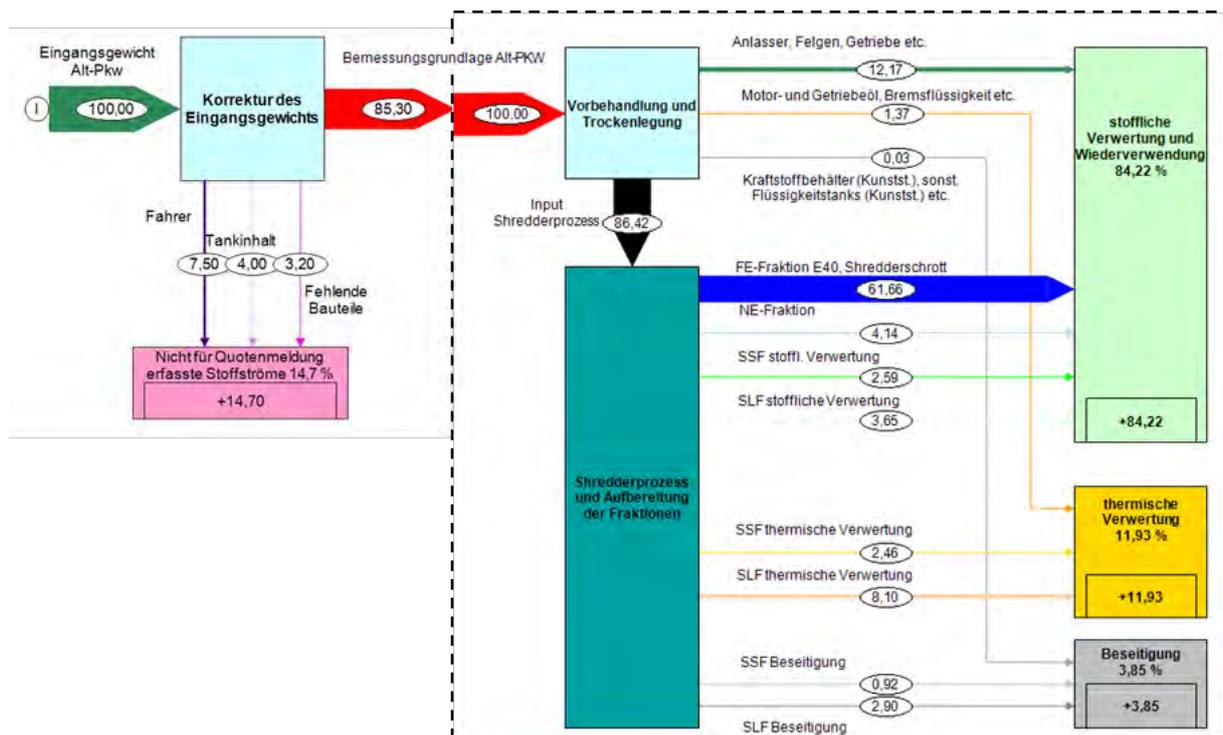


Abbildung 17: Stoffflussanalyse der Altfahrzeugverwertung auf Basis der Quotenergebnisse 2013

Die veröffentlichten Daten der Schredderbetriebe über die Massen der Bestandteile, welche kritische Metalle enthalten, sind nur wenig belastbar, da diese von der Demontagetiefe abhängen. Jedoch kann aufgrund der immer stärker werdenden Rolle, welche elektronische sowie elektrische Bauteile in der Automobilindustrie spielen, die Schredderleichtfraktion (SLF) aus der Automobilverwertung als potenzielle Rohstoffquelle gesehen werden. [45] Für die Aufbereitung von Altfahrzeugen stehen in Österreich sechs Groß-Schredder-Anlagen mit einer jährlichen Gesamtkapazität von 530.000 t zur Verfügung (vgl. Tabelle 15). [37] Im Jahr 2013 wurden insgesamt 73.993 AFZ (inkl. Lager aus der Vorperiode ca. 7.000 Stk.) in den sechs Betrieben behandelt. [46] Gemessen an der Gesamtkapazität wurden somit rund 14 % Altfahrzeuge gemäß Altfahrzeugeverordnung verwertet.

Tabelle 15: Groß-Schredder-Betriebe in Österreich

Bundesland	Betreiber	Kapazitäten in t/a	Behandelte Menge 2013 [Stk.]
Niederösterreich	Scholz Rohstoffhandel GmbH, Laxenburg	135.000	28.219
Steiermark	Fritz Kuttin GmbH, Knittelfeld	120.000	10.672
Oberösterreich	Gebrüder Gratz GmbH, Lambach	80.000	12.457
Voralberg	Loacker Recycling GmbH, Götzis	80.000	5.626
Niederösterreich	Metall Recycling GmbH, Amstetten	65.000	10.572
Tirol	Tiroler Schredder GmbH, Hall	50.000	6.447
<b>Summe Schredder</b>		<b>530.000</b>	<b>73.993</b>

Die Rückstände aus den Groß-Schreddern werden in drei Post-Schredder-Anlagen (vgl. Tabelle 16) weiter in Eisen- und Nichteisenfraktion, Kunststofffraktionen sowie in heizwertreiche und heizwertarme Restfraktionen aufgetrennt. [37]

Tabelle 16: Post-Schredder-Betriebe in Österreich

Bundesland	Betreiber	Kapazitäten in t/a
Niederösterreich	Metran Rohstoff Aufbereitungs GmbH, Kematen	120.000
Oberösterreich	Technische Behandlungssysteme GmbH (TBS), Enns	95.000
Steiermark	Recyclingpark Eisenerz GmbH&Co KG (RPE)	69.800
<b>Summe Post Schredder</b>		<b>284.800</b>

Die Abbildung 18 zeigt eine geographische Übersicht der einzelnen Schredder-Anlagen in Österreich.

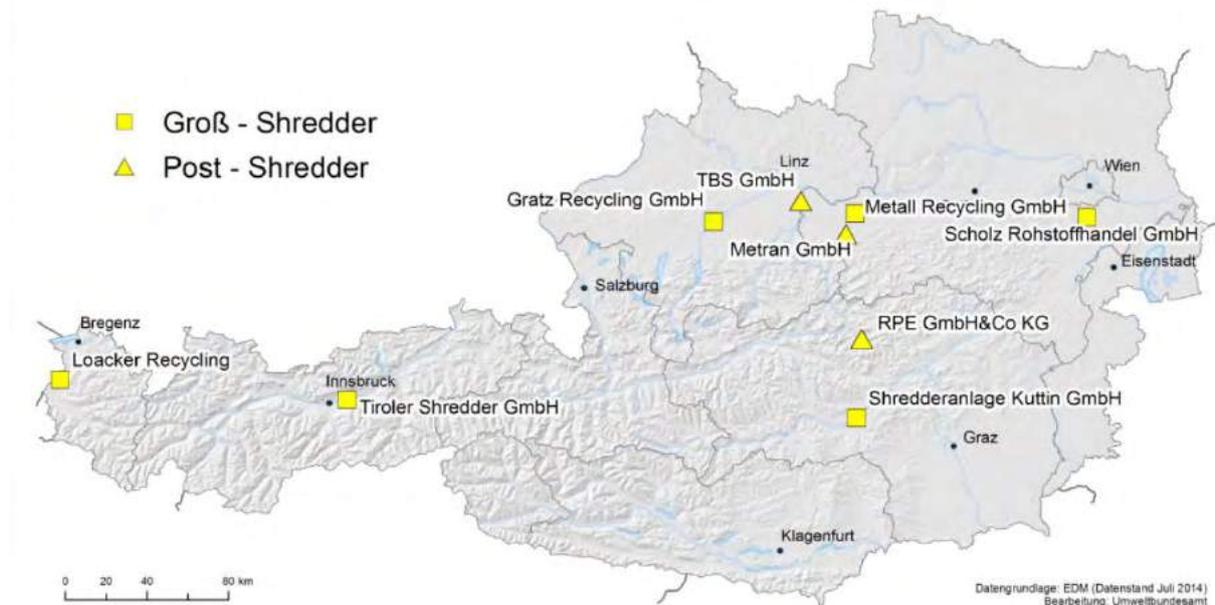


Abbildung 18: Schredder- und Post-Schredder-Betriebe in Österreich [37]

Der Hauptanteil der anfallenden SLF wird in Österreich von den zwei Post-Schredder-Anlagen TBS in Enns sowie der RPE am Erzberg aufbereitet. Die technische Ausstattung dieser Anlagen umfasst im Wesentlichen folgende Aggregate und Maschinen: Siebe, Aufschlussmühlen, Magnetscheider, Wirbelstromscheider, Sensortrennung, Windsichter, Setzherde und Schwimm-Sink-Anlagen. [47] Dadurch können zwar marktfähige FE- und NE-Fraktionen gewonnen werden, jedoch ist die Abtrennung bzw. Anreicherung von kritischen Metallen nicht möglich. Auswertungen der analysierten Metallgehalte der Schredderleichtfraktion aus der Abfallanalysedatenbank des Landes Nordrhein-Westfalen ABANDA ergab durchschnittliche Metallgehalte von rund 21 %. Davon bilden die Massenmetalle Eisen, Aluminium und Kupfer

den Hauptanteil. Jedoch beschränkt sich das Datenmaterial nur auf wenige chemische Elemente, wovon Silber mit einem Gehalt von 40 ppm das einzig betrachtete Metall mit Relevanz für diese Studie ist (vgl. Abbildung 19). [48]

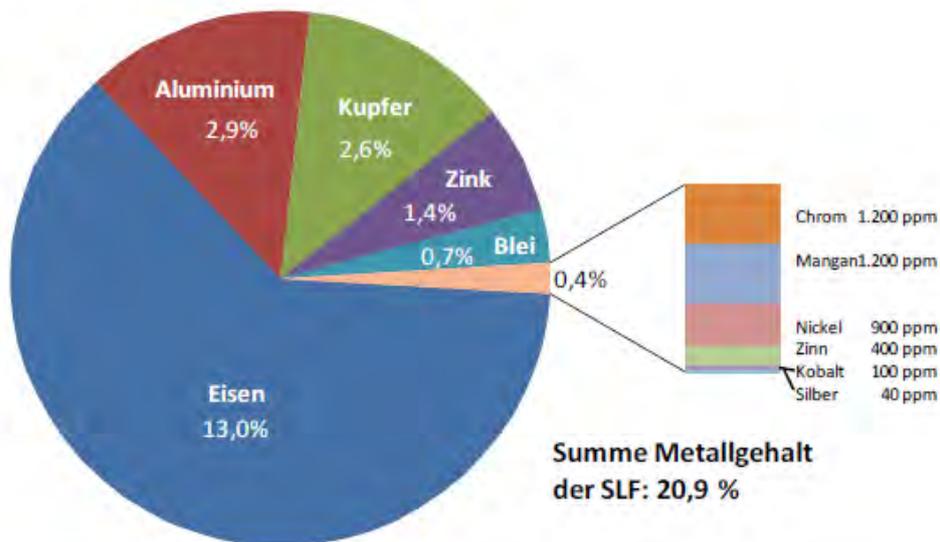


Abbildung 19: Metallgehalte der Schredderleichtfraktion in Nordrhein-Westfalen [48]

Derzeit erfolgt in Demontage- und Schredderbetrieben gewöhnlich keine gezielte Rückgewinnung von Edel- und Sondermetallen, da solche Anlagen technisch nicht primär darauf ausgelegt sind. Bei der Bilanz über die Outputfraktionen eines Schredders gelangen über 90 % des enthaltenen Goldes in die Schredderleichtfraktion und den feinen Siebdurchgang. [31]

Um Verwertungsunternehmen modellspezifische Informationen für die Demontage einzelner Teile und Materialien in Hinblick auf ein verbessertes Recycling zur Verfügung zu stellen, wurde das internationale Demontageinformationssystem (IDIS) entwickelt. Das Projekt mit Ursprung in der europäischen Automobilindustrie beinhaltet derzeit 2.027 verschiedene Modelle und Varianten von 71 Automarken aus Europa, Japan, Malaysia, Korea und den USA. Der Zugang und der Gebrauch ist für gewerbliche Unternehmen, die Altfahrzeuge verwerten, vorgesehen. [49] Nach Durchsicht der zur Verfügung gestellten Informationen aus dem Internet und nach Rücksprache mit Systembenutzern kann darauf geschlossen werden, dass qualitative oder quantitative Informationen über kritische Rohstoffe bzw. Metalle in einzelnen Komponenten bzw. Bauteile nicht vorhanden sind. Bei zukünftigen Weiterentwicklungen dieses Systems sollte dieser Thematik eine stärkere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

#### 4.1.4 Prognose der Mengenentwicklung bei PKWs

Die zukünftigen Prognosen über den PKW-Bestand werden über den Motorisierungsgrad bestimmt. Dieser gibt den PKW-Bestand je 1.000 Einwohner wieder. Vergleicht man die Bevölkerungszahl mit 1.1.2014 mit dem PKW-Bestand am 31.12.2013 ergibt sich für Österreich zu diesem Zeitpunkt ein Motorisierungsgrad von 546 PKW pro 1000 EW. Gemeinsam mit Deutschland und der Schweiz zählt Österreich mit zu den höchsten motorisierten Ländern. Laut Prognosen von Shell aus dem Jahr 2009 [50] ist ein weiterer

Anstieg der Motorisierung auf etwa 575 PKW je 1000 Einwohner für Österreich zu erwarten. Aus einem aktuelleren Bericht im Jahr 2014 [51] ist ein Motorisierungsgrad für Deutschland von 544 PKW pro 1000 EW mit Ende 2013 zu entnehmen. Vergleicht man diesen Wert mit Österreich von 546, so kann auf einen ähnlichen Motorisierungsgrad in den beiden Ländern geschlossen werden. Da auch für Deutschland ein Spitzenwert zwischen 2025 und 2030 von 570 PKW pro 1000 EW prognostiziert wird, kann der Wert von 575 für dieses Szenario als plausibel erachtet werden. Mit den Bevölkerungsprognosen der Statistik Austria und einem Zielmotorisierungsgrad für 2030 von 575 wird der Anstieg ab 2014 berechnet. Dabei wird für 2030 ein Bevölkerungsstand von rd. 9,2 Mil. prognostiziert, welcher einen PKW Bestand von rd. 5,3 Mill. bedeutet. Des Weiteren gibt Lichtblau [52] einen Gesamtfahrzeugbestand von rd. 5.9 Mill. bei einem Bevölkerungsstand von rd. 9,0 Mill. an. In Abbildung 20 sind die beiden betrachteten Entwicklungen des Fahrzeugbestandes bis 2030 dargestellt.

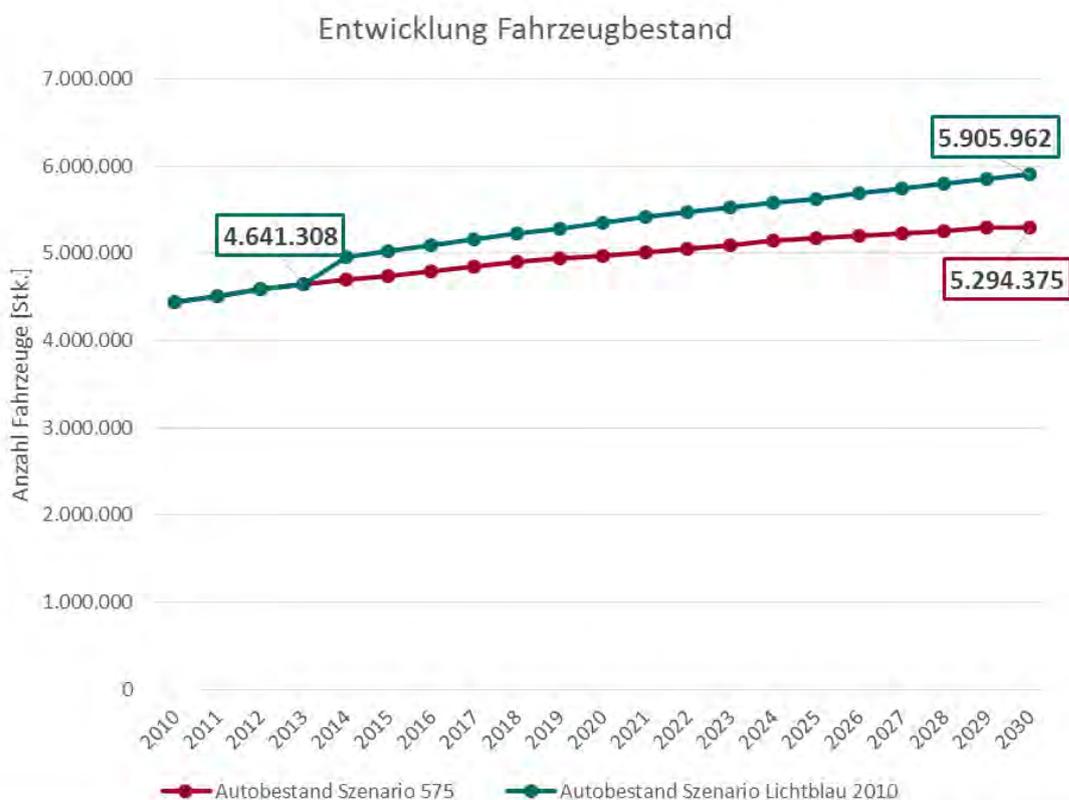


Abbildung 20: Entwicklung des Fahrzeugbestandes bis 2030

### Ausblick Elektromobilität

Unter dem Begriff Elektromobilität werden allgemein alle Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb wie reine Elektroautos sowie Fahrzeuge mit Hybridantrieb zusammengefasst. Hybrid-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge benötigen für den elektrischen Antrieb mehrere Komponenten wie Elektromotor, Leistungselektronik und Batterien, die kritische Metalle benötigen. [53] Beobachtet man die Entwicklung in Österreich so steigt der Anteil von Hybrid- und Elektrofahrzeugen an den Gesamtneuzulassungen seit Jahren kontinuierlich an. Betrug der Anteil 2009 nur 0,34 % entschlossen sich im Jahr 2014 schon 1,2 % Fahrzeugbesitzer für die

Neuanmeldung eines Personenkraftwagens mit einer alternativen Antriebsform. [54] Im Hinblick auf die verstärkte Nutzung der Sekundärquelle Altfahrzeug stellt die Entwicklung der Elektromobilität einen wesentlichen Faktor dar. Diesbezüglich wurden drei unterschiedliche Entwicklungsszenarien betrachtet. Lichtblau et al. [52] gibt einen Bestand an Hybrid- und Elektrofahrzeugen für 2030 von 1.596.689 an, welcher einem Anteil am Gesamtbestand von 27 % entspricht. Dabei wurden als Randbedingungen die Bevölkerungsentwicklungsprognose, die Entwicklung des Motorisierungsgrades sowie die Marktentwicklung von erfolgreichen neuen Produkten verwendet. Im Zuge des Projektes DEFINE hat das Umweltbundesamt aufbauend auf Daten zum aktuellen Verkehrsverhalten und Analysen zum Kaufverhalten zwei Szenarien für das Potenzial von Elektrofahrzeugen in Österreich entwickelt. Das Business-as-Usual Szenario (BAU) sieht unter aktuellen Rahmenbedingungen einen Bestand von 886.000 Elektrofahrzeugen (rein elektrische und Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge) für das Jahr 2030. Zusätzliche Maßnahmen wie die Anpassung der Normverbrauchsabgabe (NoVA), erhöhte Kraftstoffsteuern und ein verstärkter Ausbau der Ladestelleninfrastruktur könnte einen Anstieg auf ca. 1 Mio. Fahrzeuge begünstigen (Szenario EM+). [55] Ausgehend von einem Bestand an Hybrid- und Elektrofahrzeuge von 16.209 mit 31.12.2014 wurden die Entwicklungen grafisch dargestellt (vgl. Abbildung 21).

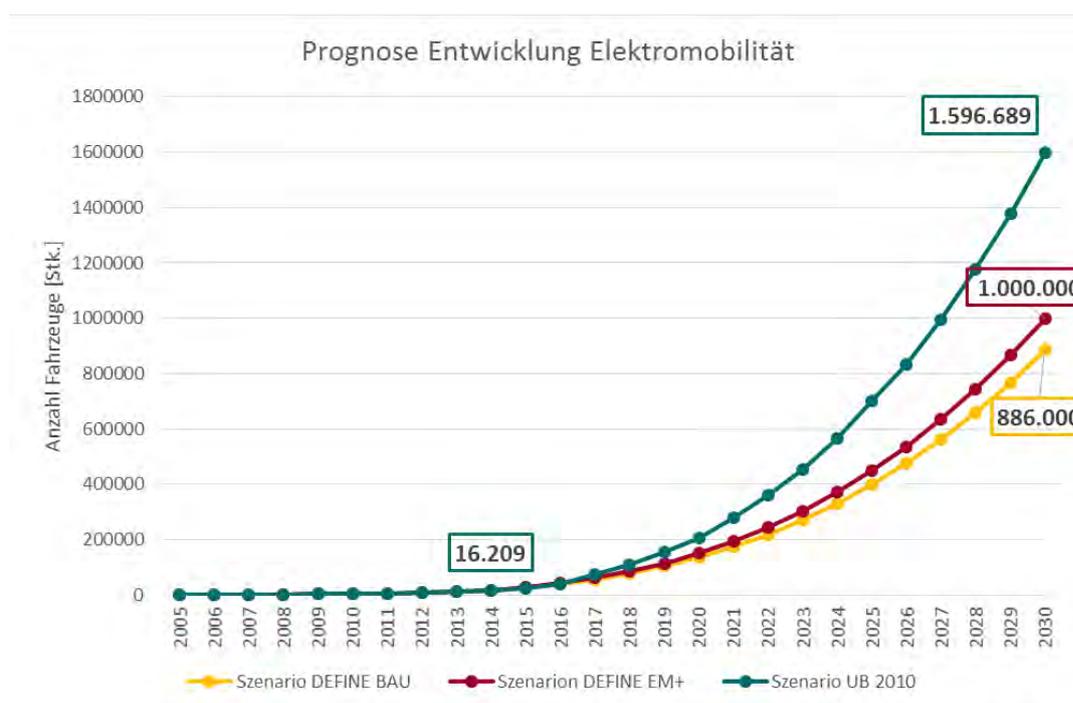


Abbildung 21: Darstellung von drei Szenarien für die Entwicklung der Elektromobilität in Österreich bis 2030

Gemessen am Gesamtbestand von 4.694.732 Fahrzeugen im Jahr 2014 betrug der Anteil der Elektromobilität rd. 0,35 %. Von 2015 bis 2030 ergibt sich aus einer durchschnittlichen jährlichen Neuzulassungszahl der letzten 10 Jahre von rd. 317.000 Neuwagen ein Zuwachs von rd. 4.755.000 Fahrzeugen. Bei einer prognostizierten Zahl von 1.000.000 Fahrzeugen für 2030 müsste somit jede 5. Neuzulassung ein Hybrid- oder Elektrofahrzeug sein.

## 4.2 Elektroaltgeräte

Aufgrund des Gehaltes an hochfunktionalen Elementen sind Elektro- und Elektronikaltgeräte als wichtige Sekundärrohstoffquelle anerkannt. [56] Es handelt sich um Geräte, die zu ihrem ordnungsgemäßen Betrieb elektrischen Strom oder elektromagnetische Felder benötigen. Nach der Nutzungsphase fallen sie als Elektro- und Elektronikaltgeräte an. Unter Elektroaltgeräte versteht man nach der Elektroaltgeräteverordnung (EAG-VO) Elektrogeräte, die im Sinne des § 2 AWG 2002 als Abfall gelten, einschließlich aller Bauteile, Unterbaugruppen und Verbrauchsmaterialien, die zum Zeitpunkt der Entledigung Teil des Gerätes sind. [57] Elektroaltgeräte stehen für ein weites Spektrum verschiedener elektrischer und elektronischer Geräte, gekennzeichnet durch einen komplexen Aufbau und große Materialvielfalt. In Elektrogeräten können bis zu 1.000 verschiedene Werkstoffe enthalten sein. [37] Neben der hohen Typen- und Stoffvielfalt charakterisiert Elektroaltgeräte eine kurze Innovations- und Nutzungsdauer sowie die hohe Dissipation der Elemente in Bauteilen und Komponenten. [56] Die stoffliche Zusammensetzung variiert abhängig von Gerätekategorie und Geräteart sehr stark.

Gemäß Anhang 1 der EAG-VO bestehen bis 14.8.2018 10 Gerätekategorien:

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

Diesen 10 Gerätekategorien werden nach EAG-VO sechs Sammel- und Behandlungskategorien zugeteilt:

1. Großgeräte (größte Kantenlänge größer als 50 cm)
2. Kühl- und Gefriergeräte
3. Bildschirmgeräte einschließlich Bildröhrengeräte
4. Elektrokleingeräte (größte Kantenlänge kleiner oder gleich 50 cm)
5. Gasentladungslampen
6. Photovoltaikmodule (gelten nicht als Elektro- und Elektronikaltgeräte für private Haushalte)

Die Tabelle 17 zeigt die Entwicklung der Sammelmengen der einzelnen Kategorien für Österreich von 2006 – 2013. Im Jahr 2013 wurden bei einer gesamt in Verkehr gesetzten Menge von 155.851 t aus Haushalt und Gewerbe eine Sammelmenge von 76.835 t erzielt. Trotz des leichten Rückgangs von 0,7 % im Vergleich zum Jahr 2012 konnte eine Sammelmasse von 9 kg pro Kopf erreicht werden, welche einen Spitzenwert im Vergleich mit anderen europäischen Ländern bedeutet. Dieser Rückgang kann durch die seit 2009 rückläufige gesammelte Masse an Bildschirmgeräten erklärt werden. Durch das geringere Durchschnittsgewicht von Flachbildschirmen gegenüber Röhrenbildschirmen ist zwar nicht die Anzahl an gesammelten Geräten rückläufig, jedoch die Sammelmasse. Der deutlich stärkste Anstieg über die Jahre hinweg ist bei der Gruppe der Elektrokleingeräte zu verzeichnen. Die Menge hat sich von 2006 – 2013 fast verdoppelt und stellt mit 27.478 t und rund 36 % an der Gesamtsammelmasse den wesentlich größten Anteil dar. Innerhalb dieser Gruppe bilden IT- und Telekommunikationsgeräte exkl. Bildschirmgeräte mit 38 % den Hauptanteil. [58]

Tabelle 17: Entwicklung der Sammelmengen von 2006 bis 2013

Sammel- und Behandlungskategorie	Sammelmenge [t]							
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Großgeräte</b>	17.766	16.337	16.521	20.526	19.838	19.104	18.606	19.190
<b>Kühl- und Gefriergeräte</b>	15.882	13.914	14.294	14.761	12.966	13.123	12.617	12.342
<b>Bildschirmgeräte</b>	13.361	16.052	16.391	19.019	18.737	18.553	18.537	16.832
<b>Elektrokleingeräte</b>	<b>14.614</b>	<b>17.252</b>	<b>17.331</b>	<b>20.393</b>	<b>21.844</b>	<b>23.789</b>	<b>26.691</b>	<b>27.478</b>
<b>Gasentladungslampen</b>	1.004	971	921	863	870	895	952	993
<b>Summe</b>	62.627	64.526	65.458	75.562	74.255	75.464	77.402	76.835

Durch die gesetzlichen Rahmenbedingungen, wie die verpflichtend getrennte Sammlung oder die kostenlose Rücknahmepflicht durch Gemeinden, Fachhandel und Entsorger sowie einer verstärkten Öffentlichkeitsarbeit ist mit einem Anstieg der Sammelmassen von Elektro- und Elektronikaltgeräten zu rechnen. [37]

#### 4.2.1 Rechtliche Grundlagen

Die im Februar 2003 von der Europäischen Union erlassene „Richtlinie 2002/96/EG über Elektro- und Elektronikaltgeräte“, kurz WEEE-Richtlinie (Waste Electrical and Electronic Equipment), legt die Voraussetzungen für die Vermeidung, die Wiederverwendung sowie die Verwertung bzw. das Recycling von Elektro- und Elektronikaltgeräten fest. Neben der Reduktion der anfallenden Abfallmengen sollen durch hohe Verwertungsquoten wertvolle Rohstoffe in den Produktionskreislauf zurückgeführt werden. Durch die Regelungen werden die einzelnen Mitgliedsstaaten zum Aufbau einer nationalen Sammel- und Behandlungs-

infrastruktur verpflichtet. Eine Revision der WEEE-Richtlinie trat im August 2012 durch die Richtlinie 2012/19/EU in Kraft. Die Umsetzung in Österreich erfolgte durch die Elektroaltgeräteverordnung (EAG VO), BGBl. II Nr. 121/2005, novelliert in den Jahren 2006, 2007, 2008, 2011, 2012 und 2014. Folglich wird auf die relevantesten Punkte in der aktuellen EAG VO (EAG-VO-Novelle 2014, BGBl. II Nr. 193/2014), sowie auf die wesentlichen zukünftigen Änderungen, welche durch die neue WEEE-Richtlinie der EU entstehen, eingegangen:

- Im Sinne einer nachhaltigen Stoffstrombewirtschaftung wird als Ziel u.a. die Vermeidung, die Wiederverwendung sowie die stoffliche Verwertung unter Einbeziehung aller in den Lebenskreislauf von Elektro- und Elektronikgeräten Beteiligten, wie der Hersteller, der Vertreiber, der Verbraucher sowie der Abfallbehandler, definiert.
- Kostenlose Rückgabemöglichkeit für Altgeräte aus privaten Haushalten bei Sammelstellen der Gemeinden aber auch beim größeren Handel, wenn zugleich ein gleichartiges Neugerät gekauft wird ("1:1-Regelung")
- Sammelziele: Bis 31.12.2015: Sammlung von mindestens 4 kg Altgeräte pro Einwohner und Jahr
- Ab 1. Jänner 2016: Sammlung von mindestens 45 % des Durchschnitts der in den letzten 3 Vorjahren in Verkehr gesetzten Masse der Elektro- und Elektronikgeräten
- Ab 1. Jänner 2019: Sammlung von mindestens 65 % des Durchschnitts der in den letzten 3 Jahren in Verkehr gesetzten Masse der Elektro- und Elektronikgeräten
- Reduktion der derzeitigen zehn Gerätekategorien auf lediglich sechs ab 15. August 2019:
  1. Wärmeüberträger (u.a. Kühl- und Gefriergeräte)
  2. Bildschirme, Monitore und Geräte, die Bildschirme mit einer Oberfläche von mehr als 100 cm<sup>2</sup> enthalten
  3. Lampen (u.a. Kompaktleuchtstofflampen und LEDs)
  4. Großgeräte (u.a. medizinische Geräte, Überwachungs- und Kontrollinstrumente und Photovoltaikmodule)
  5. Kleingeräte (unter 50 cm Kantenlänge)
  6. Kleine IT- und Telekommunikationsgeräte (u.a. Mobiltelefone, PCs, Drucker und Telefone)

#### 4.2.2 Sammlung von Elektroaltgeräte

Durch moderne Recyclingtechnologien können in vielen Fällen bereits hohe Rückgewinnungsraten von beispielsweise Edelmetallen und anderen Wertstoffen erzielt werden. Ein wesentlicher Einflussfaktor für das effiziente Recycling von Metallen aus wertstoffreichen Konsumgütern wie Elektroaltgeräte ist neben den metallurgischen Verfahren eine vorgeschaltete abgestimmte Prozesskette mit den Schritten Sammlung, Sortierung und Demontage/mechanische Aufbereitung (vgl. Abbildung 22).

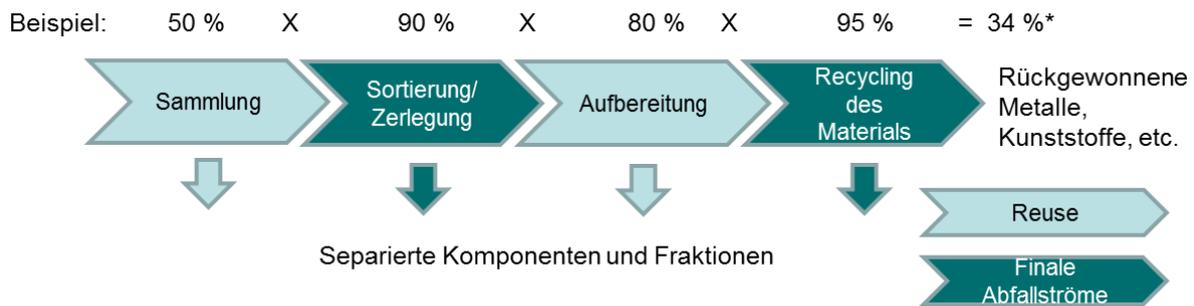


Abbildung 22: Recyclingkette von Konsumgüter (\*die Metallausbeute der Kette bezieht sich auf ein Metall in einer bestimmten Produktgruppe (z.B. Elektronik)).

Ziel der einzelnen Vorgänge ist die vollständige Erfassung relevanter Altprodukte, die weitere Abtrennung wertstoffreicher Komponenten sowie gegebenenfalls eine weitere Aufbereitung für eine nachfolgende metallurgische Endverarbeitung. Die Effizienz der gesamten Recyclingkette ergibt sich aus dem Produkt der einzelnen Wirkungsgrade jedes Teilschrittes. Somit hat jener Schritt mit der niedrigsten Ausbeute den höchsten Einfluss auf die tatsächliche Rückgewinnungsrate. Hagelüken (2010) gibt an, dass die größten Edelmetallverluste auf eine unzureichende Sammlung oder andere Probleme vor der Endverarbeitung zurückzuführen sind, welche zu einer Gesamteffizienz der Recyclingkette bei den meisten Konsumgütern von unter 50 % führt. [59]

Aus der angeführten Betrachtung wird ersichtlich, dass in Hinblick auf die Rückgewinnung kritischer Metalle aus relevanten Sekundärstoffströmen ein effizientes Sammelsystem mit einer möglichst hohen Erfassungsquote von wertstoffrelevanten Altprodukten eine essenzielle Grundlage bildet.

In Österreich waren am 31.12.2013 folgende 5 Sammel- und Verwertungssysteme für den Bereich der Elektro- und Elektronikaltgeräte genehmigt (vgl. Tabelle 18). [60] Die Elektroaltgerätekoordinierungsstelle hat die Aufgabe, die Übernahme von den kommunalen Sammelstellen zu koordinieren sowie ein einheitliches Berichtswesen sicherzustellen. Dabei sind die einzelnen Kommunen verpflichtet eine getrennte Sammlung von EAG nach den Sammel- und Behandlungskategorien laut Anhang 3 EAG-VO durchzuführen.

Tabelle 18: Sammel- und Verwertungssysteme für Elektro- und Elektronikaltgeräte

Systembetreiber	Kontaktdaten	Sammel- und Behandlungskategorien	Kunden- anzahl
ERA Elektro Recycling Austria GmbH	Mariahilfer Straße 123 1062 Wien <a href="http://www.era-gmbh.at">www.era-gmbh.at</a>	- Großgeräte - Kühl- und Gefriergeräte - Bildschirmgerät einschließlich Bildröhrengeräte - Elektro-Kleingeräte - Gasentladungslampen	1128
European Recycling Plattform (ERP) Österreich GmbH	Autokaderstraße 29/BT2/1.Stock 1210 Wien <a href="http://www.erp-recycling.at">www.erp-recycling.at</a>	- Großgeräte - Kühl- und Gefriergeräte - Bildschirmgeräte einschließlich Bildröhrengeräte - Elektro-Kleingeräte - Gasentladungslampen	36
Interseroh Austria GmbH	Ungargasse 35/III 1030 Wien <a href="http://www.interseroh-austria.com">www.interseroh-austria.com</a>	- Großgeräte - Kühl- und Gefriergeräte - Bildschirmgeräte einschließlich Bildröhrengeräte - Elektro-Kleingeräte - Gasentladungslampen	267
UFH Altlampen Systembetreiber GmbH	Mariahilfer Straße 37- 39 1060 Wien <a href="http://www.ufh.at">www.ufh.at</a>	- Gasentladungslampen	548
UFH Elektroaltgeräte System Betreiber GmbH	Mariahilfer Straße 37- 39 1060 Wien <a href="http://www.ufh.at">www.ufh.at</a>	- Großgeräte - Kühl- und Gefriergeräte - Bildschirmgeräte einschließlich Bildröhrengeräte - Elektro-Kleingeräte	

Österreich verfügt über ein dichtes Netz an öffentlich zugänglichen Sammeleinrichtungen für Elektroaltgeräte. Mit Stand Juli 2015 sind im Elektronischen Datenmanagement (EDM) des BMLFUW 2.138 Standorte, vorwiegend kommunale, für die Sammlung von Elektroaltgeräten registriert. [61] Im Mai 2013 waren in der Datenbank rund 2.090 fixe Sammeleinrichtungen erfasst, wobei in manchen Gemeinden zusätzlich mobile Sammeleinrichtungen betrieben werden. Insgesamt gab es für Österreich im Jahr 2013 in 1.675 Gemeinden fixe Sammelstellen sowie zusätzlich in Wien 89 mobile Standorte für die Abgabe von Elektrokleingeräte. Insgesamt stehen somit in 70 % der österreichischen Gemeinden Sammelstellen für Elektroaltgeräte zur Verfügung, in größeren Städten zumeist mehrere Sammelstellen. Somit haben rund 7,4 Mio. der Einwohner (ca. 88 %) eine Sammelstelle in der Wohngemeinde bzw. in einem Wiener Bezirk. Zusätzlich können noch 540 Geschäfte in 192 Gemeinden mit einer Verkaufsfläche von mehr als 400 m<sup>2</sup> für Elektro- und Elektronikgeräte genannt werden. Die Abbildung 23 zeigt die geographische Verteilung der Sammelstellen für EAG sowie der Geschäfte mit mehr als 400 m<sup>2</sup> Verkaufsfläche auf die Gemeinden in Österreich. [62]

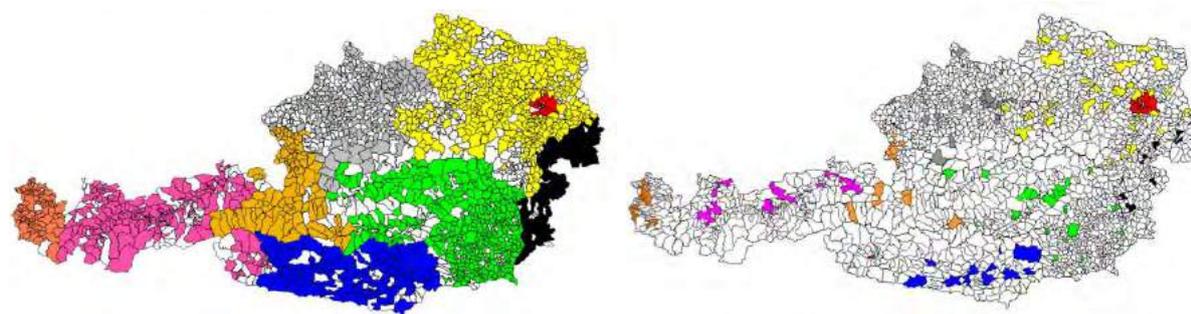


Abbildung 23: Geographische Verteilung der Sammelstellen für EAG (links) sowie der Geschäfte mit mehr als 400 m<sup>2</sup> Verkaufsfläche (rechts) auf die Gemeinden in Österreich

Laut dem Statusbericht 2014 zur Bestandsaufnahme der österreichischen Abfallwirtschaft [37] ist kann davon ausgegangen werden, dass ein Teil der Elektroaltgeräte aus folgenden Gründen nicht über registrierte Sammelstellen erfasst wird:

- Sammlung mit Alteisen
  - Elektroaltgeräte mit hohem Eisenanteil werden beispielsweise bei Sperrmüllsammlungen gemeinsam mit Alteisen gesammelt.
- Exporte in Nachbarländer
  - Organisierte Abholung von Elektroaltgeräten direkt bei Haushalten, speziell im ländlichen Raum, mit anschließendem Export in Nachbarländer. Dort erfolgt aufgrund der hohen Metallanteile ein Weiterverkauf oder bei funktionsfähigen Geräte eine Wiedernutzung.
- Entsorgung von Elektroaltgeräten über den Siedlungsabfall.
  - Sortieranalysen und Studien zeigen einen durchschnittlichen Anteil von 1 % von Elektroaltgeräten im Siedlungsabfall.
- Zwischenlagerung von Geräten
  - Geräte werden am Ende der Nutzungsdauer nicht sofort einer Sammlung übergeben, sondern über längere Zeiträume zwischengelagert.
- Nutzung als Reservegeräte
  - Funktionsfähige Geräte werden durch moderne Geräte ersetzt, verbleiben aber als Reservegerät im Haushalt und gelangen somit nicht in die Sammel- und Verwertungskette.
- Technische Aufrüstung
  - Vermehrter Einsatz von elektrischen Geräten im Haushalt.

Als Beispiel von alternativen Sammelkonzepten für wertstoffreiche Monofractionen kann die Aktion Ö3 Wundertüte des Radiosenders Hitradio Ö3 in Zusammenarbeit mit Hilfsorganisationen und der österreichischen Post AG gesehen werden. Dabei erfolgt die Sammlung der Mobiltelefone rund um Weihnachten über die Post oder mit Sammelboxen an Schulen und öffentlichen Einrichtungen. Jeder Haushalt bekommt dabei eine Papiertüte zur kostenlosen Einsendung von nicht mehr gebrauchten oder defekten Mobiltelefonen.

Funktionierende Mobiltelefone werden für den Verkauf in Schwellen- und Entwicklungsländer aufbereitet. Im Jahr 2012/2013 wurden 457.000 Mobiltelefone gesammelt [63]

Gemäß einer Presseaussendung des Verbands der österreichischen Entsorgungsbetriebe (VÖEB) im Jahr 2012 werden im Jahr bis zu 160.000 t an Abfall illegal nach Osteuropa exportiert. [64] Untersuchungen von rund 5,5 t an konfiszierten Material haben einen Anteil an Elektroaltgeräten von 26 % bzw. 1,4 t ergeben. Die Masse verteilt sich zu 55,6 % auf Großgeräte, 20,8 % Elektrokleingeräte, 9,9 % auf Bildschirmgeräte einschl. Bildröhrengeräte sowie 6,5 % auf Kühl- und Gefriergeräte. Bezogen auf die Stückzahl weisen Elektrokleingeräte den größten Teil auf. [65]

Laut einer Studie unter Beteiligung der internationalen Polizeiorganisation Interpol und mehreren UN-Unterorganisationen wurden im Jahr 2012 in der europäischen Union nur 35 % des anfallenden Elektroschrottes über offizielle Sammelsystem gesammelt. Der restliche Teil wird entweder exportiert, in Europa unter nicht gesetzeskonformen Bedingungen recycelt, auf wertvolle Bestandteile geplündert oder vom Endnutzer falsch entsorgt. So wurden von einer Gesamtanfallmenge von 9,5 Millionen t rund 1,3 Millionen t undokumentiert exportiert sowie 4,65 Millionen t innerhalb Europas illegal gehandelt oder unsachgemäß behandelt. [66]

### 4.2.3 Behandlung von EAG

Nach dem Tätigkeitsbericht der Elektroaltgerätekoordinierungsstelle aus dem Jahr 2013 werden folgende Richtwerte für Outputfraktionen aus dem Aufbereitungsprozess für die gesamten Elektroaltgeräte angegeben: FE-Metalle: 45,3 %, NE-Metalle: 7,8 %, Kunststoffe für Recycling: 16,6 %, Glas: 16,3 % sowie Restfraktionen von 13,9 %. [58]

Nahezu alle Elektro- und Elektronikaltgeräte enthalten neben einem Großteil nicht gefährlicher Stoffe auch schadstoffhaltige Bauteile. Somit ist eine Schadstoffentfrachtung in adäquaten Anlagen vor einer Auftrennung erforderlich. Für die Erstbehandlung von EAGs stehen in Österreich rund 40 Anlagen zur Verfügung. [37] Laut dem elektronischen Datenmanagement (EDM) des Lebensministeriums findet man aktuell 63 registrierte Behandler für EAG in Österreich. [67]

Die mechanische Aufbereitung von Elektrogroßgeräten erfolgt überwiegend nach einer vorherigen manuellen Separierung von Schadstoffen gemäß Abfallbehandlungspflichtenverordnung, BGBl. II Nr. 363/2006 in den sechs Groß-Schredder-Betrieben. [37] Betrachtet man die Outputfraktionen nach der Behandlung bestehen Elektrogroßgeräte aus rund 65 % FE-Metalle, 9 % NE-Metalle sowie 26 % Kunststoffe. [68]

Kühl- und Gefriergeräte werden im Wesentlichen in zwei Stufen behandelt. In Stufe 1 erfolgt durch die Absaugung des Kältemittels die Trockenlegung und in Stufe 2 die Behandlung des Isoliermaterials sowie die Endbehandlung durch Zerkleinerung und Separierung. Für die Behandlung von Kühl- und Gefriergeräten stehen in Österreich insgesamt 4 Anlagen zur Verfügung, wobei zwei davon mit einer genehmigten Gesamtkapazität von 30.000 t/a die komplette Behandlung (Entleerung des Kältekreislaufes und Behandlung des Isoliermaterials)

durchführen. [37] Anteilsmäßig bestehen die Outputfraktionen aus 38,6 % FE-Metallen, 3,7 % NE-Metallen sowie 14,2 % Kunststoffen. [68]

Für die fachgerechte Demontage von Bildschirmgeräten (Bildröhrengeräte und Flachbildschirme), welche vorwiegend händisch durchgeführt wird, stehen etwa 15 Anlagen zur Verfügung. Die Gesamtkapazität der Bildröhrenbehandlung beträgt ca. 14.000 t pro Jahr. Für die mechanische Behandlung von Flachbildschirmen steht eine Anlage mit einer jährlichen Kapazität von 1 Tonne zur Verfügung. [37] Die Outputfraktionen, welche sich vorwiegend auf Bildröhrengeräte beziehen, weisen 11,2 % FE- und NE- Metallen, 14,4 % Kunststoffe und 8 % Leiterplatten auf. [68]

Elektrokleingeräte werden in Österreich in etwa 20 Anlagen behandelt. Dabei ist vorwiegend die getrennte Erfassung unterschiedlicher schadstoffhaltiger Bauteile wie Leiterplatten, Batterien, Akkus, Kondensatoren, LCDs, etc. von Bedeutung. Die Schadstoffentfrachtung wird mit zwei Verfahren durchgeführt, einerseits über die manuelle Demontage, andererseits durch eine mechanische Vorzerkleinerung und nachgeschaltetem manuellen sortieren von Bauteilen. Vor der Demontage wird teilweise eine Sortierung in unterschiedliche Gerätegruppen vorgenommen. Die Behandlung mittels Vorzerkleinerung erfolgt mittels Querstromzerspanner, Rotorzerkleinerer und Smasher. Für die Rückgewinnung von Wertstoffen werden die schadstoffbefreiten Kleingeräte weiter in Schredderanlagen, welche mit entsprechenden Zerkleinerungs- und Trennaggregaten ausgestattet sind, aufbereitet. [69] Aus der Verwertung von Elektrokleingeräten entstehen rund 51 % FE-Metalle, 12 % Nichteisenmetalle sowie 37 % Kunststoffe. [68]

Für die Kategorie der Gasentladungslampen existieren zwei Behandlungsanlagen mit einer Kapazität von 2.000 t/a, welche nach dem Kapp-Trenn-Verfahren oder nach dem Schredderprinzip aufgearbeitet werden. [37] Dabei werden an Wertstoffen in etwa 90 % Glas und 4,5 % Aluminium rückgewonnen. [68]

Die Bestimmung einer Gesamtkapazität für die Behandlung von Elektro- und Elektronikaltgeräte ist kaum möglich, da der Anlagendurchsatz bei den Demontagebetrieben von der Mitarbeiteranzahl abhängig ist und diese variiert. Zudem werden EAGs teilweise mit anderen Abfällen verarbeitet, welche eine Mengenerhebung erschwert.

Betrachtet man die veröffentlichten Daten der Elektroaltgerätekoordinierungsstelle sowie jene des Umweltbundesamtes ist das Thema der kritischen Metalle in Elektroaltgeräten nicht präsent. Angegebene Materialzusammensetzungen bzw. Anteile rückgewonnener Wertstoffe umfassen ausschließlich Massenmetalle wie Eisen, Aluminium und Kupfer. Zudem handelt es sich bei den zu erreichenden Mindestverwertungsquoten um massenbezogene Quoten, welche die Rückgewinnung von Massenrohstoffen begünstigen und jene der in geringer Menge vorkommenden kritischen Metalle unattraktiv gestalten.

Aus Sicht der Entsorgungsunternehmen erschweren Informationsdefizite hinsichtlich Inhalte und Vorkommen einzelner Metalle in den verschiedenen Produkten und Komponenten ein

effektives Recycling zusätzlich. Durch den hohen Innovationstakt der Produkte hinkt die Abfallwirtschaft hinterher und beispielsweise dauern Analysen vergleichsweise zu lange.

#### 4.2.4 Spezifizierung von EAGs

Betrachtet man die Anwendungsgebiete unter Punkt 3.2 so wird ersichtlich, dass sämtliche ausgewählten kritischen Metalle im Elektro- und Elektronikbereich eingesetzt werden. Je nach Materialeigenschaften sind die einzelnen Elemente beispielsweise in Leiterplatten, Integrierte Schaltkreise, Steckverbindungen oder sonstigen elektrischen Kontakten zu finden. Auch die Optoelektronik mit unterschiedlichen Bauteilen wie Flüssigkristallanzeigen für Flachbildschirme, Laserdioden, Leuchtdioden oder Solarzellen weist eine hohe Relevanz auf. Wie bereits erwähnt wird der Fokus der Arbeit im ersten Schritt auf Elektrokleingeräte, Bildschirmgeräte sowie Gasentladungslampen gelegt. In der Kategorie der Elektrokleingeräte finden sich einerseits Geräte mit einem hohen Wertstoffanteil (z.B. PC, Smartphone, DVD-Player etc.), aber auch Geräte mit einem geringeren zu erwartenden Anteil an kritischen Metallen wie Küchengeräte. Zudem ist aus den Daten der Elektroaltgerätekoordinierungsstelle zwar die Mengen der einzelnen Kategorien ersichtlich, jedoch sind keine Daten über eine detaillierte Zusammensetzung der Abfallströme nach Gerätearten verfügbar, weshalb eine Bestimmung ohne umfangreiche Sortieranalysen unmöglich ist. Aus diesem Hintergrund werden die Absatzzahlen ausgewählter wertstoffrelevanter Geräte erhoben und in weiterer Folge über die Lebensdauer der einzelnen Produkte theoretisch zur Verfügung stehende anfallende Mengen bestimmt. Für die Auswahl der zu betrachtenden Geräte werden einerseits das zu erwartete Potenzial an kritischen Rohstoffen, die Entwicklung der letzten Jahre sowie die Absatzzahlen berücksichtigt. Da für Österreich kein Datenmaterial für in Verkehr gebrachte Stückzahlen verfügbar ist, werden für Bildschirmgeräte und Elektrokleingeräte die Daten von der Gesellschaft für Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik aus Deutschland sowie für Gasentladungslampen und LEDs Daten von der Stiftung Elektroaltgeräte Register sowie der Deutschen Energieagentur und anderen Literaturquellen herangezogen, um über die Einwohnerzahl plausible Abschätzungen für Österreich treffen zu können. Bei LED-Lampen handelt es sich zwar um keine Gas-entladungslampen, jedoch erfolgt die getrennte Sammlung über diese Kategorie. [70]

Die Auswahl wurde auf folgende Produkte in den Kategorien Elektrokleingeräte, Bildschirmgeräte und Gasentladungslampen spezifiziert (vgl. Abbildung 24):



Abbildung 24: Ausgewählte Produkte für die Betrachtung der Elektroaltgeräte

Für die Umrechnung der Einwohnerzahl wurden die Daten von der Statistik Austria und den Statistischen Bundesamt Deutschland betrachtet. Daraus ergeben sich für die jeweiligen Jahre folgende Umrechnungsfaktoren (vgl. Tabelle 19). [71] [72]

Tabelle 19: Ermittlung der Umrechnungsfaktoren Deutschland – Österreich

Jahr	Deutschland [EW]	Österreich [EW]	Faktor
2006	82.315.000	8.254.298	9,97
2007	82.218.000	8.282.984	9,93
2008	82.002.000	8.307.989	9,87
2009	81.802.000	8.335.003	9,81
2010	81.752.000	8.351.643	9,79
2011	80.328.000	8.375.164	9,59
2012	80.524.000	8.408.121	9,58
2013	80.767.000	8.451.860	9,56
2014	81.100.000	8.507.786	9,53

Die Absatzmengen für die ausgewählten Produkte in den Kategorien Bildschirmgeräte und Elektrokleingeräte wurden für die Jahre 2006-2014 aus den Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX) [73] entnommen und über den ermittelten Faktor für das jeweilige Jahr auf Österreich umgerechnet. Bei den Produkten Leuchtstofflampen, Energiesparlampen und LEDs sind keine genauen Absatzzahlen verfügbar, was die Bestimmung erschwert. Hier wurden zunächst die abgesetzten Stückzahlen an Gesamtgasentladungslampen aus privaten Haushalten für die Jahre 2006-2011 aus der Stiftung Elektroaltgeräte Register in Deutschland [74] herangezogen und für Österreich umgerechnet. Dabei sind auch LED-Lampen zu berücksichtigen, da diese wiederum bis Juli 2013 in die Kategorie Gasentladungslampen eingeordnet wurden. [75] Im nächsten Schritt wurde über den wachsenden Durchschnitt der letzten 3 Jahre der Absatz für 2012 bis 2013 bestimmt. Aus den Anteil bezogen auf den Gesamtabsatz der Beleuchtungstechnologien laut deutscher Energieagentur wurde für die Jahre 2009-2013 der Absatz für LED Lampen berechnet. [76] Die UFH Altlampen Systembetreiber GmbH gibt einen Absatz für Energiesparlampen im Jahr 2005 von 0,8 Millionen und für 2008 von 3 Millionen in Österreich an. [77] Der Anteil von rd. 17,4 % am Gesamtabsatz für 2008 wird bis 2013 angenommen. Die abgesetzten Stückzahlen für 2006 und 2007 belaufen sich auf rd. 1 Million bzw. 2 Millionen. [78] Bei den Leuchtstoffröhren geht Sander et al. [27] von einem Anteil von rd. 39 % bezogen auf den Gesamtmarkt im Jahr 2010 aus. Umgelegt auf Österreich würde das bei einer gesamten abgesetzten Menge von rd. 18 Millionen Stück und einem angenommenen durchschnittlichen Gewicht von 144 g pro Röhre eine Menge von 1.006 t bedeuten. Gemessen an der gesamt in Verkehr gesetzten Menge von 1.407 t für 2010 kann von einem durchaus realistischen Wert ausgegangen werden. Aus einem Bericht des Umweltbundesamtes geht zudem hervor, dass bei den Altlampen 2/3 auf stabförmige Leuchtstofflampen entfielen. [79] Bedingt durch die begrenzte Datenverfügbarkeit wird für die restlichen Jahre ein Anteil von rd. 39 % von Leuchtstoffröhren am ermittelten Gesamtabsatz angenommen. Die somit erhobenen Absatzmengen der ausgewählten

Produkte für Österreich, welche als Grundlage für die prognostizierten Entwicklungen im nächsten Kapitel dienen, sind zusammenfassend unter Tabelle 20 ersichtlich.

Tabelle 20: Absatzmengen der ausgewählten Produkte in Österreich

Produkt	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Bildschirmgeräte	Abgesetzte Menge in Stk.								
LCD TV	273.756	391.190	597.857	769.593	843.623	920.426	942.577	797.395	838.924
Plasma TV	45.024	53.193	74.567	76.623	82.953	67.249	40.827	18.627	10.490
CRT TV	273.756	144.568	64.740	15.284	3.473	2.270	433	217	217
Notebook	228.631	303.240	449.127	644.164	725.017	742.659	593.927	524.585	570.263
Tablet	-	-	-	-	44.541	149.512	347.397	580.570	696.883
Elektrokleingeräte	Abgesetzte Menge in Stk.								
Handy	2.079.744	2.417.860	2.108.253	1.686.319	1.494.473	1.128.220	719.542	450.601	315.239
Smartphone	110.305	110.617	136.876	300.277	786.823	1.516.700	1.919.195	2.341.326	2.531.145
PC	145.402	141.747	136.775	155.997	161.512	150.554	131.357	132.899	166.799
DVD Player	364.306	313.214	279.628	297.322	294.624	293.081	290.281	265.694	249.044
Drucker	221.612	183.153	150.452	109.229	94.905	92.793	78.313	69.380	69.237
Digitalkamera	787.174	861.363	944.251	833.480	841.784	860.162	734.891	582.872	420.878
Camcorder	82.227	72.536	72.744	86.812	82.748	74.235	67.245	69.380	69.237
Gasentladungslampen inkl. LED	Abgesetzte Menge in Stk.								
LED	-	-	-	122.451	222.407	308.425	628.566	1.417.490	-
Leuchtstoffröhren	5.136.356	5.383.866	6.661.554	6.481.495	6.986.824	7.010.319	7.080.985	7.254.542	-
Energiesparlampen	1.000.000	2.000.000	3.000.000	2.918.911	3.146.484	3.157.065	3.188.889	3.267.050	-

Dabei ist deutlich die Ablösung des Handys durch das Smartphone zu sehen, auch der Rückgang an verkauften Digitalkameras kann durch den stark anwachsenden Absatz von Smartphones begründet werden. Der geringere Verkauf von Notebooks sowie Drucker in den letzten Jahren kann mit den rasch steigenden Absatzzahlen des Tablets in Verbindung stehen. Zukünftig werden hauptsächlich LCD-TV und geringe Mengen an Plasma-TV zur Verfügung stehen wodurch die CRT Geräte auslaufen werden. Bei den Beleuchtungstechnologien ist ein deutlicher Anstieg von LED Lampen über die letzten Jahre zu beobachten. Während 2009 nur jede hundertste verkaufte Lampe auf der LED-Technologie basierte, lag deren Anteil 2013 bei rund 7 %.

#### 4.2.5 Prognostizierte Mengenentwicklungen

Die zukünftigen Potenziale an Sekundärrohstoffen in Abfallströmen gehen einher mit den zu erwartenden Absatzzahlen der jeweiligen Produkte. Hierfür wird in der Regel für die bekannten Jahre ein Wachstumsfaktor gegenüber dem Vorjahr bestimmt. Über den Mittelwert der Faktoren der letzten 6 Jahre wird die Absatzzahl für das darauffolgende Jahr bestimmt. Beispielsweise ergibt sich aus dem Anstieg der verkauften LCD Geräte im Jahr 2009 von 769.593 Stk. im Vergleich zu 2008 von 597.857 Stk. ein Wachstumsfaktor von rund 29 %. Aus den insgesamt 6 berechneten Faktoren im Zeitraum 2008-2014 ergibt sich ein durchschnittlicher Wachstumsfaktor von 7 %. Für die weiteren Jahre wird jeweils dieser Durchschnittswachstumsfaktor verwendet. Bei verfügbaren Marktprognosen einzelner

Produkte, werden diese berücksichtigt und auf die Berechnungen der Wachstumsfaktoren der letzten Jahre verzichtet.

So prognostiziert das Marktforschungsunternehmen IDC für 2015 und den folgenden Jahren nur ein moderates Wachstum von 2,1 % für Tablets, welches für 2030 einen Anstieg der Verkaufszahlen von 39 % gegenüber 2014 bedeutet. [80] Der Trend bei Fernsehgeräte setzt sich fort, wodurch im Jahr 2030 nahezu keine Plasma und CRT Geräte sondern hauptsächlich LCD Geräte im Abfallstrom zu erwarten sind. Der Absatz an Notebooks sinkt im Durchschnitt von 2016 bis 2030 jährlich um rund 1 %. Die Abbildung 25 zeigt die Entwicklung der Absatzzahlen in der Kategorie Bildschirmgeräte.

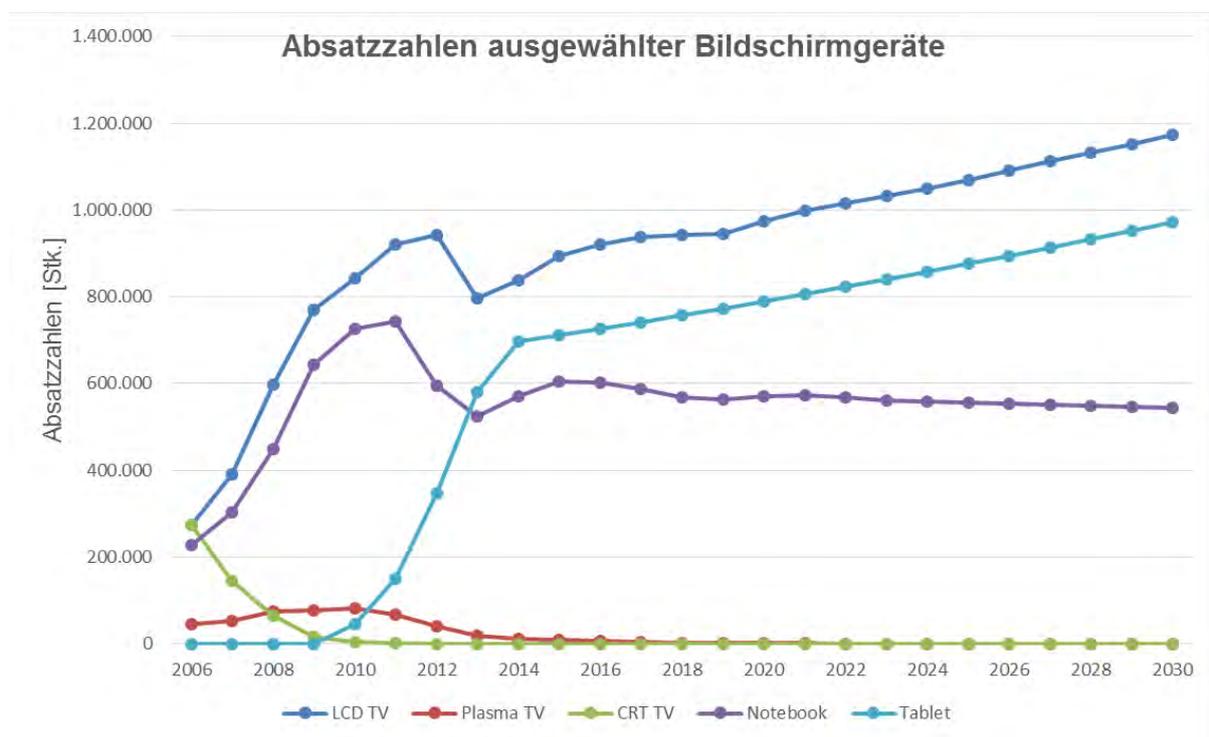


Abbildung 25: Entwicklung der Absatzzahlen ausgewählter Bildschirmgeräte bis 2030

Gemessen an den abgesetzten Stückzahlen und der rasanten Entwicklung in den letzten Jahren weist das Smartphone eine hohe Relevanz in der Kategorie der Elektrokleingeräte auf. Hier wird jedoch in den Industrieländern ein Sättigungseffekt erwartet, wodurch der schnelle Anstieg der letzten Jahre gestoppt wird. [81] Das Handy wird nahezu vollständig vom Markt verschwinden. Für PCs wird nach IDC für 2015 ein Rückgang von 4,9 % gegenüber dem Jahr 2014 prognostiziert. Für das Jahr 2019 wird ein Rückgang im Vergleich zu 2015 von rd. 0,6 % angegeben. [82] Daraus ergibt sich von 2014 bis 2030 ein durchschnittlicher jährlicher Rückgang der Absatzzahlen von rund 1 %. Auch bei den anderen Kleingeräten wie DVD-Player, Drucker, Digitalkameras und Camcorder kann auf Basis der Entwicklungen von 2008 bis 2014 auf rückläufige Absatzzahlen für die Zukunft geschlossen werden. Tablets dienen beispielsweise als Medium für Dateien, wodurch die Menge an Ausdrucken abnehmen wird. Durch die Integration von hochqualitativen Kameras in Tablets und Smartphones verlieren auch Digitalkameras und Camcorder an Bedeutung.

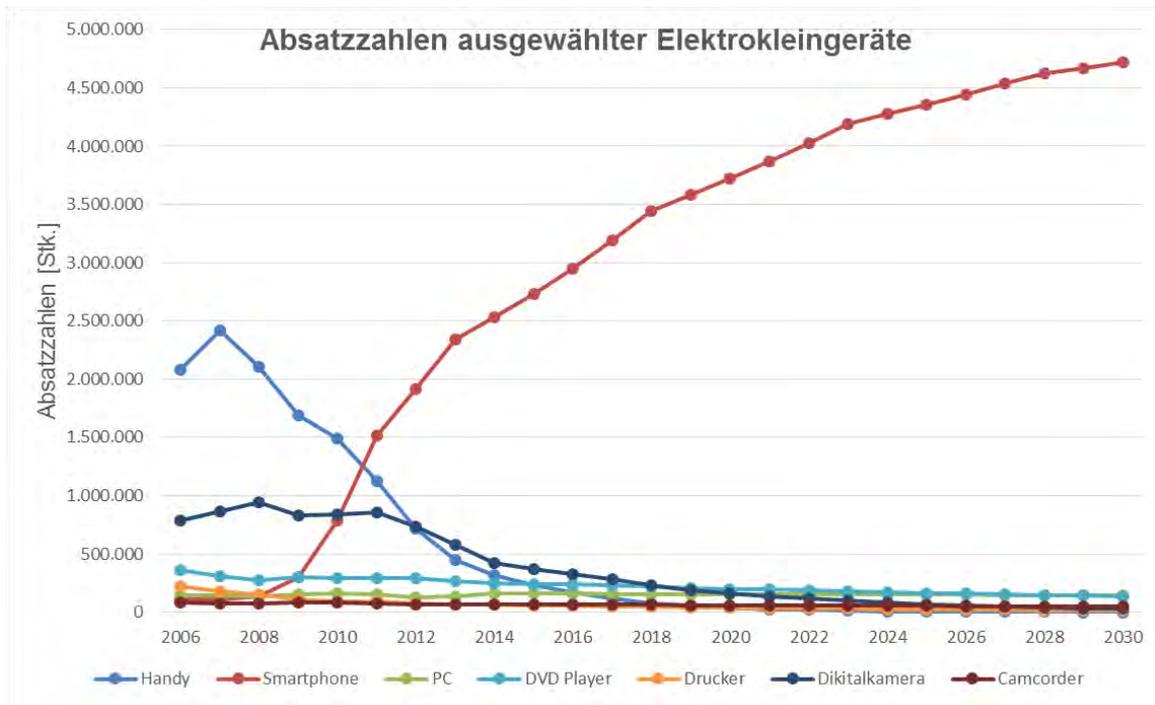


Abbildung 26: Entwicklung der Absatzzahlen ausgewählter Elektrokleingeräte bis 2030

Bei den Beleuchtungstechnologien wird der rasante Anstieg der LED-Lampen von 2009 bis 2013 gestoppt und ein jährliches Wachstum von 5% bis 2016 sowie 3 % bis 2020 angenommen. [83] Daraus leitet sich auch bis 2030 ein Anstieg von 3 % pro Jahr ab. Für Leuchtstofflampen sowie Energiesparlampen wird ein Rückgang, bedingt durch den Anstieg der LEDs, von 1,0 % pro Jahr angenommen.

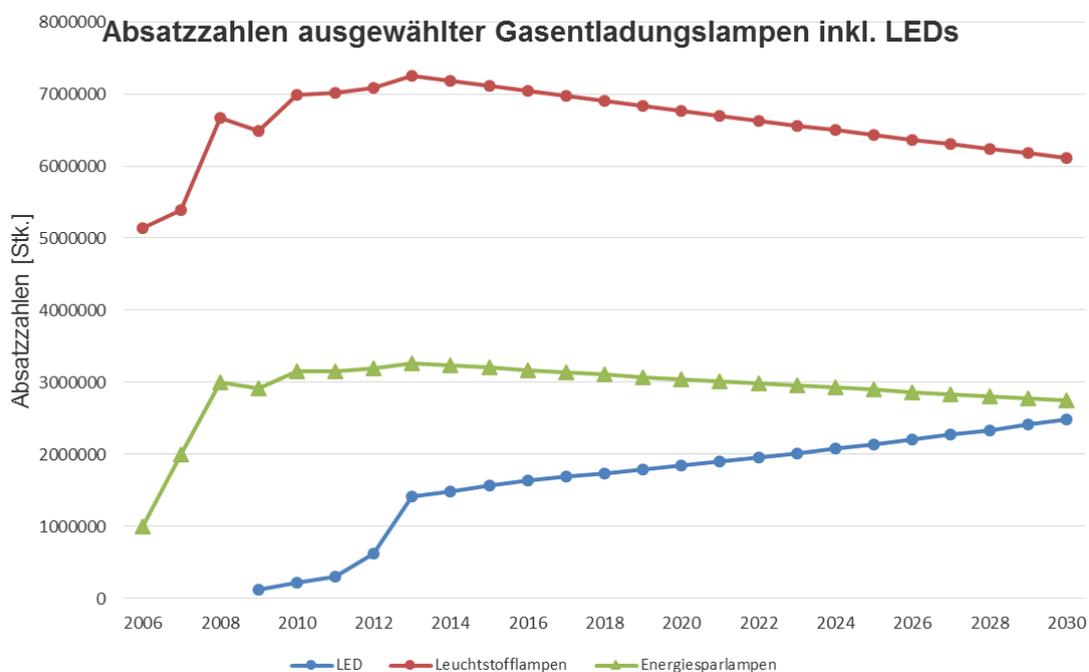


Abbildung 27: Entwicklung der Absatzzahlen ausgewählter Beleuchtungstechnologien bis 2030

### 4.3 Photovoltaikanlagen

Im Bereich der erneuerbaren Energieträger gewinnen Photovoltaikanlagen zunehmend an Bedeutung, wodurch sich für die Zukunft wertstoffreiche Abfallströme für ein mögliches Recycling ergeben. Abhängig vom Halbleitermaterial können unterschiedliche Zelltypen unterschieden werden (Abbildung 28).

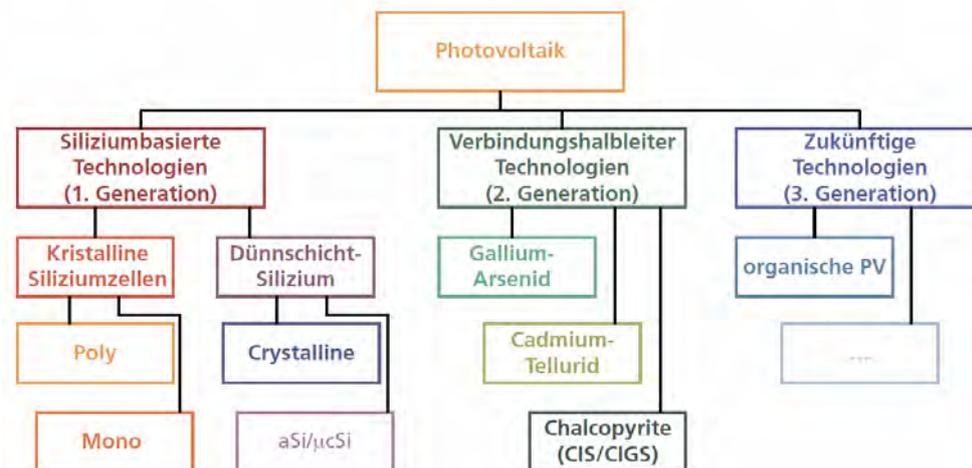


Abbildung 28: Übersicht zu den unterschiedlichen Photovoltaik-Technologien [32]

Aus Sicht dieser Studie sind vor allem Dünnschichtzellen wie die GaAs (Galliumarsenid) Zellen, die amorphen Siliziumzellen (a-Si), die CdTe (Cadmiumtellurid-Cadmiumsulfid) Zellen sowie die CIS-, CIGS-, CIGSS- (Kupfer-Indium-Diselenid) Zellen aufgrund der Gehalte u.a. an Gallium und Indium von Bedeutung. Zudem kommt Silber bei kristallinen Siliziumzellen (c-Si) zum Einsatz. In Österreich werden am Häufigsten mono- und polykristalline Silizium-Solartypen installiert. Dabei wurden im Jahr 2014 für rund 92 % der installierten Leistung polykristalline Zellen verbaut. Dünnschichtzellen, deren jährlicher Anteil von 9 % im Jahr 2011 auf 1 % im Jahr 2014 gesunken ist, spielen hingegen nur eine untergeordnete Rolle. Das größte Wachstum bei den jährlich neu installierten PV-Kapazitäten war in den letzten vier Jahren zu verzeichnen, wodurch sich im Zeitraum von 2010 bis 2013 eine durchschnittliche jährliche Steigerung von 83,0 % ergibt. Im Jahr 2014 wurden 159.273 kW Kapazität installiert, was erstmals seit Jahren einen Rückgang von 39,46 % gegenüber dem Vorjahr bedeutet. [33] Die Austria Power Grid [84] sieht im Leitszenario Masterplan für 2030 eine Leistung von 3,0 GW durch Photovoltaik. Dieser prognostizierte Wert ist mit einem kontinuierlichen Anstieg der gesamt installierten Leistung verbunden mit einem jährlichen Rückgang von rund 1,7 % der installierten Leistung ab 2014 zu erreichen (vgl. Abbildung 29).



Abbildung 29: Entwicklung der Photovoltaik in Österreich bis 2030

Wie unter Kapitel 4.2 dargelegt werden zwar Photovoltaikmodule gemäß EAG-VO unter der Gerätekategorie 4 (Geräte der Unterhaltungselektronik und Photovoltaikmodule) geführt, gelten jedoch nicht als Elektro- und Elektronikaltgeräte für private Haushalte. Bezüglich der Einteilung zur Sammlung und Behandlung gibt es eine eigene Kategorie Photovoltaikmodule. Ab 15. August 2018 ist die Aufnahme der Photovoltaikmodule zur Kategorie der gewerblichen Großgeräte geplant. [57]

#### 4.4 Windkraftanlagen

Mit der Windenergie wird eine stark anwachsende Branche der letzten Jahrzehnte betrachtet. Prinzipiell können drei Typen von Windenergieanlagen unterschieden werden:

- Die Asynchron-Generatoren mit einem Getriebe im Antriebsstrang, die keine wesentlichen permanenterregten Komponenten benötigen,
- Die Direct-Drive-Systeme (DD), welche Magnete entweder aufgebaut als elektrisch erregte Systeme oder als Permanentmagnetsysteme (Permanent Magnet Generator PMG) auf Basis von NdFeB enthalten,
- Ein Hybrid-System, das beide Typen kombiniert. [85]

Luidold et al. [45] schätzten ausgehend von den globalen Zuwächsen im Jahr 2009 und 2010 den Marktanteil von getriebelosen Windkraftanlagen auf max. 14 %. Aus Zepf [85] ist ein globaler Anteil der klassischen Asynchron-Technologie für Ende 2013 von 82 % zu entnehmen, welcher bedeutet dass sich 18 % auf die getriebelosen Technologien der Direktantriebs- bzw. Hybridsysteme aufteilen. Nach Abzug der Elektromagnetsysteme liegt der Anteil von Systemen, die Magnete mit Neodym verwenden, weltweit bei etwa 8 %. Der Trend

zeigt bei Windkraftanlagen über 3,6 MW in Richtung DD PMG und Hybridsysteme, wobei bei niedrigeren Leistungen weiterhin überwiegend auf die Getriebe-Technologie gesetzt wird. Betrachtet man die letzten 20 Jahre stieg die installierte Kapazität an Windenergie in Österreich von 0,3 MW im Jahr 1994 auf 2.095 MW<sub>el</sub> im Jahr 2014. Zwischen 2006 und 2009 kam es bedingt durch das Ökostromgesetz 2006 und dem niedrigen Ökostromtarif zu Einbrüchen beim Ausbau. In den letzten drei Jahren kam es zu einem Gesamtzuwachs von 1.015 MW<sub>el</sub> sowie zu einem Rekordzubau von 411 MW<sub>el</sub> im Jahr 2014, welcher durch das Ökostromgesetz 2012 begründet werden kann. [33] Das Leitszenario der Austria Power Grid [84] sieht für 2030 einen Beitrag der Windenergie von 4 GW an installierter Kraftwerksleistung. Um diesen Zielwert zu erreichen wird ausgehend von der installierten Leistung 2014 ein jährlicher Rückgang von 17 % angenommen.

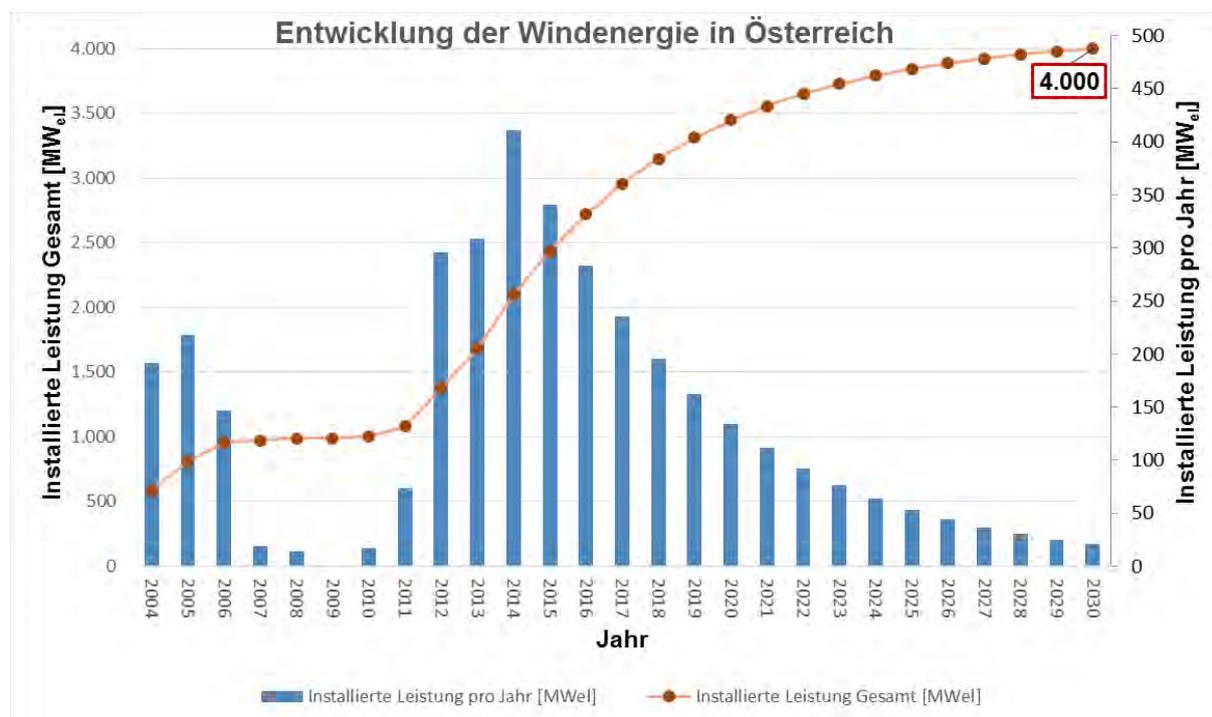


Abbildung 30: Entwicklung der Windenergie in Österreich bis 2030

### 4.5 Wendschneidplatten

In der Industrie erfolgt die Metallverarbeitung häufig mit Wendschneidplatten unterschiedlichster Größe, bestehend aus Hartmetall einem WC/Co-Verbundwerkstoff. Aufgrund der hohen Wertigkeit werden die Platten am Ende der Nutzungsdauer einem Recyclingkreislauf zugeführt und somit in weiterer Folge Primärrohstoffe substituiert. Dabei werden anfangs vom Produzenten bzw. Lieferanten Sammelbehälter zur Verfügung gestellt, diese abgeholt und der Hartmetallschrott in speziellen Anlagen verarbeitet. Aus den wiedergewonnenen Wertstoffen werden neue Wendeplatten erzeugt und an den jeweiligen Kunden geliefert (vgl. Abbildung 31). Durch diesen Weg bekommt der Kunde eine Art Pfand für seine zur Verfügung gestellten abgenutzten Hartmetalle und der Produzent verfügt über eine gewisse Sicherheit bezüglich der Versorgung u.a. mit dem wiedergewonnenen kritischen Metall Wolfram.

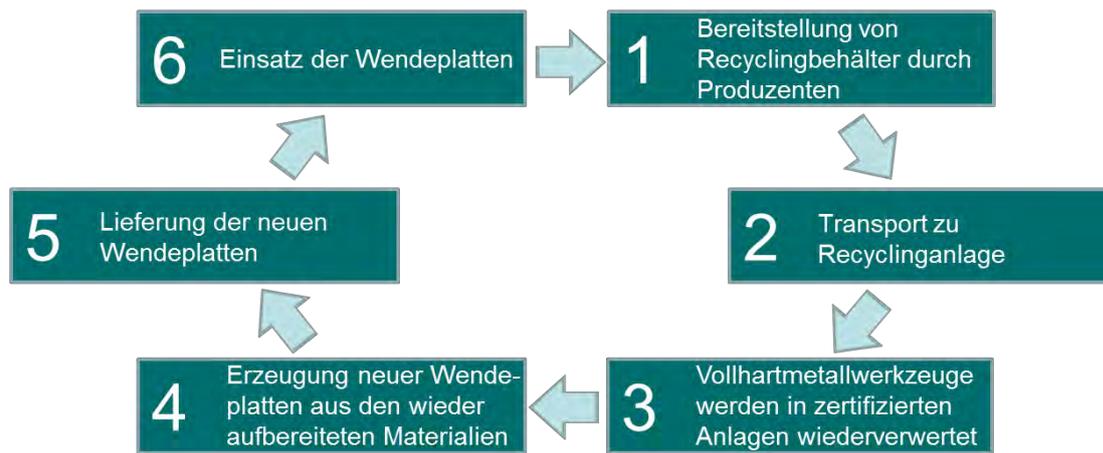


Abbildung 31: Kreislaufsystem für Wendschneidplatten

Bezüglich der genauen Mengen sind schwer Abschätzungen zu treffen. Nach Informationen eines Produzenten für Wendschneidplatten kann im Jahr 2013 ein Gesamtmarkt für Österreich von rd. 10,0 Mill. Stk. bei einem jährlichen Wachstum von rund 2 % angenommen werden. Daraus resultiert folgende Entwicklung ab dem Jahr 2008 (vgl. Abbildung 32).

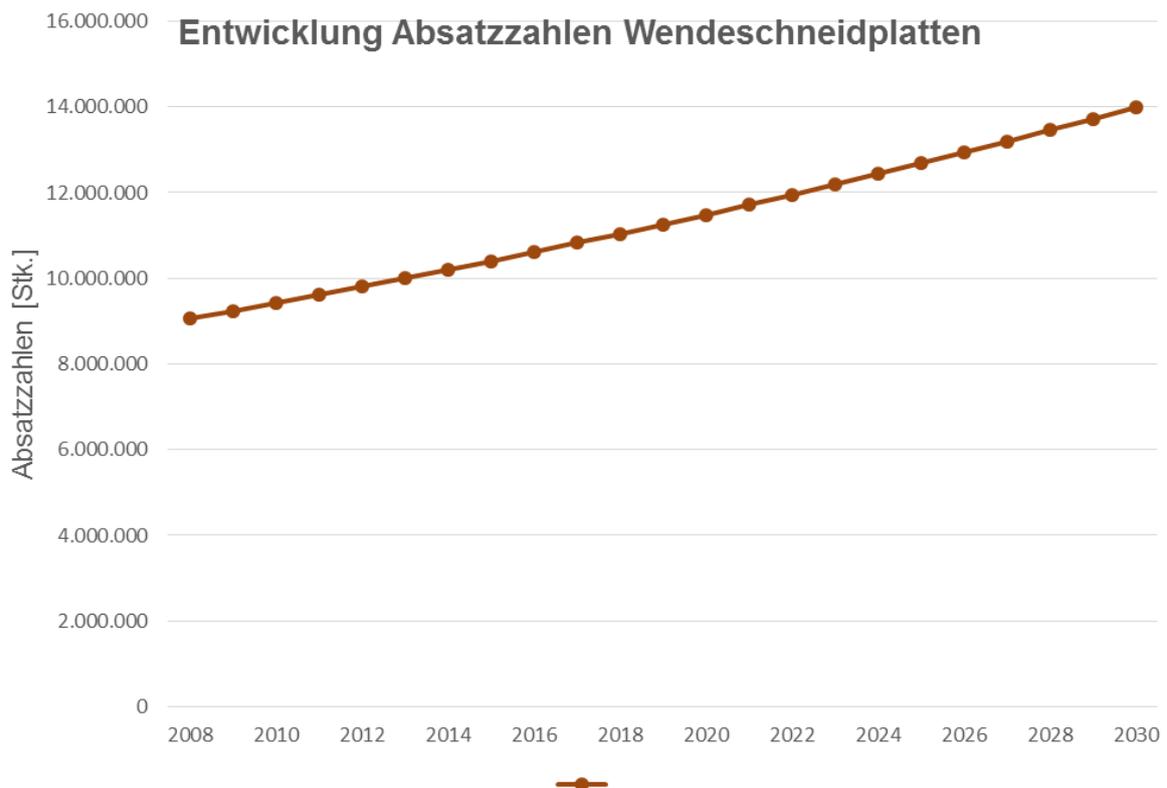


Abbildung 32: Entwicklung der Absatzzahlen für Wendschneidplatten bis 2030

Im Jahr 2030 wären durch diese Prognosen rd. 14,0 Mill. Wendschneidplatten im Umlauf.

## 4.6 Poliermittel

Anhand eines Fallbeispiels zu den Seltenen Erden haltigen Poliermitteln soll für Österreich einerseits ein positives Recyclingbeispiel und andererseits die verbundenen rechtlichen Herausforderungen dargelegt werden. Die D. Swarovski KG setzt bei der Herstellung von Kristallobjekten nach dem Schleifen Poliermittel ein, die u.a. aus Oxiden von Cer und Lanthan bestehen. Insgesamt fielen jährlich ca. 150 bis 200 t Seltene Erden als Nebenprodukt an, welche nach Gebrauch deponiert wurden. Aus diesem Hintergrund wurde 2011 ein Projekt für die Wiedergewinnung dieser Seltenen Erden aus dem Polierschlamm mit dem Ziel des Wiedereinsatzes als Poliermittel initiiert. Neben den chemischen und verfahrenstechnischen Herausforderungen war für eine großtechnische Umsetzung der einzelnen Bearbeitungsschritte für das rückgewonnenen unverarbeitete Material „R-Pol“ der Weg aus dem Abfallregime hin zum Status Nebenprodukt notwendig. [34] In der EU-Richtlinie (L312/3) 2008/98/EG (2008) ist dazu folgende Definition zu finden: Ein Stoff oder Gegenstand, der das Ergebnis eines Herstellungsverfahrens ist, dessen Hauptziel nicht die Herstellung dieses Stoffes oder Gegenstands ist, kann nur dann als Nebenprodukt und nicht als Abfall gelten, wenn die folgenden Voraussetzungen erfüllt sind:

- es ist sicher, dass der Stoff oder Gegenstand weiter verwendet wird,
- der Stoff oder Gegenstand kann direkt ohne weitere Verarbeitung, die über die normalen industriellen Verfahren hinausgeht, verwendet werden,
- der Stoff oder Gegenstand wird als integraler Bestandteil eines Herstellungsprozesses erzeugt und
- die weitere Verwendung ist rechtmäßig, d.h. der Stoff oder Gegenstand erfüllt alle einschlägigen Produkt-, Umwelt- und Gesundheitsschutzanforderungen für die jeweilige Verwendung und führt insgesamt nicht zu schädlichen Umwelt- oder Gesundheitsfolgen. [86]

Umgelegt auf die D. Swarovski KG ergeben sich folgende Erkenntnisse. Der Polierschlamm wird für den Zweck der Wiederverwendung eingesetzt um den Primärrohstoffverbrauch zu senken. Die vorangegangenen Produktionsschritte für die Herstellung der Poliermittel gehen nicht über die normalen industriellen Verfahren hinaus. Der Polierschlamm entsteht während des Polierens durch die notwendige Zugabe von Wasser, wodurch der Schlamm ein integraler Bestandteil des Herstellungsprozesses ist. Aufgrund den hohen Standards der Firma im Umweltschutzbereich kann davon ausgegangen werden dass es zu keinen schädlichen Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit kommt. Auf Grundlage der genannten Punkte konnte nach juristischer Abklärung der Status Nebenprodukt für das rückgewonnene, noch unverarbeitete Material „R-Pol“ seitens der Behörde bestätigt werden, wodurch die Basis für die großtechnische Umsetzung zum Recycling der anfallenden SE-haltigen Poliermittel gelegt wurde. [34] Da bezüglich einer zukünftigen Entwicklung keine Produktionszahlen vorhanden sind wird für diesen Hot Spot an Seltenen Erden ein gleichbleibender Anfall von 300 t Poliermittel jährlich angenommen.

## 5 Qualitative Identifizierung

Anhand einer qualitativen Identifizierung wird der jeweilige Einsatz der definierten kritischen Metalle in den ausgewählten Produkten bestimmt. Dabei wird versucht die Metalle in einzelnen Bauteilen bzw. Komponenten zu lokalisieren.

### 5.1 Altautos

Prioritäres Ziel bei der Verwertung von Altfahrzeugen ist die Gewinnung von gebrauchten Ersatzteilen für die Weitervermarktung. Ist diese Möglichkeit nicht gegeben, erfolgt eine stoffliche Verwertung in Schredder- bzw. Postschredderanlagen. Aufgrund der derzeit begrenzten Technik dieser Anlagen hinsichtlich der Rückgewinnung kritischer Metalle bietet sich die manuelle, bei Bedarf zerstörende, Demontage wertstoffreicher Komponenten aus Altfahrzeugen als mögliche Variante an. [31] Wie bereits unter Punkt 4.1 dargelegt ist der Ausstattungsgrad von Fahrzeugen mit verschiedensten Komponenten in den letzten Jahren laufend gestiegen. Eine zunehmende Menge an kritischen Metallen wird in Elektronikanwendungen eingesetzt. Aus diesem Hintergrund wurde in einem Projekt im Auftrag des Deutschen Umweltbundesamtes die Demontage von Fahrzeugelektronik aus Altfahrzeugen näher untersucht. Auf Basis umfangreicher Recherchen zur Zusammensetzung und anhand von Expertengesprächen wurden in einer Auswahl 41 Komponenten für praktische Demontageversuche definiert und sieben Gruppen zugeordnet. [89]

Tabelle 21: Liste von relevanten Komponenten der Fahrzeugelektronik [87]

Nr.	Gruppe	Komponenten		
1	Motoren und Magnetanwendungen	Heizlüfter	Lenkung Servomotor	Anlasser
		Kühlerlüfter	Lautsprecher	Türverschluss
		Lichtmaschine	Heckklappenschließmotor	Elektrische Sitzverstellung
		Kraftstoffpumpe	Pumpe Scheibenwäscher	Wischermotor
		Scheibenheber	Spiegeljustierung	
2	Bildschirme	Navigationssystem	Instrumente	Multifunktionsanzeige
3	Steuergeräte	Inverter/Controller	Steuergerät Motor	Steuergerät elektronische Getriebesteuerung
4	Verteilerboxen	Smarte Verteilerboxen	Passive Verteilerboxen mit Leiterplatten	
5	Licht	Leuchte hinten	Kombileuchte vorn	Blinker
6	Sensoren	ABS-/Raddrehzahlsensor	Nockenwellensensor	Kurbelwellensensor
		Lambdasonde/Sauerstoffsensoren	Ultraschall, Nahdistanzradar	Radar
		Airbagsensoren	Klimasensoren	
7	Aktuatoren	Zündkerze	Einspritzeinheit	

Wie unter der Gruppe Motoren und Magnetanwendungen ersichtlich, ist enthalten moderne Fahrzeuge eine Vielzahl von Kleinmotoren die bei verschiedenen Einzelanwendungen zum Einsatz kommen. Magnete auf NdFeB-Basis finden neben Kleinmotoren auch bei hochwertigen Lautsprechern, Servolenkungen sowie Sensoren Verwendung. Eine hohe Relevanz könnten in Zukunft vor allem Fahrzeuge mit Hybrid- und Elektroantrieb darstellen, da diese Antriebsstränge meist Motoren mit gesinterten NdFeB-Magneten enthalten. Nach den Prognosen für die Entwicklung der Elektromobilität im Bereich der Personenkraftwagen kann

von einem erheblichen Nachfragewachstum für NdFeB-Magnete und damit Neodym ausgegangen werden. [88] Aus Bergamos [89] ist ersichtlich, dass bei Steuergeräten kritische Metalle wie Palladium, Platin, Neodym, Yttrium, Gallium sowie die Edelmetalle Gold und Silber vor allem in Leiterplatten zu finden sind. Auch Indium wird nach Cullbrand [90] in Leiterplatten eingesetzt. Bei verschiedensten Sensoren wie Raddrehzahlsensor, Airbagsensor oder der Lambdasonde werden Vorkommen von Palladium, Platin, Neodym, Gallium, Yttrium und Silber angegeben. Die Lambdasonde, ein chemischer Sensor der die Sauerstoffkonzentration im Abgas misst, weist als Werkstoff Palladium und Platin sowie einen Keramikkörper der mit Yttriumoxid dotiert ist, auf. Folgende Abbildung 33 zeigt eine Auswahl von lokalisierten Orten für Motoren bzw. Lautsprecher, Sensoren und Steuergeräte in einem PKW nach Bergamos [89].

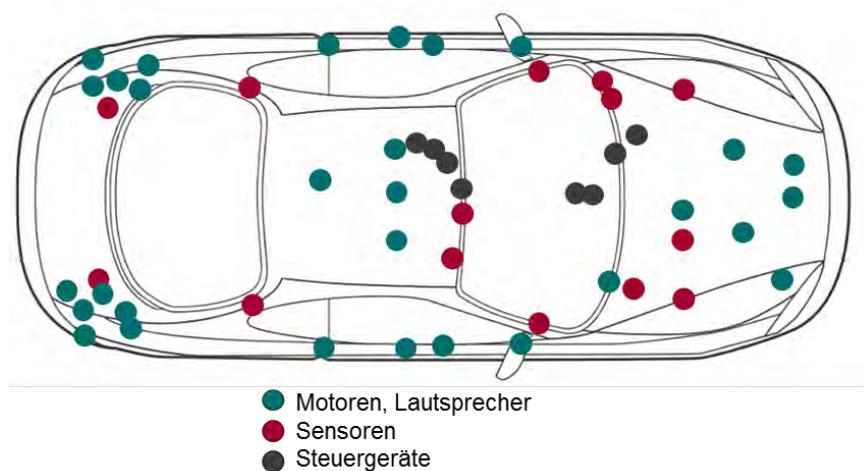


Abbildung 33: Lokalisierung von Komponenten in einem PKW

Als Elektrodenmaterial bei Zündkerzen wird Platin, Silber oder Yttrium z.B. als besonders temperaturbeständige Nickel-Yttrium-Legierung gebraucht. [40] Bei eingebauten Bildschirmen für Navigationssysteme oder Multifunktionsanzeigen sind die in Leuchtstoffen enthaltenen Seltenen Erden Cer und Yttrium zu finden. [91] Auch bei der Außenbeleuchtung mit LEDs in Autoscheinwerfern sorgen u.a Oxide von Cer und Yttrium für einen gelblichen Farbton. Zudem kann auch Wolfram in Glühdrähten und Elektroden in geringem Umfang vorkommen. [45]

Neben den angeführten elektronikspezifischen Komponenten weisen Fahrzeuge noch andere relevante Bauteile auf. Katalysatoren für die Abgasreinigung von Kraftfahrzeugen enthalten u.a. die Edelmetalle Palladium und Platin sowie das für die Oxidation und Reduktion zuständige Ceroxid. [45] Im Bereich Elektromobilität kommen neben Lithium-Ionen-Batterien die Seltenen Erden haltigen Nickelmetallhydrid-Batterien zum Einsatz. Dabei finden u.a Cer und Neodym als metallische Wasserspeicherlegierung bei diesem Batterietyp Anwendung. [92] Im Elektromotor findet man zudem Neodym und Praseodym und Dysprosium. [25] Des Weiteren können Bremsbelege Cer enthalten. [93] Aus dieser Betrachtung wurden zusammengefasst für die beiden Typen Standardfahrzeug (PKW mit Verbrennungsmotoren) sowie Hybridfahrzeuge (Hybrid- und Elektrofahrzeuge) einzelne Komponenten (-gruppen) definiert und folgende kritischen Metalle nach Tabelle 22 identifiziert.

Tabelle 22: Einsatz kritischer Metalle in Fahrzeugkomponenten

Typ	Komponenten(-gruppe)	Au	Ag	Pd	Pt	Ce	Nd	Y	W	Ga	In
STF + HF	Kleinmotoren und Magnete										
	Bildschirme										
	Steuergeräte (Leiterplatten)										
	Lampen										
	Sensoren (Lambdasonde)										
	Bremsscheiben										
	Katalysatoren										
	Aktuatoren (Zündkerze)										
HF	Traktionsbatterie (NiMH-Batterie)										
	Elektromotor										

## 5.2 Elektroaltgeräte

Elektroaltgeräte bestehen, abhängig von der Funktionalität, aus einer Vielzahl unterschiedlichster Bauteile und Komponenten. Auf Basis von Kapitel 3.2 und den Erhebungen von Sander et al. [27] werden für Elektroaltgeräte mit Bezug auf die Verwendung der kritischen Metalle folgende Bauteile bzw. Komponenten zusammengefasst.

- **Leiterplatten, Integrierte Schaltungen**

In nahezu allen Elektrogeräten werden Leiterplatten zur mechanischen Befestigung und elektronischen Verbindung verschiedenster wertstoffhaltiger Bauteile verwendet. Der Gehalt bzw. Anteil kritischer Metalle richtet sich nach der Komplexität der Leiterplatte. Recyclingunternehmen unterscheiden drei Klassen, die sich im Wesentlichen aus dem Gehalt an Edelmetallen ergeben und in unterschiedliche Sammelgruppen und Preisklassen eingeteilt werden:

- Klasse I: Die hochwertigste Kategorie besitzt neben einer großen Anzahl kleiner Bauteile (ICs, E-Proms, Prozessoren etc.) viele sichtbare Vergoldungen wie Kontakte bei Steckern bzw. Slots. Darunter fallen z.B. Computerplatinen, Grossrechnerplatinen, Telefonplatinen, Grafikkarten, Soundkarten etc. Innerhalb dieser Klasse gibt es zusätzlich 3 Unterkategorien bzw. Preis- und Sortiergruppen.
- Klasse II: Leiterplatten dieser Kategorie stammen zumeist aus Flachbildschirmen, Videorecordern, CD-Playern, Autoelektronik, Autoradios etc. Der Unterschied zur Klasse I liegt bei den weniger sichtbaren Goldkontakten und den kleineren Bauteilen, was einen geringeren Edelmetallgehalt bedeutet. Hier werden zusätzlich zwei Unterklassen unterschieden.
- Klasse III: Unter dieser Kategorie sind Platinen mit größeren Bauteilen wie Trafos, Spulen und Kondensatoren, enthalten die zum Beispiel in Fernsehern, Monitoren oder Netzteilen eingesetzt werden. Hinsichtlich des Recyclings liegt der Fokus nicht auf die in geringer Konzentration vorkommenden Edelmetalle sondern auf enthaltene unedlere Metalle. [94]

- **Kontakte, Lote, Steckverbindungen**  
Einzelne Kontakte und Steckverbindungen sind sowohl auf Leiterplatten als auch in anderen Bauteilen bei nahezu sämtlichen Elektrogeräten zu finden.
- **Magnete**  
Leistungsfähige NdFeB-Magnete mit kleinen Abmessungen werden beispielsweise in Festplatten für PCs und Notebooks oder in Miniaturlautsprechern eingesetzt.
- **Akkumulatoren, Batterien**  
In komplexeren Elektronikgeräten wie bei Handys oder Notebooks werden vorwiegend Lithium-Ionen-Akkumulatoren verwendet. Hingegen weisen NiMeH-Akkumulatoren ein wesentlich breiteres Anwendungsfeld auf und kommen beispielsweise bei Audio- Foto- und Videogeräten zum Einsatz.
- **Bildschirmbeleuchtung, Leuchtstoffe**  
Seltene Erden wie u.a. Europium, Yttrium oder Cer werden in Leuchtstoffen von Bildschirmgeräten eingesetzt. Abhängig von der Technologie erfolgt der Einsatz in den Displays (PDP- und OLED-Technologie) oder bei der Hintergrundbeleuchtung (LCD-Technologie). [91] Hauptanwendungen sind produktbezogen vor allem Bildschirme von Fernseher und Computer aber auch Geräte mit größeren Displays wie Notebooks, Tablets oder Smartphones. Aber auch Digitalkameras, Camcorder oder Drucker verfügen zunehmend über kleinere LCD-Displays. Zudem weisen die zu betrachtenden Beleuchtungstechnologien Anteile an Leuchtstoffen auf. Zudem gibt Sander [27] auch Gehalte an Gold und Silber bei dieser Gruppe an.
- **Optoelektronik, Laser**  
Durch den Trend zu Multifunktionsgeräten nimmt der Bereich der Optoelektronik mit der Verwendung von u.a. Gallium durch z.B. Integration von Webcams in Laptops und Tablets oder die erweiterte Scanfunktion bei Laserdruckern zu.
- **LED**  
In einer durchschnittlichen LED sind einige Materialien mit kritischen Metallen verbaut. Dabei bilden Gallium und Indium einen wesentlichen Bestandteil des LED-Chips, wobei die Seltenen Erden Cer und Yttrium im Leuchtstoff zur Dotierung bzw. als Trägersubstanz Anwendung finden. Teilweise sind auch neue LCD-Monitore mit einer Hintergrundbeleuchtung auf Basis weißer LEDs ausgestattet. [91] Nach Sander [27] sind auch Vorkommen an Gold in LED-Lampen zu finden.

Von Blaser et al. [95] wurde das Vorkommen unterschiedlicher Elemente in definierten Geräten, welche auch in dieser Studie betrachtet werden, untersucht. Da die meisten Daten für Leiterplatten verfügbar waren, erfolgte eine Einteilung lediglich in die zwei Gruppen Leiterplatten und Leiterplatten und/oder andere Bauteile. Betrachtet man die acht studienrelevanten Elemente Gold, Palladium, Platin, Cer, Neodym, Wolfram, Gallium und

Indium mit den zehn Elektronikgeräten aus der Kategorie Bildschirmgeräte und Elektrokleingeräte sind sämtliche Metalle bei mindestens einem Produkt auf Leiterplatten und auf Leiterplatten und/oder anderen Bauteilen zu finden. Da die Bauteile nicht spezifiziert wurden, können daraus auch keine genaueren Schlüsse gezogen werden. Aus den angeführten Betrachtungen erfolgt im ersten Schritt eine Gegenüberstellung der definierten Bauteile mit den ausgewählten kritischen Metallen unter Tabelle 23.

Tabelle 23: Gegenüberstellung Bauteile - kritische Metalle

Bauteile	Au	Ag	Pd	Pt	Ce	Nd	Y	W	Ga	In
Leiterplatten/Integrierte Schaltungen	■	■	■	■	■	■		■	■	■
Kontakte/Lote/Steckverbindungen	■	■	■	■						
Magnete						■				
Akkumulatoren/Batterien		■				■				
Bildschirmbeschichtung/Leuchtstoffe					■		■			■
Optoelektronik/Laser									■	
LED	■	■			■		■		■	■

Nachstehend werden die einzelnen Bauteile den ausgewählten Produkten zugeordnet (vgl. Tabelle 24).

Tabelle 24: Zuordnung Bauteile - Produkte

Produkt	Leiterplatten/ Integrierte Schaltungen	Kontakte/ Lote/ Steck- verbindungen	Magnete	Akkumulatoren / Batterien	Bildschirm- beleuchtung/ Leuchtstoffe	Opto- elektronik/ Laser	LED
Bildschirmgeräte							
LCD TV	■	■			■		■
Plasma TV	■	■			■		
CRT TV	■	■					
Notebook	■	■		■	■	■	■
Tablet	■	■		■	■	■	■
Elektrokleingeräte							
Handy	■	■		■	■	■	■
Smartphone	■	■		■	■	■	■
PC	■	■				■	
DVD Player	■	■					
Drucker (multifunktionell)	■	■			■		■
Digitalkamera	■	■		■	■		■
Camcorder	■	■		■	■		■
Gasentladungslampen inkl. LED							
LED		■			■		■
Leuchtstofflampen		■					
Energiesparlampen		■			■		

Daraus ist ersichtlich, dass sich zum einen Kontakte/Lote/Steckverbindungen in sämtlichen Elektrogeräten befinden und zum anderen Leiterplatten bzw. integrierte Schaltungen in jedem Produkt der Kategorien Bildschirmgeräte und Elektrokleingeräte eingesetzt werden. Alle betrachteten Bauteile sind in Notebooks, Tablets, Handys und Smartphones zu finden, was auf den Inhalt einer Vielzahl von kritischen Metallen schließen lässt.

## 5.3 Sonstige Produkte

Unter diesem Punkt wird auf die restlichen zu betrachtenden Produkte Photovoltaikmodule, Windkraftanlagen, Wendeschneidplatten sowie Poliermittel eingegangen.

### Photovoltaikmodule

Wie unter 4.3 beschrieben sind bezüglich der ausgewählten Metalle vorwiegend die Dünnschichtzellen relevant. Hier wird Gallium als Halbleiterwerkstoff bei GaAs (Galliumarsenid)-Zellen verwendet. Bei Zellen auf Basis von Kupfer-Indium-Diselenid-Legierungen wird das aktive Halbleitermaterial Silizium durch andere Speziallegierungen ersetzt:

- Kupfer, Indium und Selen (CIS),
- Kupfer, Indium, Gallium und Selen (CIGS),
- Kupfer, Indium, Gallium, Selen und Schwefel (CIGSS). [32]

Zudem wird in amorphen Siliziumzellen (a-Si) sowie CdTe (Cadmiumtellurid-Cadmiumsulfid) Zellen Indium eingesetzt. Das Edelmetall Silber wird in kristallinen Siliziumzellen (c-Si) eingesetzt. Der jährliche Verbrauch der PV-Industrie beträgt ca. 1.500 t Silber, was gemessen an der Gesamtnachfrage im Jahr 2013 ca. 8 % ausmacht. Aufgrund dieser Situation soll zukünftig Silber auf der Solarzelle durch Kupfer substituiert werden. [96]

### Windkraftanlagen

Dabei spielt vor allem Neodym in NdFeB-Permanentmagneten bei Direct Drive Systemen sowie Hybrid-Systemen eine wesentliche Rolle. [85]

### Wendeschneidplatten

Hier wird Wolfram beim Verbundwerkstoff Hartmetall in Form von Wolframkarbid für die Metallverarbeitung eingesetzt.

### Poliermittel

Die für das Glasschleifen eingesetzten Poliermittel bestehen u.a. aus Cer- und Lanthanoxiden. [34]

### 5.4 Übersicht zur qualitativen Identifizierung

Teilweise kann es bei den Elektroaltgeräten zu kleinen Abweichungen zwischen dem Vorkommen einzelner Metalle in einem Produkt und dem Vorkommen in einem Bauteil kommen (vgl. Tabelle 23 und Tabelle 24). Beispielsweise wurde Wolfram nicht in LCD Bildschirmen gefunden, obwohl Gehalte im Bauteil Leiterplatten gefunden wurden, die sich wiederum in LCD-Bildschirmen befinden.

Tabelle 25: Zusammenfassung der qualitativen Identifizierung

Produkt	Au	Ag	Pd	Pt	Ce	Nd	Y	W	Ga	In
Altfahrzeuge										
Standardfahrzeug										
Hybridfahrzeug										
Bildschirmgeräte										
LCD TV										
Plasma TV										
CRT TV										
Notebook										
Tablet										
Elektrokleingeräte										
Handy										
Smartphone										
PC										
DVD Player										
Drucker										
Digitalkamera										
Camcorder										
Gasentladungslampen inkl. LED										
LED										
Leuchtstofflampen										
Energiesparlampen										
Sonstige Produkte										
Photovoltaikmodule										
Windkraftanlagen										
Wendeschneidplatten										
Poliermittel										

## 6 Quantitative Identifizierung

Dieses Kapitel sieht die quantitative Identifizierung von Metallgehalten in den einzelnen Produkten vor. Dabei stützt sich diese Arbeit ausschließlich auf Literaturrecherchen, da aufgrund des Umfanges keine eigenen Analysen vorgesehen waren. Die einzelnen Studien unterscheiden sich jedoch hinsichtlich Qualität, Alter, Methode der Datengenerierung sowie Betrachtungsumfang einzelner Produkte und Metalle, wodurch sich teilweise ein sehr heterogenes Datenmaterial mit erheblichen Spannbreiten von betrachteten Metallgehalten ergibt. Zusätzlich ist zu beachten, dass es sich vorwiegend um Produkte mit einem relativ schnell ändernden Entwicklungsstand handelt und es laufend, bedingt durch Preisschwankungen einzelner Metalle und Innovationen, zu Substitutionen einzelner Metalle in Bauteilen kommen kann. Zudem kommt es vor, dass zwar einzelne Metalle laut der qualitativen Betrachtung im Produkt vorkommen, jedoch keine Literaturwerte gefunden wurden.

### 6.1 Datenherkunft

#### Altautos

Als wesentliche Literatur für Altautos dienten Schmid et al. [38], Luidold [45], Cullbrand et al. [90], Widmer et al. [97], Sakai et al. [98] und Widmer et al. [99]. Sieht man sich die Datenherkunft an, führte Cullbrand et al. [90] die Erhebungen von Metallgehalten anhand des Materialdaten-Systems der Automobilindustrie IMDS (Internationales Material Daten System) an vier Volvo Modellen (drei Standard- sowie ein Hybridfahrzeug) mit unterschiedlichem Ausstattungsgrad durch. Ausgehend von einer detaillierten Materialanalyse sämtlicher Komponenten erfolgte die Bestimmung der Gesamtgehalte von insgesamt 24 Metallen in den vier Fahrzeugen. In anderen Literaturquellen hingegen wurden chemische Analysen von ausgewählten Metallen nur an bestimmten wertstoffhaltigen Komponenten wie Leiterplatten durchgeführt. Vergleicht man das vorhandene Datenmaterial ergeben sich daraus erhebliche Spannbreiten für weitere Hochrechnungen. Auch unterscheiden sich die untersuchten Fahrzeuge hinsichtlich der Baujahre. So untersuchte Schmid et al. [38] mehrere Volkswagenmodelle von 2010-2013 und Sakai et al. [98] Fahrzeuge aus dem Jahr 1997. Die Angaben der Metallgehalte in dieser Arbeit beziehen sich auf das gesamte Auto und werden in g/Stk. angegeben. Da sich manche Literaturquellen bei der Angabe der Metallinhalte auf die Konzentration einzelner Bauteile beschränken wurden Umrechnungen über die Gewichte jener Bauteile durchgeführt. Bei den Autokatalysatoren wurden die Daten aus Hagelücken [100], Kuchta [101] sowie Kuriki et al. [102] verwendet.

#### Elektroaltgeräte

Das Datenmaterial für Bildschirmgeräte, Elektrokleingeräte sowie Gasentladungslampen inkl. LED wurde hauptsächlich aus Sander et al. [27], Buchert et al. [91] sowie Blaser et al. [95] entnommen. Auch hier ist ersichtlich, dass sich innerhalb einzelner Studien sowie bei den Studien untereinander teilweise sehr hohe Bandbreiten bei den Metallgehalten einzelner Produkte ergeben. Sander et al. [27] beschreibt zwei Typen von Literaturquellen. Die einen

beziehen sich auf Herstellerangaben und betrachten Inputmengen für einzelne Metalle. Der Großteil der Literatur führt die Angaben auf durchgeführte Laboranalysen einzelner Geräte bzw. Komponenten zurück. Um einzelne Angaben zu den Metallgehalten vergleichbar zu machen, erfolgt die Angabe in Metallgehalt pro Produkt (mg/Stk.). Für die erforderlichen Umrechnungen wurden von Sander et al. [27] folgende durchschnittliche Produktgewichte gewählt (vgl. Tabelle 26).

Tabelle 26: Durchschnittliche Produktgewichte ausgewählter Elektrogeräte in g [27]

Bildschirmgeräte		Elektrokleingeräte		Gasentladungslampen inkl. LED	
Produkt	Gewicht [g]	Produkt	Gewicht [g]	Produkt	Gewicht [g]
LCD-TV	8.600	Handy	110	LED	250
Plasma-TV	13.600	Smartphone	110	Leuchtstofflampen	144
CRT-TV	14.500	PC	15.000	Energiesparlampen	100
Tablet	610	DVD-Player	3.200		
Notebook	2.900	Drucker	5.600		
		Digitalkamera	240		
		Camcorder	600		

Da bei Tablets für Palladium, Platin, Cer und Wolfram keine Werte verfügbar waren, wurde für diese Metalle auf Basis von Gesprächen mit Herstellern und der ähnlichen Bauweise der zweifache Inhaltswert eines Smartphones angenommen.

### Sonstige Produkte

Die Metallinhalte in kg/MW<sub>Peak</sub> bei den verschiedenen Typen von Photovoltaikmodulen wurden u.a. von Angerer et al. [14], Schriefl et al. [105], Schlegl et al. [106] und Kleijn et al. [108] entnommen. Für die Ermittlung der Gehalte an Neodym bei Windkraftanlagen in kg/MW standen als Quelle u.a. Zepf [85], Kleijn et al. [108], Moss et al. [109] et al. sowie Schüler et al. [8] zur Verfügung. Auch bei diesen beiden Gruppen ergeben sich Bandbreiten bei den angegebenen Inhalten.

## 6.2 Zusammenfassung der quantitativen Identifizierung

Da aus den Erhebungen teilweise große Bandbreiten bei den Metallinhalten ersichtlich sind wird für die zusammenfassende Betrachtung (vgl. Tabelle 27) für jedes Element produktbezogen ein Minimum- und Maximumwert angegeben. Zusätzlich wird ein Durchschnittswert aus allen recherchierten Literaturwerten in Hinblick auf die Stoffflussanalysen in Kapitel 7 gebildet. Eine detaillierte Aufschlüsselung der einzelnen Metallinhalte mit Quellenangaben für jedes Element, aufgeteilt in die Produkte Fahrzeuge sowie Elektrogeräte und sonstige Produkte, ist aus Anhang II zu entnehmen.

Tabelle 27: Zusammenfassung der quantitativen Identifizierung

Produkt	Einheit	Au			Ag			Pd			Pt			Ce			Nd			Y			W			Ga			In			
		Szenario	min.	Ø	max.	min.	Ø	max.	min.	Ø	max.	min.	Ø	max.	min.	Ø	max.	min.	Ø	max.	min.	Ø	max.	min.	Ø	max.	min.	Ø	max.			
Altfahrzeuge																																
Standardfahrzeug	g/Stk	0,004	<b>0,3</b>	7,1	0,01	<b>1,4</b>	20,7	0,1	<b>1,5</b>	2,6	0,01	<b>1,0</b>	8,1	0,004	<b>0,1</b>	12,9	0,01	<b>1,3</b>	205,7	0,01	<b>0,1</b>	0,2	0,03	<b>0,1</b>	0,4	0,004	<b>0,1</b>	0,6	0,1	<b>0,3</b>	0,9	
Hybridfahrzeug	g/Stk	0,01	<b>0,2</b>	6,0	0,01	<b>1,2</b>	50,0	0,02	<b>1,7</b>	2,2	0,5	<b>1,5</b>	5,5	0,01	<b>0,1</b>	1,5	0,004	<b>497,4</b>	720,0	0,004	<b>0,1</b>	0,2	0,004	<b>0,1</b>	0,3	0,004	<b>0,2</b>	0,6	0,1	<b>0,4</b>	3,0	
Bildschirmgeräte																																
LCD TV (CCFL und LED)	mg/Stk	47,5	<b>220,2</b>	430,2	198,0	<b>389,0</b>	580,0	0,0	<b>64,5</b>	149,4				0,3	<b>2,4</b>	4,5				4,8	<b>57</b>	31.200				0,0	<b>2,5</b>	4,9	4,4	<b>200,5</b>	337,0	
Plasma TV	mg/Stk	-	<b>312,0</b>	-	keine Werte			-	<b>156,0</b>	-							-	<b>156,0</b>	-											-	<b>156,0</b>	-
CRT TV	mg/Stk	6,3	<b>61,0</b>	170,0	191	<b>1.421</b>	2.650	2,3	<b>25,1</b>	67,0				keine Werte			-	<b>0,9</b>	-				-	<b>0,4</b>	-	-	<b>0,4</b>	-	-	<b>0,4</b>	-	
Notebook (CCFL und LED)	mg/Stk	100,0	<b>192,1</b>	250,0	437,0	<b>438,5</b>	440,0	40,0	<b>68,6</b>	86,3	0,9	<b>2,5</b>	4,0	0,1	<b>5,3</b>	15,6	252	<b>1.176</b>	2.100	1,6	<b>174,5</b>	520,0	-	<b>2,2</b>	-	0,0	<b>2,6</b>	4,9	1,0	<b>20,5</b>	40,0	
Tablet	mg/Stk	-	<b>131,0</b>	-	26,4	<b>26,4</b>	26,4	16,0	<b>19,0</b>	22,0	-	0,6	-	-	<b>41,6</b>	-	-	<b>347,0</b>	-	-	<b>1,9</b>	-	-	<b>131,1</b>	-	-	<b>0,4</b>	-	-	<b>28,6</b>	-	
Elektrokleingeräte																																
Handy	mg/Stk	24,0	<b>41,9</b>	68,4	127,0	<b>315,5</b>	715,0	8,0	<b>15,9</b>	36,6	-	0,3	-	-	<b>20,8</b>	-	46,0	<b>82,0</b>	118,0							-	<b>4,7</b>	-	1,7	<b>4,6</b>	10,2	
Smartphone	mg/Stk	25,0	<b>30,5</b>	36,5	170,0	<b>237,5</b>	305,0	8,0	<b>9,5</b>	11,0	-	0,3	-	-	<b>20,8</b>	-	50,0	<b>79,4</b>	120,0	0,00	<b>0,01</b>	0,01	-	59,6	-	0,1	<b>1,6</b>	3,0	1,7	<b>2,1</b>	2,4	
PC	mg/Stk	220,0	<b>277,0</b>	338,0	804,0	<b>1.310</b>	2.127	126,5	<b>141,1</b>	212,0	-	2,7	-	-	<b>20,4</b>	-	102,0	<b>3.466</b>	6.830				-	336,7	-	10,7	<b>13,1</b>	15,5	-	<b>1,0</b>	-	
DVD Player	mg/Stk	46,5	<b>255,8</b>	628,0	318,0	<b>2.671</b>	5.024	9,0	<b>17,0</b>	26,4	-	3,2	-	-	<b>7,0</b>	-	70,0	<b>192,0</b>	314,0				-	4,6	-	4,0	<b>5,2</b>	6,3	-	<b>70,0</b>	-	
Multifunktionsdrucker	mg/Stk	8,3	<b>12,4</b>	15,7	29,0	<b>63,9</b>	98,7	2,5	<b>4,9</b>	8,7	-	0,2	-	keine Werte			-	<b>7,7</b>	-	0,00	<b>0,01</b>	0,01	-	1,9	-	0,1	<b>0,4</b>	0,6	0,0	<b>0,1</b>	0,2	
Digitalkamera	mg/Stk	4,9	<b>69,3</b>	155,0	38,6	<b>121,3</b>	204,0	0,9	<b>11,1</b>	21,0	-	0,1	-	-	<b>4,6</b>	-	16,6	<b>69,0</b>	170,0	1,9	<b>19,0</b>	36,1	-	42,0	-	0,7	<b>2,7</b>	4,3	1,4	<b>4,4</b>	7,3	
Camcorder	mg/Stk	6,4	<b>53,6</b>	117,0	34,4	<b>282,7</b>	531,0	1,6	<b>55,2</b>	103,0	-	0,7	-	-	<b>15,8</b>	-	20,8	<b>39,3</b>	57,8	-	<b>88,0</b>	-	-	41,0	-	2,4	<b>4,7</b>	6,3	4,0	<b>6,3</b>	8,5	
Gasentladungslampen inkl. LED																																
LED	mg/Stk	0,21	<b>1,36</b>	2,50	0,01	<b>5,06</b>	10,10							0,002	<b>0,002</b>	0,002				0,03	<b>0,2</b>	0,5				0,0	<b>0,3</b>	0,5	0,0002	<b>0,1</b>	0,2	
Leuchtstofflampen	mg/Stk	-	<b>0,03</b>	-	0,3	<b>0,3</b>	0,3	0,02	<b>0,02</b>	0,02							17,3	<b>17,3</b>	457,5				86	<b>126</b>	2.870							
Energiesparlampen	mg/Stk																4,3	<b>12,9</b>	21,5				27,0	<b>81,0</b>	135,0							
Sonstige Produkte																																
Photovoltaikmodule (c-Si, CIS/CGS, CdTe, a-Si)	kg/MWp				4,8	<b>25,9</b>	62,0																			2,0	<b>25,1</b>	90,0	0,9	<b>31,7</b>	75,0	
Windkraftanlagen	kg/MW																140,0	<b>218,6</b>	400,0													
Wendeschneidplatten	g/Stk																						-	<b>16,0</b>	-							
Poliermittel	g/kg																															

Die Bestimmung der durchschnittlichen Metallgehalte in Tabelle 27, welche relevant für die folgenden Stoffflussanalysen sind, erfolgten je nach Produktgruppe mit unterschiedlicher Vorgehensweise.

Bei Elektroaltgeräten wurden die gefundenen Werte aus jeder Quelle addiert und durch die Anzahl der Quellen dividiert. X steht für die Anzahl der Quellen. Dabei wurde keine Unterscheidung vorgenommen, ob sich die jeweiligen Werte auf das gesamte Produkt oder wie teilweise angegeben nur auf Leiterplatten beziehen.

$$\bar{\emptyset} \text{ Mengengehalt Metall Elektrogeräte und sonstige Produkte} = \frac{\sum \text{X Quellen}}{X}$$

Bei den Fahrzeugen (Standard und Hybrid) ergaben sich aus der Datenverfügbarkeit und den teilweisen hohen Abweichungen bei den Inhaltsangaben je nach Metall unterschiedliche Herangehensweisen. Teilweise wurde wie beispielsweise bei Gold und Silber auf Cullbrand et al. [90] verzichtet, da einzelne Angaben in der Höhe nicht nachvollziehbar waren. Zudem erfolgte fallweise bei bauteilspezifischen Angaben wie der Gehalt von Palladium und Platin in Katalysatoren oder der Neodymgehalt bei Motoren eine Addition der Durchschnittswerte der jeweiligen Bezugsgruppen. Ansonsten wurde aus den angegebenen Inhalten der drei Standardfahrzeuge aus Cullbrand et al. [90] ein Durchschnittswert gebildet und dieser mit dem Durchschnittswert aus Sakai et al. [98] und anderen Quellen für die Bestimmung eines durchschnittlichen Gesamtmengehaltes herangezogen. Allgemeine Angaben zu Leiterplatten (LP) und Katalysatoren (KAT) wurden bei Standardfahrzeugen als auch Hybridfahrzeugen berücksichtigt. Nachfolgend sind die einzelnen Formeln für die Berechnung der Mengengehalte der jeweiligen Metalle angeführt. X steht wiederum für die Anzahl der Literaturquellen. Eine detaillierte Beschreibung erfolgt bei der genaueren Betrachtung auf nachfolgenden Seiten.

$$\bar{\emptyset} \text{ Mengengehalt Au, Ag Fahrzeuge} = \frac{\bar{\emptyset} \text{ Sakai} + \sum \text{X Quellen}}{1 + X}$$

$$\bar{\emptyset} \text{ Mengengehalt Pd Fahrzeuge} = \frac{\bar{\emptyset} \text{ Cullbrand} + (\bar{\emptyset} \text{ LP} + \bar{\emptyset} \text{ Kat})}{2}$$

$$\bar{\emptyset} \text{ Mengengehalt Pt Fahrzeuge} = \bar{\emptyset} \text{ LP} + \bar{\emptyset} \text{ Kat}$$

$$\bar{\emptyset} \text{ Mengengehalt Ce Fahrzeuge} = \frac{\bar{\emptyset} \text{ Cullbrand MKGA} + \bar{\emptyset} \text{ Sakai} + \sum \text{X Quellen}}{2 + X}$$

$$\bar{\emptyset} \text{ Mengengehalt Y, Ga, In Fahrzeuge} = \frac{\bar{\emptyset} \text{ Cullbrand} + \bar{\emptyset} \text{ Sakai} + \sum \text{X Quellen}}{2 + X}$$

$$\bar{\emptyset} \text{ Mengengehalt Nd, W Fahrzeuge} = \frac{\bar{\emptyset} \text{ Sakai} + \sum \text{X Quellen}}{1 + X}$$

Hinsichtlich der Gehalte der einzelnen Metalle sind folgende Erkenntnisse abzuleiten bzw. wurden die angeführten Überlegungen für die weiteren Inhaltsbestimmungen durchgeführt.

## Gold

Bei den Fahrzeugen ist zwar eine Korrelation zwischen dem Ausstattungsgrad und dem Goldgehalt ersichtlich, jedoch erscheint ein Gesamtgehalt zwischen rd. 4,9 und rd. 7,1 g aus Cullbrand et al. [90] relativ hoch. Schmidt et al. [38] ermittelte aus neuwertigen Fahrzeugen einen Goldanteil in Leiterplatten von 0,29 g pro Fahrzeug bzw. 0,12 g/kg. Geht man davon aus, dass Gold ausschließlich auf Leiterplatten und Kontakten vorhanden ist, würden diese umgelegt auf Cullbrand et al. [90] eine Menge von rd. 40,1 kg bzw. 58,8 kg am gesamten Fahrzeug ausmachen, was als unrealistisch gilt. Für die Bestimmung des durchschnittlichen Goldgehaltes wird somit diese Quelle nicht berücksichtigt. Bei sämtlichen Elektrogeräten ist Gold nahezu vergleichsweise gleichmäßig verteilt. Die größten Anteile sind in Leiterplatten und Kontakten zu vermuten und abhängig von der Komplexität des Produktes.

## Silber

Für Silber wurde wiederum von Cullbrand et al. [90] mit einem Gehalt von 13,3 – 20,7 g bei Standardfahrzeugen und 50,0 g bei Hybridfahrzeugen ein sehr hoher Wert angegeben. Die Inhalte aus anderen Quellen, welches sich jedoch nur auf Leiterplatten und teilweise auch auf Steuergeräte beziehen, bewegen sich hingegen zwischen 0,01 g und 4,51 g pro Fahrzeug. Wie bei Gold werden auch hier die Angaben aus Cullbrand et al. [90] vernachlässigt, da sich bei einem Silbergehalt von 1,17 g/kg bestückter Leiterplatte eine nicht nachvollziehbare Menge an silberhaltigen Bauteilen zwischen rd. 11,4 kg und 17,7 kg ergibt. Silber kommt wie Gold in fast allen Elektrogeräten zum Einsatz. Auffallend hoch ist dabei der hohe Maximalwert bei DVD-Playern von 5 g, wodurch sich eine hohe Spannweite zu anderen Quellen ergibt. Auch PC und die zukünftig auslaufenden CRT-TVs weisen beträchtliche Mengen an Silber auf. Die Gehaltsangaben für Silber in Photovoltaikanlagen beziehen sich ausschließlich auf c-Si-Module.

## Palladium

In Altfahrzeugen ist der Hauptanteil in Katalysatoren zu finden sowie geringe Teile in Elektronikkomponenten. Hagelüken [100] gibt einen Gesamtanteil an Platingruppenmetallen (PGM) in Autokatalysatoren von 1 g bis 3 g an. Aus den kumulierten eingesetzten Gesamtmengen von 3.800 t zwischen 1980 und 2007 entfielen 1.780 auf Palladium, was einen Anteil von 47,1 % bedeutet. Daraus ergibt sich für Palladium ein Anteil zwischen 0,47 g bis 1,41 g. Aus Kuchta [101] ergibt sich bei einem durchschnittlichen Monolith-Gewicht eines Autokatalysators von 0,5 kg bis 1 kg mit einem Gehalt an PGM zwischen 1 g/kg und 5 g/kg eine Spannweite von 0,5 g bis 5 g an Platingruppenmetallen in einem Katalysator. Sieht man sich die Nachfrage der enthaltenen PGM Palladium, Platin und Rhodium bei den Katalysatoren im Jahr 2013 an, kommt man auf einen Anteil von 51,6 % an Palladium, wodurch ein Gehalt von 0,26 g bis 2,58 g entsteht. Vergleicht man die einzelnen Studien kommt es bei den Daten zu relativ geringen Bandbreiten. Da eine klare Abgrenzung zwischen den Angaben für Katalysatoren und Leiterplatten möglich ist, werden die Durchschnittswerte aus diesen beiden Gruppen addiert und durch die Gesamtbetrachtung aus Cullbrand et al. [90] ergänzt. Auch

Palladium findet eine breite Anwendung in Elektroaltgeräten mit dem höchsten Wert von rd. 212 mg/Stk. in PCs. Wie bei den anderen Edelmetallen ist auch hier anzunehmen, dass sich das Einsatzgebiet vorwiegend auf Leiterplatten mit integrierten Schaltungen oder Steckverbindungen bzw. Kontakte beschränkt.

### Platin

Haupteinsatzgebiet ist auch hier der Autokatalysator mit ermittelten Werten zwischen 0,22 und 2,17 g/Stk. Die recherchierten Gesamtwerte aus Cullbrand et al. [90], bezogen auf das Gesamtfahrzeug, bewegen sich abhängig vom Ausstattungsgrad der Fahrzeuge zwischen 5,48 g bis 8,08 g. Da jedoch davon ausgegangen werden kann, dass sich der Hauptanteil von Platin im Katalysator befindet, wird diese Quelle aufgrund der deutlichen Abweichung wiederum vernachlässigt. Im Elektrogerätebereich findet der Einsatz von Platin vorwiegend bei Elektrokleingeräten in niedrigen Konzentrationen zwischen 0,1 mg/Stk. und 4 mg/Stk. statt. Aus Kapitel 3.1 ist bereits ersichtlich, dass die Elektro- und Elektronikindustrie mit nur 1 % am Gesamteinsatz bei Platin eine eher untergeordnete Rolle im Vergleich zu den restlichen Edelmetallen spielt.

### Cer und Yttrium

Teile von Cer sind in Fahrzeugen, beispielsweise bei Elektronikkomponenten, Beleuchtungen, Leiterplatten oder Bremsscheiben zu finden. Auch hier ergeben sich aus dem vorhandenen Datenmaterial von Cullbrand et al. [90] (0,29 g/Stk. bis 12,91 g/Stk.) und den anderen Angaben Unterschiede um das 1000-fache. Der höchste Wert bei den Elektroaltgeräten ist bei Leuchtstofflampen mit 0,46 g zu finden. Für die Bestimmung des durchschnittlichen Cergehaltes wird aus Cullbrand et al. [90] lediglich der Wert von 0,29 g/Stk. für einen Mittelklassewagen mit geringer Ausstattung (MKGA) als plausibel gesehen und für die Berechnung herangezogen. Die Angaben für Yttrium in Fahrzeugen reichen abhängig von der Betrachtungsbreite von 0,01 g bis 0,23 g pro Fahrzeug. Die Seltenen Erden Cer und Yttrium weisen den höchsten Anteil in Leuchtmitteln auf, die in einer Reihe von Produkten wie u.a. in LCD-TV, Notebooks, Smartphones aber vor allem in den Beleuchtungstechnologien zu finden sind. Bei den Leuchtstofflampen und Energiesparlampen wurden die Inhalte für Cer über einen Faktor, der sich aus den Mengenanteilen zwischen Yttriumoxid und Ceroxid nach Sander et al. [27] ergibt, berechnet. Ergänzend wurden Inhaltsbestimmungen für Cer und Yttrium in Leuchtstofflampen durchgeführt. Der Anteil an Stäuben am Gesamtoutput einer Lampenbehandlungsanlage beträgt laut Tesar [100] rd. 4 % was bezogen auf eine Leuchtstofflampe ein Gewicht von rd. 5,8 g bedeutet. Poscher et al. [101] gibt aus einer RFA-Analyse eines Leuchtstaubes für Cer 0,3 Gew.-% und Yttrium 2,88 Gew.-% an. Daraus ergeben sich Inhalte für Cer von 17,3 mg/Stk. und für Yttrium 165,9 mg/Stk.. Vergleichsweise ergeben sich aus Sander et al. [27] für Cer mit 457,5 mg/Stk. und für Yttrium mit 2870,0 mg/Stk. relativ hohe Werte, wodurch diese für weitere Berechnungen nicht berücksichtigt werden. Auffällig ist der hohe Anteil von 31 g Yttrium in LCD-Fernseher, der um rd. 280-mal höher ist als der angegebene Wert von 110 mg/Stk. aus Buchert et al. [91]. Aufgrund dieses nicht nachvollziehbaren Unterschiedes wird dieser Wert für weitere Hochrechnungen nicht

berücksichtigt. Des Weiteren wird  $\text{CeO}_2$  als Poliermaterial im ausgewählten Fallbeispiel eingesetzt. Dabei wird von einem Anteil an Cer von rd. 30 % ausgegangen.

### Neodym

Hohe Gehalte an Neodym zwischen 240 g/Stk. und 720 g/Stk. sind zukünftig in Motoren von Hybridfahrzeugen zu finden. Beispielsweise geht Zepf [85] von einem durchschnittlichen Magnetgewicht von 2,4 kg bei einem Gehalt an Neodym von 30 % aus. Aber auch in Standardfahrzeugen werden unterschiedliche Mengen an Neodym, die von 0,01 g bis 206 g reichen, angegeben. Auch hier werden für weitere Hochrechnungen die Daten von Cullbrand et al. [90] nicht berücksichtigt.

Neodym ist nahezu bei allen Produkten in der Kategorie Bildschirmgeräte und Elektro- und Elektronikkleingeräte zu finden, wobei die größten Inhalte bei Geräten mit Festplatten wie PCs oder Notebooks zu finden sind. In der Windkrafttechnik bewegt sich der Anteil bei den Direct Drive und Hybridsystemen je nach Literaturquelle zwischen 140 kg/MW und 400 kg/MW.

### Wolfram

Die geringen Anteile von Wolfram in Autos von 0,03 g bis 0,38 g beziehen sich auf Leiterplatten und Steuergeräte. Bei Elektrogeräte beschränken sich die Angaben auf Blaser et al. [95] und zeigen Vorkommen vorwiegend bei Produkten in der Kategorie Bildschirmgeräte und Elektrokleingeräten mit dem höchsten Anteil in PCs. Der Einsatz bei Wendschneidplatten in Form von Wolframkarbid stellt eines der Hauptverwendungsgebiete dar. Nach Rücksprache mit einem Produzenten wird von einem durchschnittlichen Gewicht von 20 g pro Platte mit einem Anteil an Wolframkarbid von rund 80 % ausgegangen.

### Gallium

Anteile von Gallium findet man zwar in nahezu sämtlichen untersuchten Produkten, jedoch ist der Inhalt deutlich niedriger als bei anderen Metallen. Fahrzeuge weisen geringe Mengen an Gallium auf, die von 0,004 g bis 0,56 g reichen. Bei den Photovoltaikzellen reduziert sich das Vorkommen an Gallium auf CIGS(S)-Zellen, da für GaAs-Zellen keine Inhaltsangaben gefunden wurden.

### Indium

Die Indiumgehalte bei Fahrzeugen beschränkt sich hauptsächlich auf Leiterplatten mit Anteilen von 0,05 g bis 0,86 g pro Fahrzeug. Bei den Elektroaltgeräten finden man die größten Indiummengen in LCD Fernseher, gefolgt von Plasma-TV Geräten und DVD-Playern. Auch hier ist ein breites Vorkommen über nahezu sämtliche Produkte ersichtlich. Eine wichtige Rolle nimmt Indium bei den Dünnschichtzellen ein. Je nach Typ CIGS, a-Si oder CdTe reichen die Werte von 0,9 kg/MW<sub>Peak</sub> bis 75,0 kg/MW<sub>Peak</sub>.

## 7 Stoffflussanalyse

Um ein theoretisches Abfall- bzw. Rohstoffpotential für ein weiteres Recycling ermitteln zu können werden die produktbezogenen Angaben zu den durchschnittlichen Inhalten der einzelnen Metalle aus der quantitativen Identifizierung mit den Absatzmengen verknüpft. Als Darstellungsmethode kommt die Stoffflussanalyse (SFA), eine naturwirtschaftliche Grundlage zur Beschreibung, Bewertung und Gestaltung beliebig komplexer Systeme, zu Anwendung. Sie dient zur Identifizierung und Quantifizierung aller relevanten Flüsse von Stoffen in einem zeitlich und räumlich exakt abgegrenzten System sowie zur Bilanzierung der Stoffe innerhalb dieses Systems. [111]

### 7.1 Festlegung der Nutzungsdauer

Für die Abschätzung der Abfallmengen spielt die Lebensdauer bzw. Nutzungsdauer von Produkten eine wesentliche Rolle. Deren Bestimmung für die zu betrachtenden Produkte erfolgt anhand verschiedener Literaturquellen. Dabei ist die Lebensdauer als Überbegriff für Nutzungsdauer und technischer Lebensdauer zu verstehen. Die verschiedenen Literaturquellen enthalten fallweise variable Angaben zu den Produktlebensdauern. Aus den Bandbreiten wurde ein Durchschnittswert gebildet und auf eine volle Jahreszahl gerundet. Bei LED Lampen wird davon ausgegangen, dass die technische Lebensdauer nicht ausgenutzt wird und es zu einer Verweildauer von 10 Jahren kommt. [112] Die Tabelle 27 zeigt die ausgewählten Lebensdauern der betrachteten Produkte.

Tabelle 28: Lebensdauer der Produkte

Produkt	Lebensdauer aus Literatur [Jahre]	Quelle	Ausgewählte Lebensdauer [Jahre]
Altfahrzeug (Standardfahrzeug)	17,4	[113]	17
Altfahrzeug (Hybridfahrzeug)	14-15	[85]	15
LCD-TV, Plasma-TV, CRT-TV	4,6-6,2	[114]	6
Notebook	4,8-6,5	[114].	6
Tablet	2, 3	[115]	3
Handy	2-2,9	[114]	2
Smartphone	2-2,5	[114]	2
PC	4-8	[114]	6
DVD-Player	6,5	[45]	6
Drucker	6	[116]	6
Digitalkamera	4,6	[117]	5
Camcorder	6	[116]	6
LED	10	[112]	10
Leuchtstofflampe	6-10	[112]	8
Energiesparlampe	6-10	[112]	8
Photovoltaikanlagen	25	[32]	25
Windkraftanlagen	20	[85]	20
Industrielle Poliermittel	-	-	1
Wendeschneidplatten	-	-	1

## 7.2 Darstellung und Auswertung

Die Darstellung der einzelnen ausgewählten Stoffe erfolgt mit dem von der TU Wien speziell für SFA entwickelten Softwaretool STAN. Das betrachtete System wird als „Wertstoffrelevante Sekstoffströme“ bezeichnet und zeitlich für das Jahr 2013 und in weiterer Folge 2030 auf Österreich begrenzt. Aufgrund der Datenverfügbarkeit wird bei Elektroaltgeräten auf der Güterebene über die Nutzungsdauer und der in Verkehr gesetzten Mengen in Stück das potenzielle Abfallaufkommen der beiden Jahre bestimmt. Bei LCD TV Geräten und Notebooks erfolgte eine Unterscheidung zwischen Geräten mit Hintergrundbeleuchtung auf Basis von CCFL und LED. Dabei betrug der Anteil der LED Hintergrundbeleuchtung für das relevante Jahr 2007 lediglich 1 %. Der Technologiewechsel erfolgte im Jahr 2011 mit einem Anteil von 56,4 % an LED-basierter Beleuchtung mit steigender Tendenz. [118] Für die theoretischen Abfallprognosen 2030 wird von einem Anteil von 94 % an LED bzw. OLED ausgegangen. [119] Bei den Altfahrzeugen ist für 2013 mit 261.929 Stück die Menge an anfallenden Fahrzeugen bekannt. Für Tablets und relativ neue Technologien mit einer hohen Lebensdauer wie LED-Lampen, Photovoltaikmodule, Windkraftanlagen sowie Hybridfahrzeuge sind für das Jahr 2013 noch keine nennenswerten Anfallsmengen zu erwarten, wodurch diese erst für die Betrachtungen im Jahr 2030 berücksichtigt werden. Die Wendschneidplatten werden nach der Nutzung an den Produzenten zurückgegeben und recycelt, wodurch bereits eine bewerte Verwertungsschiene besteht und es zu keinen signifikanten Anfall kommt. Auch bei den zu betrachtenden Poliermitteln ergibt sich durch das interne Recycling kein Abfallpotenzial. Diese beiden Recyclingvorgänge werden als Lager ausgewiesen.

Daraus ergeben sich für das System auf der Güterebene im Wesentlichen folgende Materialflüsse in das System (Importe) und aus dem System (Exporte):

Importe:

- In Verkehr gesetzte Elektroaltgeräte (Bildschirmgeräte, Elektrokleingeräte, Gasentladungslampen inkl. LED)
- Anfall von Altfahrzeugen
- In Verkehr gesetzte Wendschneidplatten
- Eingesetzte Poliermittel
- Photovoltaikmodule
- Windkraftanlagen

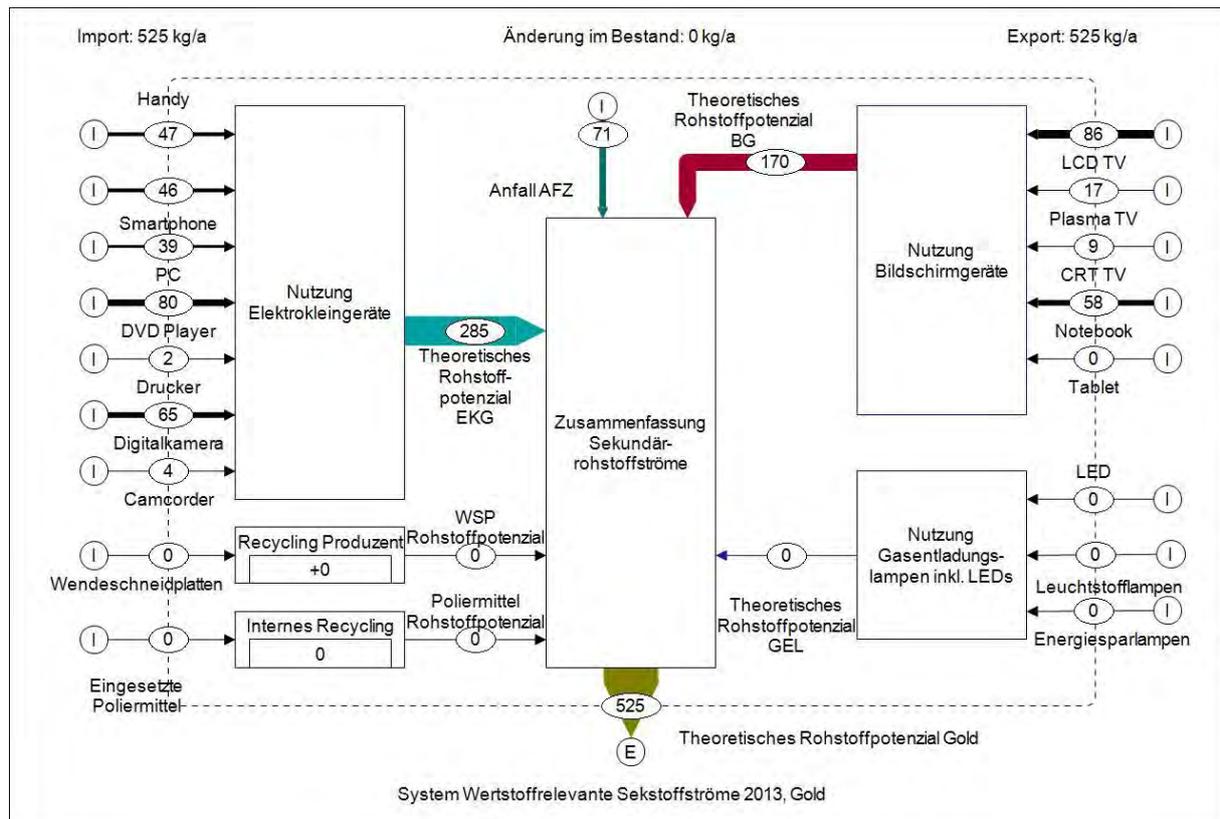
Exporte:

- Theoretisches Rohstoffpotenzial

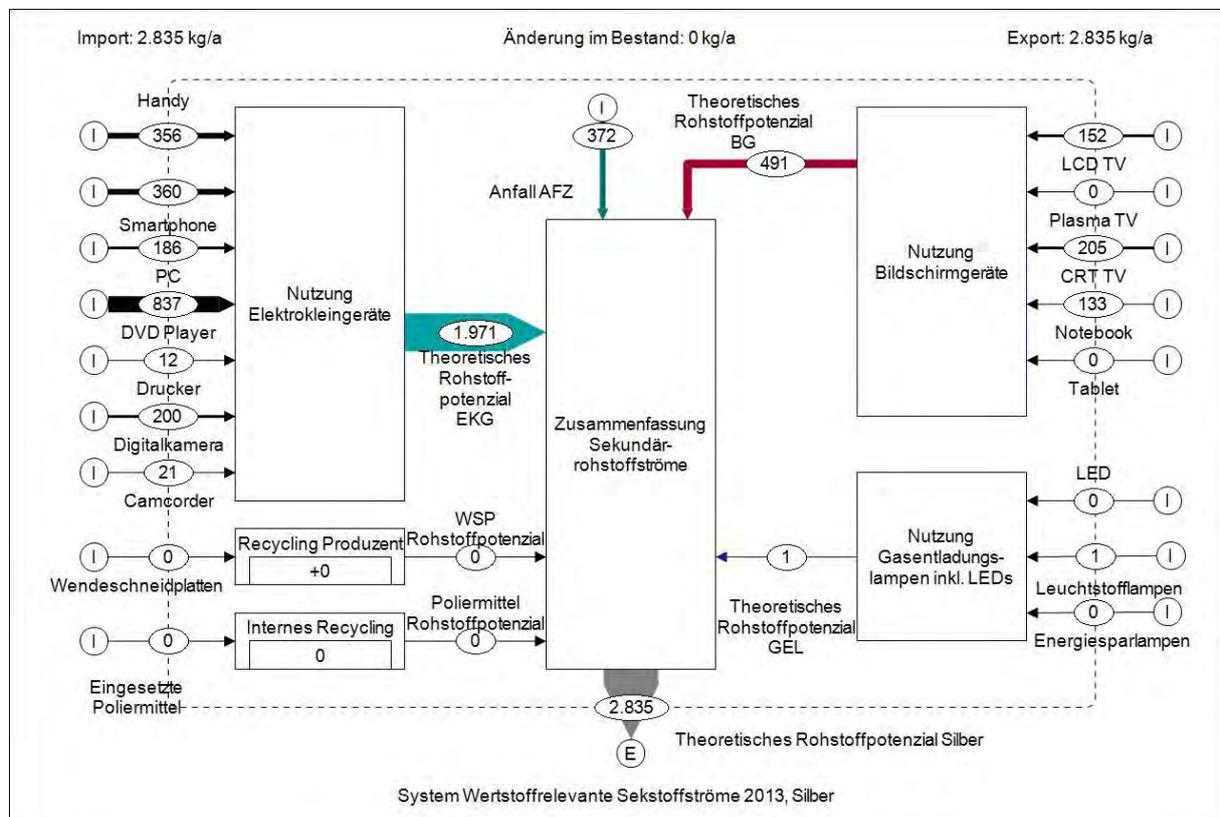
## 7.3 Auswertungen 2013

Über die Metallgehalte (Stoffebene) der einzelnen Materialflüsse (Güterebene) ergibt sich für die betrachteten Elemente folgendes theoretisches Rohstoffpotential aus den definierten Abfall- bzw. Sekundärströmen für das Jahr 2013.

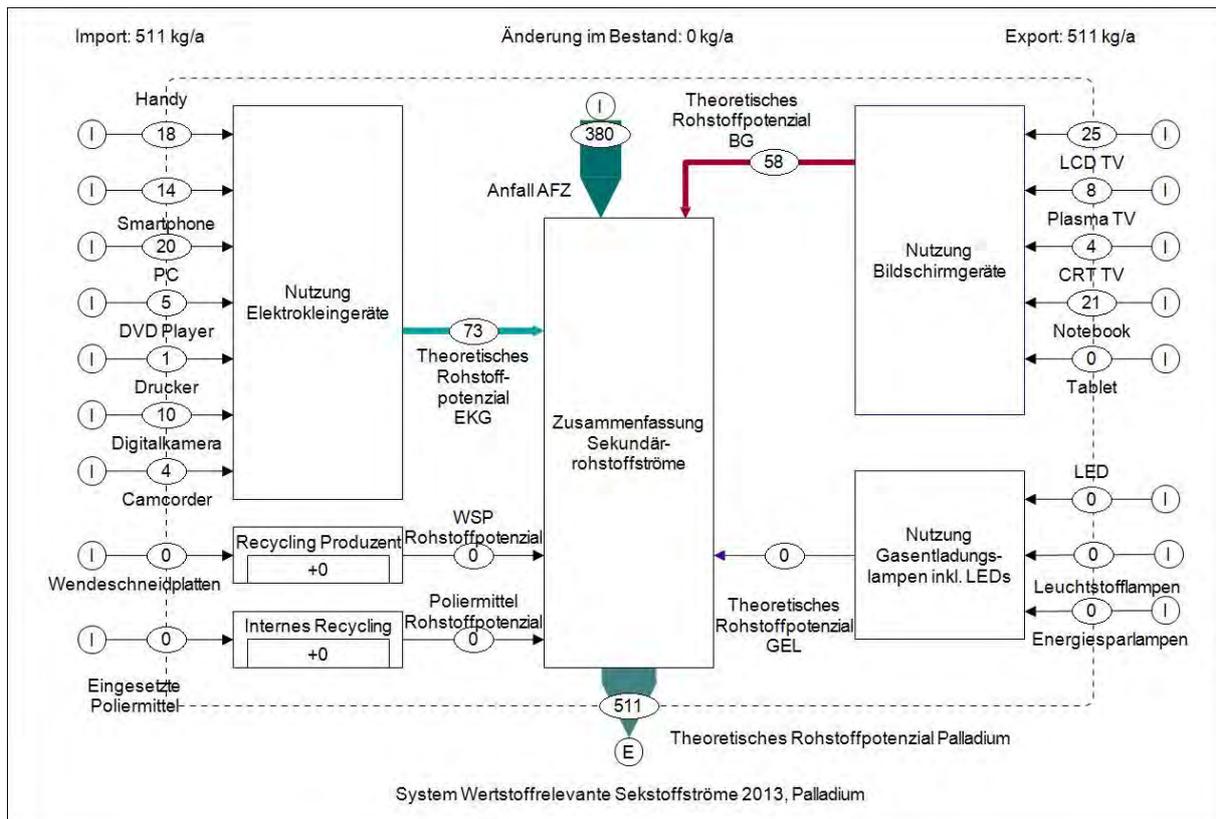
**Gold**



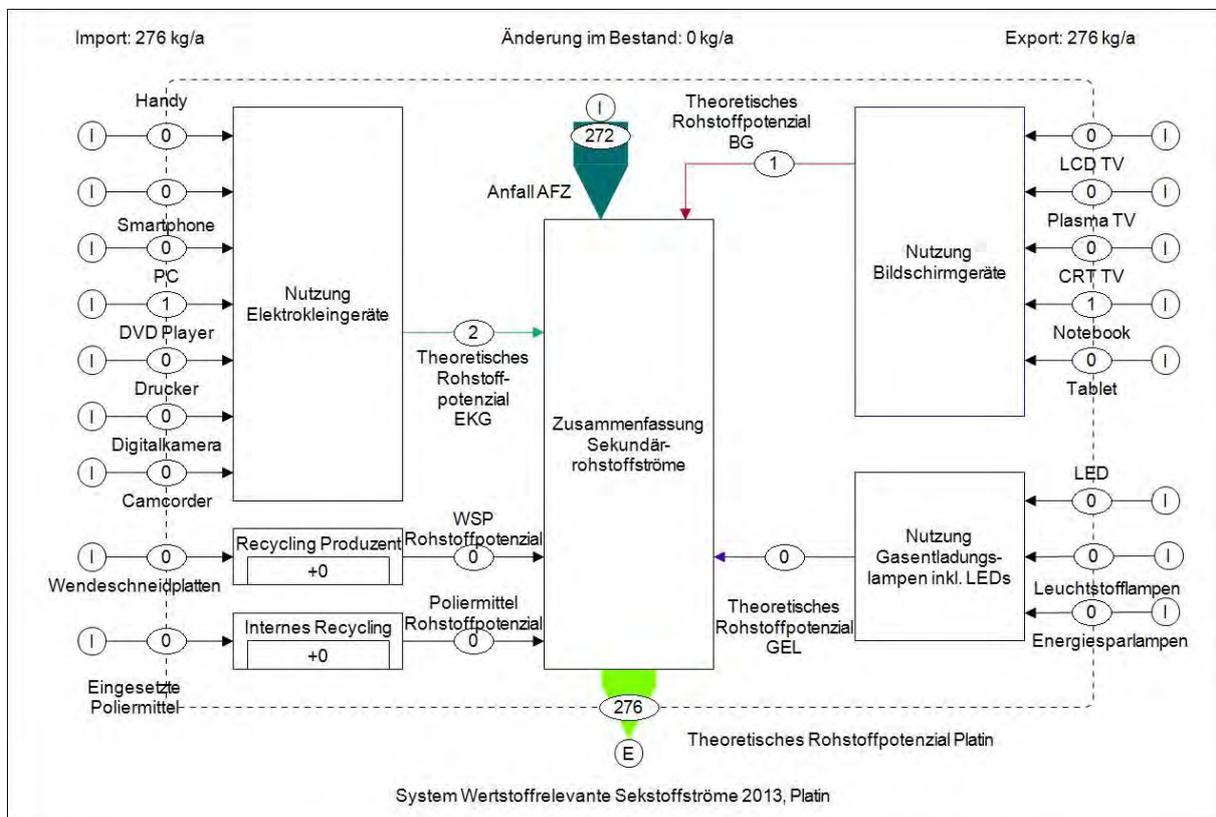
**Silber**



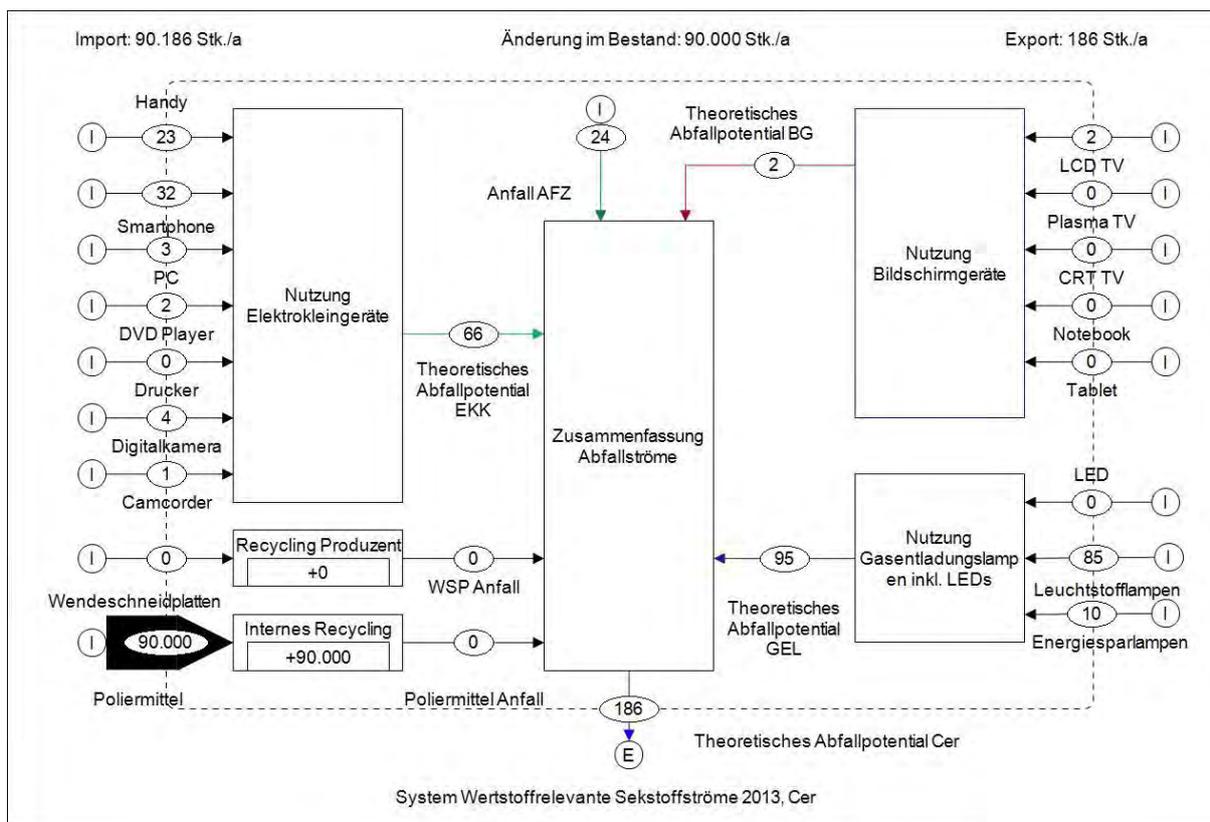
### Palladium



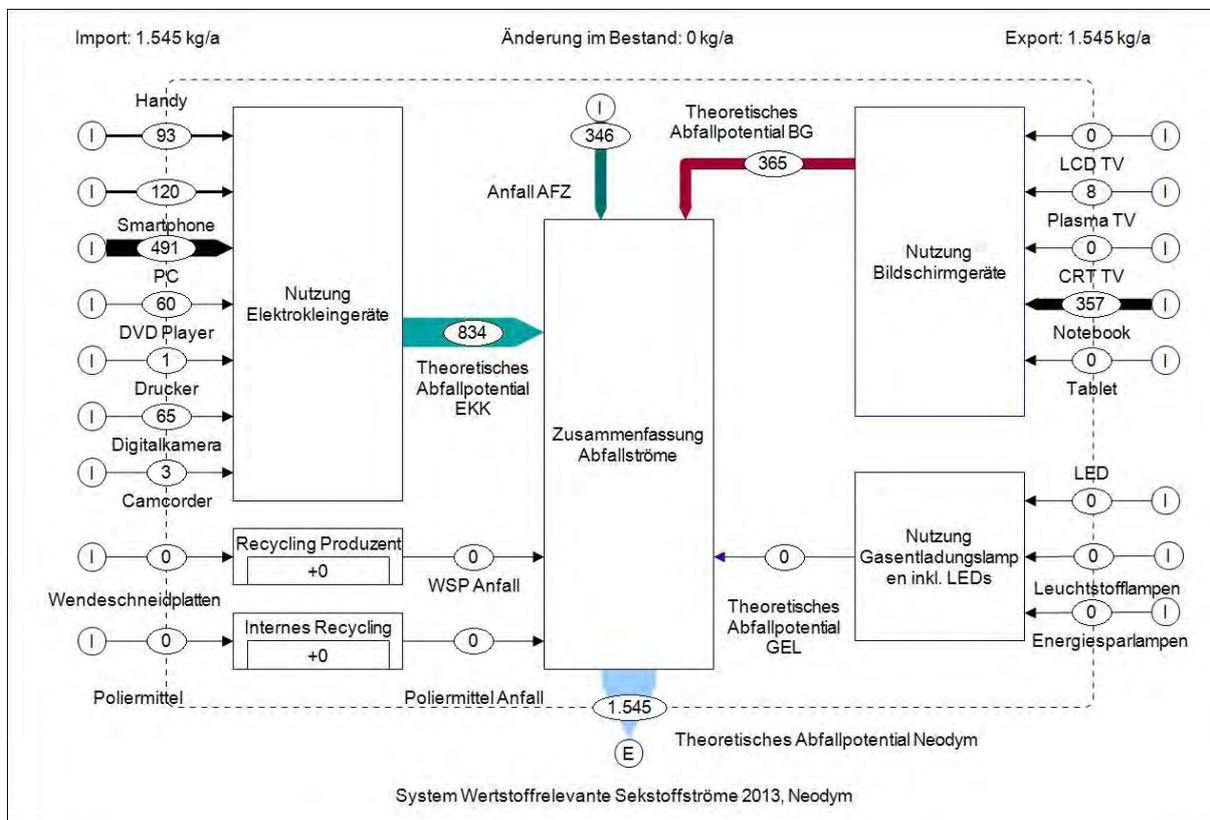
### Platin



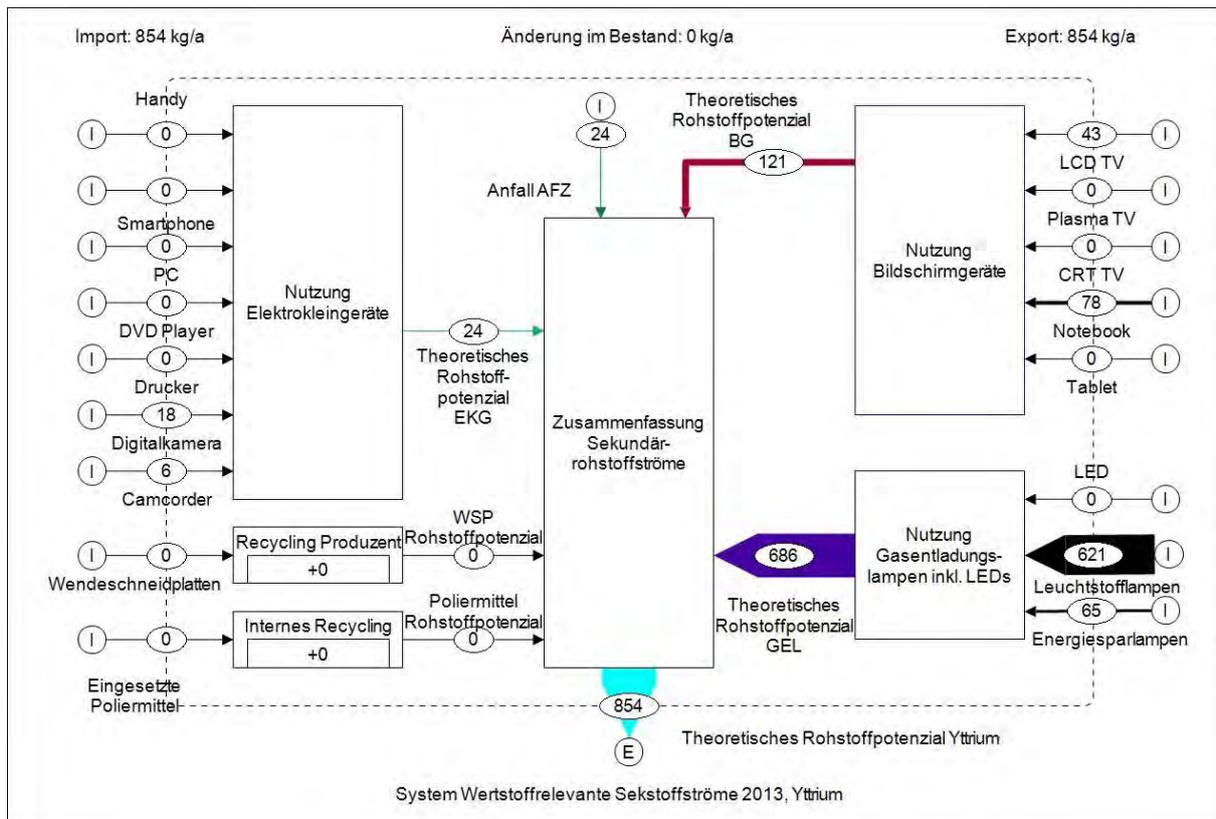
**Cer**



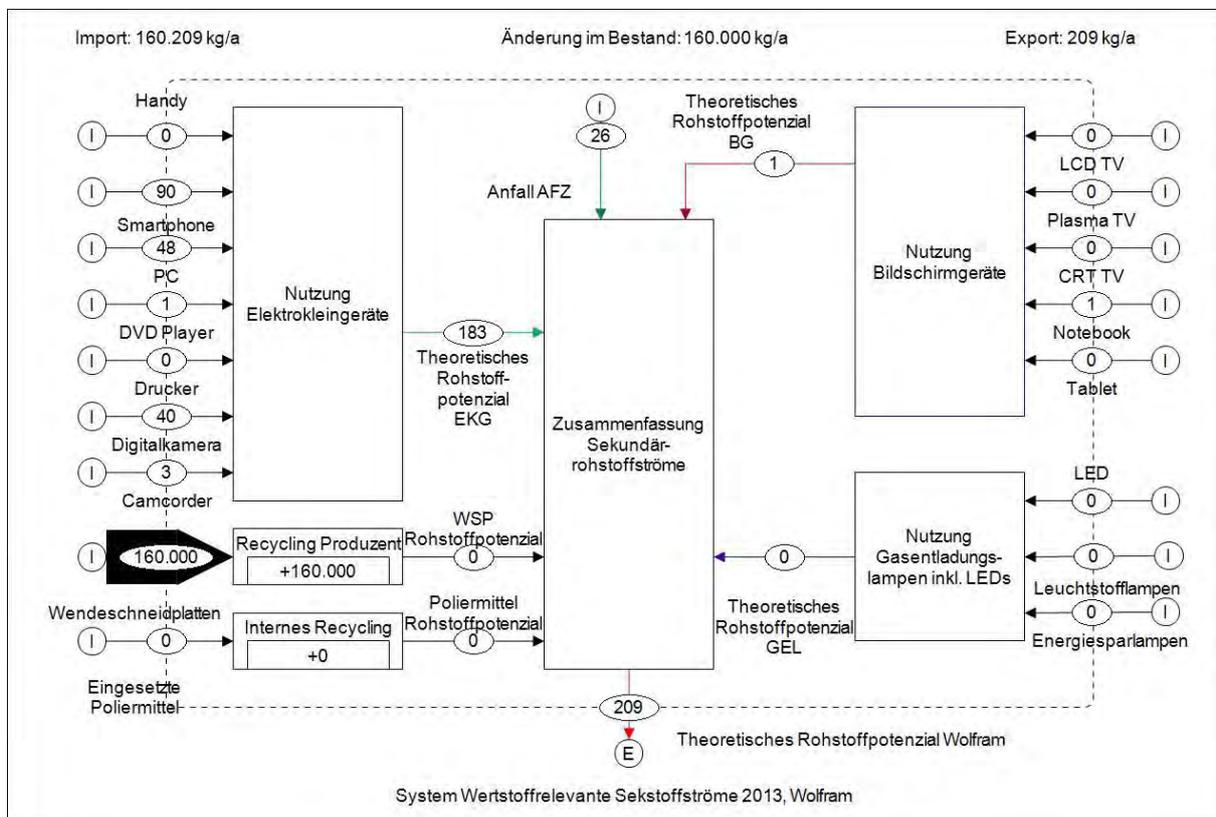
**Neodym**



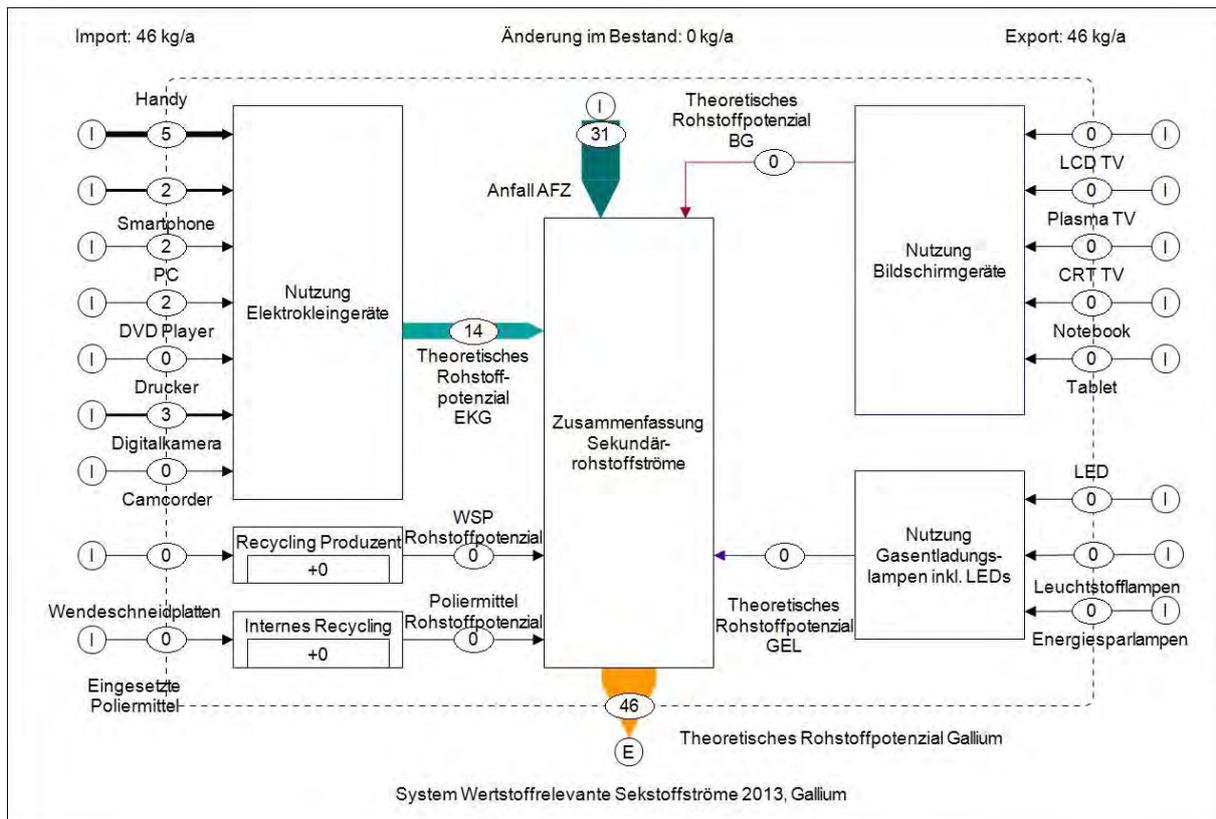
### Yttrium



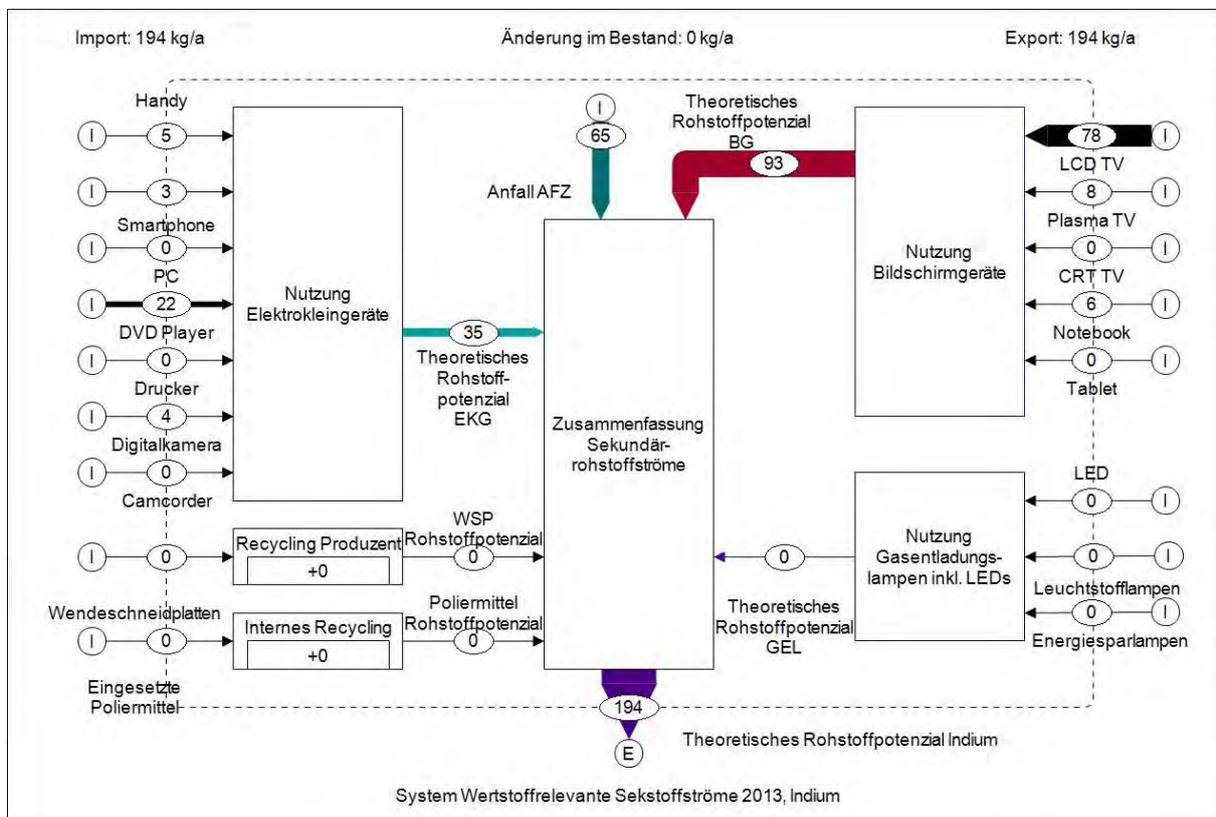
### Wolfram



### Gallium



### Indium



### 7.4 Datenzusammenfassung unter Einfluss von Sammelquoten für das Jahr 2013

Das für ein Recycling zur Verfügung stehende Potenzial ist wesentlich abhängig von der Sammeleffizienz der einzelnen Produkte. Für Altfahrzeuge ergibt sich für das Jahr 2013 eine Sammelquote von 25,6 %, da von 261.929 Stk. anfallenden Fahrzeugen lediglich 67.000 Altfahrzeuge in die Verwertungsschiene eingebracht wurden. Da für einzelne Elektroaltgeräte, wie in dieser Studie betrachtet, eine plausible Bestimmung der Sammelquote nicht möglich ist, erfolgt die Darstellung des Potenzials für eine weitere Aufbereitung anhand von 2 Szenarien mit einer Quote von 75 % und 50 % für Elektroaltgeräte. Dies bedeutet, dass einmal drei von vier Geräten und einmal die Hälfte der Geräte gesammelt wird und der Rest unklar verbleibt. Als Anhaltspunkt für Szenario 1 (EAG 50 %) dient dabei eine Sammelquote von 47,6 % für Elektroaltgeräte im Jahr 2013 nach Angaben der Elektroaltgeräte Koordinierungsstelle Austria GmbH. [120] Szenario 2 soll das Mittel zwischen dem maximal zur Verfügung stehenden Potenzial und Szenario 1 abbilden. Die Abbildung 34 bis Abbildung 36 zeigen für das Jahr 2013 das theoretisch zur Verfügung stehende Rohstoffpotential der ausgewählten Metalle aus Sekundärquellen, getrennt nach Edelmetallen, Seltenen Erden sowie Refraktär- und sonstige Metalle, in den Abfallströmen sowie das Potenzial, welches sich bei den beiden angenommenen Szenarien für Elektroaltgeräte unter Berücksichtigung der tatsächlichen Sammelquote bei Altfahrzeugen ergibt.

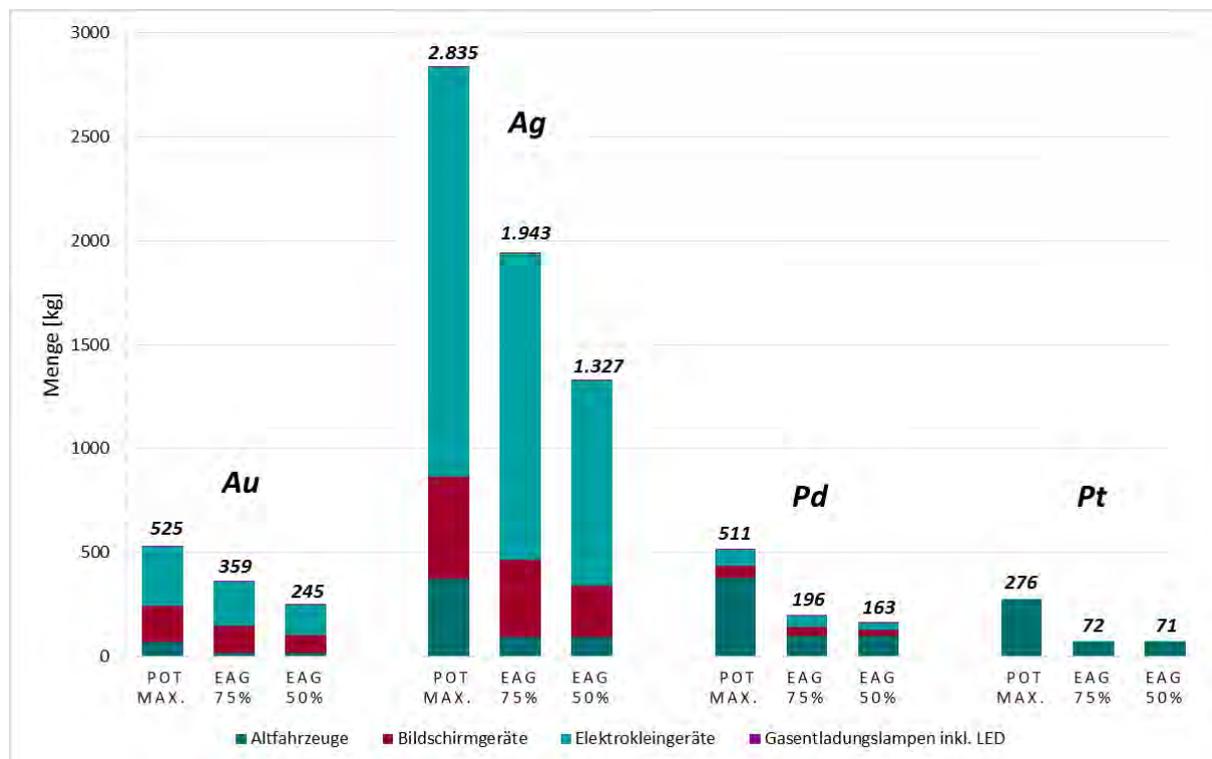


Abbildung 34: Theoretisches Rohstoffpotential der ausgewählten Edelmetalle unter Betrachtung einer Sammelquote an EAG von 75 % und 50 % für das Jahr 2013

Für die Edelmetalle Gold und Silber findet man die größten Mengen bei Elektrokleingeräten mit einem Anteil von rd. 54 bzw. 70 % gemessen am gesamt zur Verfügung stehenden

Potenzial von 525 bzw. 2.835 kg, gefolgt von Bildschirmgeräten und Altfahrzeugen. Die Mengen von 276 kg für Platin beschränken sich nahezu vollständig auf Altfahrzeuge. Auch Palladium findet man hauptsächlich in Altfahrzeugen sowie geringere Mengen in Elektrokleingeräte und Bildschirmgeräten. Aufgrund der Tatsache, dass rd. 74 % der ausgeschiedenen Altfahrzeuge unklar verbleiben und auch Teile von Elektroaltgeräten nicht über registrierte Sammelstellen erfasst werden, ist hier von einem wesentlichen Verlust bei diesen Metallen auszugehen. Betrachtet man beispielsweise für Gold das Szenario EAG 75 % ergibt sich ein Gesamtverlust von rd. 32 % der gesamt zur Verfügung stehenden Menge. Große Auswirkungen sind bei Palladium und Platin aufgrund deren Vorkommen in Altfahrzeugen zu erkennen. So ergibt sich für den Standort Österreich bei den Altfahrzeugen ein theoretischer Verlust von rd. 283 kg Palladium und rd. 202 kg Platin im Jahr 2013. Die zur Verfügung stehenden Mengen an Silber aus Sekundärquellen sind im Wesentlichen abhängig von der Sammelquote für Elektrokleingeräte. Hier sind die größten Mengen in DVD-Player, Handys und Smartphones zu erwarten.

Bei den Seltenen Erden sind die größten Potenziale bei Neodym mit rd. 1.545 kg, vorwiegend aus PCs (Elektrokleingeräte) mit 491 kg, Notebooks (Bildschirmgeräte) mit 357 kg und Altfahrzeugen mit 346 kg, zu erkennen. Die Hauptanteile von Cer und Yttrium sind in den Beleuchtungstechnologien, hier vorwiegend bei Leuchtstofflampen, zu finden. Zudem finden man Yttrium bei den Bildschirmgeräten in Notebooks und LCD-TV sowie Cer bei den Elektrokleingeräten, vorwiegend in Smartphones und Handys. Hier bestimmt vor allem die Effizienz der Sammlung der einzelnen genannten Produkte bzw. Produktgruppen das tatsächlich verwertbare Potenzial.

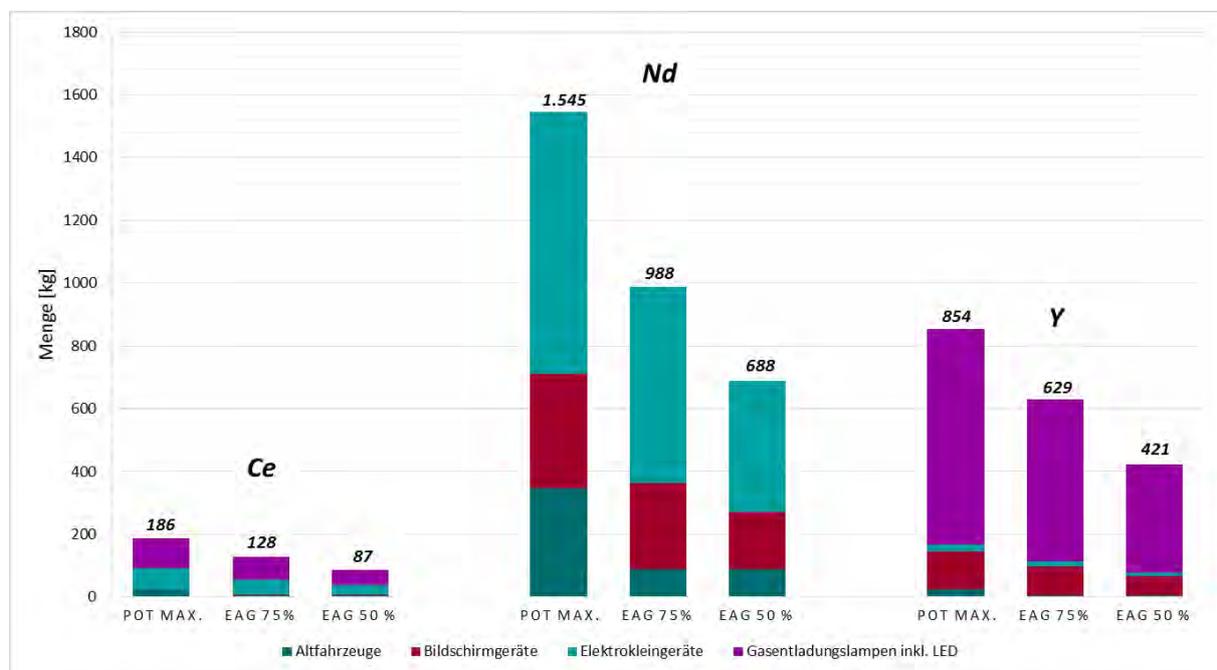


Abbildung 35: Theoretisches Rohstoffpotential der ausgewählten Seltenen Erden unter Betrachtung einer Sammelquote an EAG von 75 % und 50 % für das Jahr 2013

Das theoretische Aufkommen des Refraktärmetalls Wolfram von 209 kg bezieht sich hauptsächlich auf Elektrokleingeräte, wobei hier die relevanten Anteile aus Smartphones, PCs und Digitalkameras stammen. Der größte Anwendungsbereich von Wolfram (Hartmetalle etc.) wird hier nicht berücksichtigt, weil hier bereits etablierte Recyclingaktivitäten im Industriemaßstab stattfinden bzw. darüber hinaus an entsprechenden Erweiterungen gearbeitet wird.

Von den 10 betrachteten Elementen weist Gallium das geringste Potenzial mit 46 kg auf, welches zu rd. zwei Drittel aus Altfahrzeugen stammt. Für Indium wurde ein Potenzial von 194 kg aus den betrachteten Produktströmen ermittelt. Dieses ist vorwiegend in den Produkten LCD-TV, Altfahrzeuge sowie DVD-Player zu finden.

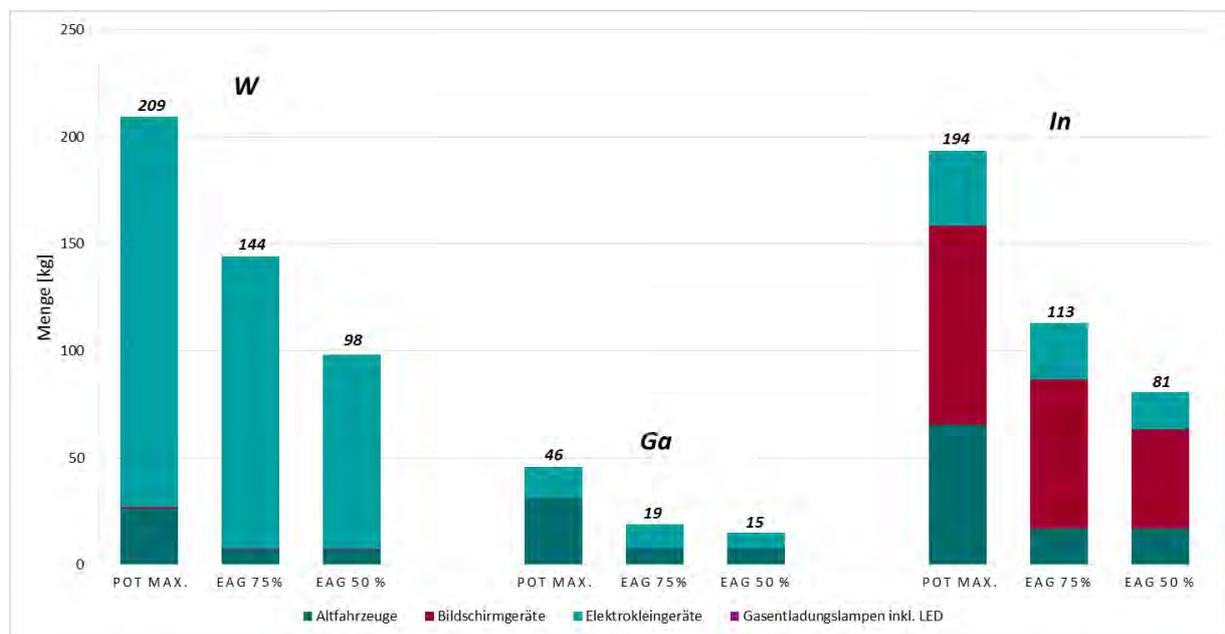


Abbildung 36: Theoretisches Rohstoffpotential des ausgewählten Refraktärmetalls Wolfram sowie Sonstiger Metalle unter Betrachtung einer Sammelquote an EAG von 75 % und 50 % für das Jahr 2013

## 7.5 Auswertungen und Datenzusammenfassung 2030

Für die Bestimmung des theoretischen Potentials der ausgewählten Metalle aus Sekundärquellen im Jahr 2030 werden die prognostizierten Mengen aus Kapitel 4 wiederum mit den durchschnittlichen Inhalten aus der quantitativen Identifizierung verknüpft und in Form von Stoffflussanalysen ausgewertet. Dabei wird von denselben Lebensdauern und Mengeninhalten wie bei der Betrachtung im Jahr 2013 ausgegangen, d.h. neue Technologieentwicklungen sowie etwaige Substitutionen einzelner Rohstoffe werden nicht berücksichtigt. Bei den Standardfahrzeugen werden mit einer angenommenen Lebensdauer von 17 Jahren als Potenzial die Neuzulassungen aus dem Jahr 2013 mit 315.177 Stk. gesehen. [121] Für Hybrid- und Elektrofahrzeuge ergibt sich für 2030 ein Potenzial von 5.098 Fahrzeugen aus den Neuzulassungen 2015. [122] Die Anteile der verschiedenen

Zelltechnologien bei Photovoltaikmodulen wurde aus Photon [123] entnommen. Dabei sind für das Jahr 2005 folgende Anteile der verschiedenen Technologien ersichtlich:

- 90,7 % kristalline Siliziumzellen (c-Si),
- 4,7 % amorphe Siliziumzellen,
- 1,4 % Cadmiumtellurid (CdTe)-Zellen,
- 0,2 % CIS-Zellen.

Die neu installierte Leistung in diesem Bereich im Jahr 2005 betrug 2.961 kW<sub>peak</sub>.

Bei den Windkraftanlagen wird für die Berechnungen ein Anteil an relevanten getriebelosen Anlagen von 14 % bei einer installierten Leistung im Jahr 2010 von 18 MW<sub>el</sub> angenommen. Für Wendeschneidplatten und Poliermittel ergeben sich aufgrund der vorhandenen Recyclingwege wiederum keine Abfälle. Die einzelnen Stoffflussanalysen sind unter Anhang III ersichtlich. Folgende Grafik (vgl. Abbildung 37) zeigt die ermittelten theoretischen Abfallpotenziale der 10 Metalle getrennt nach Gruppen für das Jahr 2030.

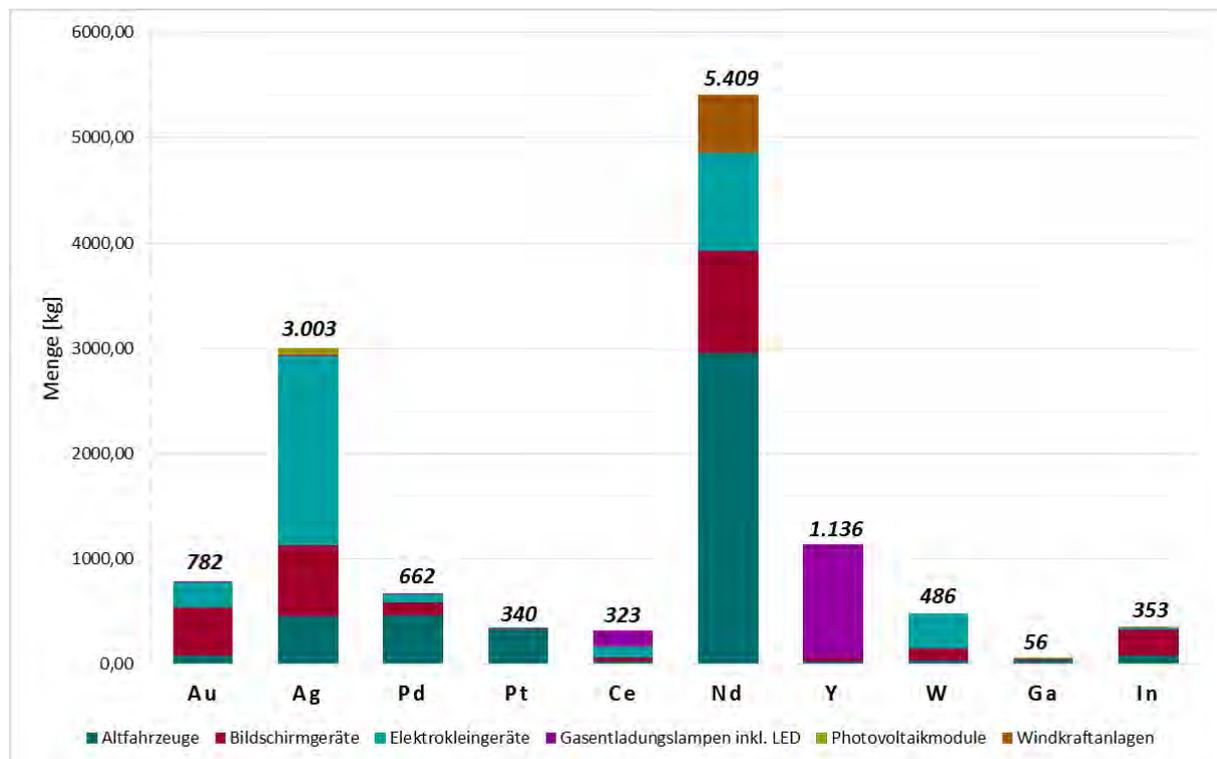


Abbildung 37: Theoretisches Rohstoffpotential der ausgewählten Metalle für das Jahr 2030

Im Vergleich zu 2013 ergibt sich aus den prognostizierten Werten für 2030 bei sämtlichen Metallen ein Anstieg des theoretisch zu Verfügung stehenden Rohstoffpotentials. Der wesentlich höchste Anstieg ist bei Neodym, bedingt durch den Ablauf der Nutzungsdauer insbesondere bei Hybridfahrzeugen und Windkraftanlagen zu sehen. Das höhere Potenzial der anderen Metalle aus den betrachteten Sekundärquellen ist vorwiegend auf die zu erwartenden höheren Absatzzahlen einzelner wertstoffreicher Produkte einhergehend mit dem Anstieg der Bevölkerung, zurückzuführen.

## 8 Industrielle Prozesse und Technologien

Die Einsparung an Energie sowie das Recycling von verschiedensten Wertstoffen haben in der heutigen modernen Gesellschaft bereits seit langer Zeit einen hohen Stellenwert. Diesbezüglich wird die Rückgewinnung von Rohstoffen aus Abfällen, Reststoffen, Schrotten, etc. auch von der öffentlichen Diskussion über den anthropogenen Ausstoß an Kohlendioxid und der damit verbundenen Klimaerwärmung in zunehmendem Ausmaß beeinflusst. Darüber hinaus zeichnete sich in den letzten Jahren im Bereich des Metallrecyclings eine wesentliche Änderung ab. [124]

Bislang konzentrierte sich die Verwertung von metallischen Materialien einerseits auf die Massenmetalle (Eisen, Aluminium, Kupfer, Magnesium, Blei, Zink, etc.) und andererseits auf die sehr teuren Edelmetalle (Silber, Gold, Platin, Palladium, etc.). Für beide Elementgruppen weisen die erforderlichen Technologien zum Teil einen exzellenten Entwicklungsstand auf, welcher sich vor allem aus wirtschaftlichen Überlegungen, aber auch aufgrund Energie- und Deponieraumeinsparung, verringerte Emissionen und weiteren Aspekten der Nachhaltigkeit begründet. [124]

Dem gegenüber fand die Extraktion von Technologiemetallen aus Sekundärrohstoffen, abgesehen von einzelnen Ausnahmen, lange Zeit wegen ihres geringen Produktionsvolumens wenig Beachtung. Darüber hinaus wurde der Verfügbarkeit der jeweiligen Ausgangsmaterialien für die Gewinnung dieser Elemente aufgrund ihres niedrigen Preisniveaus kaum Aufmerksamkeit zuteil, während im Gegensatz dazu das Risiko von Versorgungsengpässen bei den fossilen Energieträgern seit den Ölkrisen in den 1970er sorgfältige Beobachtung fand. [124]

Erst die vor einigen Jahren begonnenen Bemühungen für einen massiven Ausbau an erneuerbaren Energiequellen (Windkraft, Photovoltaik, etc.), welche enorme Mengen an Technologiemetallen benötigen, verursachte ein stark zunehmendes Bewusstsein der Industrie hinsichtlich der für diese Elemente vorliegenden Versorgungsrisiken und Engpässen. Dieser Trend erlangte durch die zwischenzeitliche Limitierung der chinesischen Exporte an Seltenen Erden (SE), der extreme Preisanstiege bewirkte, wesentliche Verstärkung. Letztendlich entstanden daraus weltweit Aktivitäten zur Entwicklung geeigneter Technologien, um diese kritischen Rohstoffe aus unterschiedlichsten Abfällen, Rückständen oder sonstigen Quellen, wie beispielsweise ungewöhnliche Erze, zu gewinnen, um die Importabhängigkeiten, Versorgungsengpässe und vergleichbare Herausforderungen zu bewältigen. [124]

Obwohl sich daraus auch noch für längere Zeit ein interessantes und vor allem anspruchsvolles Thema ergibt, wirkt die Preisentwicklung der letzten Zeit für viele Metalle zum Teil stark hemmend auf diese Entwicklung (Abbildung 38).

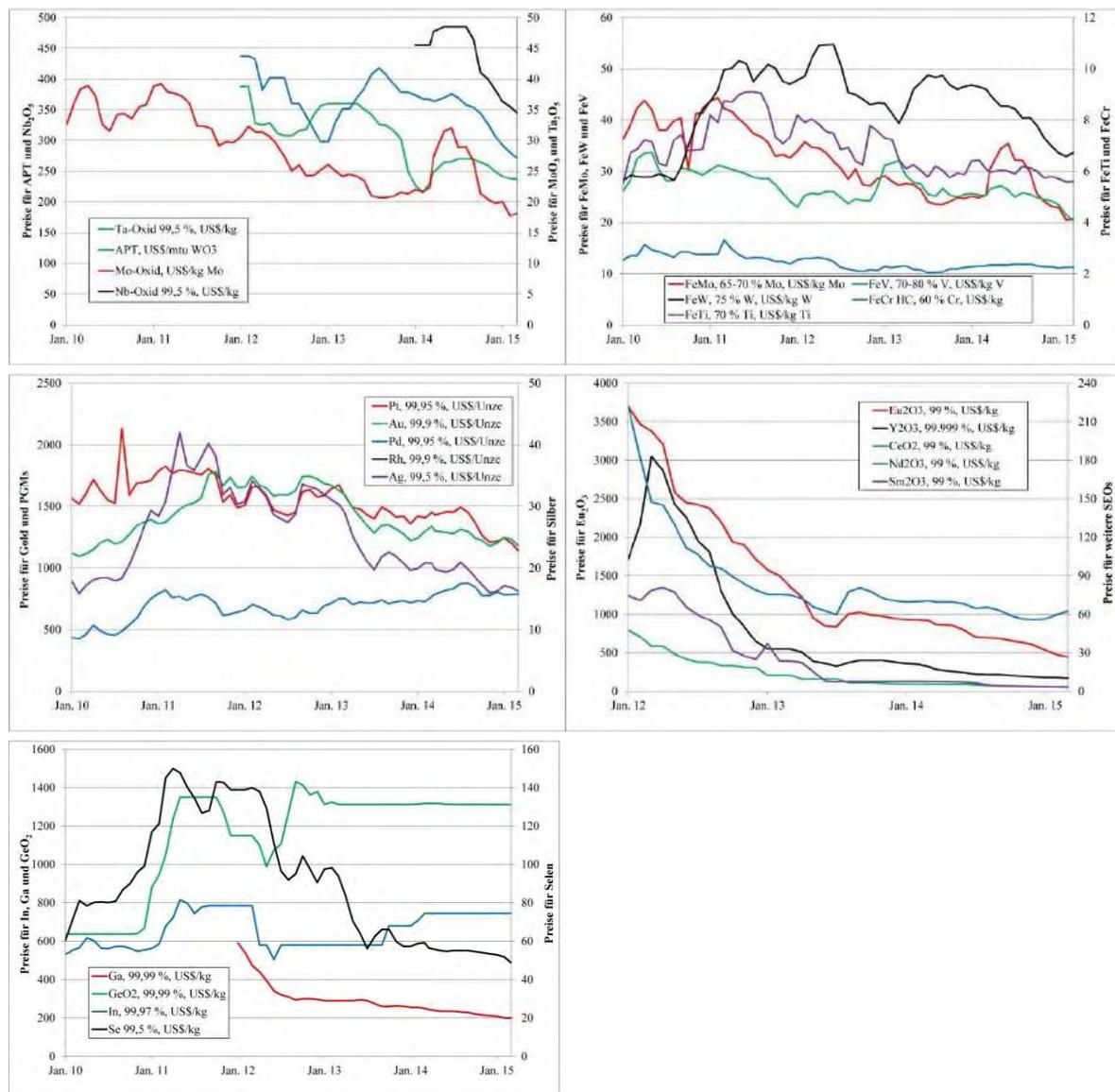


Abbildung 38: Jüngste Preistrends für zahlreiche Technologiemetalle [125]

Vor allem der rapide Preisverfall der Seltenen Erden gegenüber den zwischenzeitlich erreichten Spitzenwerten stellt eine zunehmende Schwierigkeit dar, um eine wirtschaftliche Realisierung der innovativen Verfahrensrouten zu erreichen, welche derzeit in Entwicklung beziehungsweise Ausarbeitung sind. Nur einige wenige Rohstoffe, wie beispielsweise Germaniumdioxid, wiesen in den letzten Jahren einen signifikanten Kursanstieg auf, während die anderen, von kurzzeitigen Preisschwankungen abgesehen, eher zu leicht fallenden Werten tendieren. Zusätzlich resultiert aus den unterschiedlichen Größenordnungen der Preise für die Edelmetalle im Vergleich zu den sonstigen kritischen Rohstoffen, dass die Rückgewinnung der letzteren keinesfalls die Ausbeuten an Gold, Platin oder dazu vergleichbaren Elementen verringern darf.

### 8.1 Allgemeines zu den Technologiemetallen

Die industriellen Aktivitäten in hochentwickelten Ländern wie beispielsweise Österreich sind vor allem für neu entstehende Technologien auf die Verfügbarkeit an Technologiemetallen mit

vorgegebener Qualitäten in ausreichender Menge zu akzeptablen Preisen angewiesen. Diese Gruppe an Elementen umfasst nicht nur die Seltenen Erden (mit Cer, Neodym und Yttrium als nachfolgend näher betrachtete Vertreter) sowie die Refraktär- (beispielsweise Wolfram) und Edelmetalle (unter anderem Silber, Gold, Platin und Palladium), sondern auch noch weitere Elemente, von denen Indium und Gallium anschließend eingehende Erläuterung finden. Diesen Metallen mit sehr unterschiedlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften ist gemeinsam, dass sie in der Erdkruste vergleichsweise selten sind und ihre aufwändige Gewinnung spezielle Methoden jenseits der klassischen Metallurgie erfordert. Darüber hinaus bilden einige von ihnen keine eigenständigen Erze, sondern können nur als Nebenprodukte der Massenmetalle wie Aluminium, Zink oder Blei extrahiert werden, weshalb ihre Produktionsvolumina nicht ohne weiteres erweiterbar sind. [124]

Außerdem können die betreffenden Prozessrouten aufgrund von grundsätzlichen Einschränkungen (Thermodynamik, etc.) nicht beliebige Elementkombinationen gleichzeitig zurückgewinnen. Die diesbezüglich zu berücksichtigenden Zusammenhänge werden im sogenannten Metallrad (Abbildung 39) dargestellt, welches den Verbleib der verschiedenen Metalle in den jeweiligen metallurgischen Verarbeitungswegen sowie deren grundsätzliche Extrahierbarkeit abbildet. Die einzelnen Segmente repräsentieren hierbei jeweils die komplette Infrastruktur für die Gewinnung des jeweiligen Hauptmetalls und nicht nur eine bestimmte Technologie. [103]

Diese anschauliche Illustration bietet jedoch keine detaillierten Informationen über die erzielbaren Ausbeuten beim Recycling der individuellen Begleitelemente, wie beispielsweise den Technologiemetallen. Deren Erhöhung wird durch unterschiedliche Faktoren erschwert, wie unter anderem der zunehmenden Komplexität der Produkte sowie deren in den meisten Fällen sehr geringen Konzentration an den betreffenden Elementen. Außerdem erfolgt die Rückgewinnung der Technologiemetalle aus gebrauchten Konsumgütern oftmals durch eine zweckmäßige Aufbereitung und chemischen Behandlung vor ihrer Einschleusung in einen geeigneten Prozessschritt der Primärmetallurgie. Letztere ist jedoch innerhalb der Europäischen Union und somit auch in Österreich nahezu nicht mehr vorhanden (Tabelle 29). Zusätzlich kann ein weiter steigender Bedarf an Rohstoffen für diese Elemente die Verarbeitung von Erzen sinkender Qualität sowie von Sekundärquellen (z.B. Rotschlamm, Leiterplatten und Elektroautos) mit zunehmender Komplexität erfordern.

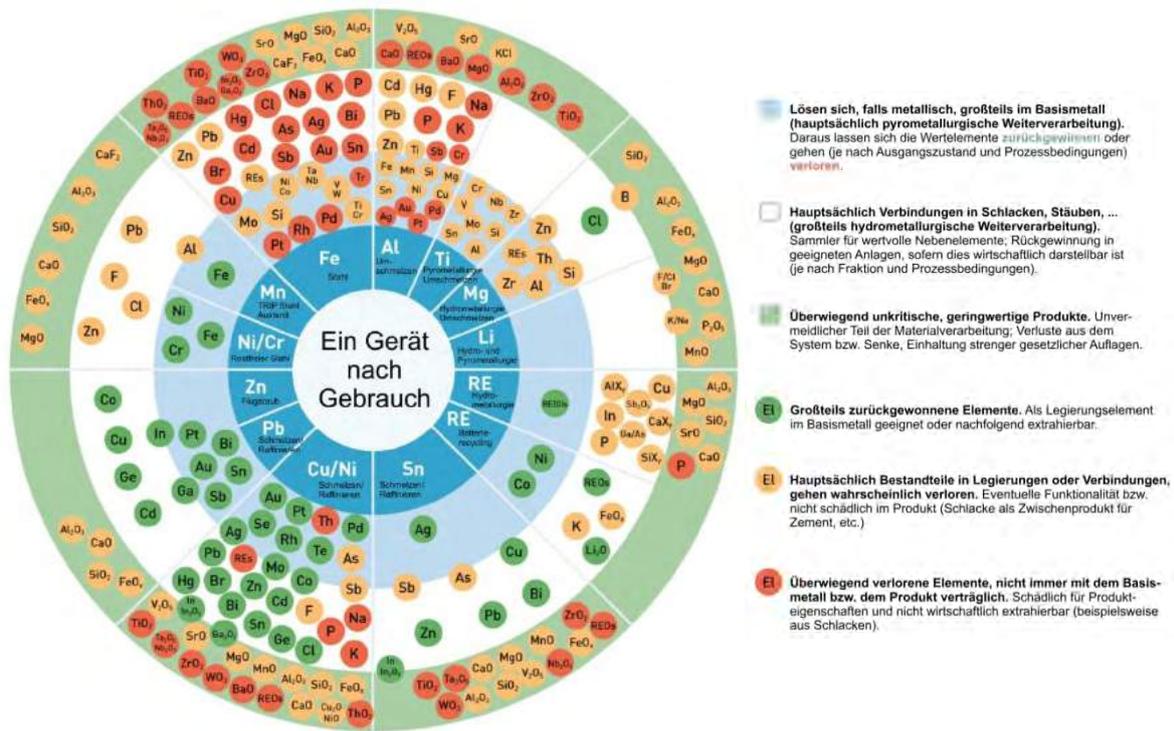


Abbildung 39: Metallrad – Darstellung der Verknüpfung unterschiedlicher Metalle bei der Verarbeitung von gebrauchten Konsumgütern [103]

Tabelle 29: Rohstoffproduktion der jeweils bedeutendsten Länder und der EU in 2012 [5]

	Rang 1		Rang 2		Rang 3		EU
	Land	Anteil [%]	Land	Anteil [%]	Land	Anteil [%]	Anteil [%]
Seltene Erden	China	91,40	Australien	5,41	Russland, Europa	2,05	<b>0,00</b>
Wolfram	China	83,38	Russland, Asien	3,91	Kanada	3,09	<b>3,98</b>
Silber	Mexiko	21,35	China	14,50	Peru	13,87	<b>7,78</b>
Gold	China	14,92	Australien	9,29	USA	8,52	<b>0,66</b>
Platin	Südafrika	72,26	Russland, Asien	8,40	Simbabwe	5,98	<b>0,13</b>
Palladium	Russland, Asien	42,93	Südafrika	37,87	Kanada	6,40	<b>0,18</b>
Gallium	China	52,63	Kasachstan	16,84	Ukraine	13,68	<b>5,81</b>

## 8.2 Edelmetalle (Ag, Au, Pt, Pd, ...)

Diese Elemente, welche sich durch eine hohe Oxidationsbeständigkeit auszeichnen und sich im Periodensystem der Elemente in unmittelbarer Nachbarschaft befinden, umfasst vor allem Silber, Gold, Platin sowie Palladium neben einigen weiteren Metallen von geringerer technischer Bedeutung. Aufgrund ihres extrem hohen Wertes liegen für deren Gewinnung aus primären und sekundären Rohstoffquellen grundsätzlich bereits hochentwickelte

Technologien vor, wobei die metallurgischen Prozesse exzellente Ausbeuten erzielen. Hinsichtlich des Edelmetall-Recyclings sind drei grundlegende Einflussfaktoren zu berücksichtigen: [126]

- Aktueller Metallwert des Materials (Inhalt und Preise der individuellen Wertmetalle)
- Zusammensetzung und Aufbau des Schrottes (beeinflusst sowohl die anwendbare Recyclingtechnologie als auch die Kosten und erzielbaren Ausbeuten)
- Einsatzgebiete und Lebensdauer der jeweiligen Produkte (geschlossene oder offene Edelmetallkreisläufe)

Aus diesem Grund hängt die Auswahl einer geeigneten Recyclingroute nicht nur vom Edelmetallgehalt, sondern auch von den Konzentrationen anderer Metalle bzw. Verbindungen und den Matrixeigenschaften ab. Insbesondere sind zu hohe Anteile an organischen Bestandteilen oder anderen prozesstechnischen Störstoffen, wie beispielsweise Halogene, problematisch. Grundsätzlich lassen sich zwei Verwertungsansätze unterscheiden, einerseits spezialisierte Prozesse für bestimmte, ausgewählte Einsatzstoffe und andererseits universelle Verfahren für unterschiedlichste Materialien.

So werden Elektronikschrottfractionen mit ausreichenden Edelmetallgehalten am besten gemeinsam mit anderen Cu-haltigen Schrotten direkt in integrierten Kupfer- und Edelmetallhütten (Abbildung 40 und Abbildung 41; Aurubis in Deutschland, Boliden in Schweden, Umicore in Belgien; etc.) verarbeitet, weil eine weitere, verlustbehaftete Aufbereitung des Materials hierfür nicht notwendig ist. Dazu werden diese Rohstoffe in einem Schachtofenprozess (oder mittels TBRC, Elektroofen oder TSL-Reaktor) bei ca. 1.200 °C eingeschmolzen, wobei sich die Edelmetalle in der metallischen Kupfer-Phase anreichern, während keramische Bestandteile sowie einige weitere Metalloxide in die Schlacke gelangen. Oftmals erfolgt eine Nachbehandlung der Primärschlacke in einem weiteren Schachtofenprozess, um daraus zusätzliche Metalle zurückzugewinnen, während für die Verarbeitung des edelmetallhaltigen Kupfers etablierte pyro- sowie hydrometallurgische und elektrochemische Verfahren in unterschiedlichen Kombinationen Anwendung finden.

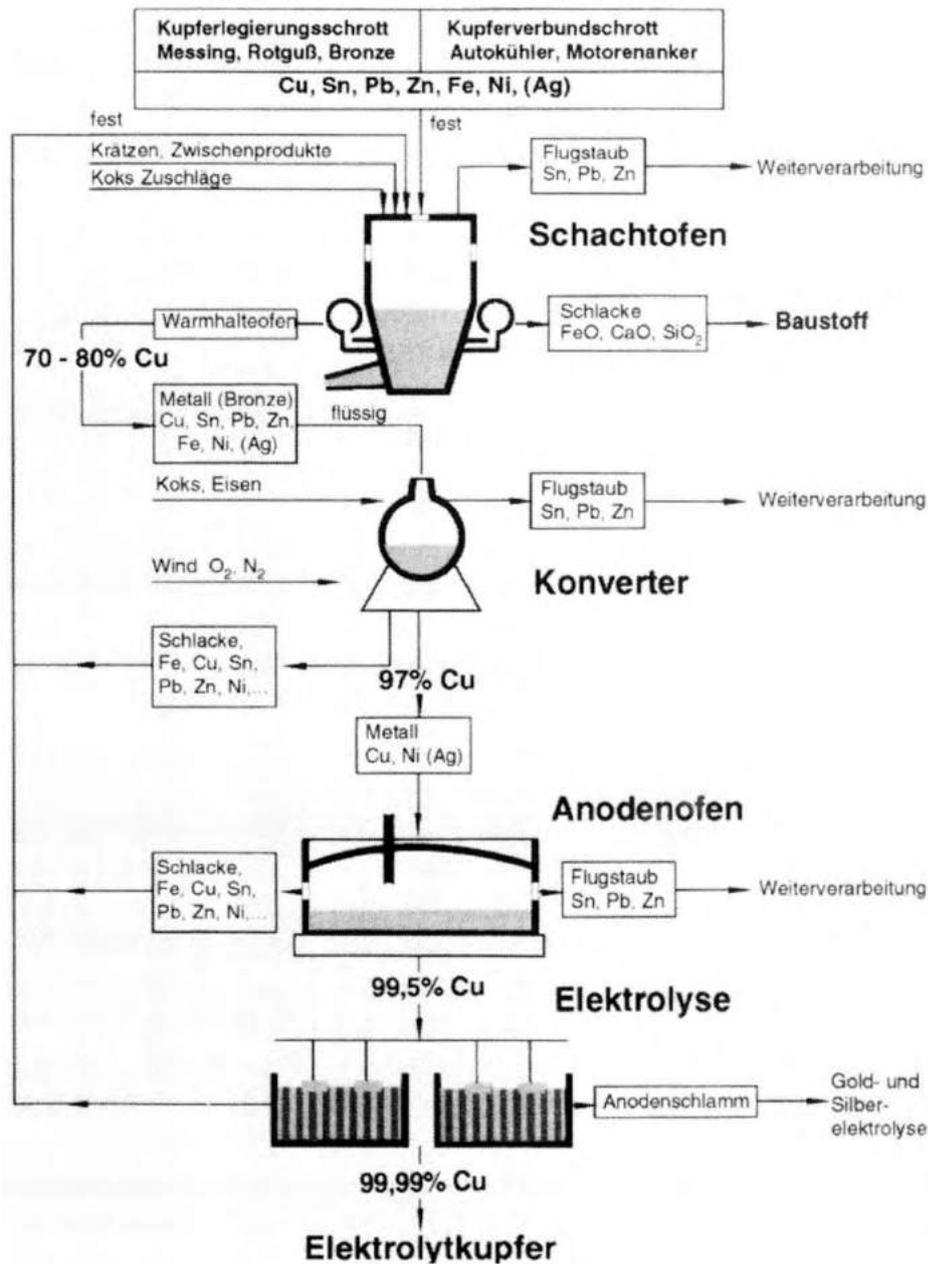


Abbildung 40: Klassische Kupfer-Recyclinghütte [127]

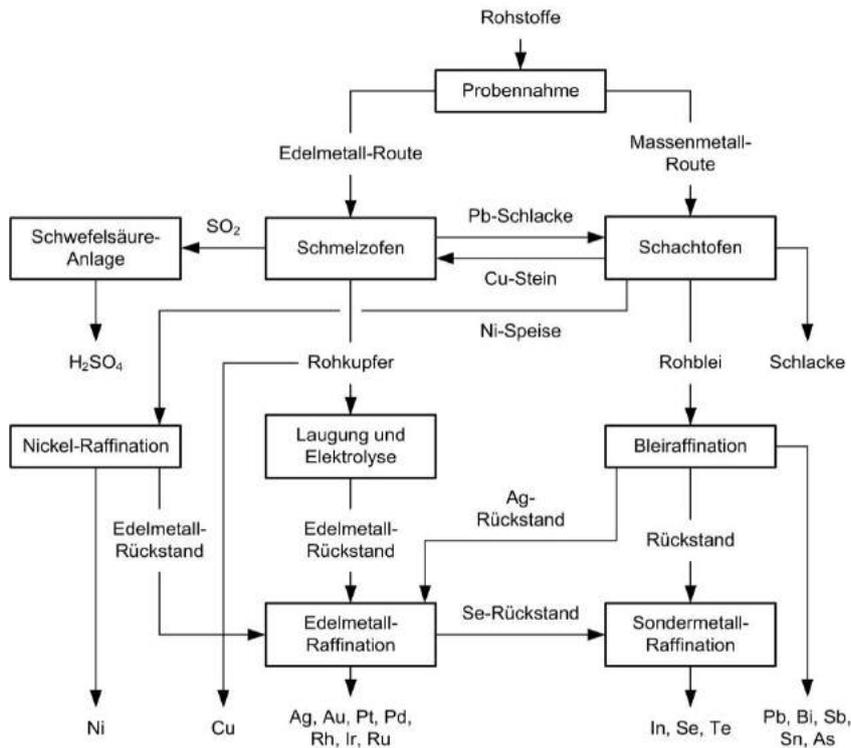


Abbildung 41: Grundsätzlicher Verfahrensablauf bei Umicore [126]

Bezüglich des Kupfer- und auch Edelmetallausbringens ist zu berücksichtigen, dass aus dem Schachtofen (oder ISA-Reaktor, TBRC, etc.) periodisch eine Mischung aus Metall und Schlacke abgestochen wird, welche sich im Anschluss daran durch Absetzen voneinander trennen, wobei nicht nur etwas  $\text{Cu}_2\text{O}$  in der Schlacke gelöst bleibt, sondern diese darüber hinaus eine bestimmte Menge an metallischen Kupfertropfen einschließt, woraus sich entsprechende Verluste an Kupfer und Edelmetallen ergeben, wobei der Cu-Gehalt in der Schlacke unter 1,5 % beträgt. Diese Verringerung des Ausbringens durch die Schlacke, welche als Baustoff eingesetzt wird, hängt von einer Vielzahl an chemischen, physikalischen und prozesstechnischen Parametern ab, wobei folgende Schlackeneigenschaften in der Kupferindustrie angestrebt werden: [128]

- Minimale Viskosität (erleichtertes Abschlacken)
- Niedriger Schmelzpunkt (verringertes Angriff auf das Feuerfestmaterial durch Absenkung der Prozesstemperatur)
- Geringe Dichte (bessere Trennung zwischen Metall und Schlacke)
- Hohe Oberflächenspannung (reduzierte Einwirkung auf das Feuerfestmaterial)
- Gute Löslichkeit für  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  und schädliche Elemente (z.B. As, Sb und Bi)
- Minimale Löslichkeit für  $\text{Cu}_2\text{O}$  und  $\text{Cu}_2\text{S}$

Letztendlich gelangen die Edelmetalle gemeinsam mit dem Kupfer in die wässrige Raffinationselektrolyse, wo sich erstere in konzentrierter Form als Anodenschlamm separieren

lassen. Um abschließend nicht nur Silber und Gold in Reinform zu erhalten, sondern darüber hinaus auch die einzelnen Platingruppen-Elemente voneinander zu trennen, können neben zahlreichen selektiven Lösungs- und Fällungsstufen (Abbildung 42) auch diverse Solventextraktions- bzw. Ionenaustauschverfahren herangezogen werden.

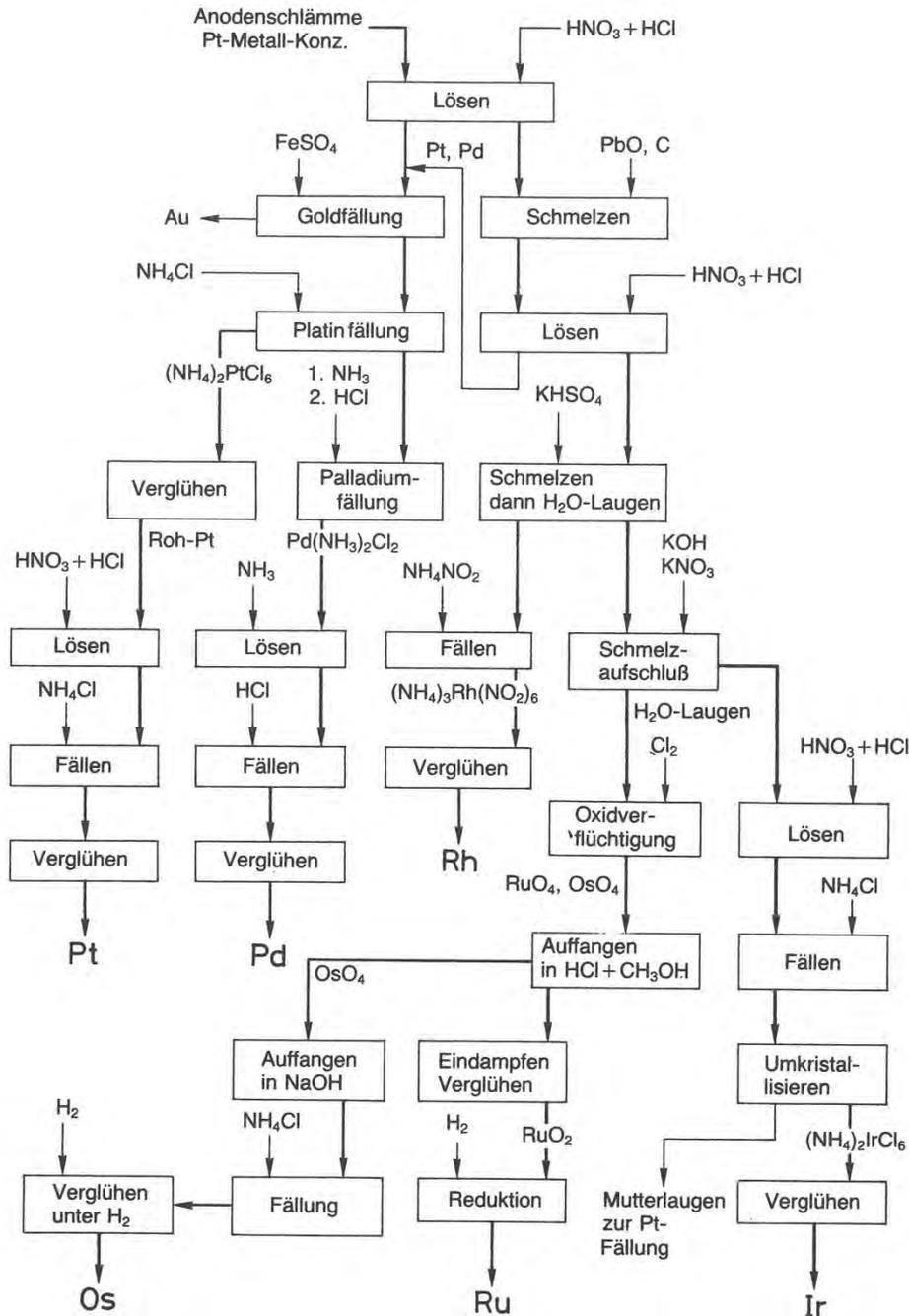


Abbildung 42: Exemplarischer Verfahrensstammbaum zur Trennung der Platingruppen-Elemente [129]

Trotz dieser etablierten metallurgischen Recyclingrouten mit ausgezeichneten Ausbeuten an Edelmetallen wird weiterhin viel Forschung und Entwicklung benötigt, um auf die sich rasch ändernde vielfältige Produktzusammensetzung und die Markteinführung von neuen Technologien (Silber für LEDs [130], Pt für Brennstoffzellen in E-Autos, Pt und Ru in

Farbstoffsolarzellen, Pd für Kondensoren und Entsalzungsanlagen, elektronische Bauteile, etc. [14] reagieren zu können. Darüber hinaus besteht ebenso Bedarf an technologischen Innovationen in diesem Bereich, damit neben den Edelmetallen auch weitere Wertmetalle, wie Indium, Gallium, Seltene Erden oder Tantal, mit vertretbaren Ausbeuten aus Elektroaltgeräten und vergleichbaren Konsumgütern bzw. Schrotten zurückzugewinnen, welche derzeit aufgrund ihres unedlen Verhaltens und ihrer zu starken Verdünnung in der Schlacke in der klassischen Kupferroute verloren gehen.

Einen Überblick zu den Untersuchungen hinsichtlich der Verwertung von EAGs zur Rückgewinnung der enthaltenen Wertmetalle bieten unter anderem Tuncuk et al. [131] oder auch Khaliq et al. [132]. Darüber hinaus befassen sich viele Arbeiten mit ausgewählten Elektronikschrottkategorien, wie beispielsweise Dünnschichtsolarzellen, zu welchen Marwede [133] eine Übersicht bietet, oder zum Teil auch nur mit bestimmten Elementen [134]. Einen weiteren bedeutenden Aspekt bezüglich dieser Thematik stellt die Analyse der relevanten Stoffströme in den metallurgischen Prozessen dar, wie dies unter anderem von Navazo et al. [135] für das Recycling von Mobiltelefonen durchgeführt wurde. Zusätzlich befassten sich einige Autoren, wie unter anderem Oleszek et al. [136] oder Terakado et al. [137], mit dem Verhalten von Brom in thermischen Prozessen.

Auch der Lehrstuhl für Nichteisenmetallurgie beschäftigt sich mit verschiedenen Aufgabenstellungen im Bereich der Verwertung von Elektroaltgeräten. Diese haben vor allem das Ziel, neben Kupfer und Edelmetalle auch die Rückgewinnung von weiteren wertvollen Elementen zu ermöglichen beziehungsweise deren Ausbringung signifikant zu erhöhen. Hierbei besteht die Herausforderung vorrangig darin, dieses mit vertretbarem Aufwand zu realisieren ohne gleichzeitig die Ausbeute an Edelmetallen zu verringern, um gegenüber dem derzeitigen Stand der Technik wirtschaftlich bestehen zu können.

### 8.3 Seltene Erden (Ce, Nd, Y, ...)

Diese Metalle weisen aufgrund ihrer speziellen Position im Periodensystem der Elemente (Abbildung 43, f-Block-Elemente) einzigartige Elektronenkonfigurationen und Eigenschaften auf. Zu letzteren gehören vor allem die exzellente Aufnahme bzw. Abgabe von Sauerstoff (Katalysatoren) und Wasserstoff (Nickelmetallhydrid-Akkumulatoren), ihre hohe magnetische Anisotropie sowie ein sehr hohes magnetisches Moment (Permanentmagnete) und eine ausgezeichnete Fluoreszenz. [138]

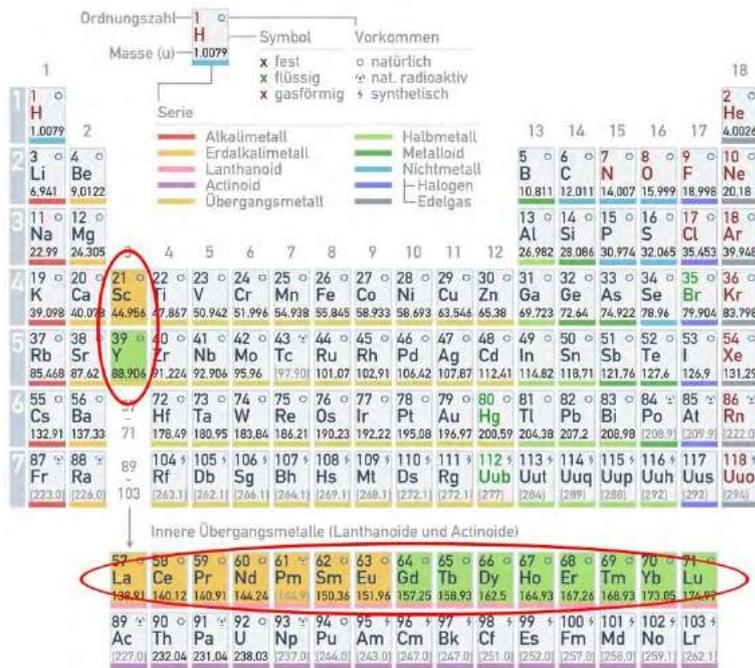


Abbildung 43: Die Elemente der Seltenen Erden und ihre Position im Periodensystem [139]

Die vielfältigen Anwendungen der Seltenen Erden (SE), welche oftmals in die sogenannten leichten Seltenen Erden (LREE, Sc sowie La–Eu) und schwere Seltene Erden (HREE, Y und Gd–Lu) unterteilt werden (Abbildung 43), lassen sich gemäß Abbildung 44 grob in mehrere verschiedene Kategorien zusammenfassen, in denen jeweils unterschiedliche individuelle Elemente eine bedeutende Rolle spielen [124]. Während vor allem die Poliermittel der Glasindustrie Cer in hohen Mengen enthalten und bedeutende Neodym-Gehalte insbesondere in Permanentmagnetwerkstoffen auftreten, befinden sich signifikante Yttrium-Konzentrationen hauptsächlich in Leuchtstoffen.

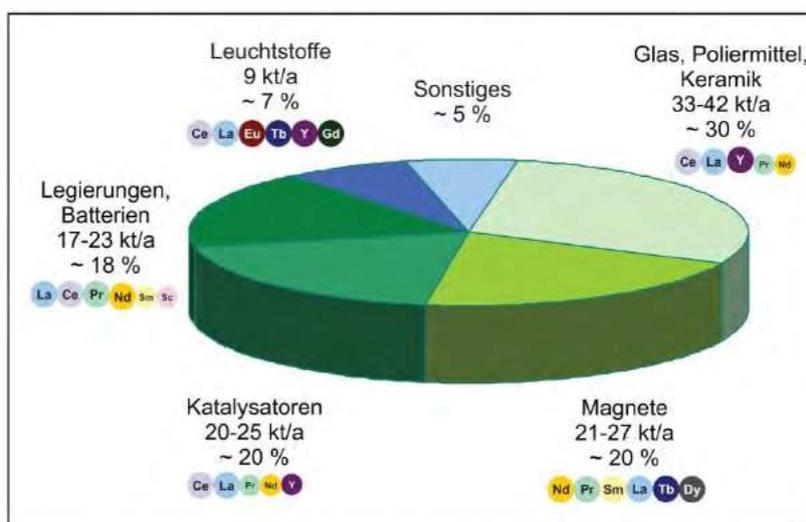


Abbildung 44: Einsatzgebiete der Seltenen Erden [8]

Im Allgemeinen ist das großtechnische SE-Recycling derzeit noch selten und beinhaltet im Wesentlichen begrenzte Mengen an Nickelmetallhydrid-Akkumulatoren, Permanentmagneten und Leuchtstofflampen. Beispielsweise befassen sich bereits Umicore und Rhodia mit dieser Thematik. [140-[142] Einige weitere Unternehmen, welche in unterschiedlicher Form mit Seltenen Erden zu tun haben, sind in Tabelle 30 aufgelistet.

Tabelle 30: Auswahl Europäischer Unternehmen im Bereich der Seltenen Erden

Firma	Land	Ausgewählte Produkte bzw. Themen
Treibacher Industrie AG [143]	Österreich	Katalysatoren, Poliermittel, Pigmente und Zündsteine
Swarovski Group [144]	Österreich	Schleif- und Poliermittel
Tantalus Rare Earths AG [145]	Deutschland	Exploration
Solvay International Chemical Group / Rhodia Operations S.A.S. [146]	Belgien / Frankreich	Leuchtstoffe, Katalysatoren, Poliermittel
Molycorp Silmet [147]	Estland	SE-Trennung
Umicore [148]	Belgien	SE-haltige Schlacke
Goudsmit Magnetic Systems [149]	Niederlande	Magnete für Abscheider, Metall- und Abfallrecycling sowie zum Heben
Great Western Minerals Group / Less Common Metals Ltd. [150]	Kanada / Großbritannien	SE-Legierungen
Vacuumschmelze GmbH & Co. KG [151]	Deutschland	SE-Permanentmagnete

Darüber hinaus ist es für die Wirtschaftlichkeit des SE-Recyclings von ausschlaggebender Bedeutung, ob eine Entfernung sämtlicher Verunreinigungen von den Seltenen Erden ausreicht, oder die Auftrennung der letzteren in die individuellen Elemente mittels Solventextraktion (SX) oder Ionenaustausch (IX) zu erfolgen hat. Deren Komplexität zeigt sich anschaulich darin, dass bei Rhone-Poulenc [152] (nunmehr Rhodia S.A.S. der Solvay International Chemical Group) insgesamt über 1000 Trennstufen betrieben werden, wobei alleine die Aufspaltung mancher Elementpaarungen bereits 60 derartige Einheiten erfordert. Zumindest bei Poliermitteln, welche auf Cer- und Lanthanoxid basieren, NiMeH-Akkus und Permanentmagnetschrotten aus ausschließlich FeNdB- oder SmCo-Legierungen kann ohne der Separation der Seltenen Erden in die individuellen Elemente wiederum ein geeigneter Rohstoff für die jeweilige Produktgruppe gewonnen werden, wobei durch Beimengung von Primärmaterial eine exakte Einstellung der geforderten Zusammensetzung ermöglicht wird. Im Gegensatz dazu erfordert das Recycling von Leuchtstäuben jedenfalls eine Solventextraktion oder einen Ionenaustausch, da diese aus einer Vielzahl unterschiedlicher Verbindungen bestehen, wie unter anderem Oxide, Phosphate und Aluminate, welche sich mit den sonstigen physikalischen sowie chemischen Methoden nicht ausreichend selektiv voneinander trennen lassen.

Begünstigt wird außerdem die SE-Gewinnung aus Sekundärrohstoffen (gebrauchte Konsumgüter, Abfälle, Rückstände, etc.) dadurch, dass diese einen potenziellen Ansatz darstellt das sogenannte Balance-Problem zumindest etwas zu entschärfen. Diese Thematik ergibt sich

dadurch, dass die Verteilung der einzelnen Elemente der Seltenen Erden (SEE) nicht den jeweiligen Nachfragen entspricht und somit bei der Deckung des Bedarfs an allen individuellen SEE aus Erzen beziehungsweise Konzentraten zwangsläufig manche im Überfluss anfallen (Tabelle 31). Aus Letzterem resultieren ein entsprechender Preisverfall und Lageraufbau, welcher darüber hinaus ein erhöhtes gebundenes Kapital der Produzenten verursacht. Daraus erklärt sich auch, warum selbst Länder mit umfangreichen Erzlagerstätten, wie beispielsweise China, als auch Bergbauunternehmen, unter anderem Molycorp, ebenso am SE-Recycling interessiert sind. [153]

Tabelle 31: Anfallende Mengen an verschiedenen SE-Oxiden bei der Primärgewinnung von Europiumoxid aus Bastnäsit [154]

Masse [t]	SEO	Masse [t]	SEO
1	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	118	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
300	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,3	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
450	CeO <sub>2</sub>	1,4	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
38	Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	0,9	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

Darüber hinaus fassen Binnemans et al. [153] den derzeitigen Stand des Wissens bezüglich der Herausforderungen und hinsichtlich möglicher Lösungsansätze zur Rückgewinnung dieser Elemente zusammen. Die bisherigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, welche größtenteils im Labormaßstab stattfanden, konzentrierten sich hauptsächlich auf Permanentmagnete, Nickelmetallhydrid-Akkus und Leuchtstoffen aus gebrauchten Konsumgütern (Elektroautos, Festplatten, Leuchtstofflampen, etc.) sowie auf Produktionsrückstände (Späne und Stäube von Permanentmagnetwerkstoffen). Diese drei Anwendungsgebiete umfassen hierbei wertmäßig bereits mehr als 80 % des SE-Marktes (38 % Permanentmagnete, 32 % Leuchtstoffe und 13 % Legierungen) [8] beziehungsweise etwa 45 % Massenanteil. Auch am Lehrstuhl für Nichteisenmetallurgie der Montanuniversität Leoben fanden umfangreiche Untersuchungen zur Extraktion von SE-Oxiden aus den Schrottfractionen dieser Einsatzgebiete sowie zusätzlich aus Polierschlämmen statt.

Abgesehen von der Recyclingthematik (Gutfleisch et al. [155], Anderson et al. [156], Innocenzi et al. [157], ...) befassen sich die aktuellen Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten hinsichtlich dieser Elemente vor allem mit der Solventextraktion zu deren Trennung obwohl diese Technologie grundsätzlich bereits seit Jahrzehnten bekannt und großtechnisch angewandt wird. Beispielsweise beschrieben Xie et al. [158] sowie Han et al. [159] typische SX-Konfigurationen zur SE-Trennung, während Kislik [160] klassische und neuartige Ansätze zur Solventextraktion zusammenfasste. Weitere Untersuchungen beinhalten neue Extraktionsmittel [161], im Besonderen ionische Flüssigkeiten [162], sowie synergistische Effekte [163, 164] bei Verwendung von Mischungen aus unterschiedlichen Extraktionsmittel als auch die Scheidung von Lanthaniden (La, Ce, ...) und Aktiniden (U, Th, Pu, ...).

### 8.4 Refraktärmetalle (W, ...)

Hinsichtlich dieser Elementgruppe ist für Österreich insbesondere das Metall Wolfram von herausragender Bedeutung, wobei die heimischen Unternehmen (Sandvik/Wolfram Bergbau und Hütten AG, Plansee-Gruppe und Treibacher Industrie AG) grundsätzlich den gesamten Lebenszyklus (Abbildung 45) vom Bergbau bis zum Fertigprodukt einschließlich des Recyclings abdecken können. Obwohl die inländische Förderung von Wolframerven im Ausmaß von 706 t W-Inhalt gegenüber einer globalen Primärgewinnung von 81.072 t W-Inhalt (0,9 %, Rang 8) [5] einen signifikanten Anteil darstellt, nimmt Österreich mit einer Importmenge von 5.986 t W-Konzentrat [165] den dritten Rang der größten Importeure nach China und Vietnam ein. Darüber hinaus gibt es noch weitere Importe sowie Exporte unterschiedlicher Zwischenprodukte (WC, FeW, etc.) sowie von Schrotten aus bzw. nach Österreich.

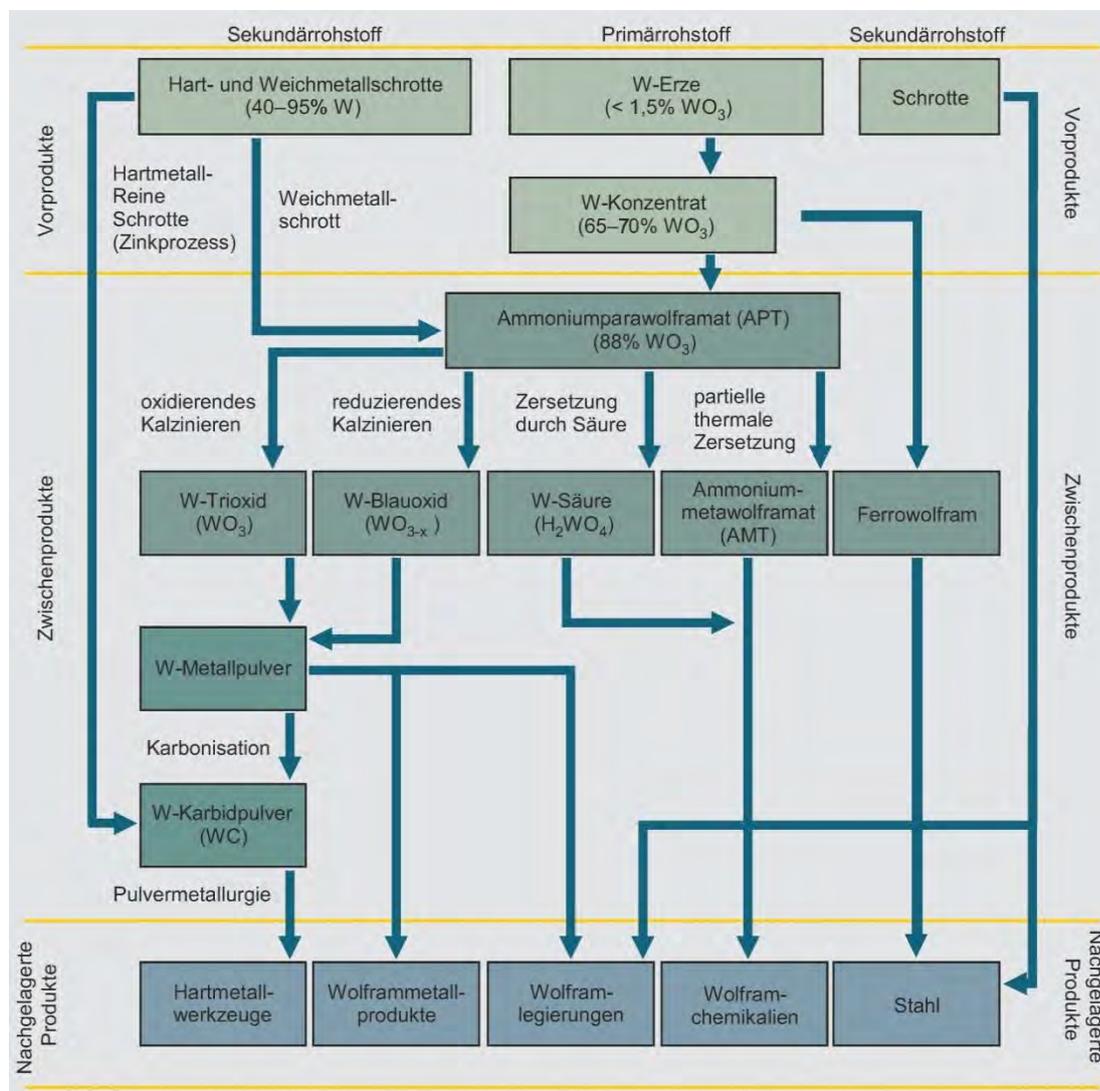


Abbildung 45: Wertschöpfungskette für Wolfram [165]

Die Einsatzgebiete der jeweiligen W-Produkte in Form von Legierungen, Verbindungen, Verbundwerkstoffen, etc. sind extrem breit gestreut, können aber grob in die in Abbildung 46

angegebenen Kategorien zusammengefasst werden. Diese ergeben sich aus seinen einzigartigen Eigenschaften mit einigen Spitzenwerten: [166]

- Höchster Schmelzpunkt ( $3.410\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), höchste Sublimationsenthalpie ( $850\text{ kJ/mol}$ ), niedrigster Dampfdruck ( $10^{-7}\text{ Pa}$  bei  $1.700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) und niedrigster Ausdehnungskoeffizient von allen Metallen ( $4.59 \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$ ).
- Auch die Dichte ( $19,3\text{ kg/dm}^3$ ), der Elastizitätsmodul ( $410\text{ GPa}$ ) sowie die thermische und elektrische Leitfähigkeit ( $175\text{ W/m}\cdot\text{K}$  bzw.  $0,18\text{ }(\mu\Omega\text{cm})^{-1}$ ) sind sehr groß und werden nur von wenigen Metallen übertroffen.
- Dotiertes Wolfram und W-Legierungen zeigen ein sehr hohes Emissionsvermögen für Licht, Röntgenstrahlen und Elektronen.
- Die Karbide und Boride des Wolframs sind sowohl bei Raumtemperatur als auch im Hochtemperaturbereich sehr hart, verschleißfest und chemisch beständig.
- Durch W-Legierungszusätze lassen sich die mechanischen Eigenschaften von Stählen, Superlegierungen, Stellite, etc. deutlich verbessern.
- Ausreichend fein verteilte Oxide, Karbide, etc. des Wolframs zeigen katalytische Wirkung in zahlreichen Prozessen.

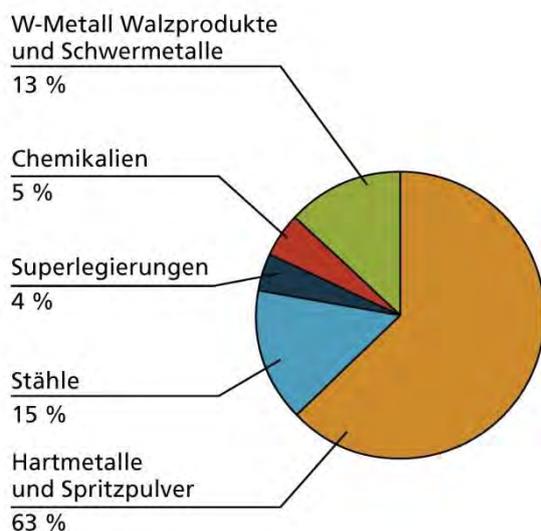


Abbildung 46: Anteil der Anwendungsgebiete am gesamten Wolframverbrauch [166]

Die bedeutendste Produktgruppe stellen die Hartmetalle dar, deren Hauptkomponente von wenigen Ausnahmen abgesehen aus Wolframkarbid (WC) besteht und welcher oftmals weitere Karbide als auch Nitride von Titan, Niob, Tantal und Hafnium als Mischkristallbildner beigemischt sind. Die Anwendungsgebiete dieser Hartmetalle, welche sich durch hohe Härte und Verschleißfestigkeit selbst bei hohen Temperaturen und gleichzeitig guter Zähigkeit auszeichnen, umfassen vor allem: [167]

- Schneidwerkzeuge für die Metallbearbeitung (drehen, fräsen und bohren)
- Holz- und Kunststoffbearbeitung
- Bohrwerkzeuge für den Bergbau und die Erdöl- bzw. Wasserförderung
- Verschleißfeste Bauteile
- Elastisch gebundene Schleif- und Poliermittel

Für die Erzielung der exzellenten Eigenschaften der jeweiligen Fertigprodukte sind nur vergleichsweise geringste Verunreinigungsgehalte zulässig, weshalb sowohl die Konzentrate aus der Erzaufbereitung als auch verunreinigte bzw. gemischte W-haltige Schrotte nach dem Aufschluss eine aufwändige Laugenreinigung durchlaufen. Diese beinhaltet im Anschluss an die selektiven Fällungen zusätzlich eine Solventextraktion (Abbildung 47), nach welcher mittels Kristallisation Ammoniumparawolframat (APT) als zentrale Chemikalie hoher Reinheit als Pulver erhalten wird. Daraus erfolgt letztendlich die Gewinnung aller Produkte mit Ausnahme von Ferrowolfram.

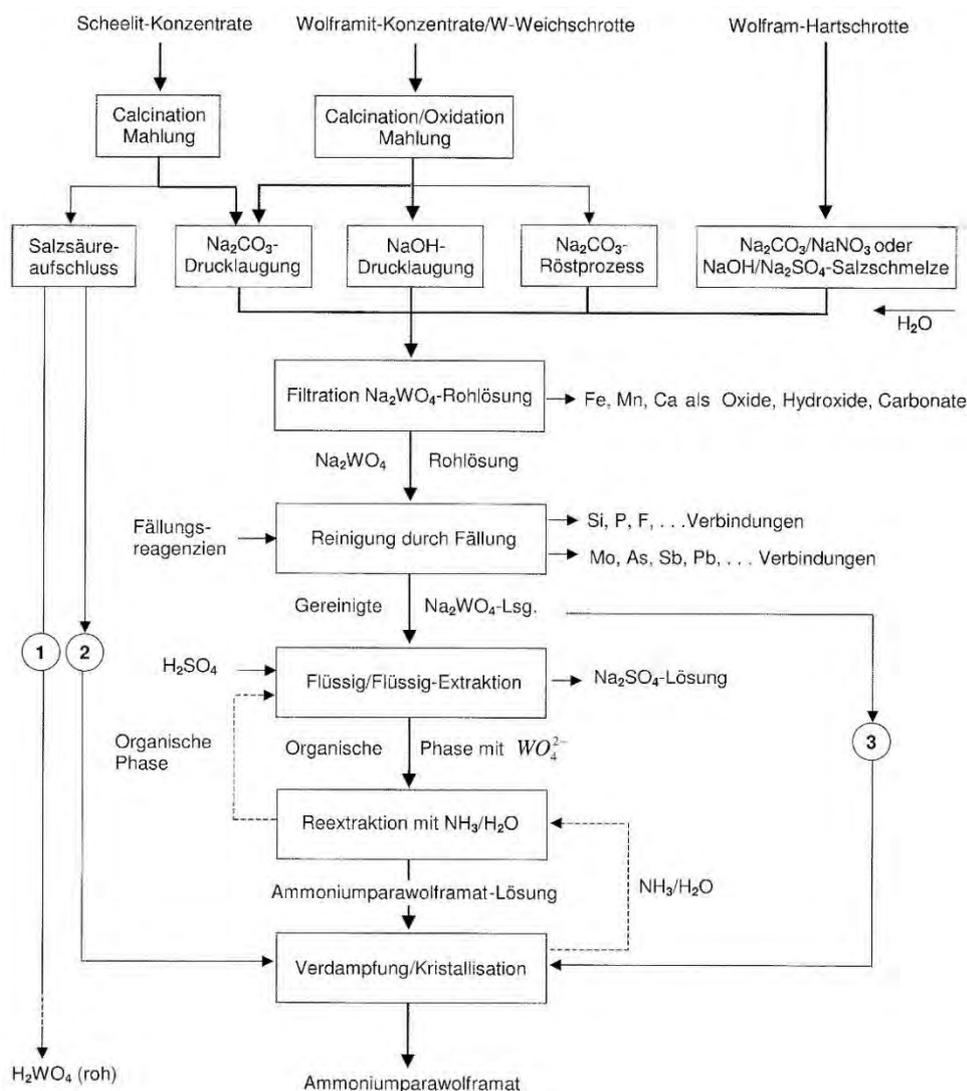


Abbildung 47: Hydrometallurgie zur Produktion von Ammoniumparawolframat [168]

Trotz dieser komplexen Raffination haben die eingesetzten Konzentrate und Sekundärrohstoffe bestimmte Spezifikationen zu erfüllen, um die jeweiligen Produktreinheiten (Tabelle 32, rechts) mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand zu erzielen. Für Schrotte sowie sonstige W-haltige Rücklaufmaterialien sind dies die in Tabelle 32, links, zusammengefassten Analysenwerte der oxidierten Materialien, welche darüber hinaus frei von Bor als Borax, Schwefel und Radioaktivität sein müssen. Beispielsweise sind ausreichend geringe Molybdän-Konzentrationen sowohl in Primär- als auch Sekundärrohstoffen von Bedeutung obwohl eine Reinigungsstufe dieses Element als Sulfid ausfällt, da mit diesem auch entsprechende Anteile an Wolfram ausgetragen werden und somit die W-Ausbeute zu stark absinkt.

Obwohl das Recycling für die Deckung des weltweiten Wolframbedarfs eine wesentliche Rolle spielt, sind im Gegensatz zu statistischen Daten über W-Konzentrate jene zu Wolframschrotten vergleichsweise rar und darüber hinaus unzuverlässig. Bedingt durch den vergleichsweise hohen Wolframpreis und der oftmals beträchtlichen W-Gehalte (40–95 %  $WO_3$ ) lässt sich ein signifikanter Schrottrücklauf erreichen. Die ITIA (International Tungsten Industry Association) schätzt, dass etwa 30 bis 40 % der gesamten Wolframversorgung auf Recycling basiert, wobei enorme kurzfristige Schwankungen auftreten können und bereits die Produktionsabfälle größenordnungsmäßig 10 % des weltweiten W-Bedarfs abdecken.

Tabelle 32: Chemische Spezifikation für Sekundärrohstoffe und typische Analyse von Wolframoxid [169]

Sekundärrohstoff		Wolframoxid	
Element	Max. Gehalt [Gew.-%]	Element	Gehalt [ppm]
Al	0,5	Al	1
P	0,05	Ca	3
As	0,01	Fe	< 5
Si	3	K	< 4
Mo	0,3	Mo	10
V	0,2	Na	4
Öle	1	Ni	< 5
		Si	< 10

Obwohl zahlreiche Verfahrenskonzepte zum Recycling von Wolfram aus den diversen Schrotten untersucht wurden, konnte sich bislang mit Ausnahme des Zinkprozesses für verunreinigungsfreie, sortenreine Schrotte und der Einschleusung von gemischten bzw. kontaminierten Schrotten in die Primärmetallurgie nach deren Oxidation kaum eine Technologie großtechnisch durchsetzen. Eine Zusammenfassung dieser zumindest im Labormaßstab getesteten Verarbeitungsrouten bieten beispielsweise Angerer et al [170, [171] wobei sich diese grob in vier Gruppen (Schmelzmetallurgie sowie direktes, semidirektes und indirektes Recycling) einteilen lassen. Darüber hinaus gab es in den letzten Jahren nur vergleichsweise wenige Publikationen zu dieser Thematik, welche unter anderem die

Charakterisierung von Verunreinigungen im Hartmetallrezyklat [172] aus dem Zinkprozess oder die Oxidation [173] und Nassmahlung [174] von Hartmetallschrotten behandeln.

Da somit stark verunreinigte Reststoffe, wie beispielsweise Schleifschlämme aus der Hartmetallproduktion, trotz ihrer hohen Wolframgehalte die gesamte komplexe Primärprozesskette durchlaufen müssen, zielen die am Lehrstuhl für Nichteisenmetallurgie der Montanuniversität Leoben durchgeführten Untersuchungen auf die Entwicklung von neuen Verfahren zum Wolframrecycling, welche mit im Vergleich zum Stand der Technik verringertem Aufwand auch verunreinigte Schrotte verwerten können. Während sich diese Arbeiten bislang auf die Verwertung von W-haltigen Weichschrotten [175] konzentrierten, stellen nunmehr verschiedene Hartschrotte [176] die betrachtete Sekundärrohstoffquelle dar.

## 8.5 Sonstige Technologiemetalle (In, Ga, ...)

Bezüglich der Verfügbarkeit der beiden Elemente Indium und Gallium stellen ihre geringe Verbreitung in der Erdkruste (0,1 ppm In [177] sowie 16 ppm Ga [178] und vor allem das Fehlen eigenständiger Erze eine besondere Herausforderung dar. So findet sich Indium als typisches Nebenmetall in Zinn- und Zinkerzen. Hierbei sind jedoch hohe Gehalte an diesem Element selten, üblicherweise betragen diese zwischen 0,005 und 0,1 % [179]. Aus diesem Grund erfolgt dessen Produktion zumeist durch die Verwertung von Rückständen (Stäube, Schlacken, etc.) der Zink- oder auch Blei- bzw. Zinngewinnung. Dabei steht jedoch die Produktion des Massenmetalls im Vordergrund, während Indium als Nebenprodukt extrahiert wird. Letztendlich lässt sich daher ein stark steigender Bedarf nicht ohne weiteres aus Erzen decken, da für die simultan anfallenden Mengen der jeweiligen Basismetalle ebenso ein entsprechender Markt notwendig ist, um deren Preisverfall zu verhindern, welcher die Wirtschaftlichkeit massiv belasten würde. [177]

Dennoch wurde in den letzten 20 Jahren die jährliche Indium-Primärproduktion bereits von 70 auf 600 t erhöht, wobei nach wie vor nur etwa 35 % des in den jeweiligen Erzen enthaltene Indium zum Metall verarbeitet werden, da einerseits 30 % dieser Rohstoffe keine hoch spezialisierten Indium-Metallhütten erreichen und sich aus den verbleibenden 70 % nur die Hälfte des Indiums extrahieren lässt. [180]

Bezüglich der Rohstoffversorgung ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass die Angaben der Reserven an Indium als sehr unsicher gelten, da deren Berechnung oftmals nur auf dem In-Gehalt der Zinkerze basiert und auch die enormen Preisschwankungen (Tabelle 33) diese massiv beeinflussen.

Tabelle 33: Weltweite Raffinerieproduktion und Preisentwicklung von Indium [14]

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<b>Produktion [t]</b>	370	405	500	580	563	563	546	609	640
<b>Preis (99,97 % In) [US\$/kg]</b>	170	643	827	918	795	685	500	565	720

Beispielsweise wurde die statische Reichweite von Indium im Jahr 2006 noch mit fünf, 2007 bereits jedoch mit 19 Jahren beurteilt, da sich die Reserven durch eine Neubewertung stark änderten (Abbildung 48). [14]

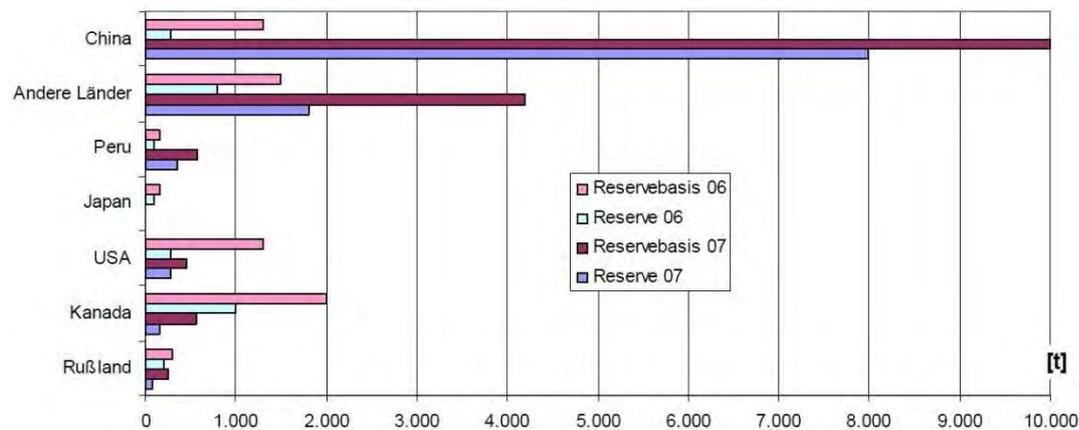


Abbildung 48: Änderung der länderspezifischen Reserven für Indium von 2006 auf 2007 [14]

Die Abbildung 49 stellt die zur Indium-Erzeugung notwendigen komplexen und aufwändigen Prozessketten beispielhaft an Hand der Extraktion aus Sekundäroxid dar. Hierbei ist vor allem auch zu beachten, dass aufgrund der zahlreichen Prozessschritte die Indium-Ausbeute vergleichsweise gering ausfällt. [177]

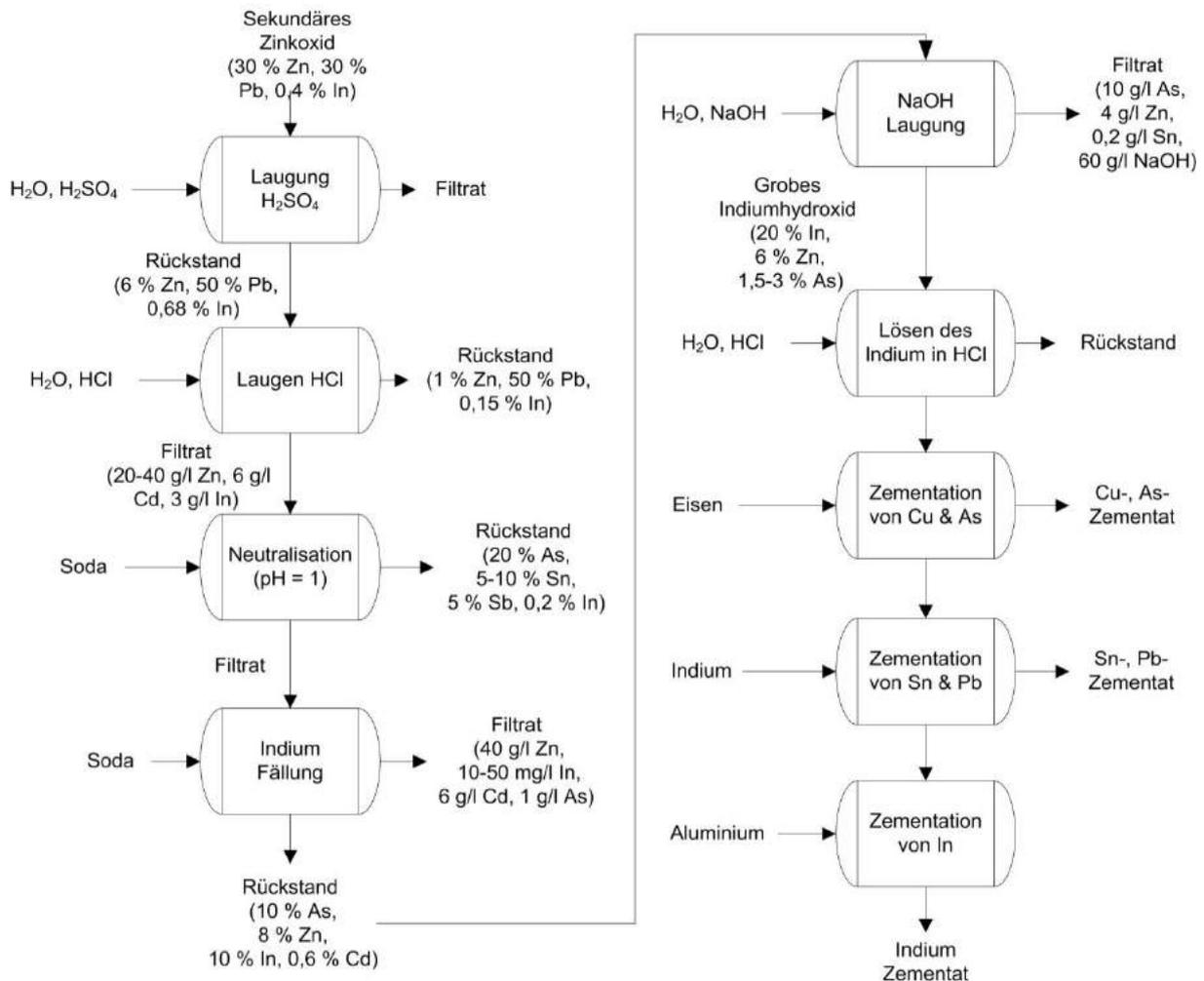


Abbildung 49: Prozesskette zur Verwertung eines In-haltigen Nebenprodukts [177]

In Europa sind in Bezug auf Indium beispielsweise folgende Unternehmen zu nennen:

- Umicore (Belgien),
- Johnson Matthey plc (Großbritannien),
- Nyrstar (Frankreich),
- PPM Pure Metals (Deutschland).

Neben vielen weiteren Anwendungsgebieten sind vor allem Flachbildschirme (56 %) und im zunehmenden Ausmaß Dünnschicht-Solarzellen (8 %) als auch Lote (10 %) von Bedeutung [181]. In der Display-Technik (LCD, PDP, FED und OLED) nutzen dieses Element in Form von Indium-Zinn-Oxid, welches einerseits elektrisch leitfähig und andererseits gleichzeitig optisch transparent ist, als Elektrode Verwendung, wobei aufgrund der extrem dünnen Schichten beispielsweise selbst bei 46“-Displays je nach Technologie zwischen etwa 0,1 bis 3,5 g vorliegen. Ebenso sind bei den Dünnschicht-Solarzellen (Kupfer-Indium-Sulfid bzw. Selenid, CIS bzw. Kupfer-Indium-Gallium-Sulfid bzw. Selenid, CIGS, als p-Leiter bzw.

ZnS oder CdS als n-Leiter) die entsprechenden Halbleiterschichten wiederum größenordnungsmäßig nur 1 µm dick, weshalb deren In-Gehalt bei etwa 0,1 Gew.-% bzw. rund 3 g/m<sup>2</sup> liegt. [14]

Diese geringen Konzentrationen in Verbindung mit dem Hauptbestandteil Glas erschwert deren Aufarbeitung und die Rückgewinnung der enthaltenen Technologiemetalle (In, Ga, ...) wesentlich. Die bisherigen Prozessketten der bisherigen Recyclingkonzepte [182] lassen sich grob in drei Abschnitte unterteilen:

- Teilablösung der EVA-Folie durch physikalische, chemische oder thermische Methoden,
- Entfernung der Glasbeschichtung und Trennung der metallischen (Halbleiterelemente, etc.) von den nichtmetallischen Fraktionen (Glas, Kunststoffe, etc.),
- Extraktion und Raffination der enthaltenen Elemente.

Aus ITO-Schrotte wiederum lässt sich Indium zurückgewinnen, indem diese hydrometallurgisch behandelt werden. Dazu sind diese in einem ersten Schritt in konzentrierter Salzsäure zu laugen und anschließend das gelöste Zinn durch Zugabe von Indiumplatten aus der resultierenden Lösung abzutrennen. Danach kann ein Indium-Schwamm mittels Zink, Magnesium oder auch Aluminium zementiert werden, welcher durch eine Behandlung mit einer KOH-Lösung eine Reinheit von 99 % erreicht. [183]

Eine Solventextraktion [184] zur Konzentrationssteigerung und Reinigung der Lösung erzielt wesentlich verbesserte Trennschärfen und somit höhere Reinheiten. In diesem Fall wird zuvor das Indium-Zinn-Oxid in Schwefelsäure gelöst und Di-(2-ethylhexyl)-Phosphorsäure, D2EHPA, als Extraktionsmittel genutzt. Das von den Autoren vorgeschlagene Verfahrenschema wird in Abbildung 50 grob dargestellt, wobei zusätzlich auch noch eine Reextraktion des Zinns notwendig ist.

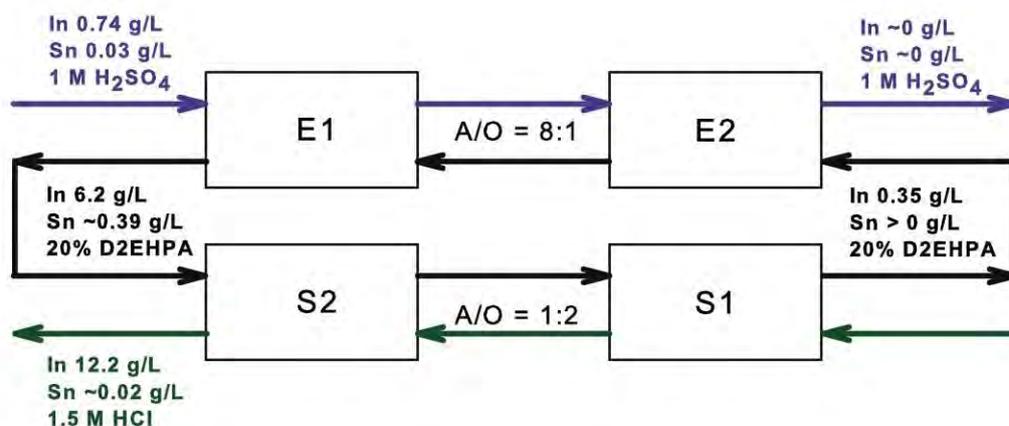


Abbildung 50: Solventextraktion zur Anreicherung von Indium [184]

Obwohl das Recycling von Indium aus den gebrauchten Konsumgütern (Bildschirme bzw. Solarmodule) sehr schwierig erscheint, übertrifft die Rückgewinnung von Indium mit bereits nahezu 1000 t deutlich die Primärproduktion. Dies ist jedoch darauf zurückzuführen, dass sich beim Sputter-Prozess zur Aufbringung der Dünnschichten auf das Glas nur weniger als 30 % des ITO-Targets nutzen lassen und somit der Großteil als Schrott bzw. Prozessschlamm zurückbleibt und recycelt wird. [180]

Die Gewinnung von Gallium erfolgt gegenwärtig ausschließlich über die Aluminiumproduktion durch dessen Abtrennung aus der alkalischen Lösung des Bayer-Prozesses. Während der Gehalt an diesem Sondermetall im Bauxit im Bereich von 30 bis 80 ppm liegt, erreicht dessen Konzentration in der im Kreislauf geführten Lauge etwa 70–150 mg/l. Darüber hinaus enthalten Phosphat-Erze und verschiedene Kohlen gewisse Ga-Gehalte. Jedoch ist es nicht wirtschaftlich, die bei deren Verwertung anfallenden Flugstäube bzw. -aschen mit Ga-Konzentrationen von 100–1000 ppm zur bloßen Extraktion dieses Elements aufzuarbeiten.

Für die Gallium-Abtrennung stehen neben der Extraktion durch Komplexbildung (Abbildung 51) noch weitere Technologien, wie selektive Fällung mit Kohlendioxid oder elektrolytische Abscheidung mittels Quecksilberkathode zur Verfügung. Hierbei nutzt der Rhone-Poulenc-Prozess für die primäre Extraktion eine Lösung von Kelex 100 in Kerosin, während das Sumitomo-Verfahren dazu Duolite CS-346 als Ionenaustauscher-Harz verwendet. In beiden Fällen lassen sich bereits Ga-Konzentrationen von etwa 0,1–1,0 g/l erreichen, wobei das Ga/Al-Verhältnis bis zu 1,0 beträgt. Vor der Elektrolyse findet dann noch eine weitere Extraktion zur Erhöhung der Konzentration statt, welche entweder auf Anionen- oder Kationenaustausch beruht. [178]

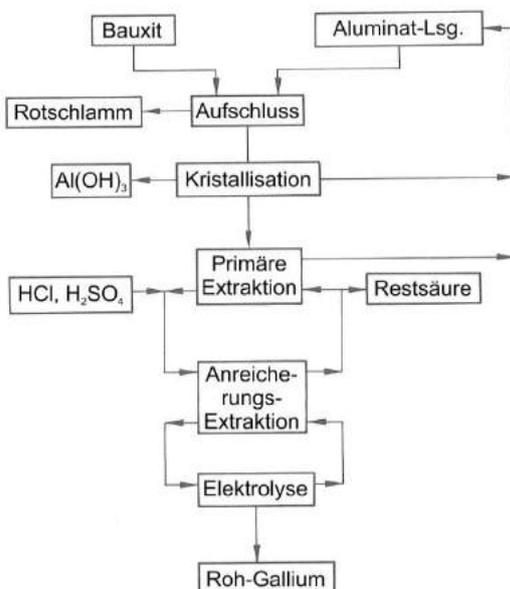


Abbildung 51: Fließbild der Ga-Extraktion mittels Rhone-Poulenc- bzw. Sumitomo-Prozess [178]

Um letztendlich die Reinheit des Galliums von 99–99,9 % auf die erforderliche Qualität von 99,999999 % (8N) zu erhöhen, kommen anschließend zahlreiche Raffinationsverfahren zur

Anwendung, wie Vakuumdestillation, Waschen mit Säuren bzw. Laugen, fraktionierte Kristallisation, Zonenschmelzen oder Einkristallzüchtung. [178]

Diese enorm hohe Reinheit ist erforderlich, da dieses Element überwiegend in optoelektronischen Anwendungen und integrierten Schaltungen (Abbildung 52) sowie mittlerweile auch in zunehmendem Ausmaß in Dünnschicht-Solarzellen Verwendung findet.

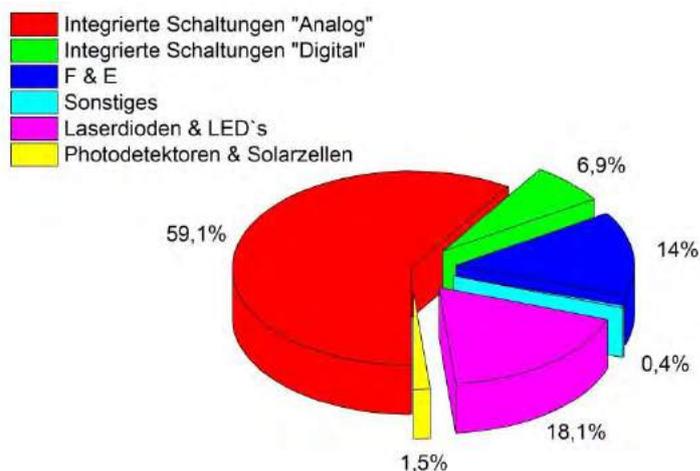


Abbildung 52: Einsatzgebiete von Gallium in den USA im Jahr 2006 [14]

Bezüglich der Rückgewinnung von Gallium aus den diversen Produktionsrückständen der Halbleiterfertigung stellt der Umgang mit den toxischen Komponenten mit teilweise reaktiven Oxidationsstufen die größte Herausforderung dar. Dabei müssen vor allem die extrem hohen Konzentrationen an Arsen beachtet werden. Potenzial für aufarbeitungsfähige Reststoffe bieten vor allem nicht mehr benutzte Wafer, nicht verwendbare Enden der Einkristalle, Bruchstücke, Schneid- und Polierschlämme sowie fehlbeschichtete Chargen. [185]

Ein Verfahrensschema (Abbildung 53) zu deren Aufarbeitung sieht nach einem salzsauren Aufschluss mit Wasserstoffperoxid als Oxidationsmittel eine Solventextraktion mit Methylisobutylketon als Extraktionsmittel vor. Im Anschluss an die Reextraktion lässt sich aus der erhaltenen wässrigen Ga-Lösung das Metall durch kathodische Abscheidung gewinnen.

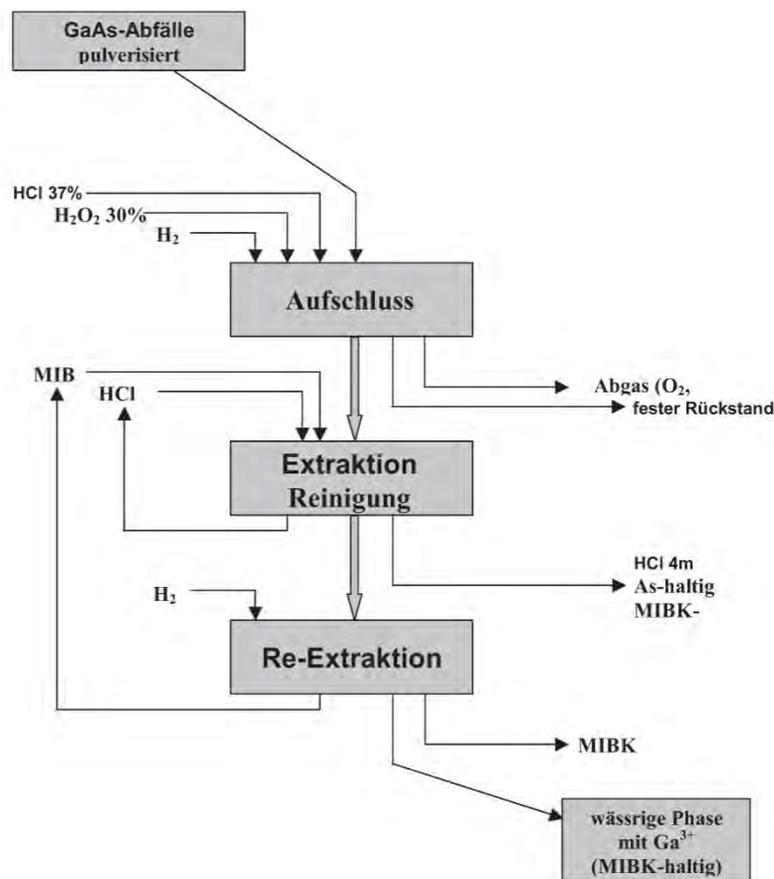


Abbildung 53: Verfahrensschema zur Verwertung von GaAs-Abfällen [185]

In einem alternativen Recyclingkonzept werden für die Rückgewinnung von Gallium aus GaAs-Schrotten (Abbildung 54) diese in einem ersten Schritt zerkleinert und anschließend chloriert. Nachdem die Galliumchloride bis rund 200 °C flüssig bleiben, jedoch die Arsenchloride bei 130–190 °C verdampfen, lassen sich diese durch eine Destillation im Gegenstromverfahren trennen. Anschließend bildet sich aus Galliumchlorid mittels Natriumlauge, Natriumgallat, Na<sub>3</sub>GaO<sub>3</sub>, welches elektrolytisch zu Gallium umgesetzt wird, wobei sich Reinheiten von etwa 99,9999 % erzielen lassen. [186]

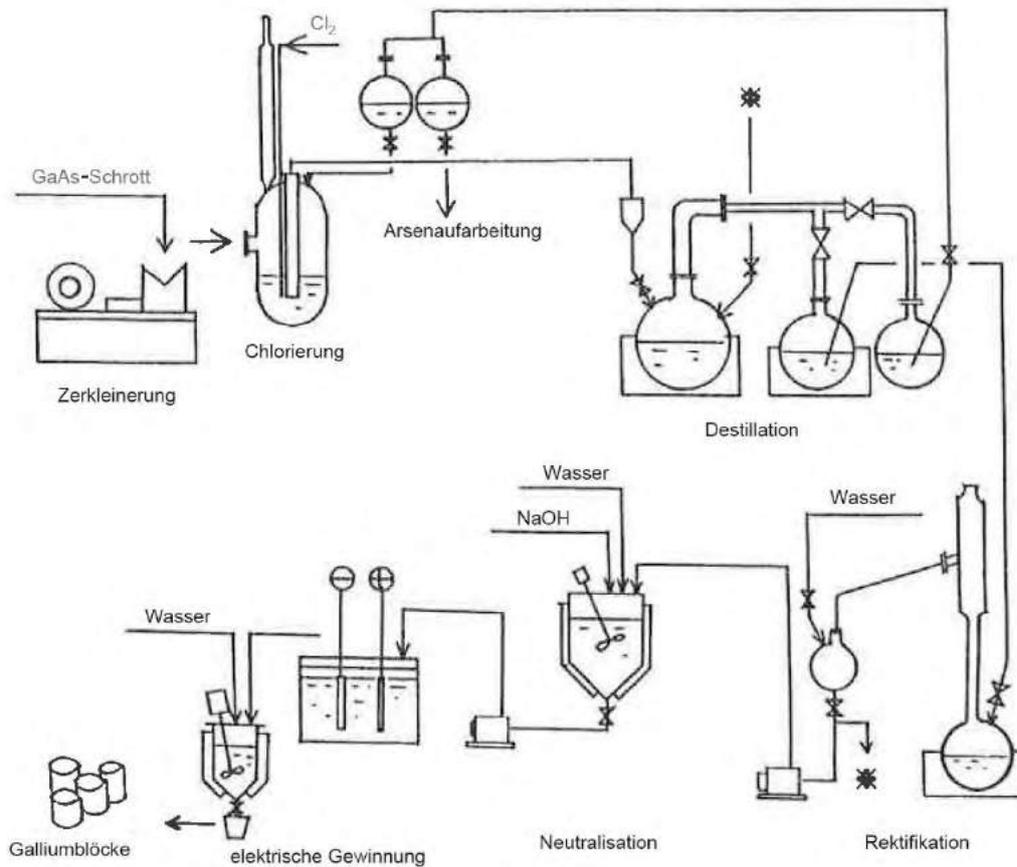


Abbildung 54: Prozessschema zur Aufarbeitung von GaAs-Schrotten [186]

Ähnlich wie bei Indium ist auch hinsichtlich des Recyclings dieses kritischen Metalls zu beachten, dass die nicht unerhebliche Recyclingrate durch die Verwertung von Produktionsrückständen erzielt wird, während die Extraktion aus gebrauchten Konsumgütern noch keine Bedeutung aufweist. Das Recycling von Gallium ist jedoch aufgrund der komplexen Prozessketten bis hin zur Erzielung der erforderlichen höchsten Reinheiten ebenso mit erheblichen Verlusten behaftet. Durch die Verfügbarkeit der gesamten Route von der Gewinnung als Nebenprodukt bis zu den individuellen Anwendungen inklusive der Verwertung der Ga-hältigen Produktionsrückstände innerhalb von Europa (Abbildung 55, orange hinterlegt) kann zumindest ein Teil des Bedarfs sichergestellt werden.



Abbildung 55: Versorgungskette von Gallium in Halbleitern [187]

Hierbei muss jedoch Beachtung finden, dass sich eine Steigerung der Nachfrage ausschließlich aus primären Rohstoffquellen (Erzen) abdecken lässt. Nachdem die Expansion der Gallium-Primärgewinnung in den letzten Jahren vor allem in China stattfand (Vervierfachung

von 2009 bis 2011) und diese somit aktuell rund 70 % der Primärproduktion aufweisen [187], ist trotz der aktuell ausreichenden Versorgung auch dieses Metall weiterhin als kritischer Rohstoff einzustufen.

## 9 Sekundärrohstofflandkarte

Die Verteilung des theoretischen Potenzials der ausgewählten Metalle aus der Sekundärquelle Abfall für 2030 soll anhand einer Landkarte für Österreich veranschaulicht werden. Neben einer einheitlichen Datenbasis spielt dabei die Datengranularität für eine aussagekräftige visuelle Darstellung eine essenzielle Rolle. Dabei werden die Daten aus Kapitel 7.5 verwendet und über die Bezirke und Bundesländer in Österreich dargestellt.

### 9.1 Zusätzliche Datenaufbereitung zu den Bevölkerungsprognosen

Zur Abschätzung des Aufkommens an sekundären Stoffströmen in den einzelnen Bezirken ist die Anzahl der Bevölkerung ein wichtiger Faktor. In der Kleinräumigen Bevölkerungsprognose für Österreich 2010-2030 mit Ausblick bis 2050 („ÖROK-Prognosen“) wurden ausgehend vom Jahr 2009 für die einzelnen Bundesländer und jeweiligen Bezirke Daten hinsichtlich der Bevölkerungsentwicklung bis 2050 unter Berücksichtigung verschiedenster relevanter Faktoren erarbeitet. Dieser zufolge wird die Bevölkerungszahl im gesamten Bundesgebiet mittel- und langfristig anwachsen, wobei unterschiedliche regionale Entwicklungen zu erwarten sind. Die Kernstädte, wie Wien oder Graz, sowie die Umlandgemeinden werden wachsen und schwer erreichbare Regionen an Bevölkerung verlieren. [188]

Vergleicht man eine aktuellere Bevölkerungsprognose der Statistik Austria [189] für die jeweiligen Bundesländer kommt es jedoch zu Abweichungen hinsichtlich der prognostizierten Daten aus dem Jahr 2010. Für die gegenständliche Studie wurde ausgehend von den Bevölkerungsständen in den Bezirken am 1.1.2014 bei einer Gesamtbevölkerung von 8.507.786 sowie den aktuellen Prognosen nach Statistik Austria [36] in Kombination mit den ÖROK-Prognosen, ein Zukunftsszenario für sämtliche Bezirke in Österreich unter Berücksichtigung von Bezirkszusammenlegungen, u.a. Bezirk Bruck-Mürzzuschlag, erstellt. Dabei wurde die anteilmäßige Verteilung der Bevölkerung in den einzelnen Bezirken für jedes Bundesland aus den ÖROK-Prognosen errechnet und auf die aktuellen Bundeslandprognosen für die Jahre 2015, 2020, 2025 und 2030 umgerechnet.

Zusammenfassend ergeben sich für die einzelnen Bundesländer folgende Bevölkerungsprognosen (vgl. Tabelle 34).

Tabelle 34: Bevölkerungsprognosen für Österreich nach Bundesländern 2014-2030

Bundesland	2014	2015	2020	2025	2030
Burgenland	287.416	288.849	293.665	298.804	303.864
Kärnten	555.881	555.609	554.385	553.130	551.167
Niederösterreich	1.625.485	1.638.343	1.680.449	1.722.703	1.762.349
Oberösterreich	1.425.422	1.435.872	1.467.336	1.495.915	1.520.356
Salzburg	534.270	538.589	549.927	558.364	564.491
Steiermark	1.215.246	1.220.723	1.235.424	1.247.809	1.257.989
Tirol	722.038	730.941	755.707	775.935	792.611
Voralberg	375.282	379.800	392.505	402.730	411.094
Wien	1.766.746	1.805.078	1.905.336	1.977.027	2.030.214
<b>Österreich</b>	<b>8.507.786</b>	<b>8.593.804</b>	<b>8.834.734</b>	<b>9.032.417</b>	<b>9.194.135</b>

Die Prognosen für die einzelnen Bezirke im jeweiligen Bundesland sind im Anhang IV ersichtlich.

## 9.2 Visualisierung

„Ein Bild sagt mehr als tausend Worte“. Die Visualisierung von Berechnungsergebnissen stellt eine wertvolle und effektive Methode hinsichtlich der Analyse sowie der Interpretation von Daten dar. Besonders bei der Simplifizierung komplexer Sachverhalte sind Darstellungen ein probates Mittel. Anhand einer geeigneten Methode können intuitiv Erkenntnisse vermittelt werden, wobei sich die Wissensvermittlung durch eine Abbildung nicht nur auf den Bereich der Medien beschränkt, diese findet üblicherweise auch auf Rechnerarbeitsplätzen statt, wenn es darum geht Daten, Strukturen und Zusammenhänge zu erkennen bzw. zu vermitteln.

Laut Schumann [190] ist das Ziel des dafür nötigen Visualisierungsprozesses

*„[...] abstrakte Daten, die in der Regel nicht-geometrischer Natur sind, in Form von Bildern zu veranschaulichen. Bei der Erzeugung der Bilder werden mehrere Schritte durchlaufen, die sich in einer so bezeichneten Visualisierungspipeline anordnen lassen.“*

Die beschriebene Visualisierungspipeline lässt sich in die folgenden drei Bereiche unterteilen:

### Datenaufbereitung (Filtering)

Den Ausgangspunkt für eine Visualisierung bildet das gesammelte Rohdatenmaterial. Im Filtering-Prozess werden diese Daten erstmalig aufbereitet. Dafür werden verschiedene Verfahren (Interpolation bzw. das Entfernen von Fehlern anhand festgelegter Schwellwerte, Glättungsverfahren, etc.) verwendet. Diese strukturieren, reduzieren bzw. vervollständigen das vorhandene Datenmaterial. Dieser Schritt ist notwendig, damit der Datensatz in den weiterführenden Schritten verwendet und in eine visuelle Repräsentation einfließen kann.

## Mapping

Übertragung der gefilterten Daten auf entsprechende Geometriedaten. Entscheidung, welche visuellen Objekte die Information repräsentieren sollen.

## Rendering

Übertragung der Geometriedaten auf Bilddaten zur Erstellung der eigentlichen Abbildung.

Für die Visualisierung des Projektes „Quantitative und qualitative Identifikation von relevanten sekundären Stoffströmen in Österreich“ stellten die Bereiche Datenaufbereitung und Mapping die wesentlichsten Herausforderungen dar, da auf diesen Stufen ein maßgeblicher Einfluss auf die Auswertung, Expressivität und Effektivität der Abbildung genommen werden kann und die Aussagekraft der erhobenen Ergebnisse dadurch maßgeblich beeinflusst wird.

Die hier beschriebene Zusammenfassung fokussiert sich aus diesem Grund auf die Erstellung eines einheitlich genutzten Templates sowie auf die Auswahl einer geeigneten Visualisierungsumgebung.

### 9.3 Erstellung eines einheitlichen Templates

Für die Verarbeitung der projektspezifischen Datensätze wurde ein einheitliches Template kreiert, welches einer effizienteren und vor allem transparenteren Identifizierung des Aufkommens und der Verwertung sekundärer Rohstoffe im Untersuchungsbereich Österreich dient.

Bei der Erstellung der Eingabemaske wurde ein besonderes Augenmerk auf die folgenden Punkte gerichtet:

- Vermeidung von Fehlern bei der Generierung
- Anpassbarkeit
- Möglichkeit einer Mehrfachnutzung
- Möglichkeit der Schulung für projektexterne Personen

#### Vermeidung von Fehlern bei der Generierung

Aufgrund des hohen Datenkomplexitätsgrades, kam es im Zuge der Anfangsphase des Projektes zu Schwierigkeiten hinsichtlich einer einheitlichen graphischen Darstellung der erhobenen Werte. Auf Basis eines gemeinsamen Workshops wurden daher die wesentlichsten Punkte bzw. jene Datengranularität erhoben, welche für eine transparente Darstellung erforderlich ist. Somit wurde für die Erstellung der jeweiligen Visualisierungen eine Kombination der Parameter Menge und Ort genutzt.

#### Anpassbarkeit

Durch die Gestaltung des Inputwerkzeuges auf Basis von Microsoft (MS)® Excel konnte eine Struktur aufgebaut werden, welche mit einem angemessenen Aufwand den Anforderungen

angepasst werden kann. Konkret bedeutet dies, dass weitere Elemente bzw. Rohstoffe zur Landkarte hinzugefügt bzw. entfernt werden können, somit kann eine längerfristige Nutzung des Tools erreicht werden.

### Möglichkeit einer Mehrfachnutzung

Durch die bereits erwähnte Verwendung von MS © Excel in Kombination mit einer vorgegebenen und anpassbaren Struktur konnte auch die Möglichkeit einer Mehrfachnutzung realisiert werden. Dies bedeutet, dass mehrere Projektmitglieder unabhängig voneinander das Tool mit Daten befüllen können, ohne dabei die Funktionsweise der Visualisierung zu schädigen. Der modulare Aufbau der verschiedenen Untersuchungsbereiche gewährleistet eine geringe Fehleranfälligkeit bei der Zusammenführung der Ergebnisse.

### Möglichkeit der Schulung für projektexterne Personen

Die einfache Struktur des Werkzeugs trägt neben der Effizienzsteigerung der Auswertung dazu bei, dass projektexterne Personen mit geringem Aufwand für einen weiteren Dateninput geschult werden können. Zur Veranschaulichung der einfachen Struktur, werden deren wichtigste Merkmale nachfolgend kurz erläutert (vgl. Abbildung 56).

		Theoretisches Potenzial Bildschirmgeräte 2030 [kg]													
		Geographische Koordinaten		Edelmetalle				Seltene Erden			Ref. Met.	Sonstige		weitere Elemente	
Verwaltungseinheit	Bundesland / Meldestelle	Lat	Lng	Au BG	Ag BG	Pd BG	Pt BG	Ce BG	Nd BG	Y BG	W BG	Ga BG	In BG	Element A BG	Element B BG
Staat	Österreich			457,9	676,8	123,3	1,9	38,6	972,3	23,0	120,9	6,0	248,0	0,0	0,0
Bundesland	Burgenland			15,1	22,4	4,1	0,1	1,3	32,1	0,8	4,0	0,2	8,2	0,0	0,0
Bezirk	Eisenstadt Stadt inkl. Rust	47,827301	16,5244999	0,9	1,3	0,2	0,0	0,1	1,8	0,0	0,2	0,0	0,5	0,0	0,0

Abbildung 56: Aufbau der Datenaufbereitung für die Visualisierung der Rohstofflandkarte

Zur besseren Verständlichkeit wurden die wichtigsten charakteristischen Merkmale in drei Betrachtungsbereiche unterteilt.

#### 1. Verwaltungseinheit / Bundesland und Meldestelle

Die Aufgliederung des Rohstoffaufkommens bzw. der Verwertung sekundärer Rohstoffe wurde nach den zugehörigen Bundesländern und Meldestellen durchgeführt. Dies ermöglicht zum einen eine Filterung für ein möglichst effizientes Arbeiten und zum anderen eine erhöhte Übersichtlichkeit für Anwender.

#### 2. Geographische Koordinaten

Die Gliederung nach geographischen Koordinaten (Längen/Breitengrad) dient der eindeutigen Zuweisung von Rohstoffmengenanteilen, da es aufgrund von Orts-Doppelnamen zu Fehlzuweisungen kommen könnte. Für die Darstellung der Bezirke wurden repräsentativ die geographischen Daten der jeweiligen Bezirkshauptstadt verwendet.

### 3. Mengenanteile verschiedener Sekundärrohstoffe

Der dritte Bereich ordnet die untersuchten Elemente den spezifischen Produktgruppen zu:

- Bildschirmgeräte (BG),
- Elektrokleingeräte (EKG),
- Beleuchtungstechnologien (BEL),
- Photovoltaikmodule (PV),
- Windkraftanlagen (WK),
- Wendeschneidplatten (WP),
- Poliermittel (PM) und
- Altfahrzeuge (AFZ)

In Klammer ist das Kürzel der einzelnen Gruppen angegeben, welches für die Visualisierung mittels Balkendiagramm verwendet wurde. Der wesentliche Vorteil dieser Zuordnung ist die Möglichkeit, produktbezogene Quellen und Senken erheben zu können. Für die eindeutige Gestaltung wurde eine Zuweisung mittels Produkt-ID vorgenommen. Zum Beispiel wurden die jeweiligen Produktgruppen dabei in die folgenden Bereiche unterteilt:

- Edelmetalle
- Seltene Erden
- Refraktärmetalle
- Sonstige

Das einheitliche Template dient neben der Inputfunktion auch für die graphische Visualisierung als strukturierte und detaillierte Auflistung welche für die Beantwortung von spezifischen Fragestellungen herangezogen werden kann.

### 9.4 Auswahl einer geeigneten Visualisierungsumgebung

Um einen hohen Nachvollziehbarkeitsgrad der Ergebnisse gewährleisten zu können, wurde eine Darstellungsform gewählt, welche sowohl die Konzentration der jeweiligen Rohstoffe, als auch deren quantitative Ausprägung veranschaulicht. Unter Anwendung einer Kombination von Balkendiagramm und Heatmap, hierbei handelt es sich um ein Diagramm zur Visualisierung von Daten, deren abhängige Werte einer zweidimensionalen Definitionsmenge als Farben repräsentiert werden, können besonders markante Rohstoffkonzentrationen hervorgehoben und dargestellt werden.

Somit stellten diese beiden Formen der Darstellung die wesentlichsten Auswahlkriterien für eine effiziente Visualisierungsumgebung dar. Nach einer fundierten Recherche wurden folgende Umgebungen einer genaueren Evaluierung unterzogen:

- Google Maps API
- Microsoft Power Map

Die Entscheidung ist dabei auf eine Umsetzung mittels Microsoft Power Map gefallen, da dieses Tool keine zusätzlichen Entwicklungskosten verursacht und mit geringem Aufwand in das eigens erstellte Template integriert werden kann.

Microsoft Power Map ist ein zum MS Business Intelligence Packet gehörendes 3D Visualisierungs-Add-In für MS Excel 2013 und MS Office 365. Ziel dieses Add-Ins ist eine möglichst einfache geographische Visualisierung großer Datenmengen. Als Ressource nutzt MS Power Map die Geodaten von Microsofts Kartendienst BING Maps©. Die Daten werden hierfür auf einem dreidimensionalen Globus in Form der gewünschten Ausgabeverfahren dargestellt. Zudem besteht die Möglichkeit, zeitliche Veränderungen der Daten mittels Animation zu verdeutlichen. Dieses Feature wurde jedoch bei der derzeitigen Umsetzung noch nicht verwendet.

## 9.5 Grafische Auswertungen

Die grafischen Auswertungen erfolgten spezifisch für jedes Element anhand zweier Darstellungsformen. Einerseits erfolgt die Darstellung des theoretischen Gesamtpotenzials aufgeteilt über die Bundesländer sowie unterteilt in die jeweiligen Produktgruppen anhand von Balkendiagrammen. Die zweite Form zeigt andererseits die Verteilung des Potenzials über die jeweiligen Bezirke bzw. Bezirkshauptstädte mittels einer Heatmap. Das lokale Sekundärpotenzial ist dabei farblich zweidimensional dargestellt und reicht von blau (geringere Mengen) bis rot (höhere Mengen).

Für die bezirks- und bundesländerspezifische Verteilung (vgl. Abbildung 57 bis Abbildung 66) wurden je nach Produktgruppen unterschiedliche Ansätze gewählt. Die Gruppen der Bildschirmgeräte, Elektrokleingeräte, Beleuchtung sowie Photovoltaikmodule wurden prozentuell gleichmäßig über die Einwohner im Bundesgebiet für das Jahr 2030 verteilt. Bei den Altfahrzeugen erfolgte eine prozentuelle Gleichverteilung bezogen auf den PKW Bestand 2013 in den einzelnen Bezirken. Bei den Windkraftanlagen wurden zunächst die Standorte und die dazugehörige Leistung erhoben. [191] Ausgehend vom Anteil der Gesamtleistung des jeweiligen Standortes (bezogen auf Bezirk) wird eine gleichmäßige Verteilung von getriebelosen Anlagen im jeweiligen Bezirk angenommen. Für Wendeschneidplatten wurden insgesamt 15 Standorte der Metallindustrie und metallverarbeitenden Industrie ausgewählt [192], wo ein möglicher Einsatz von Wendeschneidplatten stattfinden könnte. Hier geht man von einer gleichen Verteilung je Standort gemessen an der Gesamtmenge aus. Der Anfall von Poliermittel bezieht sich ausschließlich auf das ausgewählte Fallbeispiel.

Betrachtet man die erstellten Sekundärrohstofflandkarten ist vor allem die Konzentrierung der Metallpotentiale auf die einwohnerstärkeren Städte Wien, Graz und Linz, bedingt durch die Abhängigkeit von Konsumgütern, auffällig. Die Bedeutung der Sekundärquelle Altfahrzeuge kann vor allem für Platin und Palladium ersichtlich gemacht werden. Hier sind aufgrund der hohen Fahrzeugzahlen die größten theoretischen Potenziale in Niederösterreich und Oberösterreich zu erwarten. Aufgrund des hohen Ceranteils in Poliermitteln konnte ein Hotspot in Tirol (Wattens) nachgewiesen werden. Die Neodympotentiale beschränken sich hauptsächlich auf Hybrid- und Elektrofahrzeuge. Aufgrund des Neodymanteils in

Windkraftanlagen konnte zusätzlich ein Hotspot im Burgenland identifiziert werden. Für Wolfram kann die maßgebliche Konzentration im Österreichischen Raum auf ausgewählte Standorte der metallverarbeiteten Industrie rückgeführt werden.

**Gold**

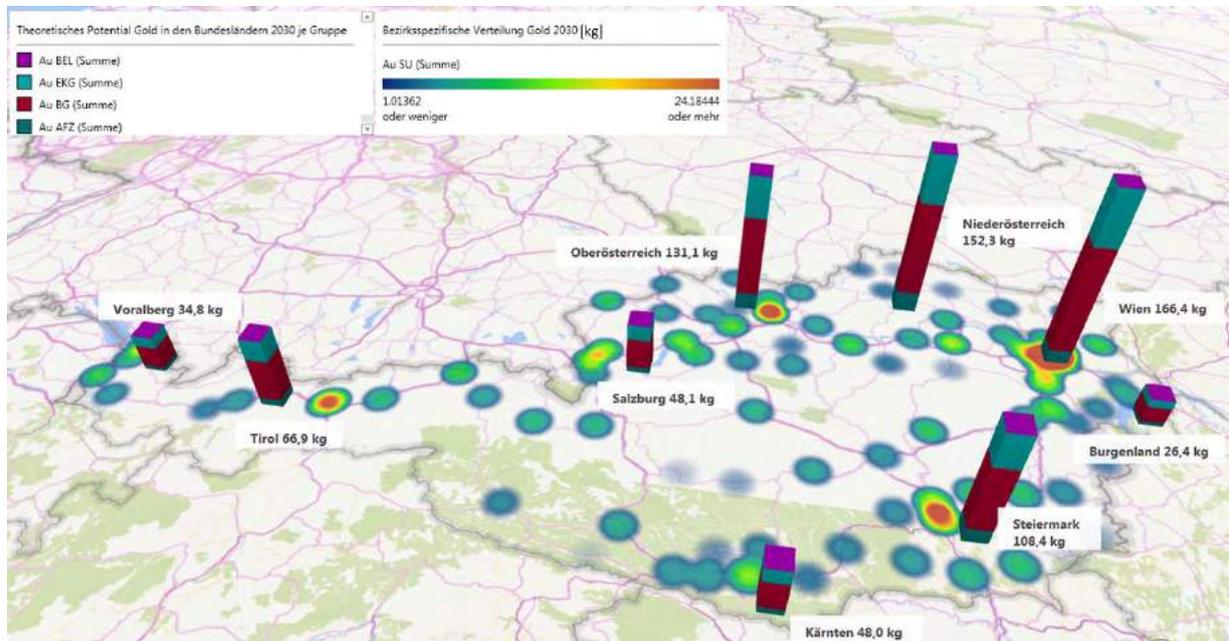


Abbildung 57: Sekundärrohstofflandkarte Gold 2030

**Silber**

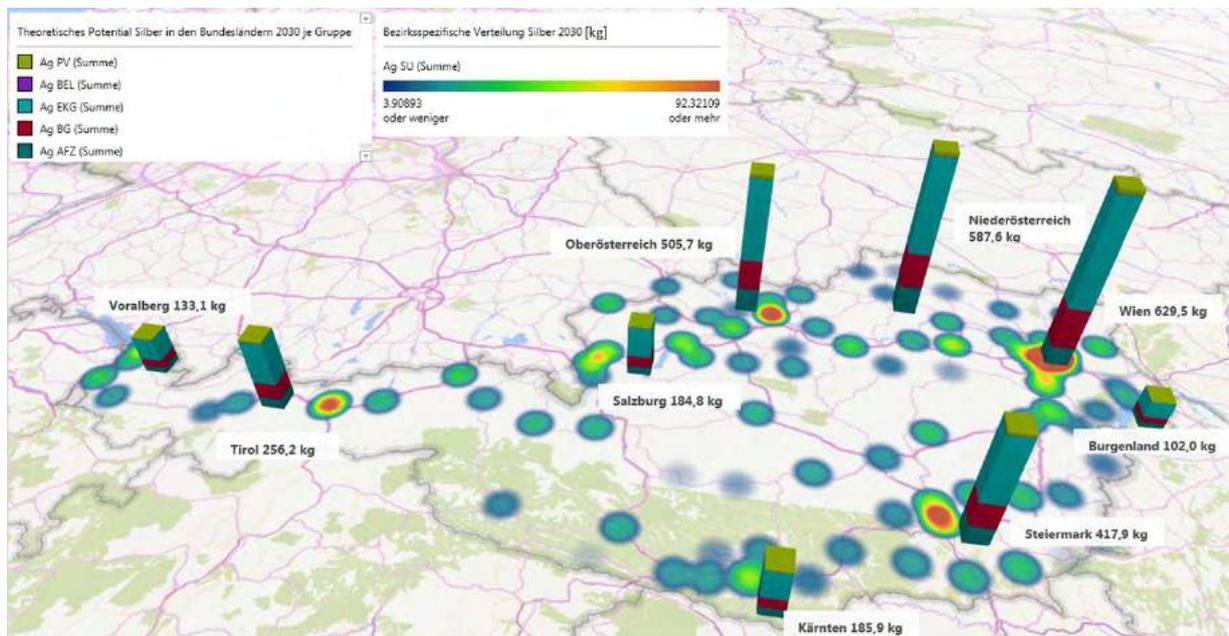


Abbildung 58: Sekundärrohstofflandkarte Silber 2030

### Palladium

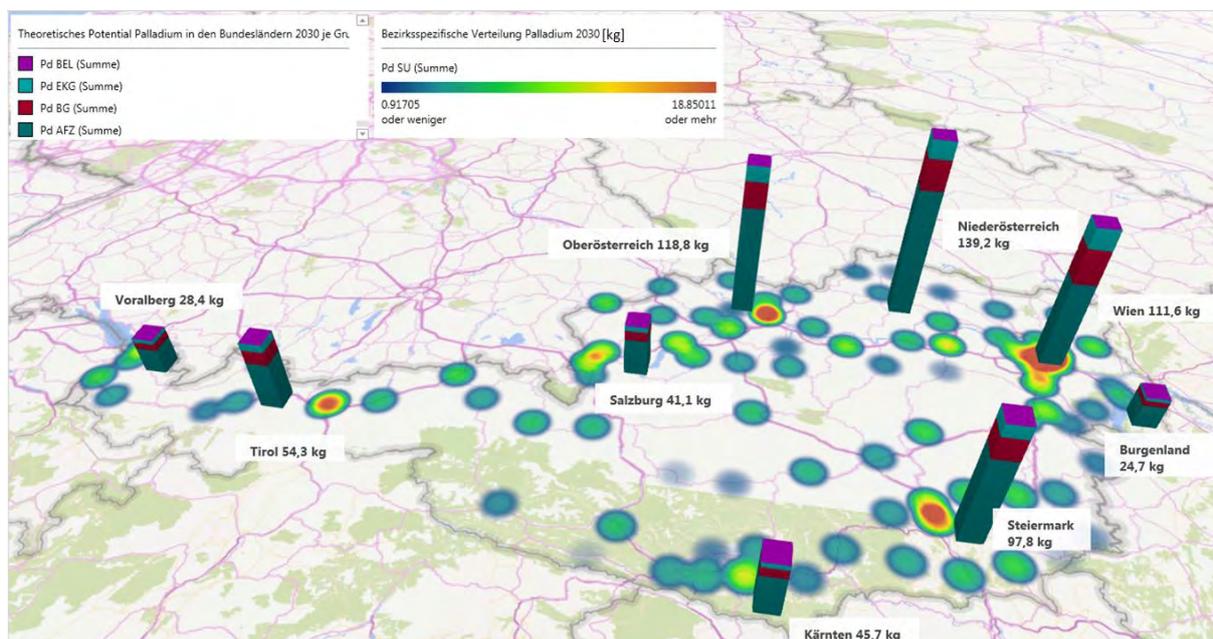


Abbildung 59: Sekundärrohstofflandkarte Palladium 2030

### Platin

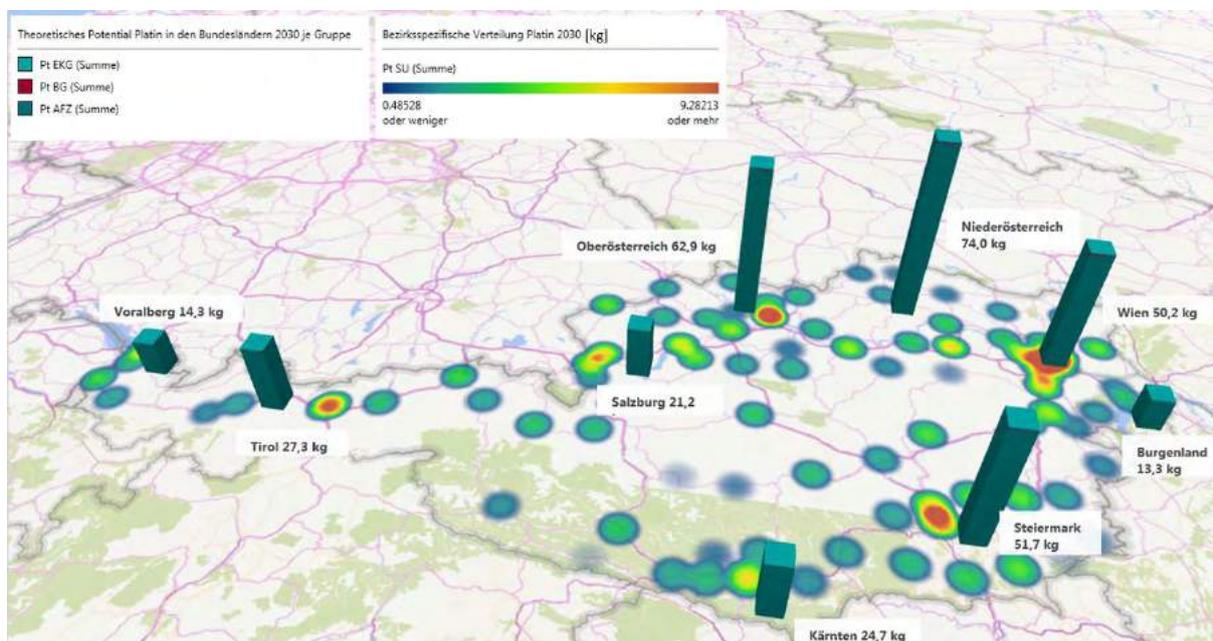


Abbildung 60: Sekundärrohstofflandkarte Platin 2030

### Cer

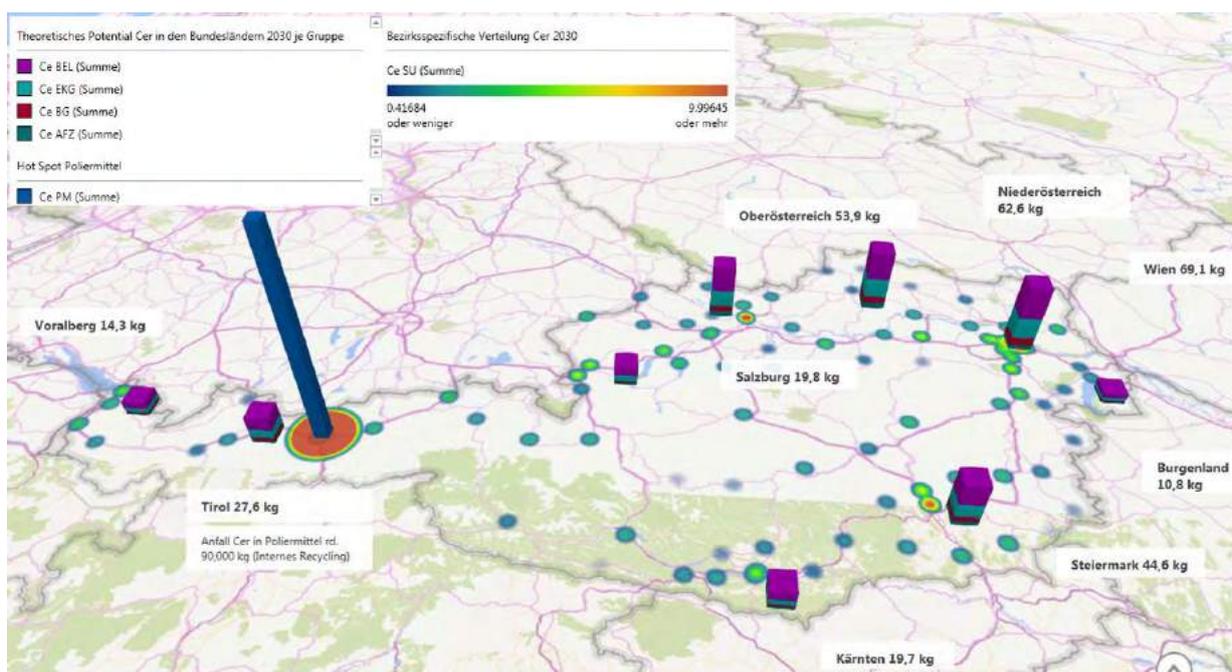


Abbildung 61: Sekundärrohstofflandkarte Cer 2030

### Neodym

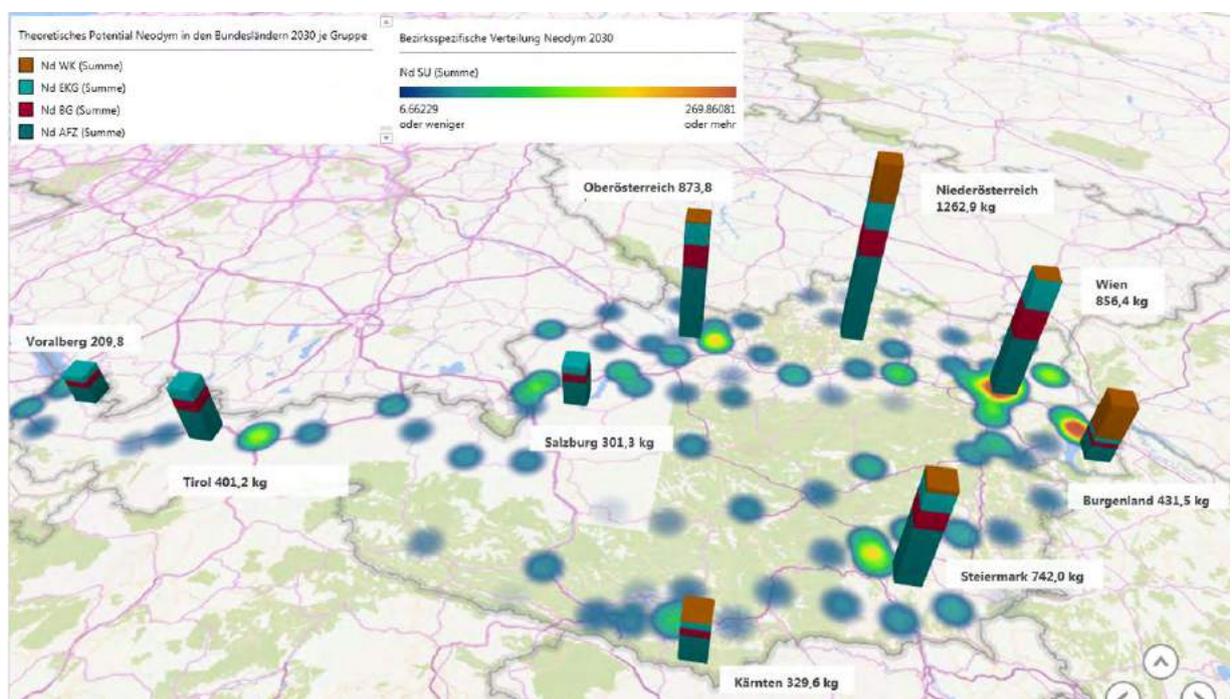


Abbildung 62: Sekundärrohstofflandkarte Neodym 2030

### Yttrium

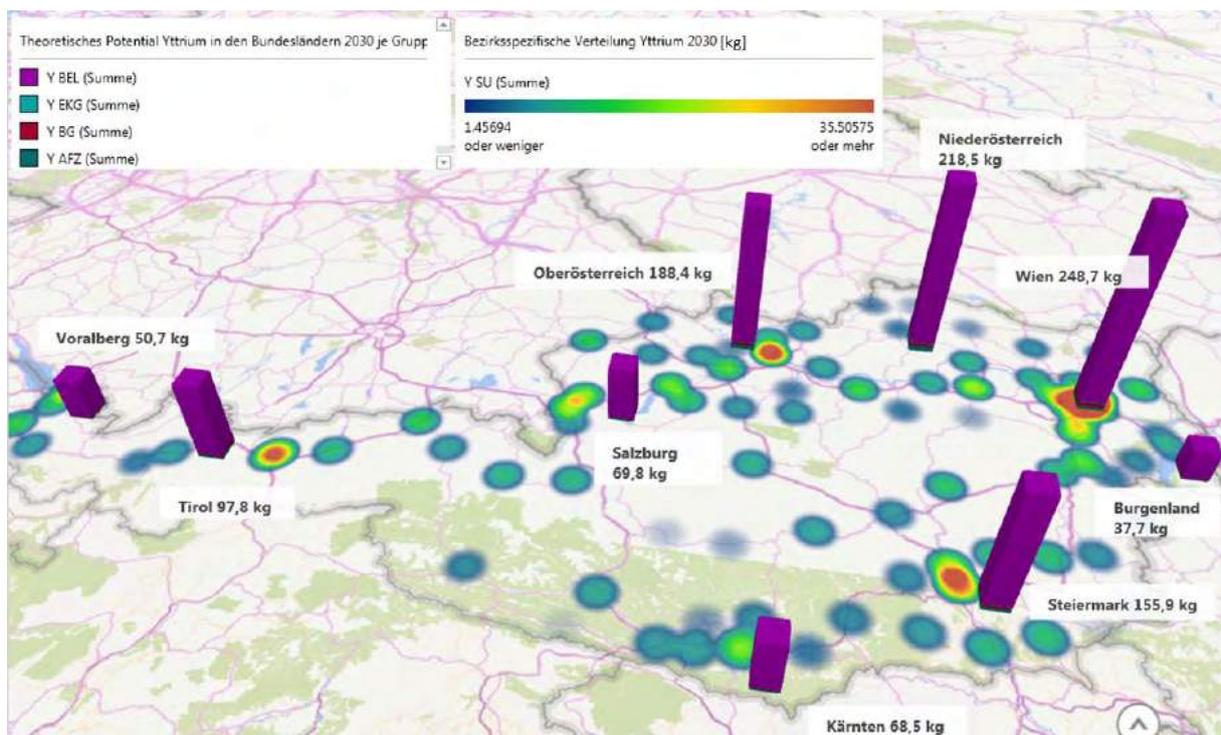


Abbildung 63: Sekundärrohstofflandkarte Yttrium 2030

### Wolfram

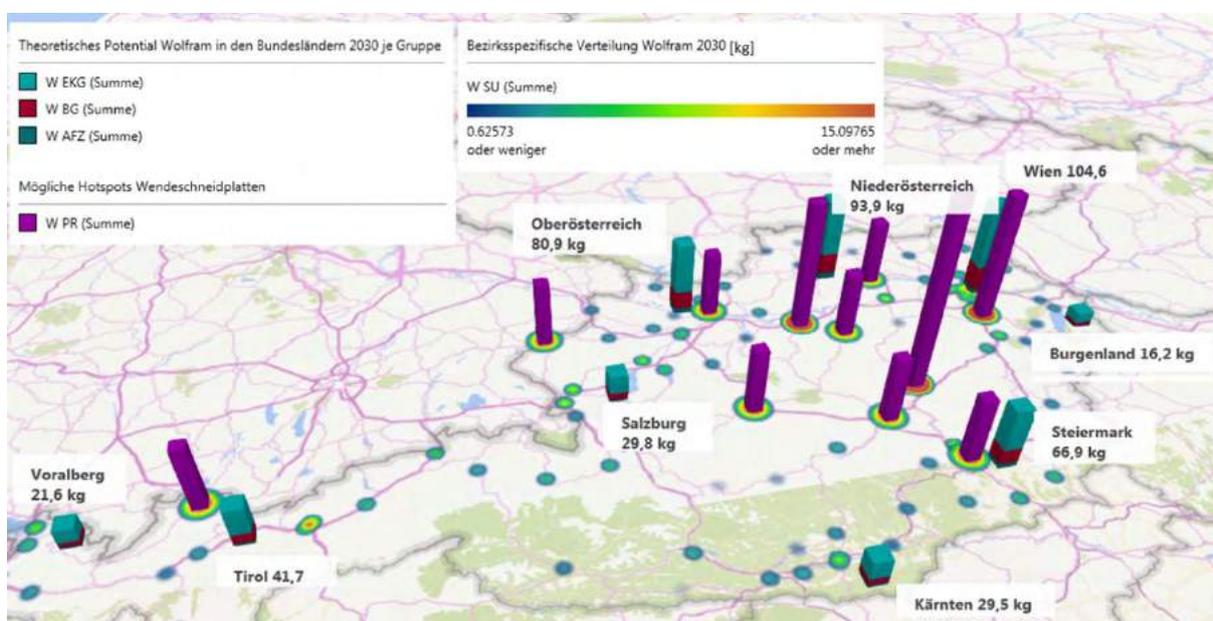


Abbildung 64: Sekundärrohstofflandkarte Wolfram 2030

### Gallium

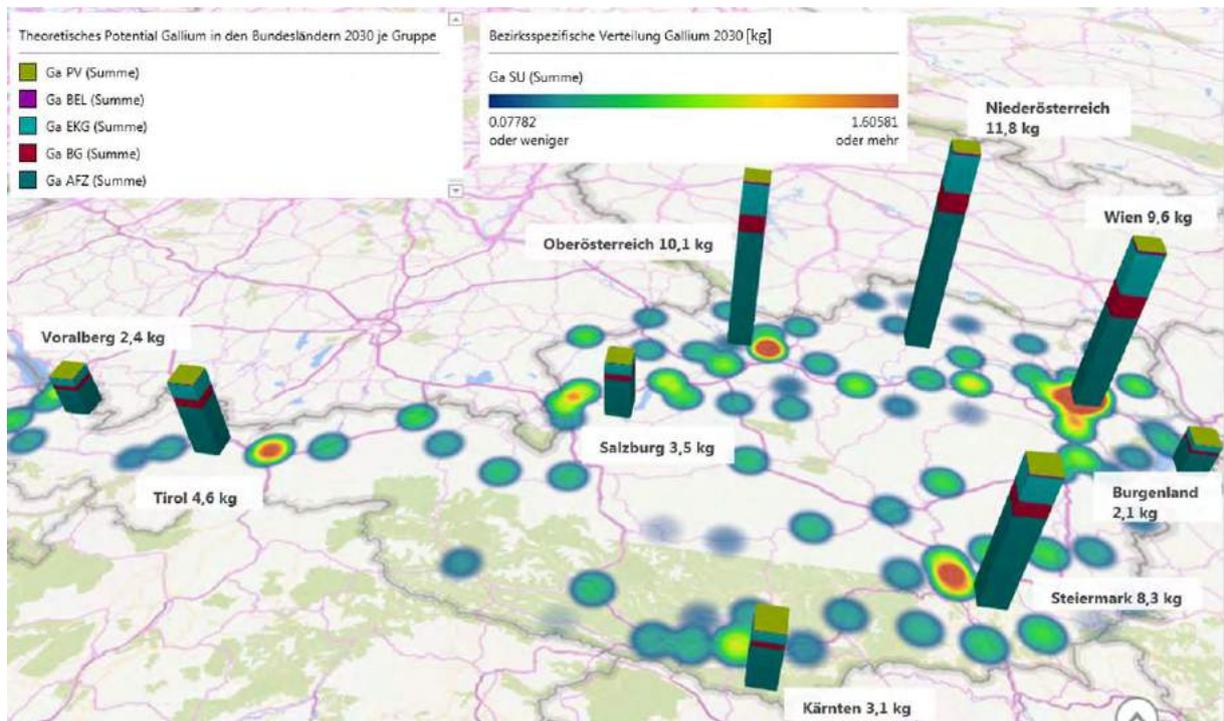


Abbildung 65: Sekundärrohstofflandkarte Gallium 2030

### Indium

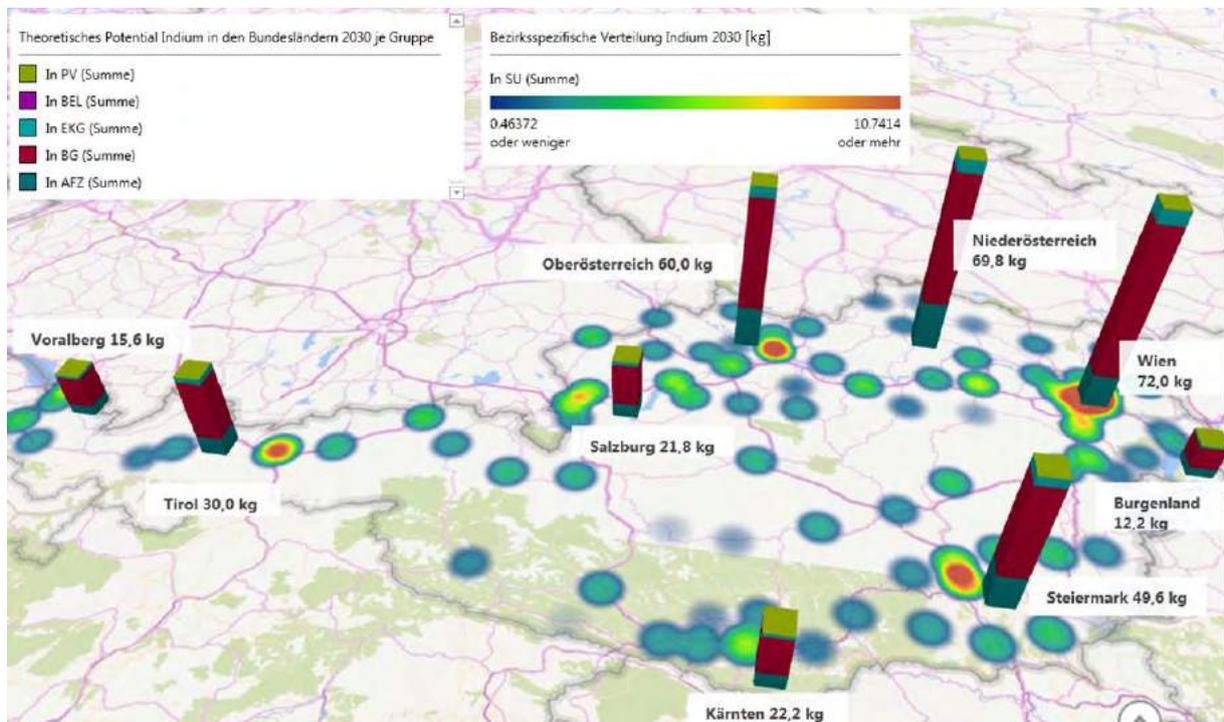


Abbildung 66: Sekundärrohstofflandkarte Indium 2030

## 10 Zusammenfassung Stakeholderprozess

Die Einbindung der Partner aus der Entsorgungsbranche sowie der produzierenden Industrie in diese Studie erfolgte im Wesentlichen in zwei Stufen. Stufe 1 beinhaltete ein persönliches Expertengespräch mit einem Vertreter des jeweiligen Unternehmens bzw. der Organisation nach einem erarbeiteten Leitfaden. In Stufe 2 wurde vom Auftragnehmer ein Workshop mit den Partnern organisiert.

### 10.1 Expertengespräche

Die persönlichen Expertengespräche wurden nach einem Leitfaden mit den Schwerpunkten Sammel- und Logistiksysteme, Technologien sowie Forschung und Entwicklung rund um den Bereich der kritischen Rohstoffe geführt. Dazugehörige Unterfragen beschäftigten sich u.a. mit Möglichkeiten für eine bessere Erfassung, zukünftige Herausforderungen bei Aufbereitungs- und Recyclingtechnologien, dem Beitrag der Abfallwirtschaft sowie bisherige Kooperationen mit Produzenten.

Nachfolgend sind einzelne Sichtweisen, Aussagen und Ansätze aus den Gesprächen zusammengefasst. Dabei wird darauf hingewiesen, dass die einzelnen Punkte nicht automatisch der Meinung der Studienautoren entsprechen.

#### Sammel- und Logistiksysteme

##### Produkte und Produktgruppen mit den größten Potenzialen hinsichtlich verbesserter Sammlung und Logistik

- Größere Potenziale werden bei Elektroaltgeräten (speziell Elektrokleingeräte), Batterien und Altfahrzeugen gesehen,
- Potenzial wird auch bei Sammelsystemen für Konsumgüterfraktionen gesehen, z.B. Bank-, Kredit- und Gesundheitskarten, Spielkassetten von Konsolen, Armbanduhren, Fahrradcomputer, Hörgeräte, Brillen (hochwertiges Gals) etc., Wissen über Inhaltsstoffe von Konsumprodukten begrenzt,
- Auch Hochtechnologieprodukte, Photovoltaikmodule, Fahrzeuge wie LKWs, Traktoren und Mopeds und Sportgeräte wurden genannt,
- Aufgrund der Vielfältigkeit ist die gezielte Sammlung speziell von Elektroaltgeräten schwierig.

##### Meinungen über bisherige Sammel- und Logistiksysteme für Abfälle und Reststoffe, welche kritische Rohstoffe enthalten

- Thema Wertstofftonne → im Haushaltsbereich landen viel Wertstoffe im Restmüll,
- Motivation der Bürger schlecht → Gebühr → Bürger sieht für sich keinen Nutzen, Anreizsysteme müssen geschaffen werden,

- Sammlung bei Elektroaltgeräten auf hohem Niveau → Meinungsbildung wichtig um Fehlwürfe zu vermeiden, derzeit gratis Abgabe von Kunden bei Entsorgungsbetriebe und Abfallsammelzentren,
- Aufteilung in Monofractionen unter Berücksichtigung von kritischen Rohstoffen sinnvoll,
- Wichtig: Abfallprodukte sollen in österreichischer Hand bleiben → Rechtlicher Rahmen → Verhinderung von Wertstoffabflüssen ins Ausland,
- Die aktuellen 5 Sammel- und Behandlungskategorien waren bisher hilfreich, jedoch muss es zu Änderungen in der Zukunft kommen (z.B. IT – Geräte weg von „Staubsaugern“ hin zu Kleingeräten),
- Wechsel von Sammelsystemen notwendig → Selektives Sammeln,
- Potenziale für eine bessere Erfassung sind vorhanden → Frage: Wo ist die volkswirtschaftliche Grenze? → Bisherige Systeme ökologisch und ökonomisch tragfähig,
- Die Erfassungsquote einiger Materialströme geht gegen Null z.B. RFID Chips → wandert über Konsument in Restmüll oder über Papierschachteln in das Altpapier,
- Herausforderung: Bürger nicht mit komplexen Sammelsystemen überlasten,
- Aufkonzentrierung relevanter Stoffströme notwendig,
- Neue Sammelsysteme müssen mit technologischer Entwicklung einhergehen,
- Weg vom Besitz zur Nutzung → Produkt zurück zum Verkäufer,
- Derzeitige Sammelsysteme nicht auf kritische Rohstoffe ausgelegt → Wir sammeln Rechtsbegriffe und keine Stoffströme,
- Recyclingquoten sollten spezifiziert werden (z.B. 100 % Recyclingquote oder z.B. Glas 100 %, Kunststoff 80 %, kritischer Rohstoff x zu y %),
- Konsumgüter, welche weniger als 1 Jahr genutzt werden, sollten keine kritischen Rohstoffe enthalten,
- Vorgaben an Produzenten,
- Im Industriebereich ein sorgsamerer Umgang bei der Sammlung wertstoffreicher Abfälle.

## Technologien

### Produkte und Produktgruppen mit dem größten Rückgewinnungspotenzial an kritischen Rohstoffen

- Größtes Rückgewinnungspotenzial von kritischen Rohstoffen wird bei Elektroaltgeräten und Altautos gesehen,
- Potenziale beinhalten auch Müllverbrennungsschlacke → Rückstände aus z.B. Schmuck, Münzen, EAGs → Rückgewinnung von Platin, Palladium, Indium, Gallium, Silber und Gold
- Industrieschlacke z.B. Schlacke aus Kupferhütten

### Bestehende Aufbereitungs- und Recyclingtechnologien für die Rückgewinnung kritischer Rohstoffe im Hinblick auf die Zukunft

- Mengen in Österreich relativ gering, Kooperationen mit Partnern notwendig,
- Know How wichtig → In welchen Produkten sind welche Werkstoffe in welcher Form enthalten,
- Bisherige Technologien reichen für die Rückgewinnung von Massenmetallen wie z.B. Eisen oder Kunststoffen, die in größeren Mengen in Produkten vorhanden sind, für kritische Rohstoffe (geringe Mengen) reichen diese Technologien nicht aus,
- Es gibt zwar Verfahren, jedoch gibt es in der Großindustrie keine Verfahren die wirtschaftlich tragbar sind,
- Problem: Verlust bei Voraufbereitung → z.B. Leiterplatten,
- Die Recyclingtechnologie ist eine relativ junge Technologie (ca. 20 Jahre alt),
- Einzelne kritische Metalle nur teilweise rückgewinnbar, Frage: Ist eine Rückgewinnung technisch möglich?
- Marktabhängigkeit (der Markt reguliert) → z.B. 2008 Anstieg der Metallpreise → Entsorger waren bestrebt mehr Metalle rückzugewinnen, Industrie forcierte den Einsatz von Sekundärrohstoffen,
- Wirtschaftlicher Aspekt → was kann wirtschaftlich rückgewonnen werden, gibt es der Markt her → der derzeitige Markt gibt eine wirtschaftliche Aufbereitung nicht her,
- Abhängig vom Inhalt → Welcher Stoff ist mit welchem Gehalt vorhanden, zudem spielt der Wert des Stoffes eine wesentliche Rolle,
- Durch die Aufbereitung einzelner Stoffe können andere Stoffe zerstört bzw. die Rückgewinnung verhindert werden,

### Aktuell rückgewonnene kritische Rohstoffe

- Differenzierung wichtig: für die Rückgewinnung des Großteils an Seltenen Erden sind die bisherigen Technologien nicht ausreichend, für Edelmetalle wie Gold, Silber oder Platin schon,
- Edelmetalle werden z.B. aus Rückständen rückgewonnen,
- Rückgewinnung von z.B. Neodym aus Legierungen,
- Chrom, Nickel, Molybdän aus legierten Stählen,
- Viele Metalle werden in Österreich an unterschiedlichen Orten aufbereitet, der Verwertungsweg ist oft verzweigt,
- Aufbereitung von Spänen (Schnellarbeitsstähle) meist intern.

### Herausforderungen

- Steigender Elektronikanteil in Fahrzeugen,
- Genaues Datenmaterial oft nicht bekannt, z.B. teilweise mehr Katalysatoren als Altfahrzeuge vorhanden,
- Geringer Einsatz kritischer Rohstoffe bei der Produktion,

- Verbesserung der Produktinformation → Wo ist was enthalten ?
- Entwicklung neuer Aufbereitungstechnologien für Hauptströme (EAG, AFZ)
- Ganze Kette wichtig von der Sammlung bis zum metallurgischen Verfahren, Potenziale vorwiegend bei metallurgischen Prozessen vorhanden,
- Informationen Lebenszyklus → die Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette müssen den Inhalt der Produkte kennen und wissen in welchen Mengen der jeweilige Rohstoff enthalten ist,
- Wie bekomme ich die jeweiligen Produkte bzw. Rohstoffe logistisch zurück?
- Wie bekomme ich die kritischen Rohstoffe technisch aus den Produkten zurück?
- Wie sind die Sekundärrohstoffströme aufzubereiten und zu behandeln, dass sie wieder eingesetzt werden können (Qualität!!!)?
- Produzent schafft Rohstofflager → Produzent muss im Eigentum seiner Rohstoffe bleiben.

#### Voraussetzungen / Rahmenbedingungen

- Steigerung der Produzentenverantwortung über gesamten Lebenszyklus, Recyclinglösung richtet sich nach Produzenten, Informationen von Produzenten (Was, Wo, Wieviel und in welcher Form?),
- Genaue Zuordnung der Stoffe im jeweiligen Produkt, Planung von leichten Ausbaueisen,
- Kooperation zwischen Produzenten und Abfallwirtschaft gehört gestärkt,
- Höhere Garantieleistungen,
- Man lässt nur gewisse Produkte zu, welche Kriterien erfüllen → Bringschuld für Hersteller (muss nachgewiesen werden),
- Man muss als Produzent einen Recyclingpartner vorweisen, Änderung der Geschäftsmodelle,
- Wirtschaftliche Rahmenbedingungen auf EU-Ebene müssten geschaffen werden,
- Alternativen zum Kauf (= Besitz von hochwertigen Produkten) z.B. Car Sharing,
- Stärkung der Reparaturbetriebe durch neue EAG-Verordnung,
- Ausbau der Reparaturbetriebe und Schulungen der Mitarbeiter zukünftig wichtig,
- Einführung eines Ankaufstests bzw. Quickttests für Gebrauchskontrolle → § 57a Gutachtergenehmigung,
- Ausdehnung der KFZ-Steuer auf Besitzsteuer → Ziel schnellerer Verkauf oder Verschrottung, Verkauf mit Kaufvertrag,
- Einheitliches Datenmanagement in Hinblick auf Zulassungen in Europa,
- Wenn ein Stoff Erlöse bringt sollte er kein Abfall sondern ein Wertstoff sein,
- Stabile und berechenbare Rahmenbedingungen wichtig,
- Teilweise unterschiedliche Grenzwerte allein in Österreich → Wettbewerbsnachteil

### Abfallwirtschaft und Produktinnovation

- Informationspolitik teilweise vorhanden z.B. zwischen Schredderbetrieben und Autoherstellern,
- Kontaktaufbau und Zusammenarbeit hinsichtlich des Produktlebenszyklus mit Produzenten,
- Großer Innovationstakt von Produkten, Analyse über Produkte dauern vergleichsweise zu lange, Informationsfluss kommt nicht durch → Produkte werden z.B. in China produziert und sollten hier recycelt werden,
- Thema: neben Rohstoffpotenzial auch Gefahrenpotenzial z.B. Lithium Ionen Batterien bei neueren Elektrogeräten,
- Problem Zerlegbarkeit → Produkte müssen so gestaltet werden, dass eine Trennung möglich ist, für Wertstoffrückgewinnung ist die Zerlegung wichtig, durch Zerschlagung kann es zu Verunreinigungen kommen,
- Information der Inhalte essenziell z.B. können Alkalibatterien nicht mit Lithium-Ionen-Batterien zusammen aufbereitet und verwertet werden.

### **Forschung und Entwicklung**

#### Kooperationen

- Es gibt teilweise Kooperationen im Automobilbereich, jedoch ist die Kommunikation und Zusammenarbeit von Produzent zu Produzent unterschiedlich, z.B. Einschulung der Mitarbeiter von Schredderbetrieben bei Autoherstellern wie man Autoelemente ausbaut,
- Kooperationen zwischen Entsorgungsunternehmen, Universitäten und Aufbereitungsfirmen vorhanden,
- Teilweise gibt es einen Austausch, jedoch sind oft mehr Informationen für die Aufbereitung notwendig, derzeit erfolgt die Einbindung erst wenn das Produkt bereits Abfall ist.
- Zum Großteil gibt es keine Zusammenarbeit bzw. Informationen

#### Beitrag Produzenten für ein besseres Recycling

- Produktdesign,
- Rückgabesysteme → Nutzung statt Besitz (Weg vom Statussymbol),
- Informationen an Verwerter z.B. ist das Produkt recyclingwürdig?,
- Anlegen von Bestandsdatenblätter (was, wie, wo) in einer Datenbank für eine Informationbereitstellung zur wirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Hinterfragung der Aufbereitung,
- Verbessertes Bewusstsein → die Sicht für Produkte als Rohstofflager soll geweckt werden.

### Beitrag Abfallwirtschaft für ein besseres Recycling

- Betrachtung des gesamten Kreislaufes Sammlung, Aufbereitung bis zur Rückgewinnung, Aufkonzentrierung wichtig, diese sollte jedoch vom Endkunden her beginnen,
- Wesentlich für die Abfallwirtschaft ist die Informationsbeschaffung vom Produzenten,
- Erarbeitung von spezifischen Konzepten z.B. Recycling von Lithium-Ionen Batterien
- Kenntnisse über Produkte erhöhen, Einbindung in Produktionsprozesse,
- Gründung von strategischen Partnerschaften → ein Produzent kann darstellen, dass sein Auto bei einem Partnerschredderbetrieb entsorgt wird.

## 10.2 Workshop

Am Mittwoch den 04.02.2015 fand ein interaktiver Workshop mit dem Auftragsministerium (BMVIT), den am Projekt beteiligten Lehrstühlen und beteiligten Partnern aus der Entsorgungsbranche sowie der produzierenden Industrie an der Montanuniversität in Leoben statt. Nach einem Impulsvortrag mit der Präsentation von Ergebnissen wurde in Form einer Gruppenarbeit mit der Methode "World Café" an drei Tischen folgende projektspezifische Fragestellungen abgehandelt:

- (1) Welche Rahmenbedingungen (rechtlich, ökonomisch, förderlich etc.) motivieren/unterstützen/helfen der verstärkten Sammlung und Verwertung von kritischen Rohstoffen in Österreich?
- (2) Wie kann das Potenzial an kritischen Rohstoffen durch gezielte Erfassung (Sammlung, Logistik) verfügbar gemacht werden?
- (3) Wie unterstützen wir in Österreich den Aufbau und die Entwicklung von Verwertungstechnologien?

### **Allgemeines zur Workshop-Methode WORLD CAFE?**

Bei der Methode des World Café wird in einer entspannten Atmosphäre ein kreativer Prozess in Gang gesetzt, der über mehrere Gesprächsrunden den Austausch von Wissen und Ideen unter den Beteiligten fördert und so zu neuen Erkenntnissen führt.

- Gruppengröße: 11 Personen
- Dauer: 15 bis 20 Minuten pro Runde und Frage
- Vorbereitung: Tische, wie in einem Café, für 4-6 Personen zusammengestellt
- Material: Flipcharts, Stifte, Klebstreifen, Kärtchen

Bei dieser strukturierten Methode finden 3 aufeinander aufbauende Gesprächsrunden zu je 15 Minuten statt. Dabei finden sich 3 bis 4 Personen in einer ungezwungenen Atmosphäre an einem Tisch zusammen. Sie setzen sich mit einem konkreten Thema bzw. mit den gestellten Fragen auseinander. Nach der ersten Gesprächsrunde (akustisches Zeichen) verlassen die

Teilnehmer ihren Tisch und mischen sich an einem anderen Tisch neu. Ein Tischgastgeber bleibt jeweils am Tisch zurück. Diese gibt den neu Ankommenden die wesentlichen Gedanken der Vorrunde in das Gespräch mit, während die „Reisenden“ ebenfalls die Gedanken weiter tragen. Gedanken und Diskussionsergebnisse werden am Flipchart in beliebiger Form dokumentiert. Kreative Darstellung ist ausdrücklich erwünscht. Nach mehreren Gesprächsrunden werden an jedem Tisch die wichtigsten Ergebnisse gesammelt und der gesamten Gruppe vorgestellt. Abschließend werden im Plenum die Ergebnisse reflektiert und diskutiert. [193]

Neben den 3 zentralen Fragestellungen, welche im Zuge des interaktiven Workshops behandelt wurden, bestand auch die Möglichkeit zu folgenden Themen Ideen einzubringen:

- Altfahrzeuge
- Elektroaltgeräte
- Schlacken/Schlämme
- Industrielle Prozesse

### **Ergebnisse**

Die Ergebnisse aus den erarbeiteten Flipcharts im Zuge der Diskussionen und des Gedankenaustausches für die drei Fragestellungen werden folglich stichwortmäßig separat dargestellt:

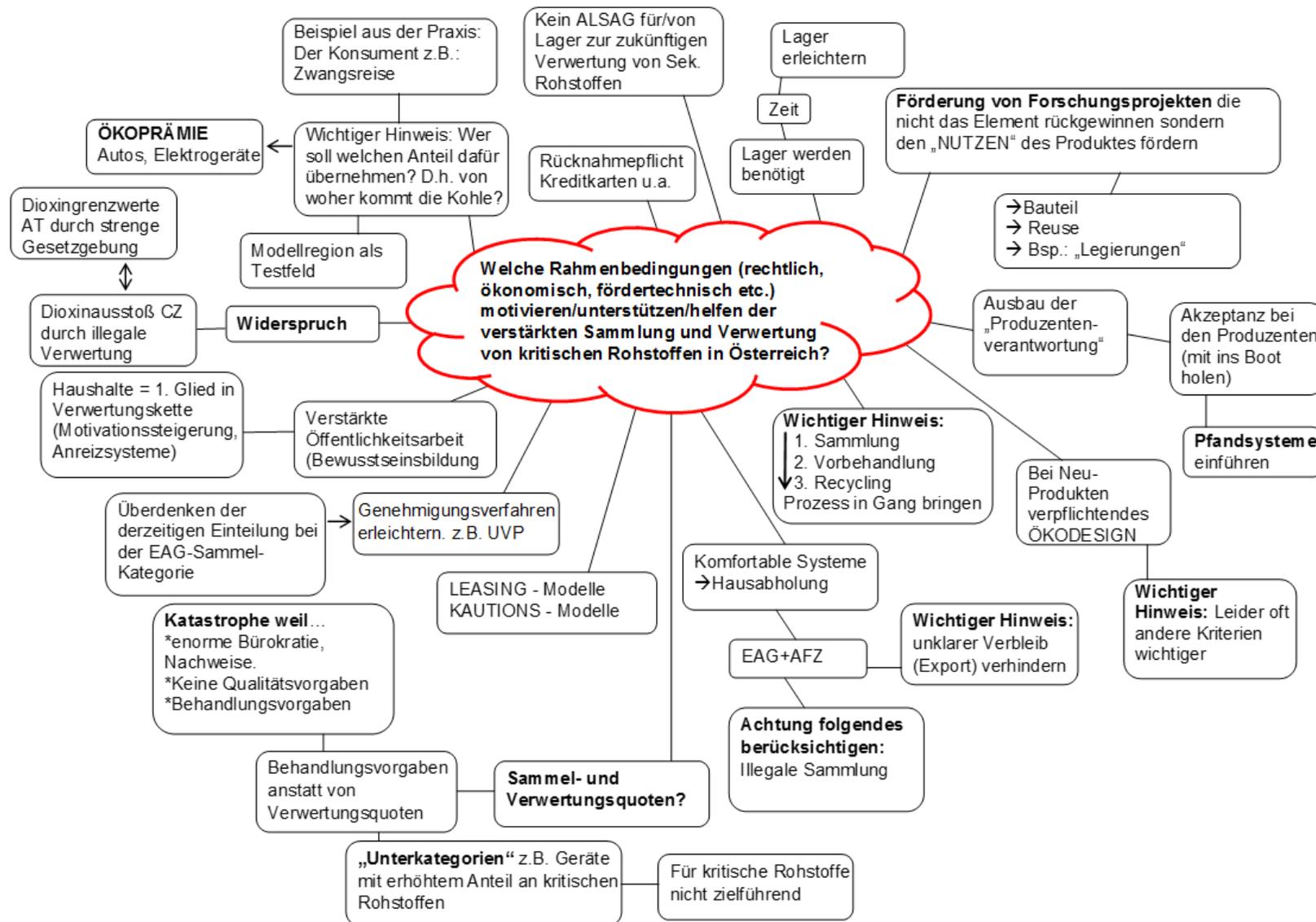


Abbildung 67: Zusammengefasste Ideen zur Fragestellung 1 „Rahmenbedingungen“ während des „World Cafes“

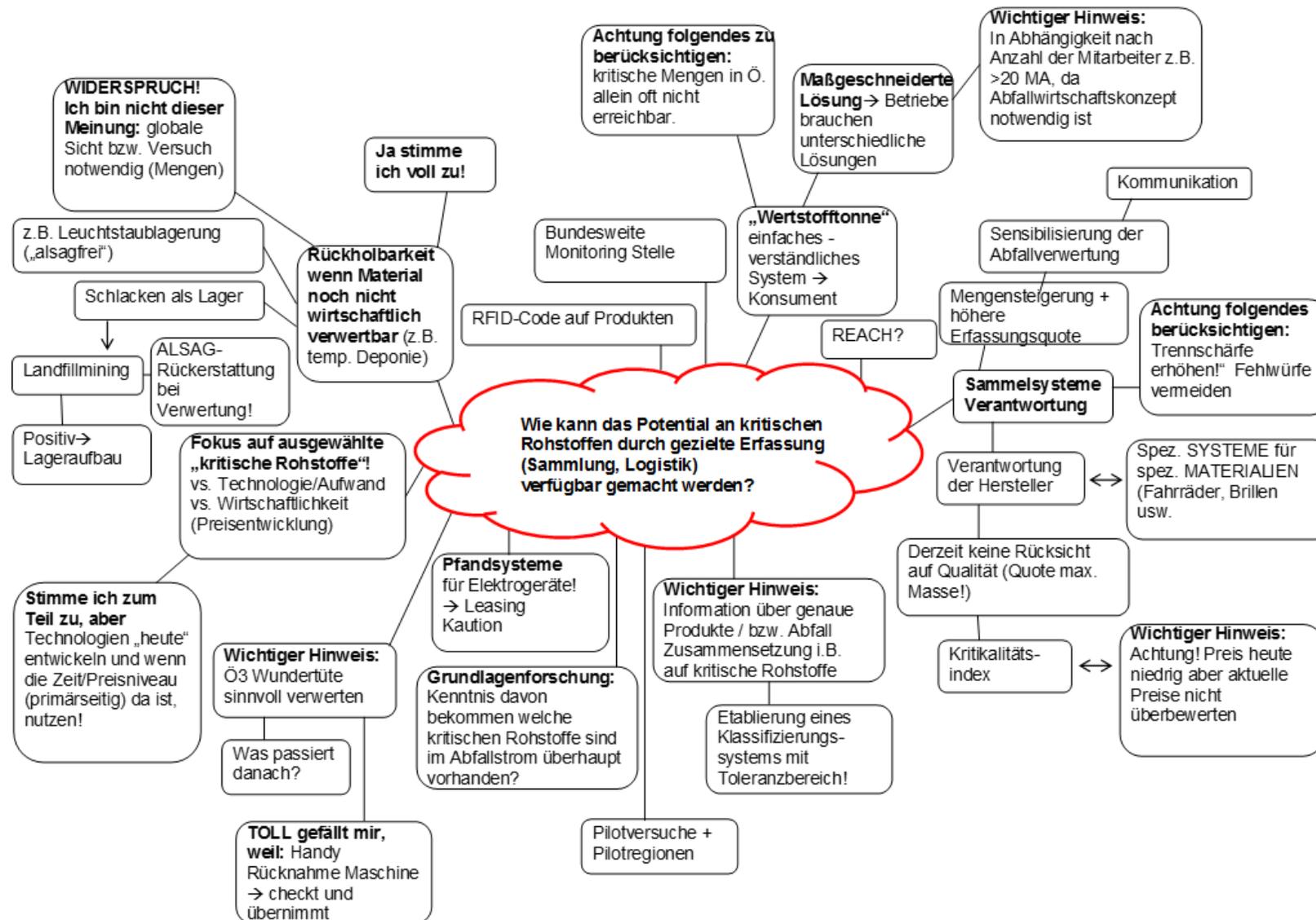


Abbildung 68: Zusammengefasste Ideen zur Fragestellung 2 „Sammlung“ während des „World Cafes“

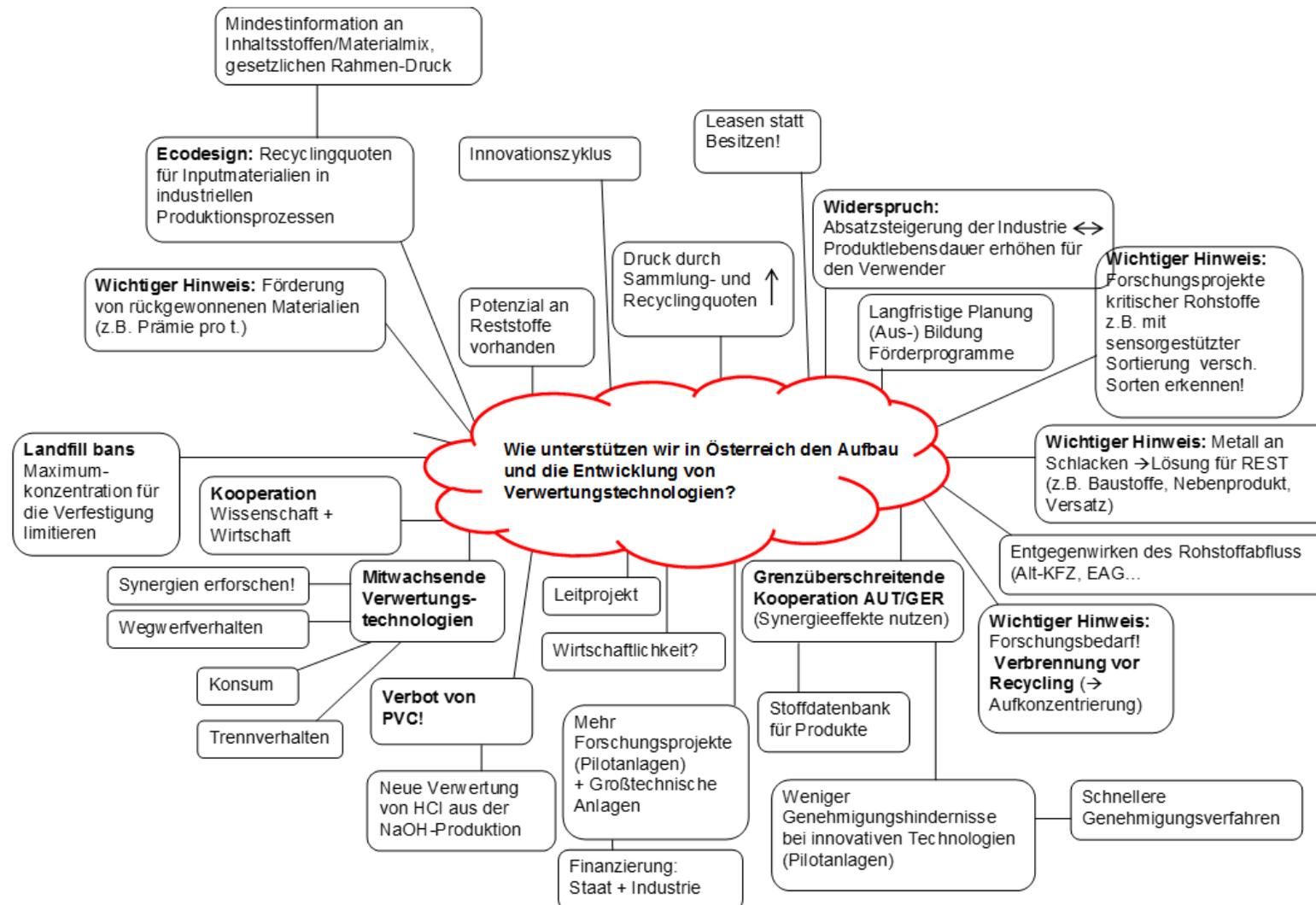


Abbildung 69: Zusammengefasste Ideen zur Fragestellung 3 „Verwertungstechnologien“ während des „World Cafes“

## 11 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Ergebnisse und wesentlichen Erkenntnisse aus dieser Studie einschließlich des damit einhergehenden Stakeholderprozesses (Expertengespräche und interaktiver Workshop) werden anschließend in der sekundärrohstoffspezifischen Roadmap zusammenfassend dargestellt.

Grundsätzlich zeigte sich, dass für die jeweiligen kritischen Rohstoffe in Österreich durchaus wesentliche Potenziale aus Sekundärquellen bestehen, welche derzeit in unterschiedlichen Ausmaßen genutzt werden. Darüber hinaus kann für den betrachteten zukünftigen Zeitraum bis 2030 großteils von einem weiteren Wachstum der theoretischen rückgewinnbaren Mengen ausgegangen werden.

Für 10 definierte Metalle wurde das theoretische Sekundärpotenzial für das Jahr 2013 sowie für das Prognosejahr 2030 anhand der Betrachtung von insgesamt 21 Produkten bzw. Produktgruppen bestimmt. Das größte Potenzial im Jahr 2013 kann dabei für Silber mit einer Menge von 2.835 kg festgestellt werden, für Gold beläuft sich dieses auf 525 kg. Elektrokleingeräte bilden mit einem Anteil von rd. 70 bzw. 54 % gemessen am Gesamtpotential die bedeutendste Quelle dieser beiden Wertmetalle. Das ermittelte Rohstoffpotenzial für Palladium von 511 kg und Platin von 276 kg kann fast vollständig auf Altfahrzeuge bzw. Katalysatoren rückgeführt werden. Hier kann jedoch von einem wesentlichen Verlust ausgegangen werden, da rd. 74 % der ausgeschiedenen Altfahrzeuge im Jahr 2013 unklar verblieben sind. Bei den Seltenen Erden konnten die größten Potenziale bei Neodym mit 1.545 kg identifiziert werden. Diese beziehen sich hauptsächlich auf PCs, Notebooks und Altfahrzeuge. Die Hauptanteile von Cer mit 186 kg und Yttrium mit 854 kg sind in den Beleuchtungstechnologien, hier vorwiegend bei Leuchtstofflampen, zu finden. Die theoretischen Wolframaufkommen von 209 kg beziehen sich vorwiegend auf Elektrokleingeräte, da davon ausgegangen werden kann, dass Wendeschneidplatten ausschließlich im industriellen Umfeld gesammelt werden und anschließend einem Recyclingprozess zugeführt werden. Das zur Verfügung stehende Potential wurde für Indium mit 194 kg, vorwiegend aus LCD-TVs, Altfahrzeugen sowie DVD-Playern, bestimmt. Das geringste Potenzial aus Sekundärquellen wurde für Gallium mit 46 kg festgestellt. Das tatsächlich zur Verfügung stehende Potenzial der einzelnen Metalle für eine mögliche Rückgewinnung ist in erster Linie von der Sammeleffizienz von wertstoffreichen Produkten bzw. Produktgruppen abhängig. Für 2030 ist ein erhöhtes Rohstoffpotential vor allem bei Neodym, bedingt durch den Ablauf der Nutzungsdauer bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen sowie bei Windkraftanlagen mit Direct Drive und Hybridsystemen zu erwarten. Resultierend aus dem zu erwartenden Bevölkerungsanstieg kann von zunehmenden Absatzzahlen im Bereich der Konsumgüterindustrie ausgegangen werden, wodurch das Potenzial aus Sekundärquellen stetig steigt und somit vermehrt an Bedeutung gewinnen wird.

Das theoretisch zur Verfügung stehende Potenzial sollte neben anderen dafür notwendigen Maßnahmen für eine zukünftige Sicherung der Rohstoffverfügbarkeit zu einem signifikant höheren Anteil genutzt werden. Essenziell dabei ist die Verbesserung der gesamten Produkt-

lebenszyklen von den Rohstoffen über die Produkte mit ihrer Nutzungsphase, Abfallwirtschaft, Aufbereitung und Metallurgie bis hin zur neuerlichen Herstellung der jeweiligen Produkte.

Dazu müssen nicht nur die jeweiligen Schritte für sich optimiert werden wie u.a. die Sammlung, sondern der vollständige Kreislauf gesamtheitlich betrachtet werden. Dafür ist u.a. ein verbesserter Informationsaustausch und gesteigerte Kooperation zwischen den jeweils beteiligten Produzenten, Entsorgungsunternehmen, Aufbereitungsunternehmen und metallurgischen Betrieben, Forschungseinrichtungen wie Universitäten etc. anzustreben.

Auch wenn derzeitige Rahmenbedingungen (Marktpreise, etc.) oftmals eine Nutzung und Verwertung von bestimmten sekundären Rohstoffen unattraktiv erscheinen lassen, sind dennoch entsprechende Maßnahmen (vor allem zeitintensive Forschung und Entwicklung im Hinblick auf geeignete Recyclingverfahren) zu treffen, um zukünftig auf geänderte Marktbedingungen ausreichend rasch reagieren zu können.

## 12 Roadmap

Aufbauend auf dem interaktiven Workshop und den Untersuchungen im Zuge der Studie „Quantitative und qualitative Identifikation von relevanten sekundären Stoffströmen in Österreich“ werden die folgenden, nach den vier Kategorien Rahmenbedingungen, Sammlung und Logistik, Technologien sowie Forschung und Entwicklung gegliederten Empfehlungen abgeleitet.

### 12.1 Rahmenbedingungen

#### Ecodesign

- Überprüfung der Recyclingfähigkeit einzelner Materialien/Werkstoffe bzw. Komponenten vor der Produktion von Produkten
  - Durch Kooperationen von Werkstoffentwicklern mit Unternehmen aus dem Bereich Recyclingtechnik soll es zu einer optimierten Rückgewinnung von Wertstoffen am Ende der Produktnutzungsphase kommen.
- Entwicklung von Aufbereitungs- und Verwertungstechnologien möglichst parallel zur Produktentwicklung
  - Aufgrund der kurzen Innovationszyklen einhergehend mit der hohen Komplexität von Technologieprodukten soll die Entwicklung von Recyclingtechnologien parallel mit der Entwicklung von Produkten stattfinden.
- Stärkung der Zusammenarbeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette
  - Im Wesentlichen stellt die Stärkung der Zusammenarbeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Produktion über die Sammlung bis hin zur Aufbereitung und dem Recycling zukünftig einen wesentlichen Faktor für eine erhöhte Wertstoffrückgewinnung aus Sekundärquellen dar.
- Forderung und Förderung von Recyclingüberlegungen
  - Bei geförderten Produkt-, Material- und Verfahrensentwicklungen sollen Recyclingüberlegungen inkl. End of Life Lösungen gefordert und speziell gefördert werden.

#### Monodeponien

- Kein Altlastensanierungsbeitrag für Monodeponien deren Abfälle kritische Rohstoffe für eine zukünftige Verwertung beinhalten
  - Die Lagerung bzw. Zwischenlagerung von wertstoffreichen Abfällen auf Monodeponien zieht Altlastensanierungsbeiträge und möglicherweise hohen Betriebsgenehmigungsaufwand mit sich, was den Aufbau von solchen

- Wertstofflagern ökonomisch unattraktiv macht. Jedoch weisen Monodeponien hinsichtlich des spezifischen Inhaltes ein hohes Recyclingpotenzial in Hinblick auf kritische Rohstoffe auf.
- Fallweise kommt es temporär zu einem relativ geringen Mengenanfall von wertstoffreichen Abfällen. Durch den gezielten Lageraufbau über einen längeren Zeitraum, könnten Wertstofflager mit relevanten Mengen an Abfällen ähnlicher Zusammensetzung geschaffen werden.

### **Einführung von Pfand-, Leasing- und Kautionsmodellen**

- Stärkung der Produzentenverantwortung für Produkte mit kritischen Rohstoffen durch Forcierung von Pfand-, Leasing- und Kautionsmodellen
  - Durch verschiedene spezifische Modelle soll weg vom Besitz der Produktnutzen in den Vordergrund rücken und einzelne Produkte wieder zurück zum Hersteller gelangen – beispielsweise durch eine Rücknahmeverpflichtung beim Neukauf von Produkten oder für spezielle Konsumgüter (z.B. e-Card, Kredit- und Bankomatkarten).

### **Überdenken von Recyclingquoten**

- Berücksichtigung von kritischen Rohstoffen bei Recyclingquoten durch Quotenspezifizierung oder stärkere Gewichtung von kritischen Metallen
  - Bei den vorgegebenen Recyclingquoten handelt es sich um massenbezogene Quoten, welche vorwiegend Anreize für die Rückgewinnung von Massenrohstoffen liefern. Aufgrund des normalerweise geringen Anteils von kritischen Rohstoffen an der Gesamtmasse einzelner Produkte ist deren Rückgewinnung hinsichtlich der vorgegebenen Recyclingquoten eher unattraktiv.
  - Eine Spezifizierung der Quote auf einzelne Materialien (z.B. Kunststoffe 90 %, Kritische Metalle 1%) oder eine stärkere Gewichtung der Rückgewinnung von kritischen Metallen könnten Alternativen darstellen.

### **Betriebseigene Reststoffe**

- Rechtliche Privilegierung von betriebseigenen Reststoffen, welche eine hohe Rohstoffrelevanz aufweisen
  - Anfallende betriebseigene Reststoffe (z.B. Schlacken, Stäube etc.), welche eine hohe Relevanz hinsichtlich kritischer Rohstoffe aufweisen, sollen rechtlich privilegiert werden (Stichwort „Nebenprodukt“) und nicht in den Geltungsbereich des AWGs fallen.
- Verstärkter Aufbau von branchenspezifischen Netzwerken
  - Für die Rückgewinnung von Wertstoffen sollen branchenspezifisch Netzwerke verstärkt aufgebaut und kooperative Forschungsprojekte durchgeführt werden (z.B. Förderschiene COIN)

- Externe Umarbeitung von Produktionsabfällen
  - Für Produktionsrückstände, welche im Besitz des Unternehmens bleiben, aber externe Firmen zur Umarbeitung erfordern, um die enthaltenen Wertstoffe zurückzugewinnen, sollen die rechtlichen Rahmenbedingungen verbessert werden. Die Hersteller von Werkstoffen bzw. Produkten sind zumeist keine Recyclingspezialisten. Ausnahmeregelungen im AWG dazu wären sinnvoll.
- Kooperation Werkstoffwissenschaft – Recyclingtechnologie: Bonus bei Förderquoten
  - Antragsteller bei Produktion der Zukunft, etc. erhalten eine höhere Förderquote, wenn im Projekt zur Entwicklung innovativer Materialien oder Produkte gleichzeitig auch Recyclinglösungen (Verfahrensentwicklung, etc.) für diese untersucht werden. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass deren Entwicklung nicht erst erfolgt, wenn diese Produkte bzw. Materialien nach der Nutzungsdauer in die Abfallwirtschaft gelangen.

## 12.2 Sammlung und Logistik

### Rohstoffrelevante Sammlung

- Implementierung einer flexiblen rohstoffrelevanten Bringsammlung
  - Die fünf Sammel- und Behandlungskategorien nach der EAG-VO sind nicht auf die Erfassung wertstoffrelevanter Elektroaltgeräte ausgelegt.
  - Durch den Aufbau einer geeigneten Infrastruktur kann die Möglichkeit einer Bringsammlung für relevante Produkte in ausgewählten Abfallsammelzentren geschaffen werden. Dies könnte bundesländerspezifisch in den jeweiligen AWGs reglementiert werden.

### Informationen und Kennzeichnungen

- Schließung der Informationslücken durch verstärkte Kooperationen zwischen Produzenten und Entsorgern und den Aufbau von Datenbanken
  - Um eine Rückgewinnung relevanter Wertstoffe zu erleichtern, gehören die Informationslücken der Verwerter in Bezug auf Inhalte und Vorkommen einzelner Metalle in unterschiedlichen Produkten bzw. Produktgruppen oder Komponenten geschlossen.
  - Kooperationen und Zusammenarbeit zwischen Produzenten und Entsorgern in Form von Schulungen für Mitarbeiter z.B. für die Demontage einzelner relevanter Bauteile.
  - Aufbau von Datenbanken für modellspezifische Informationen über Materialzusammensetzungen sowie Art, Inhalt und Vorkommen einzelner kritischer Rohstoffe in unterschiedlichen Bauteilen und Komponenten von Produkten und Produktgruppen.

- Alternativ könnte ein Klassifizierungssystem mit Toleranzbereichen etabliert werden. Dadurch ist der Hersteller nicht verpflichtet den genauen Anteil an kritischen Metallen bekannt zu geben.

### Landfillmining

- Rückerstattung des Altlastensanierungsbeitrages bei Landfill Mining - Projekten
  - Bei der Rückholung und weiteren Verwertung von rohstoffrelevanten Abfällen aus temporären Deponien (z.B. Schlackendeponien) in Form eines „Landfill Minings“ könnten die Altlastenbeiträge rückerstattet werden um die Rückgewinnung zu fördern und zu attraktivieren.

### Rohstoffabfluss verhindern

- Eindämmung von Abfallexporten
  - Durch die Sammeltätigkeit und den Export von Altfahrzeugen und Elektroaltgeräten durch unbefugte Personen und Organisationen kommt es in Österreich jährlich zum Abfluss wertstoffreicher Sekundärrohstoffmengen. Eine Eindämmung auf rechtlicher sowie auf informativer Ebene ist essentiell um die Erfassungsrates von wertstoffrelevanten Abfallströme zu erhöhen. Entsprechende Regelungen im AWG sind zu prüfen.

## 12.3 Technologien

- Innovative Sortierung
  - Erläuterung: Durch neuartige Technologien (Hard- und Software) zur Sortierung (z.B. Kombination unterschiedlicher Sensoren, ...) soll deren Effizienz signifikant gesteigert werden, so dass die gewonnenen Fraktionen eine verbesserte metallurgische Verwertbarkeit aufweisen.
- Metallurgie neuartiger Sekundärrohstoffe
  - Erläuterung: Für Reststoffe, die trotz ihrer hohen Wertmetallgehalte aufgrund ihrer Störstoffgehalte, etc. derzeit nicht verwertbar sind, sollen adaptierte bzw. neue metallurgische Prozesse entwickelt werden. Beispielsweise dürfen W-haltige Rückstände bisher nur max. 0,5 % Al; 0,3 % Mo und 0,2 % V enthalten, um ein Recycling zu ermöglichen.
- Systemoptimierung mechanisch/thermische Vorbehandlung – Metallurgie
  - Durch die gegenseitige Abstimmung der aufeinanderfolgenden Prozessschritte (Aufbereitung/Verwertung) soll eine signifikante Steigerung

des Ergebnisses erzielt werden. Das Gesamtoptimum resultiert nicht aus den Optima der jeweiligen Teilschritte.

## 12.4 Forschung und Entwicklung

### Überarbeitung der Forschungsförderungslandkarte

- Thematische kooperative Projekte im Umweltbereich (Ressourcen und Recyclingbereich), welche anwendungsorientierte Lösungen bzw. Ansätze unterstützen, fehlen (siehe R – Förderschiene in D)
  - Sollte die Thematik im Bereich der industriellen Produktion (Produktion der Zukunft – anwendungsorientiert) wegfallen bleiben nur noch themenoffene Ausschreibungen die extrem grundlagenorientiert (Bridge) sind oder anwendungsnahe Basisprogramme.

### Integration von Recyclingfähigkeit

- Bei geförderten Produkt- Material- und Verfahrensentwicklungen sollen Recyclingüberlegungen inkl. End of Life (EoL) Lösungen gefordert und gefördert werden

### Unterstützung von Leuchtturmprojekten

- Unterstützung und Umsetzung von Leuchtturmprojekten zum Thema „Recycling kritischer Rohstoffe“ (Beispiele Stäube, Schlämme etc.)

### Förderung folgender thematischer Schwerpunkte

- Sensorgestützte Sortierung
- Kooperation Werkstoffwissenschaft – Recyclingtechnologie
- Kombination von mechanischer und thermischer Vorbehandlung mit metallurgischer Verwertung
- Entwicklung metallurgischer Verfahren für spezielle Sekundärstoffströme, welche hinsichtlich ihrer Zusammensetzung nach aktuellem Stand der Technik nicht verwertbar sind (Elementkombinationen)
- Flexible rohstoffrelevante Bringsammlung

## 13 Verzeichnisse

### 13.1 Literatur

- [1] U.S. Geological Survey: Mineral Commodity Summaries 2014. Virginia, 2014.
- [2] British Geological Survey: European Mineral Statistics 2008–12, 2014.
- [3] Europäische Union: Critical Raw Materials for the EU: Report of the Ad-hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials, [http://ec.europa.eu/enterprise/policies/rawmaterials/critical/index\\_de.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/rawmaterials/critical/index_de.htm), Zugriff: 14.8.2011.
- [4] European Commission: 20 critical raw materials – major challenge for EU industry. Pressrelease IP/14/599, 26.05.2014, 2014.
- [5] Reichl, C. et al.: World Mining Data. Wien, Österreich, 2014.
- [6] Pilarsky, G.: Wirtschaft am Rohstofftropf – Der Kampf um die wichtigen mineralischen Ressourcen. DOI 10.1007/ ISBN 978-3-658-00363-0\_2, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014.
- [7] Bardt, H.: Recycling gegen Rohstoffrisiken? Rohstoffsicherung als Herausforderung für den Industriestandort Deutschland. Recycling und Rohstoffe, Band 4, Thome-Kozmiensky, K. J. and D. Goldmann (Hrsg.), 2011. S. 15–21.
- [8] Schüler, D. et al.: Study on Rare Earths and Their Recycling. Öko-Institut e.V. (Final Report for the Greens/EFA Group in the European Parliament), 2011.
- [9] Holnsteiner, R.: Österreichische Rohstoffstrategie - Beitrag zur Rohstoffsicherung. Recycling und Rohstoffe, Band 8, Thome-Kozmiensky, K. J. and D. Goldmann (Hrsg.), 2015. S. 47–54.
- [10] United Nations Environment Programme: Recycling Rates of Metals – A Status Report, 2011.
- [11] Die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG): Definition: Kritische Rohstoffe und potentiell kritische Rohstoffe mit Bezug auf Österreich, 2012.
- [12] Die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG): Definition: Kritische Rohstoffe und potentiell kritische Rohstoffe mit Bezug auf Österreich, 2014.
- [13] European Commission: Report on critical raw Materials for the EU – Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials, 2014.

- [14] Angerer, G. et al.: Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung IZT GmbH, 2009.
- [15] Krutzler, T. et al.: Ressourcenverbrauch der Industrie in Österreich – Analyse und Ausblick für die bedeutendsten Branchen und seltene Metalle. Wien, 2012.
- [16] United Nations Environment Programme: Critical Metals for Future Sustainable Technologies and their Recycling Potential, 2009.
- [17] World Gold Council: Gold demand trends - Full year 2014, 2014.
- [18] Chancerel, P.: Substance flow analysis of the recycling of small waste electrical and electronic equipment. Dissertation, Berlin: ITU-Schriftenreihe, 2010.
- [19] Reuters, T.: World Silver Survey 2014 – A Summary, 2014.
- [20] Fortis Bank Nederland/VM Group: Silver Book, 2010.
- [21] Johnson Matthey: „Palladium Supply and Demand.“ Palladium Demand by Application: Regions 2013, <http://www.platinum.matthey.com/documents/market-data-tables/palladium/pdf-2004-to-2013.pdf>, Zugriff: 20.04.2015.
- [22] Oakdene Hollins Ltd.: Study into the feasibility of protecting and recovering critical raw materials through infrastructure development in the south east of England. Annexes, 2011.
- [23] Johnson Matthey: „Platinum Supply and Demand.“ Platinum Demand by Application: Regions 2013, <http://www.platinum.matthey.com/documents/market-data-tables/platinum/pdf-2004-to-2013.pdf>, Zugriff: 20.04.2015.
- [24] Wasser Wissen: Cer – Herstellung und Anwendungen, <http://www.wasserwissen.de/abwasserlexikon/c/cer.htm>, Zugriff: 14.4.2015.
- [25] Buchert, M. et al.: Ressourceneffizienz und ressourcenpolitische Aspekte des Systems Elektromobilität, 2011.
- [26] Du, X., Graedel, T.: global Rare earth in-Use Stocks in NdFeB Permanent Magnets. In: Journal of Industrial Ecology, Volume 15, Issue 6, S. 836-843, 2011.
- [27] Sander, K. et al.: Abfallwirtschaftliche Produktverantwortung unter Ressourcenschutzaspekten. Ökopol GmbH. Forschungskennzahl (UFOPLAN) FKZ 3711 95 318, Darmstadt, 2012.
- [28] Deutsche Rohstoffagentur: Daten – Fakten – Argumente, Rohstoffsicherung für die deutsche Wirtschaft. Erläuterungen zur Folie des Monats November 2012, <http://www.konstanz.ihk.de/blob/knihk24/innovation/downloads/1659708/0929b31d03>

- 77dbb817aa6ed0cfdd2d03/2012\_chart\_November\_Erlaeuterung\_pdf-data.pdf,  
Zugriff: 23.4.2015.
- [29] Vital Metals Ltd: Tungsten Uses – Consumption by Market Sector 2011,  
<http://vitalmetals.com.au/markets/tungsten/tungsten-uses/>, Zugriff: 14.04.2015.
- [30] Seilnacht, T.: Wolfram Verwendung, <http://www.seilnacht.com/Lexikon/74Wolfr.html>,  
Zugriff: 12.10.2014.
- [31] Kohlmeyer, R. et al.: Perspektiven der zunehmenden Fahrzeugelektronik für das  
Altfahrzeugrecycling. Recycling und Rohstoffe, Band 8, Thome- Kozmiensky, K. J. and  
D. Goldmann (Hrsg.), 2015, S.183–205.
- [32] Benedek, L. et al.: Recyclingkonzepte für Photovoltaikmodule. Recycling und  
Rohstoffe, Band 7, Thome- Kozmiensky, K. J. and D. Goldmann (Hrsg.), 2014, S.231–  
250.
- [33] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: Innovative  
Energietechnologien in Österreich – Marktentwicklung 2014, Wien, Österreich, 2015.
- [34] Winkler, G. et al.: Kreislaufführung von SEE-haltigen Polierschlämmen. DepoTech  
2014, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft (Hrsg.), Leoben,  
Österreich, 2014. S. 425–430.
- [35] Statistik Austria: Kfz-Statistik, Fahrzeug-Bestand am 31.12.2013 nach Fahrzeugarten,  
Zugriff: 6.8.2014.
- [36] STATISTIK AUSTRIA: Statistik des Bevölkerungsstandes. Erstellt am 28.05.2014.  
Zugriff: 6.8.2014.
- [37] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Die  
Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2014, 2014.
- [38] Schmid, D.; Zur-Lage, L.: Perspektive für das Recycling von Altfahrzeugen – moderne  
Fahrzeuge und angepasste Recyclingverfahren. Recycling und Rohstoffe, Band 7,  
Thome- Kozmiensky, K. J. and D. Goldmann (Hrsg.),2014, S.105–126.
- [39] Deutsche Automobil Treuhand GmbH: DAT Reporte 2001-2015,  
<https://www.dat.de/angebote/verlagsprodukte/dat-report.html>, Zugriff: 8.5.2015.
- [40] Knode, M.: Abschlusspräsentation ReECar – Nachhaltigkeit durch den Einsatz von  
Gebrauchtteilen in der Kfz-Elektronik, 13.11.2008.  
[http://www.reecar.org/servlet/is/951/06-Knode-Demontage.pdf](http://www.reecar.org/servlet/is/951/06-Knode-Demontage.pdf?command=downloadContent&filename=06-Knode-Demontage.pdf),  
pdf?command=downloadContent&filename=06-Knode-Demontage.pdf, Zugriff:  
25.07.2014.

- [41] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Verordnung über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von Altfahrzeugen (Altfahrzeugverordnung), BGBl. II Nr. 407/2002 idgF. [CELEX-Nr.: 300L0053], Zugriff: 6.5.2015.
- [42] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Erlass zur Altfahrzeugeverordnung - Stand April 2015, [http://www.bmlfuw.gv.at/greentec/abfall-ressourcen/abfall-altlastenrecht/awg-verordnungen/altf\\_vo.html](http://www.bmlfuw.gv.at/greentec/abfall-ressourcen/abfall-altlastenrecht/awg-verordnungen/altf_vo.html), Zugriff: 29.06.2015.
- [43] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Liste Sammel- und Verwertungssysteme Altfahrzeuge, [http://www.bmlfuw.gv.at/greentec/abfall-ressourcen/altfahrzeuge/sammel-verwertungssysteme/altfahrzeuge\\_systeme.html](http://www.bmlfuw.gv.at/greentec/abfall-ressourcen/altfahrzeuge/sammel-verwertungssysteme/altfahrzeuge_systeme.html), Zugriff: 09.04.2015.
- [44] Kletzmayer, W.: Altfahrzeugschwund in Österreich. Workshop „Illegale Altfahrzeugexporte“, Leoben, Österreich, 2014.
- [45] Luidold, S. et.al.: Kritische Rohstoffe für die Hochtechnologieanwendung in Österreich, Leoben, Österreich, 2012.
- [46] Kletzmayer, W.: Altfahrzeuge je Schredder 2013, Mail vom 10.12.2014.
- [47] Kletzmayer, W.: Aktuelle Situation der SLF- und Altfahrzeugeverwertung in Österreich. VDI-Fachkonferenz: Stoffliche und energetische Verwertung von Schredderrückständen, 21.–22. Juni 2012, Nürnberg. VDI Wissensforum GmbH. (Hrsg.), 2012.
- [48] Kohlmeyer, R.: Einsatz einer Kompaktsortieranlage zur Rückgewinnung von Metallen aus Schredderrückständen. VDI-Fachseminar: Stoffliche und energetische Verwertung von Schredderrückständen, 29–30. März 2011, Lübeck. VDI Wissensforum GmbH. (Hrsg.), 2011.
- [49] IDIS (International Dismantling Information System): <http://www.idis2.com/index.php?action=home&language=german>, Zugriff: 06.08.2015.
- [50] Shell: PKW Szenarien bis 2030 – Fakten, Trends und Handlungsoptionen für nachhaltige Auto-Mobilität, 2009.
- [51] Shell: PKW Szenarien bis 2040 – Fakten, Trends und Perspektiven für Auto-Mobilität, 2014.
- [52] Lichtblau, G et. al.: Elektromobilität in Österreich Szenario 2020 und 2050, Report REP-0257, Wien, Österreich, 2010.

- [53] Buchert, M. et al.: Ressourceneffizienz und ressourcenpolitische Aspekte des Systems Elektromobilität. Arbeitspaket 7 des Forschungsvorhabens OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen. Ökologie-Institut Darmstadt e.V., 2011.
- [54] Austrian Mobile Power: Factsheet 09/2015 – Entwicklung der Elektromobilität Österreich, [http://www.austrian-mobilepower.at/amp/AMP\\_Factsheets/Austrian\\_Mobile\\_Power\\_Factsheet\\_09\\_Entwicklung\\_Elektromobilitaet\\_OEsterreich.pdf](http://www.austrian-mobilepower.at/amp/AMP_Factsheets/Austrian_Mobile_Power_Factsheet_09_Entwicklung_Elektromobilitaet_OEsterreich.pdf); Zugriff: 09.04.2015.
- [55] Institut für Höhere Studien: Projekt DEFINE – Die Zukunft der Elektromobilität – eine systemische Perspektive – Presseinformation, [http://www.ihs.ac.at/fileadmin/public/user\\_upload/Pressemappe\\_DEFINE\\_IHS.pdf](http://www.ihs.ac.at/fileadmin/public/user_upload/Pressemappe_DEFINE_IHS.pdf); Zugriff: 20.5.2015.
- [56] Rotter, S. et al.: Potenziale zum Recycling wirtschaftsstrategischer Metalle aus Elektroaltgeräten. Recycling und Rohstoffe, Band 8, Thome- Kozmiensky, K. J. and D. Goldmann (Hrsg.), 2015, S.249–267.
- [57] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Gesamte Rechtsvorschrift für Elektroaltgeräteverordnung, Fassung vom 8.04.2015, Zugriff: 08.04.2015.
- [58] Elektroaltgerätekoordinierungsstelle Austria GmbH: EAK Jahresberichte 2006 – 2013
- [59] Hagelüken, C.: Edelmetallrecycling – Status und Entwicklungen. Schriftenreihe der GDMB, 121, 2010.
- [60] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: - Elektronisches Datenmanagement – EAG Systeme, <https://secure.umweltbundesamt.at/eras/registerabfrageEAGSystemeSearch.do>, Zugriff: 31.07.2015.
- [61] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Elektronisches Datenmanagement - EAG Sammelstellen, <https://secure.umweltbundesamt.at/eras/registerabfrageEAGSammelstelleSearch.do?event=displayTagAction&d-49520-p=26#resulttop>, Zugriff: 31.07.2015.
- [62] Technisches Büro Hauer Umweltwirtschaft GmbH: Gutachten Wirksamkeit bestehender alternativer Sammelsysteme für Kleinst-EAG, Wien, Österreich, 2013.
- [63] Kuchta K. et al.: Aufbau von Rücknahmesystemen für Elektroaltgeräte im Distanzhandel. Recycling und Rohstoffe, Band 8, Thome- Kozmiensky, K. J. and D. Goldmann (Hrsg.), 2015. S. 269–276.

- [64] Verband Österreichischer Entsorgungsbetriebe (VÖEB): Illegale Abfallsammlungen – Strafen gegen Millionenschaden. Presseunterlage, 2012.
- [65] Pomberger, R. et al.: Gutachten Sortierung und Klassifikation von Materialien aus der informellen Sammlung, Leoben, Österreich, 2012.
- [66] Wong Chan, S. et al.: Countering WEEE Illegal Trade – Summary Report, 2015.
- [67] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Elektronisches Datenmanagement, [https://secure.umweltbundesamt.at/edm\\_portal/home.do](https://secure.umweltbundesamt.at/edm_portal/home.do), Zugriff 31.8.2015.
- [68] Elektroaltgerätekoordinierungsstelle Austria GmbH: Informationsplattform über Elektroaltgeräte, <http://www.elektro-ade.at/>, Zugriff: 30.7.2015.
- [69] Umweltbundesamt GmbH: Elektroaltgerätebehandlung in Österreich – Zustandsbericht 2008, 2009.
- [70] ERA Elektro Recycling Austria GmbH: EAG Geräteliste WEEE Bezug Jän2015, [http://www.era-gmbh.at/fileadmin/img/downloads/Informations-\\_und\\_Merkblaetter/EAG\\_Geraeteliste\\_WEEE\\_Bezug\\_Jaenner\\_2015\\_.pdf](http://www.era-gmbh.at/fileadmin/img/downloads/Informations-_und_Merkblaetter/EAG_Geraeteliste_WEEE_Bezug_Jaenner_2015_.pdf), Zugriff: 03.06.2015.
- [71] Statistisches Bundesamt: [www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/\\_lrbev03.html](http://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/_lrbev03.html), Zugriff: 7.5.2015.
- [72] STATISTIK AUSTRIA: Statistik des Bevölkerungsstandes. Erstellt am 28.05.2014. Zugriff: 13.11.2014.
- [73] Gesellschaft für Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik: Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX) 2006 -2014, <http://www.gfu.de/home/marktzahlen/markt.xhtml>, Zugriff: 28.3.2015
- [74] Stiftung Elektro-Altgeräte Register: Inputmengen Gasentladungslampen, <https://www.stiftung-ear.de/service/kennzahlen/inputmengen-je-geraetearta/>, Zugriff: 22.1.2015.
- [75] Das Elektroggesetz: [www.elektroggesetz.de](http://www.elektroggesetz.de), Zugriff: 24.7.2015.
- [76] Deutsche Energie-Agentur GmbH: Analyse der Energieeffizienz- und Marktentwicklung von „Allgemeiner Beleuchtung“, Berlin, Deutschland, 2013.
- [77] UFH Altlampen Systembetreiber GmbH: Abschied von Glühbirne sorgt für Debatte, [http://www.ufh.at/index.php?i\\_ca\\_id=374](http://www.ufh.at/index.php?i_ca_id=374), Zugriff: 8.7.2015.

- [78] Verein für Konsumenteninformation: Energiesparlampen statt Glühbirnen?, <http://www.konsument.at/bauen-energie/energiesparlampen-im-test-34021>, Zugriff: 8.7.2015.
- [79] Tesar, M.; Denner, M.: Lampenbehandlung – Ist-Stand in Österreich mit besonderer Berücksichtigung der Anforderungen der Abfallbehandlungspflichtenverordnung, Wien, Österreich, 2014.
- [80] Notebookcheck: Tablets: Nur noch geringes Wachstum, <http://www.notebookcheck.com/Tablets-Nur-noch-geringes-Wachstum.138038.0.html>, Zugriff: 8.5.2015.
- [81] Handelsblatt: Smartphone-Wachstum schwächt sich ab, <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/it-medien/gfk-studie-smartphone-wachstum-schwaecht-sich-ab/11400822.html>, Zugriff: 8.5.2015.
- [82] Hardwareluxx: PC-Markt: IDC senkt Prognosen für 2015, <http://www.hardwareluxx.de/index.php/news/allgemein/wirtschaft/34587-pc-markt-idc-senkt-prognosen-fuer-2015.html>, Zugriff: 8.5.2015.
- [83] Gröger, J.: PROSA Leuchten für die Anwendung in Büros und verwandten Einsatzbereichen. Öko-Institut e.V., 2013.
- [84] Austrian Power Grid AG: Masterplan 2030 für die Entwicklung des Übertragungsnetzes in Österreich Planungszeitraum 2013 – 2030, Wien, Österreich, 2013.
- [85] Zepf, V.: Das verkannte Recyclingpotenzial der Seltenen Erden – Quantitative Ergebnisse für Neodym in Deutschland. Recycling und Rohstoffe, Band 8, Thome-Kozmiensky, K. J. and D. Goldmann (Hrsg.), 2015. S. 463–476.
- [86] EU-Richtlinie (2008) Richtlinie (L312/3) 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien
- [87] Groke, M. et al.: Optimierung der Separation von Bauteilen und Materialien aus Altfahrzeugen zur Rückgewinnung kritischer Metalle (O.R.K.A.M.). Abschlussbericht - Veröffentlichung in Vorbereitung. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3713 33 337, 2015
- [88] Buchert, M. et al.: Untersuchung zu Seltenen Erden – Permanentmagnete im industriellen Einsatz in Baden-Württemberg. Öko-Institut e.V., FKZ ZO3R 12002, 2014.
- [89] Bergamos, M.: Kritische Rohstoffe in Altfahrzeugen, Fachgespräch – Kreislauffähige Produktlösungen, Hamburg, 2014.

- [90] Cullbrand, K.; Magnusson, O.: The Use of Potentially Critical Materials in Passenger Cars. Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2011.
- [91] Buchert, M. et al.: Recycling kritischer Rohstoffe aus Elektronik-Altgeräten – LANUV Fachbericht 38, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen, 2012.
- [92] Goonan, T.: Rare Earth Elements – End Use and Recyclability, Scientific Investigations Report, USGS, Reston, Virginia, 2011.
- [93] Kuchta, K.: Vergleich der Wertstoffpotentiale von E-Schrott und Altfahrzeugen. VDI-Stoffliche und energetische Verwertung von Schredderrückständen, 21.–22.Juni 2012, Nürnberg. VDI Wissensforum GmbH. (Hrsg.), 2012.
- [94] ESG Edelmetall Service GmbH & Co. KG: Recycling von Leiterplattenschrott, <http://www.scheideanstalt.de/leiterplatten-recycling/>, Zugriff: 13.5.2015.
- [95] Blaser, F. et al.: Seltene Metalle in Elektro- und Elektronikaltgeräten – Vorkommen und Rückgewinnungstechnologien. Bundesamt für Umwelt, Bern, 2012.
- [96] Fraunhofer ISE: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland – Fassung vom 19.5.2015, Freiburg, 2015.
- [97] Widmer, R. et al.: "Scarce Metals in Conventional Passenger Vehicles and End-of-Life Vehicle Schredder Output", 2014.
- [98] Sakai, S. et al.: Dismantling of Conventional and Hybrid Vehicles for End-of-life Vehicle Management. Vortrag auf der Konferenz ISWA 2013, Wien, 2013.
- [99] Widmer, R. et al.: "Scarce Metals in Conventional Passenger Vehicles and End-of-Life Vehicle Schredder Output", 2015.
- [100] Hagelüken, C.: Recycling von Autoabgaskatalysatoren. Schriftenreihe der GDMB, 115, 2008.
- [101] Kuchta, K.; Schöne, F.: Rückgewinnung von Platingruppenmetallen aus Abgaskatalysatoren. Recycling und Rohstoffe, Band 7, Thome- Kozmiensky, K. J. and D. Goldmann (Hrsg.), 2014, S.137–146.
- [102] Kuriki, S. et al.: Recycling Potential of Platinum Group Metals in Japan, J. Japan Inst. Metals, 74, 2010, S.801–805.
- [103] United Nations Environment Programme: Metal recycling – Opportunities, Limits, Infrastructure. Paris, Frankreich, 2013.
- [104] Bayerischer Cluster Energietechnik: Analyse des Entwicklungspotenzials von PV-Modultechnologien, 2012.

- [105] Schriefl, E. et al.: Metallbedarf von Erneuerbare-Energie-Technologien – Progress Report 2 im Rahmen des Projektes „Feasible Futures for the Common Good“, Wien, 2013.
- [106] Schlegl, T.: Entwicklungslinien der PV-Technologie und Materialsubstitutionsmöglichkeiten. Präsentation auf der Tagung „Strategische Metalle für die Energiewende“, Tutzing, 2013.
- [107] Poscher, A. et al.: Konzepte zur Gewinnung von Seltenen Erden aus Leuchtstoffen. DepoTech 2012, Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (Hrsg.), Leoben, Österreich, 2012, S.373-378.
- [108] Kleijn, R.; van der Voet, E.: Resource constraints in a hydrogen economy based on renewable energy sources: An exploration. In Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, 2010, S.2784–2795.
- [109] Moss, R. et al.: Critical Metals in Strategic Energy Technologies: Assessing Rare Metals as Supply-Chain Bottlenecks in Low-Carbon Energy Technologies. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN: 978-92-79-20699-3, 2011.
- [110] Viebahn, P. et al.: KRESSE – Kritische mineralische Ressourcen und Stoffströme bei der Transformation des deutschen Energieversorgungssystems. Abschlussbericht FKZ 0325324 an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal, 2014
- [111] ÖNORM: ÖNORM S 2096-1 Stoffflussanalyse Teil 1: Anwendung in der Abfallwirtschaft – Begriffe. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2005.
- [112] Sander et al.: Maßnahmen zur Optimierung der Entsorgung von quecksilberhaltigen Gasentladungslampen und anderen Lampenarten: Ökopol GmbH Institut für Ökologie und Politik, Hamburg, 2013.
- [113] Kletzmayer, W.; Gratz, M.: Aktuelle Entwicklungen und Optimierungspotenziale in der Altautoverwertung. DepoTech 2012, Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (Hrsg.), Leoben, Österreich, 2012, S.385–390.
- [114] Prakash, S. et al.: Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“, Zwischenbericht: Analyse der Entwicklung der Lebens-, Nutzungs- und Verweildauer von ausgewählten Produktgruppen, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau, 2015.
- [115] Teehan, D.: Life cycle assessment studies of tablet PCs, Institute for Resources, Environment and Sustainability University of British Columbia, Dallas, 2013.

- [116] DFG-Klassen und Nutzungsdauer-Tabelle:  
<https://www.physik.lmu.de/fakultaet/organisation/geschaeftsstelle/merkblaetter/dfg-tabelle.pdf>, 2014, Zugriff: 5.8.2015.
- [117] Photoindustrie-Verband e.V.: Bericht Kameramarkt: Qualitative hochwertige Produkte führen zu verlängerter Kameranutzung, <http://www.photoindustrie-verband.de/artikel/Qualitativ-hochwertige-Produkte-fuehren-zu-verlaengerter-Kameranutzung>, Zugriff: 5.8.2015.
- [118] DisplaySearch: LED Backlight Penetration in Large-Area LCD, [http://ww1.prweb.com/prfiles/2009/11/16/3218134/0\\_Figure1.jpg](http://ww1.prweb.com/prfiles/2009/11/16/3218134/0_Figure1.jpg), Zugriff: 6.8.2015.
- [119] Böni, H; Widmer, R.: Entsorgung von Flachbildschirmen in der Schweiz – Schlussbericht, St. Gallen, 2011.
- [120] Elektrojournal: Elektroaltgeräte: Freude mit den Sammelquoten, Ärger mit Sammelbrigaden und Versendern, <http://www.elektrojournal.at/elektrojournal/elektroaltgeraete-freude-mit-den-sammelquoten-aerger-mit-sammelbrigaden-und-versendern-62413>, Zugriff: 5.11.2015.
- [121] STATISTIK AUSTRIA: Kfz-Neuzulassungen Jänner bis Dezember 2013, Zugriff: 7.8.2015.
- [122] STATISTIK AUSTRIA: Kfz-Neuzulassungen Jänner bis Oktober 2015, Zugriff: 6.11.2015.
- [123] Photon: Das Jahr des Drachen. [http://www.photon.de/presse/mitteilungen/Das\\_Jahr\\_des\\_Drachen\\_PD\\_2012\\_04.pdf](http://www.photon.de/presse/mitteilungen/Das_Jahr_des_Drachen_PD_2012_04.pdf), 2012, Zugriff 2.6.2015.
- [124] Luidold, S.: Verfahrenstechnik bei der Primärmetallurgie und dem Recycling von Technologiemetallen. Habilitation, Leoben, Österreich, 2012.
- [125] Deutsche Rohstoffagentur/Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Rohstoffpreismonitor, <http://www.deutsche-rohstoffagentur.de/>, Zugriff: 27.04.2015.
- [126] Hagelüken, C.: Edelmetallrecycling – Status und Entwicklungen. Fachausschuss für Metallurgische Aus- und Weiterbildung der GDMB. Sondermetalle und Edelmetalle: Vorträge beim 44. Metallurgischen Seminar, GDMB, Clausthal-Zellerfeld, Deutschland, 2010, S.163–178.
- [127] Arpaci, E. und T. Vendura: Recycling von Kupferwerkstoffen. Metallurgical and Materials Transactions 47,1993, S.340–345.

- [128] Handle, B. et al.: COP KIN bottom gas purging: a potenzial application for slag cleaning processes in the primary copper industry. RHI Bulletin, 2008, S.6–14.
- [129] Pawlek, F.: Metallhüttenkunde. Walter de Gruyter, Berlin, Deutschland, 1982.
- [130] Luidold, S. und H. Schnideritsch: Möglichkeiten des Recyclings von LEDs im Vergleich zu anderen Beleuchtungskörpern. Fachausschuss für Metallurgische Aus- und Weiterbildung der GDMB. Energieeffizienz in der Metallurgie: Vorträge beim 45. Metallurgischen Seminar. GDMB, Clausthal-Zellerfeld, Deutschland, 2012, S.41–54.
- [131] Tuncuk, A.: Aqueous metal recovery techniques from e-scrap: hydrometallurgy in recycling. Minerals Engineering 25, 2012, 28–37.
- [132] Khaliq, A. et al.: Metal extraction routes for electronic waste and existing industrial routes: a review and Australian perspective. Resources 3, 2014, S.152–179.
- [133] Marwede, M. et al.: Recycling paths for thin-film chalcogenide photovoltaic waste - current feasible processes. Renewable Energy 55, 2013, S.220–229.
- [134] Gustafsson, A. et al.: Recycling of high purity selenium from CIGS solar cell waste materials. Waste Management 34, 2014, S.1775–1782.
- [135] Navazo, J. et al.: Material flow analysis and energy requirements of mobile phone material recovery processes. International Journal of Life Cycle Assessment 19, 2014, S.567–579.
- [136] Oleszek, S. et al.: Distribution of copper, silver and gold during thermal treatment with brominated flame retardants. Waste Management 33, 2013, S.1835–1842.
- [137] Terakado, O. et al.: Bromine fixation by metal oxide in pyrolysis of printed circuit board containing brominated flame retardant. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 103, 2013, S.216–221.
- [138] Lusty, P.: Critical metals and rare earth elements, <https://www.bgs.ac.uk/>, Zugriff: 29.04.2015.
- [139] Periodensystem der Elemente, <http://www.periodensystem.info/download/>, Zugriff: 28.05.2012.
- [140] Rhodia develops innovative process for the recycling of rare earths, <http://www.rhodia.com/>, Zugriff: 30.04.2012.
- [141] Rhodia to recycle rare earths from magnets, <http://www.rhodia.com/>, Zugriff: 30.04.2012.
- [142] Umicore and Rhodia develop unique rare earth recycling process for rechargeable batteries, <http://www.rhodia.com/>, Zugriff: 12.12.2011.

- [143] Treibacher Industrie AG, <http://www.treibacher.com/de/geschaeftsfelder/seltene-erden-und-chemikalien.html>, Zugriff: 29.04.2015.
- [144] Swarovski Group, <http://www.swarovskigroup.com/S/home/index.en.html>, Zugriff: 29.04.2015.
- [145] Tantalus Rare Earths AG, <http://www.tre-ag.com/>, Zugriff: 29.04.2015.
- [146] Solvay, <http://www.solvay.com/>, Zugriff: 29.04.2015.
- [147] Molycorp Silmet, <http://www.molycorp.com/about-us/our-facilities/molycorp-silmet/>, Zugriff: 29.04.2015.
- [148] Umicore, <http://www.umicore.de/>, Zugriff: 29.04.2015.
- [149] Goudsmit Magnetic Systems, <http://www.goudsmit-magnetics.nl/DE/>, Zugriff: 30.04.2015.
- [150] Great Western Minerals Group, <http://www.gwmg.ca/>, Zugriff: 30.04.2015.
- [151] Vacuumschmelze GmbH & Co. KG, <http://www.vacuumschmelze.de/>, Zugriff: 30.04.2015.
- [152] McGill, I.: Rare earth metals. Handbook of extractive metallurgy, Wiley-VCH, Weinheim, Deutschland, 1997, 1693–1741.
- [153] Binnemans, K. et al.: Recycling of rare earths: a critical review. *Journal of Cleaner Production* 51, 2013, S.1–22.
- [154] Binnemans, K. et al.: Rare-earth economics: the balance problem. *JOM* 65 846–848.
- [155] Gutfleisch, O. et al.: Magnetic materials and devices for the 21st century: stronger, lighter, and more energy efficient. *Advanced Materials* 23, 2011, S.821–842.
- [156] Anderson, C. et al.: Survey of recycled rare earths metallurgical processing. *Canadian Metallurgical Quarterly* 52, 2013, S.249–256.
- [157] Innocenzi, V. et al.: Yttrium recovery from binary and secondary sources: a review of main hydrometallurgical processes. *Waste Management* 34, 2014, S.1237–1250.
- [158] Xie, F. et al.: A critical review on solvent extraction of rare earths from aqueous solutions. *Minerals Engineering* 56, 2014, S.10–28.
- [159] Han, K. et al.: Opportunities and challenges for treating rare-earth elements. *Geosystem Engineering* 17, 2014, S178–194.
- [160] Kislik, V.: Solvent extraction: Classical and novel approaches. Elsevier, Oxford, Großbritannien, 2012.

- [161] Mowafy, E. und D. Mohamed: Extraction behavior of trivalent lanthanides from nitric acid medium by selected structurally related diglycolamides as novel extractants. *Separation and Purification Technology* 128, 2014, S.18–24.
- [162] Matsumiya, M. et al.: Extraction of rare earth ions by tri-n-butylphosphate/phosphonium ionic liquids and the feasibility of recovery by direct electrodeposition. *Separation and Purification Technology* 130, 2014, S.91–101.
- [163] Fan, S. et al.: Studies on the synergistic extraction of rare earths from nitrate medium with mixtures of sec-nonylphenoxy acetic acid and 1,10-phenanthroline. *Separation and Purification Technology* 71, 2010, S.241–245.
- [164] Kalyakin, S. et al.: Binary extraction of lanthanide(III) chlorides using carboxylates and dialkylphosphates of secondary and tertiary amines. *Hydrometallurgy* 151, 2015, S.116–121.
- [165] Liedtke, M. und M. Schmidt: Rohstoffrisikobewertung – Wolfram. Berlin, Germany, 2014.
- [166] Gille, G. und A. Meier: Recycling von Refraktärmetallen. *Recycling und Rohstoffe*, TK Verlag Karl Thome-Kozmiensky, Neuruppin, Deutschland, 2012, S.537–560.
- [167] Lassner, E. und W.-D. Schubert: Tungsten: Properties, Chemistry, Technology of the Element, Alloys, and Chemical Compounds. Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York, USA, 1999.
- [168] Gille, G. et al.: Die Refraktärmetalle Niob, Tantal, Wolfram, Molybdän und Rhenium. *Chemische Technik: Prozesse und Produkte*, 5. Aufl., Wiley-VCH, Weinheim, Deutschland, 2006, S.45–88.
- [169] Wolfram Bergbau und Hütten AG, <http://www.wolfram.at/>, Zugriff: 05.05.2015.
- [170] Angerer, T. et al.: Technologien zum Recycling von Hartmetallschrotten (Teil 1), *World of Metallurgy – Erzmetall* 64, 2011, S.6–15.
- [171] Angerer, T. et al.: Technologien zum Recycling von Hartmetallschrotten (Teil 2), *World of Metallurgy – Erzmetall* 64, 2011, S.62–70.
- [172] Freemantle, C. et al.: Impurity characterization of zinc-recycled WC-6 wt.% Co cemented carbides. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials* 44, 2014, S.94–102.
- [173] Gu, W.-H. et al.: Thermal oxidation behavior of WC-Co hard metal machining tool tip scraps. *Journal of Materials Processing Technology* 212, 2012, S.1250–1256.
- [174] Kim, S. et al.: Dissolution behavior of cobalt from WC-Co hard metal scraps by oxidation and wet milling process. *Hydrometallurgy* 143, 2014, 28–33.

- [175] Angerer, T. et al.: Technologien zum Recycling von Hartmetallschrotten (Teil 3). World of Metallurgy – Erzmetall 64, 2011, S.328–336.
- [176] Luidold, S.: Challenges in the field of extractive metallurgy of technological metals. Proceedings of EMC 2015, GDMB, 2015 (in Druck).
- [177] Felix, N.: Indium and indium compounds. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5<sup>th</sup>, Completely Revised Edition, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, Deutschland, S.157–166.
- [178] Greber, J.: Gallium and gallium compounds. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5<sup>th</sup>, Completely Revised Edition, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, Deutschland, S.163–167.
- [179] Kammer, U. et al.: Nebenmetalle. Chemische Technik: Prozesse und Produkte, 5. Aufl., Wiley-VCH, Weinheim, Deutschland, 2006, S.99–130.
- [180] Elsner, H. et al.: Elektronikmetalle – zukünftig steigender Bedarf bei unzureichender Versorgungslage?, 2010.
- [181] Gunn, G.: Critical metals handbook, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2014.
- [182] Benedek, L. et al.: Recyclingkonzepte für Photovoltaikmodule. DepoTech 2014, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft Hrsg.), Leoben, Österreich, 2014, S.283–288.
- [183] Hsieh, S.-J. et al.: Process for recovery of indium from ITO scraps and metallurgic microstructures. Materials Science and Engineering B 158, 2009, S.82–87.
- [184] Virolainen, S. et al.: Recovery of indium from indium tin oxide by solvent extraction. Hydrometallurgy 107, 2011, S.56–61.
- [185] Herbell, J.-D. und S. Peil: Recycling von Gallium aus Problemabfallstoffen im Betrieb der III/V-Halbleitertechnologie. 2001, <http://www.veu.de/>, Zugriff: 29.05.2015.
- [186] Rao, R.: Resource recovery and recycling from metallurgical wastes. Elsevier Ltd., Amsterdam, Niederlande, 2006.
- [187] European Commission, Critical raw materials profiles: Report on critical raw materials for the EU, [http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_en.htm), Zugriff: 29.05.2015.
- [188] Hanika, A.: Kleinräumige Bevölkerungsprognose für Österreich 2010-2030 mit Ausblick bis 2050 („ÖROK-Prognosen“), Wien, Österreich, 2010.
- [189] STATISTIK AUSTRIA: Bevölkerungsprognose 2014. Erstellt am 20.11.2014, Zugriff: 16.12.2014.

- [190] Schumann H., Müller W.: Visualisierung: Grundlagen und allgemeine Methoden, Springer Berlin Heidelberg; ISBN: 9783642571930, Deutschland, 2010.
- [191] Interessengemeinschaft Windkraft Österreich: <https://www.igwindkraft.at/>, Zugriff 16.06.2015.
- [192] Arbeitsgemeinschaft Wirtschaft und Schule: Die österreichische Industrie – Baustein 5: Die Industrie in den Bundesländern, [aws.ibw.at/resource/download/54/](http://aws.ibw.at/resource/download/54/), Zugriff: 16.06.2015.
- [193] Brown, J.: Das World Cafe – Kreative Zukunftsgestaltung in Organisation und Gesellschaft, [www.carl-auer.de/fileadmin/carl-auer/.../978-3-89670-588-4.pdf](http://www.carl-auer.de/fileadmin/carl-auer/.../978-3-89670-588-4.pdf), Zugriff: 15.1.2015.

## 13.2 Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
AFZ	Altfahrzeuge
Ag	Silber
Al	Aluminium
APT	Ammoniumparawolframat
Au	Gold
BEL	Beleuchtungstechnologien
BG	Bildschirmgeräte
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technik
CdTe	Cadmiumtellurid
Ce	Cer
CIGS	Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid
Co	Cobalt
Cu	Kupfer
d.h.	das heißt
DD	Direct Drive Systeme
EAG	Elektroaltgeräte
EAG-VO	Elektroaltgeräteverordnung
EDM	Elektronisches Datenmanagement
EGG	Elektrogroßgeräte
EKG	Elektrokleingeräte
EM	Edelmetalle
ESP	elektronisches Stabilitätsprogramm
etc.	et cetera
Eu	Europium
Eu	Europium

EW	Einwohner
FE	Eisenfraktion
g	Gramm
Ga	Gallium
GaAs	Galliumarsenid
GEL	Gasentladungslampen
GJ	Gigajoule
GW	Gigawatt
IDIS	Internationales Demontageinformationssystem
IMDS	International Material Data System
In	Indium
InGaN	Indiumgalliumnitrid
inkl.	Inklusive
ITIA	International Tungsten Industry
ITO	Indium-Zinn-Oxid
KAT	Katalysator
kg	Kilogramm
La	Lanthan
LCD	liquid crystal display (Flüssigkristallanzeigen)
LP	Leiterplatten
LSE	Leichte Seltene Erden
MW	Megawatt
Nd	Neodym
NdFeB	Neodym-Eisen-Bor
NE	Nichteisenmetalle
Ni	Nickel
NoVA	Normverbrauchsabgabe
Pd	Palladium
PGM	Platingruppenmetalle
PKW	Personenkraftwagen
PM	Poliermittel
Pt	Platin
PV	Photovoltaik
RM	Refraktärmetalle
RPE	Recycling Park Eisenerz
SE.	Seltene Erden
SEE	Elemente der Seltenen Erden
SFA	Stoffflussanalysen
SLF	Schredderleichtfraktion
SN	Schlüsselnummern
SOT	Sonstige Technologiemetalle
SSE	Schwere Seltene Erden

t	Tonne (Mg)
u.a.	unter anderem
usw.	und so weiter
V	Vanadium
vgl.	vergleiche
VO	Verordnung
VÖEB	Verband österreichischer Entsorgungsbetriebe
W	Wolfram
WC	Wolframcarbide
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment
WK	Windkraftanlagen
WSP	Wendeschneidplatten
Y	Yttrium
z.B.	zum Beispiel

### 13.3 Tabellen

Tabelle 1: Kritische Rohstoffe für Österreich laut BMVIT .....	5
Tabelle 2: Effekt von Zukunftstechnologien auf die Weltproduktion von seltenen Metallen/Metalloiden 2006 und 2030 .....	7
Tabelle 3: Einsatzgebiete von Gold .....	9
Tabelle 4: Einsatzgebiete von Silber .....	10
Tabelle 5: Einsatzgebiete von Palladium .....	11
Tabelle 6: Einsatzgebiete von Platin .....	12
Tabelle 7: Einsatzgebiete der Seltenen Erden Cer, Neodym und Yttrium .....	14
Tabelle 8: Einsatzgebiete von Wolfram .....	15
Tabelle 9: Einsatzgebiete von Gallium .....	16
Tabelle 10: Einsatzgebiete von Indium .....	17
Tabelle 11: Gesamtpotenziale kritischer Metalle in Elektrogeräten und PKW für Deutschland .....	18
Tabelle 12: Primärproduktion kritischer Metalle aus PV-Module .....	18
Tabelle 13: Abfallströme mit Potenzialen an kritischen Metallen .....	19
Tabelle 14: Genehmigte Sammel- und Verwertungssysteme für Altfahrzeuge in Österreich	25
Tabelle 15: Groß-Schredder-Betriebe in Österreich .....	27
Tabelle 16: Post-Schredder-Betriebe in Österreich .....	28
Tabelle 17: Entwicklung der Sammelmengen von 2006 bis 2013 .....	33
Tabelle 18: Sammel- und Verwertungssysteme für Elektro- und Elektronikaltgeräte .....	36

Tabelle 19: Ermittlung der Umrechnungsfaktoren Deutschland – Österreich .....	41
Tabelle 20: Absatzmengen der ausgewählten Produkte in Österreich .....	42
Tabelle 21: Liste von relevanten Komponenten der Fahrzeugelektronik .....	50
Tabelle 22: Einsatz kritischer Metalle in Fahrzeugkomponenten .....	52
Tabelle 23: Gegenüberstellung Bauteile - kritische Metalle .....	54
Tabelle 24: Zuordnung Bauteile - Produkte .....	54
Tabelle 25: Zusammenfassung der qualitativen Identifizierung.....	56
Tabelle 26: Durchschnittliche Produktgewichte ausgewählter Elektrogeräte in g .....	58
Tabelle 27: Zusammenfassung der quantitativen Identifizierung .....	59
Tabelle 28: Lebensdauer der Produkte.....	64
Tabelle 29: Rohstoffproduktion der jeweils bedeutendsten Länder und der EU in 2012 .....	78
Tabelle 30: Auswahl Europäischer Unternehmen im Bereich der Seltenen Erden .....	85
Tabelle 31: Anfallende Mengen an verschiedenen SE-Oxiden bei der Primärgewinnung von Europiumoxid aus Bastnäsit .....	86
Tabelle 32: Chemische Spezifikation für Sekundärrohstoffe und typische Analyse von Wolframoxid .....	90
Tabelle 33: Weltweite Raffinerieproduktion und Preisentwicklung von Indium .....	91
Tabelle 34: Bevölkerungsprognosen für Österreich nach Bundesländern 2014-2030.....	101
Tabelle 35: Bevölkerungsprognose für das Burgenland nach Bezirken .....	XXIII
Tabelle 36: Bevölkerungsprognose für Kärnten nach Bezirken.....	XXIII
Tabelle 37: Bevölkerungsprognose für Niederösterreich nach Bezirken .....	XXIV
Tabelle 38: Bevölkerungsprognose für Oberösterreich nach Bezirken.....	XXV
Tabelle 39: Bevölkerungsprognose für Salzburg nach Bezirken .....	XXVI
Tabelle 40: Bevölkerungsprognose für Steiermark nach Bezirken.....	XXVI
Tabelle 41: Bevölkerungsprognose für Tirol nach Bezirken .....	XXVII
Tabelle 42: Bevölkerungsprognosen für Voralberg nach Bezirken.....	XXVII
Tabelle 43: Bevölkerungsprognose für Wien nach Bezirken .....	XXVIII

### 13.4 Abbildungen

Abbildung 1: Globale End-of-Life Recyclingraten von 60 Metallen.....	3
Abbildung 2: Schematische Übersicht über den Aufbau der Studie .....	4
Abbildung 3: Kritische Rohstoffe nach wirtschaftlicher Bedeutung und Versorgungsrisiko.....	6
Abbildung 4: Ausgewählte strategische Metalle.....	8

Abbildung 5: Anwendungen von Gold.....	9
Abbildung 6: Anwendungen von Silber .....	10
Abbildung 7: Anwendungen von Palladium.....	11
Abbildung 8: Anwendungen von Platin .....	12
Abbildung 9: Anwendungen von Seltenen Erden.....	13
Abbildung 10: Anwendungen von Wolfram .....	14
Abbildung 11: Anwendungen von Gallium .....	15
Abbildung 12: Anwendungen von Indium .....	16
Abbildung 13: Entwicklung des Ausstattungsgrades von Neuwagen mit ausgewählten Komponenten ab 2000 .....	22
Abbildung 14: Entwicklung der Altfahrzeugverwertung in Österreich von 2004 – 2013.....	23
Abbildung 15: Gliederung der Sammlung von Altfahrzeugen in Österreich.....	26
Abbildung 16: Die vier Ebenen der Verwertung von Altfahrzeugen.....	26
Abbildung 17: Stoffflussanalyse der Altfahrzeugverwertung auf Basis der Quotenergebnisse 2013.....	27
Abbildung 18: Schredder- und Post-Schredder-Betriebe in Österreich .....	28
Abbildung 19: Metallgehalte der Schredderleichtfraktion in Nordrhein-Westfalen .....	29
Abbildung 20: Entwicklung des Fahrzeugbestandes bis 2030 .....	30
Abbildung 21: Darstellung von drei Szenarien für die Entwicklung der Elektromobilität in Österreich bis 2030 .....	31
Abbildung 22: Recyclingkette von Konsumgüter (*die Metallausbeute der Kette bezieht sich auf ein Metall in einer bestimmten Produktgruppe (z.B. Elektronik). .....	35
Abbildung 23: Geographische Verteilung der Sammelstellen für EAG (links) sowie der Geschäfte mit mehr als 400 m <sup>2</sup> Verkaufsfläche (rechts) auf die Gemeinden in Österreich .....	37
Abbildung 24: Ausgewählte Produkte für die Betrachtung der Elektroaltgeräte .....	40
Abbildung 25: Entwicklung der Absatzzahlen ausgewählter Bildschirmgeräte bis 2030.....	43
Abbildung 26: Entwicklung der Absatzzahlen ausgewählter Elektrokleingeräte bis 2030.....	44
Abbildung 27: Entwicklung der Absatzzahlen ausgewählter Beleuchtungstechnologien bis 2030 .....	44
Abbildung 28: Übersicht zu den unterschiedlichen Photovoltaik-Technologien.....	45
Abbildung 29: Entwicklung der Photovoltaik in Österreich bis 2030.....	46
Abbildung 30: Entwicklung der Windenergie in Österreich bis 2030 .....	47
Abbildung 31: Kreislaufsystem für Wendeschneidplatten .....	48

Abbildung 32: Entwicklung der Absatzzahlen für Wendeschneidplatten bis 2030 .....	48
Abbildung 33: Lokalisierung von Komponenten in einem PKW.....	51
Abbildung 34: Theoretisches Rohstoffpotential der ausgewählten Edelmetalle unter Betrachtung einer Sammelquote an EAG von 75 % und 50 % für das Jahr 2013.....	71
Abbildung 35: Theoretisches Rohstoffpotential der ausgewählten Seltenen Erden unter Betrachtung einer Sammelquote an EAG von 75 % und 50 % für das Jahr 2013.....	72
Abbildung 36: Theoretisches Rohstoffpotential des ausgewählten Refraktärmetalls Wolfram sowie Sonstiger Metalle unter Betrachtung einer Sammelquote an EAG von 75 % und 50 % für das Jahr 2013 .....	73
Abbildung 37: Theoretisches Rohstoffpotential der ausgewählten Metalle für das Jahr 2030 .....	74
Abbildung 38: Jüngste Preistrends für zahlreiche Technologiemetalle .....	76
Abbildung 39: Metallrad – Darstellung der Verknüpfung unterschiedlicher Metalle bei der Verarbeitung von gebrauchten Konsumgütern .....	78
Abbildung 40: Klassische Kupfer-Recyclinghütte .....	80
Abbildung 41: Grundsätzlicher Verfahrensablauf bei Umicore .....	81
Abbildung 42: Exemplarischer Verfahrensstammbaum zur Trennung der Platingruppenelemente .....	82
Abbildung 43: Die Elemente der Seltenen Erden und ihre Position im Periodensystem .....	84
Abbildung 44: Einsatzgebiete der Seltenen Erden .....	84
Abbildung 45: Wertschöpfungskette für Wolfram .....	87
Abbildung 46: Anteil der Anwendungsgebiete am gesamten Wolframverbrauch .....	88
Abbildung 47: Hydrometallurgie zur Produktion von Ammoniumparawolframat .....	89
Abbildung 48: Änderung der länderspezifischen Reserven für Indium von 2006 auf 2007 ...	92
Abbildung 49: Prozesskette zur Verwertung eines In-haltigen Nebenprodukts .....	93
Abbildung 50: Solventextraktion zur Anreicherung von Indium .....	94
Abbildung 51: Fließbild der Ga-Extraktion mittels Rhone-Poulenc- bzw. Sumitomo-Prozess .....	95
Abbildung 52: Einsatzgebiete von Gallium in den USA im Jahr 2006 .....	96
Abbildung 53: Verfahrensschema zur Verwertung von GaAs-Abfällen .....	97
Abbildung 54: Prozessschema zur Aufarbeitung von GaAs-Schrotten .....	98
Abbildung 55: Versorgungskette von Gallium in Halbleitern .....	98
Abbildung 56: Aufbau der Datenaufbereitung für die Visualisierung der Rohstofflandkarte.	103
Abbildung 57: Sekundärrohstofflandkarte Gold 2030.....	106

Abbildung 58: Sekundärrohstofflandkarte Silber 2030 .....	106
Abbildung 59: Sekundärrohstofflandkarte Palladium 2030.....	107
Abbildung 60: Sekundärrohstofflandkarte Platin 2030 .....	107
Abbildung 61: Sekundärrohstofflandkarte Cer 2030 .....	108
Abbildung 62: Sekundärrohstofflandkarte Neodym 2030 .....	108
Abbildung 63: Sekundärrohstofflandkarte Yttrium 2030 .....	109
Abbildung 64: Sekundärrohstofflandkarte Wolfram 2030 .....	109
Abbildung 65: Sekundärrohstofflandkarte Gallium 2030 .....	110
Abbildung 66: Sekundärrohstofflandkarte Indium 2030.....	110
Abbildung 67: Zusammengefasste Ideen zur Fragestellung 1 „Rahmenbedingungen“ während des „World Cafes“ .....	118
Abbildung 68: Zusammengefasste Ideen zur Fragestellung 2 „Sammlung“ während des „World Cafes“ .....	119
Abbildung 69: Zusammengefasste Ideen zur Fragestellung 3 „Verwertungstechnologien“ während des „World Cafes“ .....	120

# Anhang I – Entwicklungen Absatzzahlen ausgewählter EAG in Österreich

Produkt	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Bildschirmgeräte	Abgesetzte Menge in Stk.								
LCD TV	273.756	391.190	597.857	769.593	843.623	920.426	942.577	797.395	838.924
Plasma TV	45.024	53.193	74.567	76.623	82.953	67.249	40.827	18.627	10.490
CRT TV	273.756	144.568	64.740	15.284	3.473	2.270	433	217	217
Notebook	228.631	303.240	449.127	644.164	725.017	742.659	593.927	524.585	570.263
Tablet	-	-	-	-	44.541	149.512	347.397	580.570	696.883
Elektrokleingeräte	Abgesetzte Menge in Stk.								
Handy	2.079.744	2.417.860	2.108.253	1.686.319	1.494.473	1.128.220	719.542	450.601	315.239
Smartphone	110.305	110.617	136.876	300.277	786.823	1.516.700	1.919.195	2.341.326	2.531.145
PC	145.402	141.747	136.775	155.997	161.512	150.554	131.357	132.899	166.799
DVD Player	364.306	313.214	279.628	297.322	294.624	293.081	290.281	265.694	249.044
Drucker	221.612	183.153	150.452	109.229	94.905	92.793	78.313	69.380	69.237
Dikitalkamera	787.174	861.363	944.251	833.480	841.784	860.162	734.891	582.872	420.878
Camcorder	82.227	72.536	72.744	86.812	82.748	74.235	67.245	69.380	69.237
Gasentladungslampen inkl. LED	Abgesetzte Menge in Stk.								
LED				122.451	222.407	308.425	628.566	1.417.490	1.488.364
Leuchtstofflampen	5.136.356	5.383.866	6.661.554	6.481.495	6.986.824	7.010.319	7.080.985	7.254.542	7.181.997
Energiesparlampen	1.000.000	2.000.000	3.000.000	2.918.911	3.146.484	3.157.065	3.188.889	3.267.050	3.234.379
	<b>Prognose</b>								
Produkt	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Bildschirmgeräte	Abgesetzte Menge in Stk.								
LCD TV	894.378	920.532	937.179	942.732	945.467	972.938	997.474	1.015.832	1.032.693
Plasma TV	7.951	5.669	3.692	2.307	1.448	950	639	420	272
CRT TV	102	52	29	15	9	6	3	2	1
Notebook	603.924	601.803	586.748	567.244	564.178	571.600	572.077	567.006	561.474
Tablet	711.518	726.460	741.715	757.291	773.194	789.431	806.009	822.936	840.217
Elektrokleingeräte	Abgesetzte Menge in Stk.								
Handy	231.418	167.349	116.468	79.913	55.475	39.139	27.652	19.409	13.555
Smartphone	2.733.637	2.952.328	3.188.514	3.443.595	3.581.339	3.724.592	3.873.576	4.028.519	4.189.660
PC	158.626	158.388	158.150	157.913	157.676	155.942	154.226	153.506	152.709
DVD Player	244.563	236.850	228.494	219.288	209.330	201.195	194.174	186.852	179.613
Drucker	61.165	55.638	50.989	46.207	42.353	39.037	35.485	32.407	29.616
Dikitalkamera	370.658	326.306	280.212	233.012	192.877	160.768	136.990	116.077	97.717
Camcorder	68.998	66.495	64.200	62.716	62.008	60.864	59.575	58.137	56.852
Gasentladungslampen inkl. LED	Abgesetzte Menge in Stk.								
LED	1.562.782	1.640.921	1.690.149	1.740.853	1.793.079	1.846.871	1.902.278	1.959.346	2.018.126
Leuchtstofflampen	7.110.177	7.039.075	6.968.684	6.898.998	6.830.008	6.761.708	6.694.090	6.627.150	6.560.878
Energiesparlampen	3.202.035	3.170.015	3.138.315	3.106.932	3.075.862	3.045.104	3.014.653	2.984.506	2.954.661
Produkt	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030		
Bildschirmgeräte	Abgesetzte Menge in Stk.								
LCD TV	1.049.578	1.068.562	1.090.595	1.111.549	1.131.793	1.152.369	1.173.623		
Plasma TV	176	115	75	49	32	21	14		
CRT TV	1	0	0	0	0	0	0		
Notebook	557.425	555.823	554.459	551.657	548.327	545.276	542.623		
Tablet	857.862	875.877	894.270	913.050	932.224	951.801	971.789		
Elektrokleingeräte	Abgesetzte Menge in Stk.								
Handy	9.472	6.639	4.660	3.269	2.290	1.604	1.124		
Smartphone	4.273.453	4.358.922	4.446.100	4.535.022	4.625.723	4.671.980	4.718.700		
PC	151.822	150.831	149.720	148.707	147.807	146.878	145.928		
DVD Player	172.551	165.794	159.475	153.416	147.509	141.810	136.333		
Drucker	27.052	24.744	22.624	20.657	18.876	17.250	15.764		
Dikitalkamera	81.987	68.890	58.029	48.966	41.251	34.717	29.218		
Camcorder	55.712	54.624	53.482	52.341	51.224	50.155	49.118		
Gasentladungslampen inkl. LED	Abgesetzte Menge in Stk.								
LED	2.078.670	2.141.030	2.205.261	2.271.419	2.339.561	2.409.748	2.482.041		
Leuchtstofflampen	6.495.269	6.430.317	6.366.013	6.302.353	6.239.330	6.176.936	6.115.167		
Energiesparlampen	2.925.115	2.895.863	2.866.905	2.838.236	2.809.853	2.781.755	2.753.937		

## Anhang II – Daten Quantitative Analyse

### Altfahrzeuge

Gold Fahrzeuge							
Bezug	Einheit	Mengegehalt laut Literatur		Quelle	Mengegehalte		
					min.	Ø	max.
<b>Standardfahrzeug</b>							
PKW Gesamt- Mittelklasse geringe Ausstattung Volvo	g/Stk	5,95	-	6,05	0,004	0,27	7,05
PKW Gesamt Mittelklasse hohe Ausstattung Volvo	g/Stk	6,95	-	7,05			
PKW Gesamt Großwagen Mittlere Ausstattung Volvo	g/Stk	4,90	-	5,00			
Ø Cullbrand	g/Stk			5,98			
Leiterplatten (Steuergeräte) BJ 1997	g/Stk	0,004	-	0,82			
Ø Sakai	g/Stk			0,39			
<b>Allgemein</b>							
Leiterplatten (VW BJ 2010-2013)	g/Stk			0,29			
Leiterplatten	g/Stk			0,19			
Elektronikkomponenten	g/Stk			0,22			
<b>Hybridfahrzeug</b>							
Gesamt Hybrid Mittelklasse Mittlere Ausstattung	g/Stk	5,85	-	5,95	0,01	0,24	5,95
Ø Durchschnitt Cullbrand				5,90			
Leiterplatten (Steuergeräte) BJ 1998	g/Stk	0,01	-	0,80			
Ø Sakai	g/Stk			0,27			

Silber Fahrzeuge							
Bezug	Einheit	Mengegehalt laut Literatur		Quelle	Mengegehalte		
					min.	Ø	max.
<b>Standardfahrzeug</b>							
PKW Gesamt- Mittelklasse geringe Ausstattung Volvo	g/Stk		13,30	Cullbrand et al. (2011)	0,01	1,42	20,70
PKW Gesamt Mittelklasse hohe Ausstattung Volvo	g/Stk		19,10	Cullbrand et al. (2011)			
PKW Gesamt Großwagen Mittlere Ausstattung Volvo	g/Stk		20,70	Cullbrand et al. (2011)			
Ø Cullbrand	g/Stk		17,70	Cullbrand et al. (2011)			
Leiterplatten (Steuergeräte) BJ 1997	g/Stk	0,01	4,51	Sakai et al. (2013)			
Ø Sakai	g/Stk		0,90	Sakai et al. (2013)			
<b>Allgemein</b>							
Leiterplatten (VW BJ 2010-2013)	g/Stk		2,81	Schmidt et al. (2014)			
Leiterplatten	g/Stk		0,69	Widmer et al. (2014)			
Elektronikkomponenten	g/Stk		1,30	Widmer et al. (2015)			
<b>Hybridfahrzeug</b>							
Gesamt Hybrid Mittelklasse Mittlere Ausstattung	g/Stk		50,00	Cullbrand et al. (2011)	0,01	1,20	50
Leiterplatten (Steuergeräte) BJ 1998	g/Stk	0,01	0,04	Sakai et al. (2013)			
Ø Sakai	g/Stk		0,02	Sakai et al. (2013)			

Palladium Fahrzeuge							
Bezug	Einheit	Mengegehalt laut Literatur		Quelle	Mengegehalte		
					min.	Ø	max.
<b>Standardfahrzeug</b>							
PKW Gesamt- Mittelklasse geringe Ausstattung Volvo	g/Stk		1,22	Cullbrand et al. (2011)	0,05	1,45	2,58
PKW Gesamt Mittelklasse hohe Ausstattung Volvo	g/Stk		1,54	Cullbrand et al. (2011)			
PKW Gesamt Großwagen Mittlere Ausstattung Volvo	g/Stk		1,24	Cullbrand et al. (2011)			
Ø Cullbrand	g/Stk		1,33	Cullbrand et al. (2011)			
Leiterplatten (Steuergeräte) BJ 1997	g/Stk	0,09	- 1,27	Sakai et al. (2013)			
Ø Sakai	g/Stk		0,49	Sakai et al. (2013)			
<b>Allgemein</b>							
Leiterplatten (VW BJ 2010-2013)	g/Stk		0,05	Schmidt et al. (2014)			
Leiterplatten	g/Stk		0,06	Widmer et al. (2014)			
Elektronikkomponenten	g/Stk		0,06	Widmer et al. (2015)			
Katalysator, Zündkerzen, Lamdasonde etc.	g/Stk		2,30	Kuriki et al. (2010)			
Katalysator	g/Stk	0,47	- 1,41	Hagelüken (2008)			
Katalysator	g/Stk	0,26	- 2,58	Kuchta (2014) S. 141, Johnson Matthey (2013)			
<b>Hybridfahrzeug</b>							
Gesamt Hybrid Mittelklasse Mittlere Ausstattung	g/Stk		1,81	Cullbrand et al. (2011)	0,02	1,73	2,17
Leiterplatten (Steuergeräte) BJ 1998	g/Stk Ø	0,02	- 2,17	Sakai et al. (2013)			
Ø Sakai	g/Stk		0,84	Sakai et al. (2013)			

Platin Fahrzeuge							
Bezug	Einheit	Mengengehalt laut Literatur		Quelle	Mengengehalte		
					min.	Ø	max.
Standardfahrzeug							
PKW Gesamt- Mittelklasse geringe Ausstattung Volvo	g/Stk		5,48	Cullbrand et al. (2011)	0,01	1,04	8,08
PKW Gesamt Mittelklasse hohe Ausstattung Volvo	g/Stk		8,08	Cullbrand et al. (2011)			
PKW Gesamt Großwagen Mittlere Ausstattung Volvo	g/Stk		7,85	Cullbrand et al. (2011)			
Ø Cullbrand	g/Stk		7,14	Cullbrand et al. (2011)			
Allgemein							
Leiterplatten	g/Stk		0,01	Widmer et al. (2014)			
Elektronikkomponenten	g/Stk		0,01	Widmer et al. (2015)			
Katalysator	g/Stk	0,43	- 1,30	Hagelüken (2008)			
Katalysator	g/Stk	0,22	- 2,17	Kuchta (2014) S. 141, Johnson Matthey (2013)			
Hybridfahrzeug							
Gesamt Hybrid Mittelklasse Mittlere Ausstattung	g/Stk		5,51	Cullbrand et al. (2011)	0,45	1,45	5,51

Cer Fahrzeuge							
Bezug	Einheit	Mengengehalt laut Literatur		Quelle	Mengengehalte		
					min.	Ø	max.
Standardfahrzeug							
PKW Gesamt- Mittelklasse geringe Ausstattung Volvo	g/Stk		0,29	Cullbrand et al. (2011)	0,004	0,09	12,91
PKW Gesamt Mittelklasse hohe Ausstattung Volvo	g/Stk		11,83	Cullbrand et al. (2011)			
PKW Gesamt Großwagen Mittlere Ausstattung Volvo	g/Stk		12,91	Cullbrand et al. (2011)			
Ø Cullbrand	g/Stk		8,34	Cullbrand et al. (2011)			
Leiterplatten (Steuergeräte) BJ 1997	g/Stk	0,004	- 0,02	Sakai et al. (2013)			
Ø Sakai	g/Stk		0,01	Sakai et al. (2013)			
Allgemein							
Leiterplatten	g/Stk		0,02	Widmer et al. (2014)			
Elektronikkomponenten	g/Stk		0,03	Widmer et al. (2015)			
Hybridfahrzeug							
Gesamt Hybrid Mittelklasse Mittlere Ausstattung	g/Stk		0,31	Cullbrand et.al (2011)	0,01	0,12	1,52
Leiterplatten (Steuergeräte) BJ 1998	g/Stk	0,01	- 1,52	Sakai et al. (2013)			
Ø Sakai	g/Stk		0,13	Sakai et al. (2013)			

Neodym Fahrzeuge							
Bezug	Einheit	Mengengehalt laut Literatur		Quelle	Mengengehalte		
					min.	Ø	max.
<b>Standardfahrzeug</b>							
PKW Gesamt- Mittelklasse geringe Ausstattung Volvo	g/Stk		43,38	Cullbrand et al. (2011)	0,01	1,32	205,68
PKW Gesamt Mittelklasse hohe Ausstattung Volvo	g/Stk		205,68	Cullbrand et al. (2011)			
PKW Gesamt Großwagen Mittlere Ausstattung Volvo	g/Stk		27,60	Cullbrand et al. (2011)			
Ø Cullbrand	g/Stk		92,22	Cullbrand et al. (2011)			
Leiterplatten (Steuergeräte) BJ 1997	g/Stk	0,01	- 2,30	Sakai et al. (2013)			
Ø Sakai	g/Stk		0,49	Sakai et al. (2013)			
<b>Allgemein</b>							
Leiterplatten	g/Stk		2,16	Widmer et al. (2014)			
Elektronikkomponenten	g/Stk		1,31	Widmer et al. (2015)			
<b>Hybridfahrzeug</b>							
Gesamt Hybrid Mittelklasse Mittlere Ausstattung	g/Stk		531,88	Cullbrand et al. (2011)	0,004	497,38	720
Leiterplatten (Steuergeräte) BJ 1998	g/Stk	0,004	- 0,33	Sakai et al. (2013)			
Ø Sakai	g/Stk		0,13	Sakai et al. (2013)			
Hybridmotor BJ 1998	g/Stk		240,00	Sakai et al. (2013)			
Hybridmotor (2,4 kg x 30 % Nd)	g/Stk		720,00	Zepf (2015)			

Yttrium Fahrzeuge							
Bezug	Einheit	Mengengehalt laut Literatur		Quelle	Mengengehalte		
					min.	Ø	max.
<b>Standardfahrzeug</b>							
PKW Gesamt- Mittelklasse geringe Ausstattung Volvo	g/Stk		0,22	Cullbrand et al. (2011)	0,01	0,09	0,23
PKW Gesamt Mittelklasse hohe Ausstattung Volvo	g/Stk		0,23	Cullbrand et al. (2011)			
PKW Gesamt Großwagen Mittlere Ausstattung Volvo	g/Stk		0,02	Cullbrand et al. (2011)			
Ø Cullbrand	g/Stk		0,16	Cullbrand et al. (2011)			
Leiterplatten (Steuergeräte) BJ 1997	g/Stk	0,01	- 0,09	Sakai et al. (2013)			
Ø Sakai	g/Stk		0,02	Sakai et al. (2013)			
<b>Allgemein</b>							
Leiterplatten	g/Stk		0,08	Widmer et al. (2014)			
Elektronikkomponenten	g/Stk		0,09	Widmer et al. (2015)			
<b>Hybridfahrzeug</b>							
Gesamt Hybrid Mittelklasse Mittlere Ausstattung	g/Stk		0,23	Cullbrand et al. (2011)	0,004	0,10	0,23
Leiterplatten (Steuergeräte) BJ 1998	g/Stk	0,004	- 0,05	Sakai et al. (2013)			
Ø Sakai	g/Stk		0,01	Sakai et al. (2013)			

Wolfram Fahrzeuge							
Bezug	Einheit	Mengegehalt laut Literatur		Quelle	Mengegehalte		
					min.	Ø	max.
<b>Standardfahrzeug</b>							
Leiterplatten (Steuergeräte) BJ 1997	g/Stk	0,16	-	0,38	0,03	0,10	0,38
Ø Sakai	g/Stk			0,27			
<b>Allgemein</b>							
Leiterplatten	g/Stk			0,05	0,03	0,10	0,38
Leiterplatten	g/Stk			0,03			
Elektronikkomponenten	g/Stk			0,06			
<b>Hybridfahrzeug</b>							
Leiterplatten (Steuergeräte) (Ø 0,04 g/Stk.) BJ 1998	g/Stk	0,004	-	0,25	0,004	0,05	0,25
Ø Sakai	g/Stk			0,04			

Gallium Fahrzeuge							
Bezug	Einheit	Mengegehalt laut Literatur		Quelle	Mengegehalte		
					min.	Ø	max.
<b>Standardfahrzeug</b>							
PKW Gesamt- Mittelklasse geringe Ausstattung Volvo	g/Stk			0,08	0,004	0,12	0,56
PKW Gesamt Mittelklasse hohe Ausstattung Volvo	g/Stk			0,56			
PKW Gesamt Großwagen Mittlere Ausstattung Volvo	g/Stk			0,42			
Ø Cullbrand	g/Stk			0,35			
Leiterplatten (Steuergeräte) BJ 1997	g/Stk	0,004	-	0,01			
Ø Sakai	g/Stk			0,01			
<b>Allgemein</b>							
Leiterplatten	g/Stk			0,08	0,004	0,18	0,57
Elektronikkomponenten	g/Stk			0,04			
<b>Hybridfahrzeug</b>							
Gesamt Hybrid Mittelklasse Mittlere Ausstattung	g/Stk			0,57	0,004	0,18	0,57
Leiterplatten (Steuergeräte) BJ 1998	g/Stk	0,004	-	0,04			
Ø Sakai	g/Stk			0,01			

Indium Fahrzeuge								
Bezug	Einheit	Mengegehalt laut Literatur		Quelle	Mengegehalte			
					min.	Ø	max.	
Standardfahrzeug								
PKW Gesamt- Mittelklasse geringe Ausstattung Volvo	g/Stk			0,15	Cullbrand et al. (2011)	0,05	<b>0,25</b>	0,86
PKW Gesamt Mittelklasse hohe Ausstattung Volvo	g/Stk			0,05	Cullbrand et al. (2011)			
PKW Gesamt Großwagen Mittlere Ausstattung Volvo	g/Stk			0,38	Cullbrand et al. (2011)			
Ø Cullbrand	g/Stk			0,19	Cullbrand et al. (2011)			
Leiterplatten (Steuergeräte) BJ 1997	g/Stk	0,09	-	0,86	Sakai et al. (2013)			
Ø Sakai	g/Stk			0,49	Sakai et al. (2013)			
Allgemein								
Leiterplatten	g/Stk			0,15	Widmer et al. (2014)			
Elektronikkomponenten	g/Stk			0,15	Widmer et al. (2015)			
Hybridfahrzeug								
Gesamt Hybrid Mittelklasse Mittlere Ausstattung	g/Stk			0,08	Cullbrand et al. (2011)	0,08	<b>0,39</b>	3,04
Leiterplatten (Steuergeräte) BJ 1998	g/Stk	0,16	-	3,04	Sakai et al. (2013)			
Ø Sakai	g/Stk			1,18	Sakai et al. (2013)			

## Daten Elektroaltgeräte und sonstige Produkte

Gold Elektrogeräte und sonstige Produkte								
Produkt	Einheit	Mengegehalt laut Literatur			Quelle	Mengegehalte		
						min.	Ø	max.
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Bildschirmgeräte</b>								
LCD-TV (CCFL und LED)	mg/Stk	47,5	-	183,0	Sander et al. (2012): S. 46.	47,5	220,2	430,2
	mg/Stk			430,2	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Plasma-TV	mg/Stk			312,0	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	312,0	312,0	312,0
CRT-TV	mg/Stk	6,8	-	170,0	Sander et al. (2012): S. 46.	6,3	61,0	170,0
	mg/Stk			6,3	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Notebook (CCFL und LED)	mg/Stk	100,0	-	250,0	Sander et al. (2012): S. 45.	100,0	192,1	250,0
	mg/Stk			226,3	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Tablet	mg/Stk			131,0	Sander et al. (2012): S. 46.	131,0	131,0	131,0
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Elektro- und Elektronikkleingeräte</b>								
Handy	mg/Stk	50,0	-	68,4	Sander et al. (2012): S. 46.	24,0	41,9	68,4
	mg/Stk			25,0	<a href="http://www.handy-clever-entsorgen.de/">http://www.handy-clever-entsorgen.de/</a>			
	mg/Stk			24,0	UNEP (2013): S. 222			
Smartphone	mg/Stk			30,0	Sander et al. (2012): S. 46.	25,0	30,5	36,5
	mg/Stk			36,5	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
	mg/Stk			25,0	<a href="http://www.handy-clever-entsorgen.de/">http://www.handy-clever-entsorgen.de/</a>			
PC	mg/Stk	316,0	-	338,0	Sander et al. (2012): S. 45.	220,0	277,0	338,0
	mg/Stk			233,9	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
	mg/Stk			220,0	Krutzler et al. (2012): S. 52			
DVD-Player	mg/Stk	46,5	-	628,0	Sander et al. (2012): S. 46.	46,5	255,8	628,0
	mg/Stk			92,9	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Multifunktionsdrucker	mg/Stk	13,3	-	15,7	Sander et al. (2012): S. 46.	8,3	12,4	15,7
	mg/Stk			8,3	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Digitalkamera	mg/Stk	4,9	-	155,0	Sander et al. (2012): S. 46.	4,9	69,3	155,0
	mg/Stk			48,1	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Camcorder	mg/Stk	6,4	-	117,0	Sander et al. (2012): S. 46.	6,4	53,6	117,0
	mg/Stk			37,4	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Gasentladungslampen inkl. LED</b>								
LED	mg/Stk			2,50	Sander et al. (2012): S. 46.	0,21	1,36	2,50
	mg/Stk			0,21	Sander et al. (2013): S. 68.			
Leuchtstoffröhren	mg/Stk			0,03	Sander et al. (2012): S. 46.	0,03	0,03	0,03
Energiesparlampe	mg/Stk	keine Angaben						
<b>Sonstige wertstoffrelevante Produkte</b>								
Photovoltaikmodule	kg/MWp	keine Angaben						
Windkraftanlage	kg/MW	keine Angaben						
Wendeschneidplatte	mg/Stk	keine Angaben						
ind. Poliermittel	mg/kg	keine Angaben						

Silber Elektrogeräte und sonstige Produkte							
Produkt	Einheit	Mengegehalt laut Literatur		Quelle	Mengegehalte		
					min.	Ø	max.
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Bildschirmgeräte</b>							
LCD-TV (CCFL und LED)	mg/Stk	198,0	- 580,0	Sander et al. (2012): S. 48.	198,0	<b>389,0</b>	580,0
Plasma-TV	mg/Stk	keine Angaben					
CRT-TV	mg/Stk	191,0	- 2650,0	Sander et al. (2012): S. 48.	191,0	<b>1420,5</b>	2650,0
Notebook (CCFL und LED)	mg/Stk	437,0	- 440,0	Sander et al. (2012): S. 47.	437,0	<b>438,5</b>	440,0
Tablet	mg/Stk		26,4	Sander et al. (2012): S. 47.	26,4	<b>26,4</b>	26,4
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Elektro- und Elektronikkleingeräte</b>							
Handy	mg/Stk	127,0	- 715,0	Sander et al. (2012): S. 48.	127,0	<b>315,5</b>	715,0
	mg/Stk		170,0	<a href="http://www.handy-clever-entsorgen.de/hintergrundwissen">http://www.handy-clever-entsorgen.de/hintergrundwissen</a>			
	mg/Stk		250,0	UNEP (2013): S 222			
Smartphone	mg/Stk		305,0	Sander et al. (2012): S. 48.	170,0	<b>237,5</b>	305,0
	mg/Stk		170,0	<a href="http://www.handy-clever-entsorgen.de/hintergrundwissen">http://www.handy-clever-entsorgen.de/hintergrundwissen</a>			
PC	mg/Stk	804,0	- 2127,0	Sander et al. (2012): S. 47.	804,0	<b>1310,3</b>	2127,0
	mg/Stk		1000,0	Krutzler et.al (2012): S 52			
DVD-Player	mg/Stk	318,0	- 5024,0	Sander et al. (2012): S. 48.	318,0	<b>2671,0</b>	5024,0
Multifunktionsdrucker	mg/Stk	29,0	- 98,7	Sander et al. (2012): S. 47.	29,0	<b>63,9</b>	98,7
Digitalkamera	mg/Stk	38,6	- 204,0	Sander et al. (2012): S. 48.	38,6	<b>121,3</b>	204,0
Camcorder	mg/Stk	34,4	- 531,0	Sander et al. (2012): S. 48.	34,4	<b>282,7</b>	531,0
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Gasentladungslampen inkl. LED</b>							
LED	mg/Stk		10,1	Sander et al. (2012): S. 48.	0,0	<b>5,1</b>	10,1
	mg/Stk		0,01	Sander et al. (2013): S. 68.			
Leuchtstoffröhren	mg/Stk		0,3	Sander et al. (2012): S. 48.	0,3	<b>0,3</b>	0,3
Energiesparlampe	mg/Stk	keine Angaben					
<b>Sonstige wertstoffrelevante Produkte</b>							
Photovoltaikmodule (c-Si - Module)	kg/MWp		4,8	Bayerischer Cluster Energietechnik (2012): S 31	4,8	<b>25,9</b>	62,0
	kg/MWp		11,0	Schrieffl (2013): S 13			
	kg/MWp		62,0	Schlegl (2013): S 11			
Windkraftanlage	kg/MW	keine Angaben					
Wendeschneidplatte	mg/Stk	keine Angaben					
ind. Poliermittel	mg/kg	keine Angaben					

Palladium Elektrogeräte und sonstige Produkte							
Produkt	Einheit	Mengegehalt laut Literatur		Quelle	Mengegehalte		
					min.	Ø	max.
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Bildschirmgeräte</b>							
LCD-TV (CCFL und LED)	mg/Stk	0,0	- 44,0	Sander et al. (2012): S. 49 f.	0,0	<b>64,5</b>	149,4
	mg/Stk		149,4	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Plasma-TV	mg/Stk		156,0	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	156,0	<b>156,0</b>	156,0
CRT-TV	mg/Stk	2,3	- 67,0	Sander et al. (2012): S. 50.	2,3	<b>25,1</b>	67,0
	mg/Stk		5,9	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Notebook (CCFL und LED)	mg/Stk	40,0	- 79,5	Sander et al. (2012): S. 49.	40,0	<b>68,6</b>	86,3
	mg/Stk		86,3	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Tablet	mg/Stk	16,0	- 22,0	2-fach Smartphone	16,0	<b>19,0</b>	22,0
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Elektro- und Elektronikkleingeräte</b>							
Handy	mg/Stk	10,0	- 36,6	Sander et al. (2012): S. 49.	8,0	<b>15,9</b>	36,6
	mg/Stk		8,0	<a href="http://www.handy-clever-entsor">http://www.handy-clever-entsor</a>			
	mg/Stk		9,0	UNEP (2013): S 222			
Smartphone	mg/Stk		11,0	Sander et al. (2012): S. 49.	8,0	<b>9,5</b>	11,0
	mg/Stk		9,5	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
	mg/Stk		8,0	<a href="http://www.handy-clever-entsor">http://www.handy-clever-entsor</a>			
PC	mg/Stk	146,0	- 212,0	Sander et al. (2012): S. 49.	126,5	<b>141,1</b>	212,0
	mg/Stk		126,5	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
	mg/Stk		80,0	Krutzler et al (2012): S 52			
DVD-Player	mg/Stk	9,0	- 15,7	Sander et al. (2012): S. 50.	9,0	<b>17,0</b>	26,4
	mg/Stk		26,4	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Multifunktionsdrucker	mg/Stk	2,5	- 8,7	Sander et al. (2012): S. 49.	2,5	<b>4,9</b>	8,7
	mg/Stk		3,4	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Digitalkamera	mg/Stk	0,9	- 21,0	Sander et al. (2012): S. 49.	0,9	<b>11,1</b>	21,0
	mg/Stk		11,5	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Camcorder	mg/Stk	1,6	- 103,0	Sander et al. (2012): S. 49.	1,6	<b>55,2</b>	103,0
	mg/Stk		60,9	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Gasentladungslampen inkl. LED</b>							
LED	mg/Stk	keine Angaben					
Leuchtstoffröhren	mg/Stk		0,02	Sander et al. (2012): S. 50.	0,02	<b>0,02</b>	0,02
Energiesparlampe	mg/Stk	keine Angaben					
<b>Sonstige wertstoffrelevante Produkte</b>							
Photovoltaikmodule	kg/MWp	keine Angaben					
Windkraftanlage	kg/MW	keine Angaben					
Wendeschneidplatte	mg/Stk	keine Angaben					
ind. Poliermittel	mg/kg	keine Angaben					

Platin Elektrogeräte und sonstige Produkte						
Produkt	Einheit	Mengegehalt laut Literatur	Quelle	Mengegehalte		
				min.	Ø	max.
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Bildschirmgeräte</b>						
LCD-TV (CCFL und LED)	mg/Stk	keine Angaben				
Plasma-TV	mg/Stk	keine Angaben				
CRT-TV	mg/Stk	keine Angaben				
Notebook (CCFL und LED)	mg/Stk	0,9	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	0,9	2,5	4,0
	mg/Stk	4,0	Buchert et al. (2012b): S. 32.			
Tablet	mg/Stk	0,6	2-fach Smartphone	0,6	0,6	0,6
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Elektro- und Elektronikkleingeräte</b>						
Handy	mg/Stk	0,3	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	0,3	0,3	0,3
Smartphone	mg/Stk	0,3	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	0,3	0,3	0,3
PC	mg/Stk	2,7	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	2,7	2,7	2,7
DVD-Player	mg/Stk	3,2	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	3,2	3,2	3,2
Multifunktionsdrucker	mg/Stk	0,2	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	0,2	0,2	0,2
Digitalkamera	mg/Stk	0,1	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	0,1	0,1	0,1
Camcorder	mg/Stk	0,7	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	0,7	0,7	0,7
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Gasentladungslampen inkl. LED</b>						
LED	mg/Stk	keine Angaben				
Leuchtstoffröhren	mg/Stk	keine Angaben				
Energiesparlampe	mg/Stk	keine Angaben				
<b>Sonstige wertstoffrelevante Produkte</b>						
Photovoltaikmodule	kg/MWp	keine Angaben				
Windkraftanlage	kg/MW	keine Angaben				
Wendeschneidplatte	mg/Stk	keine Angaben				
ind. Poliermittel	mg/kg	keine Angaben				

Cer Elektrogeräte und sonstige Produkte							
Produkt	Einheit	Mengegehalt laut Literatur		Quelle	Mengegehalte		
					min.	Ø	max.
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Bildschirmgeräte</b>							
LCD-TV (CCFL)	mg/Stk		4,5	Buchert et al. (2012b): S. 14.	0,3	2,4	4,5
LCD-TV (LED)	mg/Stk		0,3	Buchert et al. (2012b): S. 14.			
Plasma-TV	mg/Stk	keine Angaben					
CRT-TV	mg/Stk	keine Angaben					
Notebook	mg/Stk		15,6	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	0,08	5,3	15,6
Notebook (CCLF)	mg/Stk		0,08	Buchert et al. (2012b): S. 32.			
Notebook (LED)	mg/Stk		0,1	Buchert et al. (2012b): S. 32.			
Tablet	mg/Stk		41,6	2-fach Smartphone	41,6	41,6	41,6
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Elektro- und Elektronikkleingeräte</b>							
Handy	mg/Stk		20,8	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	20,8	20,8	20,8
Smartphone	mg/Stk		20,8	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	20,8	20,8	20,8
PC	mg/Stk		20,4	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	20,4	20,4	20,4
DVD-Player	mg/Stk		7,0	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	7,0	7,0	7,0
Multifunktionsdrucker	mg/Stk	keine Angaben					
Digitalkamera	mg/Stk		4,6	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	4,6	4,6	4,6
Camcorder	mg/Stk		15,8	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	15,8	15,8	15,8
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Gasentladungslampen inkl. LED</b>							
LED	mg/Stk		0,002	Buchert et al. (2012a): S.51.	0,002	0,002	0,002
Leuchtstoffröhren	mg/Stk		457,5	Sander et al. (2012): S. 61	17,3	17,3	457,5
4 % Stäube	mg/Stk		17,3	Poscher, A. et al. (2012)			
Energiesparlampe	mg/Stk	4,3	- 21,5	Sander et al. (2012): S 61	4,3	12,9	21,5
<b>Sonstige wertstoffrelevante Produkte</b>							
Photovoltaikmodule	kg/MWp	keine Angaben					
Windkraftanlage	kg/MW	keine Angaben					
Wendeschneidplatte	mg/Stk	keine Angaben					
ind. Poliermittel	mg/kg		300.000	Annahme	300.000	300.000	300.000

Neodym Elektrogeräte und sonstige Produkte							
Produkt	Einheit	Mengegehalt laut Literatur		Quelle	Mengegehalte		
					min.	Ø	max.
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Bildschirmgeräte</b>							
LCD-TV (CCFL und LED)	mg/Stk	keine Angaben					
Plasma-TV	mg/Stk		156,0	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	156,0	<b>156,0</b>	156,0
CRT-TV	mg/Stk		0,9	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	0,9	<b>0,9</b>	0,9
Notebook (CCFL und LED)	mg/Stk		2.100,0	Sander et al. (2012): S. 58.	251,5	<b>1.175,8</b>	2.100,0
	mg/Stk		251,5	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Tablet	mg/Stk		347,0	Sander et al. (2012): S. 58.	347,0	<b>347,0</b>	347,0
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Elektro- und Elektronikkleingeräte</b>							
Handy	mg/Stk	46,0	- 118,0	Sander et al. (2012): S. 58.	46,0	<b>82,0</b>	118,0
Smartphone	mg/Stk		120,0	Sander et al. (2012): S. 58.	50,0	<b>79,4</b>	120,0
	mg/Stk		68,1	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
	mg/Stk		50,0	Buchert et al. (2012b): S. 42.			
PC	mg/Stk		6830,0	Sander et al. (2012): S. 58.	102,0	<b>3466,0</b>	6830,0
	mg/Stk		102,0	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
DVD-Player	mg/Stk		314,0	Sander et al. (2012): S. 58.	70,0	<b>192,0</b>	314,0
	mg/Stk		70,0	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Multifunktionsdrucker	mg/Stk		7,7	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	7,7	<b>7,7</b>	7,7
Digitalkamera	mg/Stk	16,6	- 170,0	Sander et al. (2012): S. 58.	16,6	<b>69,0</b>	170,0
	mg/Stk		20,4	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Camcorder	mg/Stk		20,8	Sander et al. (2012): S. 58.	20,8	<b>39,3</b>	57,8
	mg/Stk		57,8	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Gasentladungslampen inkl. LED</b>							
LED	mg/Stk	keine Angaben					
Leuchtstoffröhren	mg/Stk	keine Angaben					
Energiesparlampe	mg/Stk	keine Angaben					
<b>Sonstige wertstoffrelevante Produkte</b>							
Photovoltaikmodule	mg/kWp	keine Angaben					
Windkraftanlage Direct Drive Systeme und Hybridsysteme	kg/MW		150,00	Kleijn et al. (2010): S. 2790.	140,00	<b>218,58</b>	400,00
	kg/MW	140,00	- 255,00	Moss et al. (2011): S. 99.			
	kg/MW		201,50	Wuppertal Institut (2014): S. 164.			
	kg/MW		400,00	Schüler et al. (2011): S. 71.			
	kg/MW		165,00	Zepf (2015)			
Wendeschneidplatte	mg/Stk	keine Angaben					
ind. Poliermittel	mg/kg	keine Angaben					

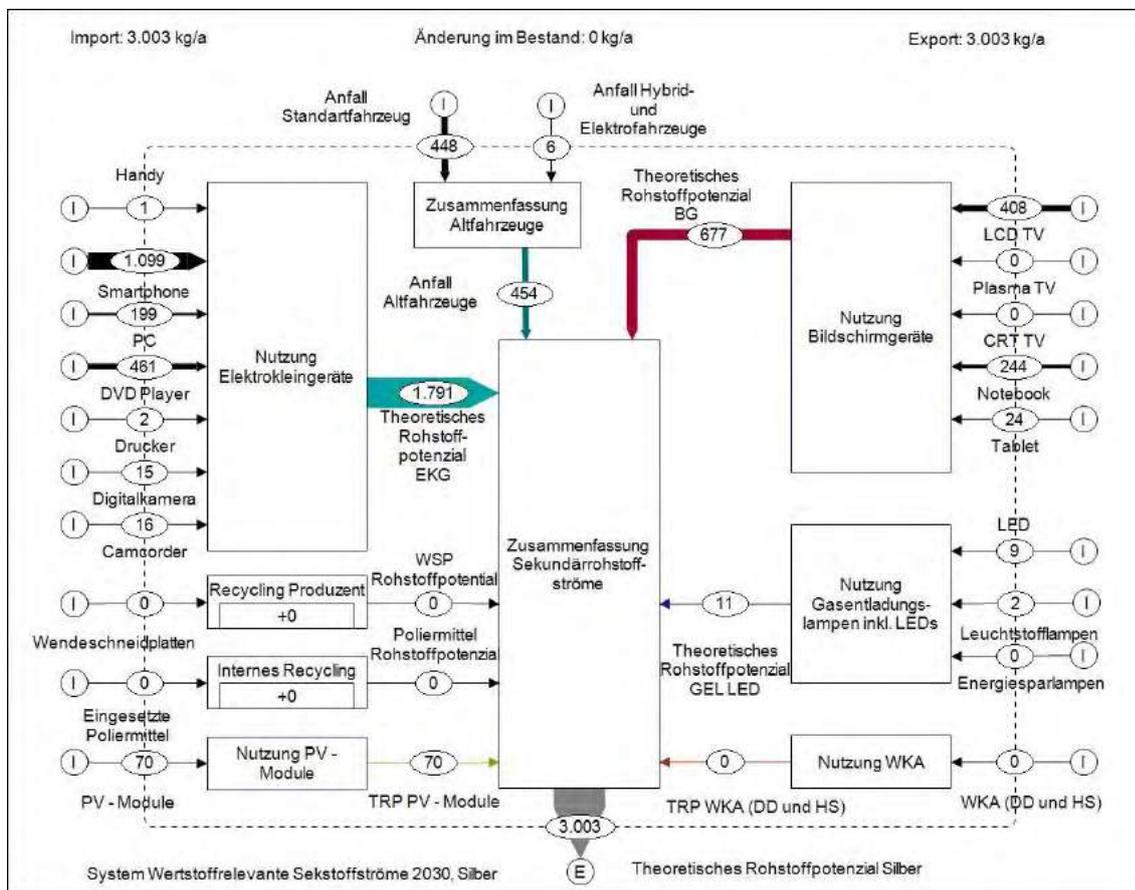
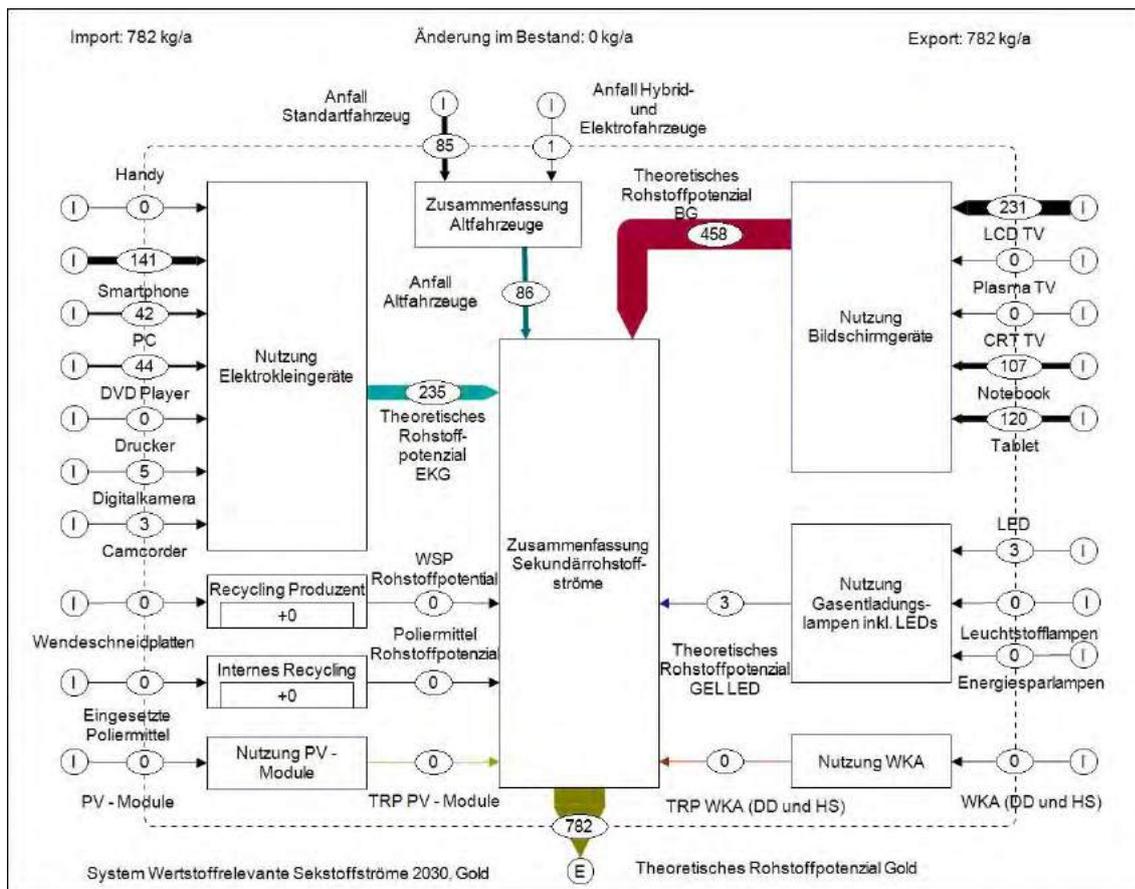
Yttrium Elektrogeräte und sonstige Produkte							
Produkt	Einheit	Mengegehalt laut Literatur		Quelle	Mengegehalte		
					min.	Ø	max.
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Bildschirmgeräte</b>							
LCD-TV (mit CCFL)	mg/Stk	110,0	- 31.200	Sander et al. (2012): S. 60.	4,8	57	31.200
LCD-TV (mit CCLF)	mg/Stk		- 110,0	Buchert et al. (2012b): S. 14.			
LCD-TV (mit LED)	mg/Stk		- 4,8	Buchert et al. (2012b): S. 14.			
Plasma-TV	mg/Stk	keine Angaben					
CRT-TV	mg/Stk	keine Angaben					
Notebook (mit CCFL)	mg/Stk	1,8	- 520,0	Sander et al. (2012): S. 59.	1,6	174,5	520,0
Notebook (mit CCFL)	mg/Stk		1,8	Buchert et al. (2012b): S. 32.			
Notebook (mit LED)	mg/Stk		1,6	Buchert et al. (2012b): S. 32.			
Tablet	mg/Stk		1,9	Sander et al. (2012): S. 59.	1,9	1,9	1,9
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Elektro- und Elektronikkleingeräte</b>							
Handy	mg/Stk	keine Angaben					
Smartphone	mg/Stk	0,00	- 0,01	Sander et al. (2012): S. 60.	0,00	0,01	0,01
PC	mg/Stk	keine Angaben					
DVD-Player	mg/Stk	keine Angaben					
Multifunktionsdrucker	mg/Stk	0,00	- 0,01	Sander et al. (2012): S. 59.	0,00	0,01	0,01
Digitalkamera	mg/Stk	1,9	- 36,1	Sander et al. (2012): S. 60.	1,9	19,0	36,1
Camcorder	mg/Stk		88,0	Sander et al. (2012): S. 60.	88,0	88,0	88,0
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Gasentladungslampen inkl. LED</b>							
LED	mg/Stk	0,032	- 0,5	Sander et al. (2012): S. 60.	0,032	0,2	0,5
	mg/Stk		0,1	Sander et al. (2013): S. 68.			
Leuchtstoffröhren	mg/Stk		2870,0	Sander et al. (2012): S. 60.	86,4	126,1	2870,0
4 % Stäube	mg/Stk		86,4	Handke (1995): S. 64.			
	mg/Stk		165,9	Poscher, A. et al. (2012) S. 375			
Energiesparlampen	mg/Stk	27,0	- 135,0	Sander et al. (2012): S. 60.	27,0	81,0	135,0
<b>Sonstige wertstoffrelevante Produkte</b>							
Photovoltaikmodule	kg/MWp	keine Angaben					
Windkraftanlage	kg/MW	keine Angaben					
Wendeschneidplatte	mg/Stk	keine Angaben					
ind. Poliermittel	mg/kg	keine Angaben					

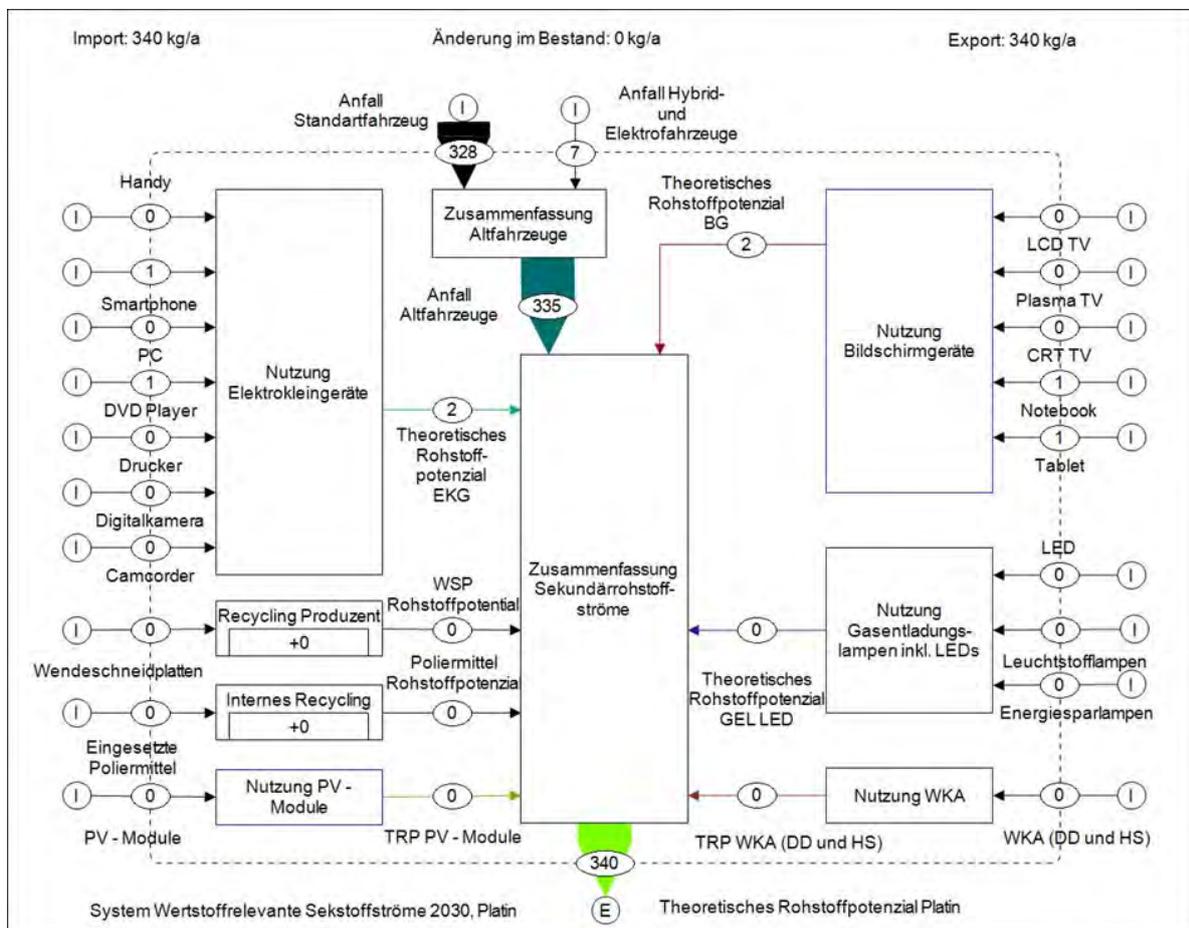
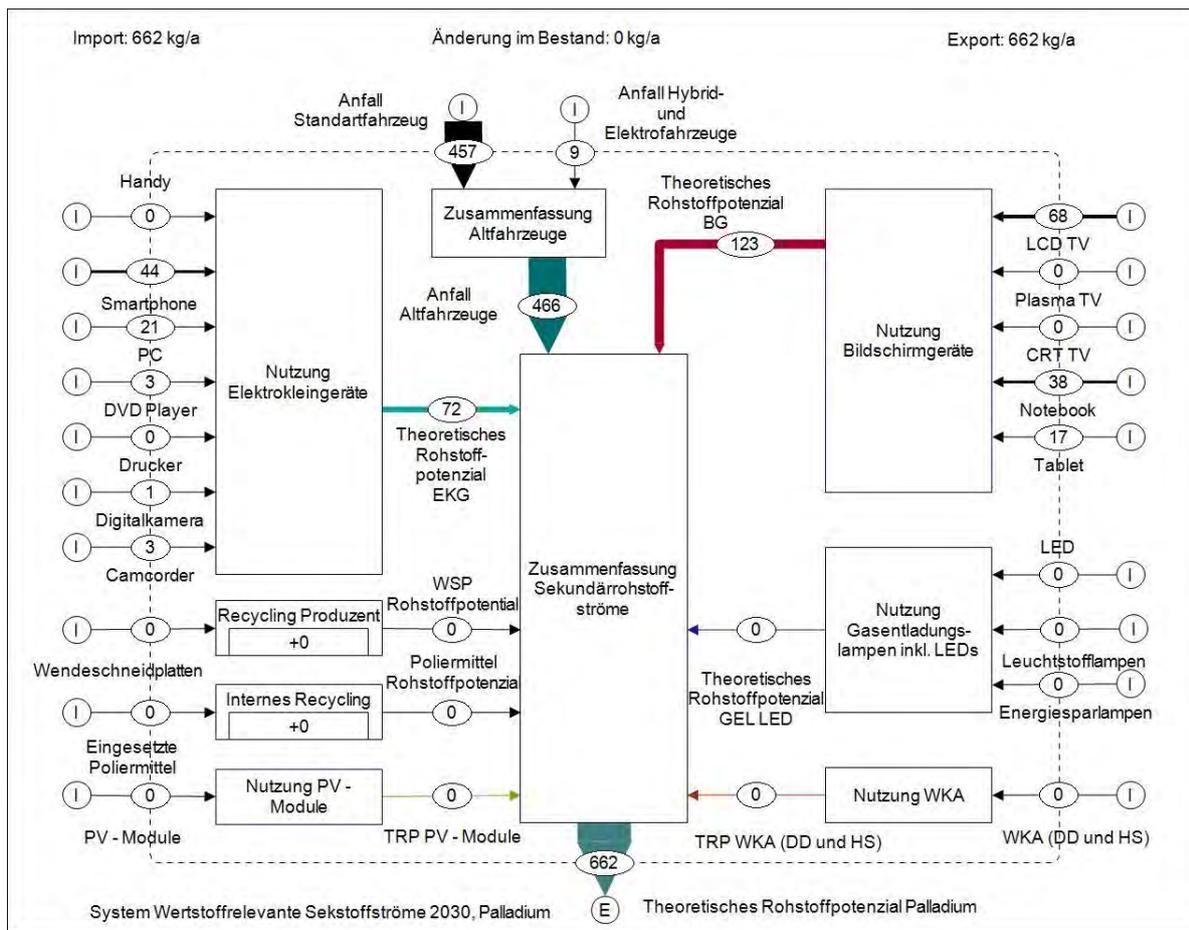
Wolfram Elektrogeräte und sonstige Produkte						
Produkt	Einheit	Mengegehalt laut Literatur	Quelle	Mengegehalte		
				min.	Ø	max.
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Bildschirmgeräte</b>						
LCD-TV (CCFL und LED)	mg/Stk	keine Angaben				
Plasma-TV	mg/Stk	keine Angaben				
CRT-TV	mg/Stk	0,4	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	0,4	<b>0,4</b>	0,4
Notebook (CCFL und LED)	mg/Stk	2,2	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	2,2	<b>2,2</b>	2,2
Tablet	mg/Stk	131,1	2-fach Smartphone	131,1	<b>131,1</b>	131,1
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Elektro- und Elektronikkleingeräte</b>						
Handy	mg/Stk	keine Angaben				
Smartphone	mg/Stk	59,6	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	59,6	<b>59,6</b>	59,6
PC	mg/Stk	336,7	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	336,7	<b>336,7</b>	336,7
DVD-Player	mg/Stk	4,6	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	4,6	<b>4,6</b>	4,6
Multifunktionsdrucker	mg/Stk	1,9	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	1,9	<b>1,9</b>	1,9
Digitalkamera	mg/Stk	42,0	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	42,0	<b>42,0</b>	42,0
Camcorder	mg/Stk	41,0	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	41,0	<b>41,0</b>	41,0
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Gasentladungslampen inkl. LED</b>						
LED	mg/Stk	keine Angaben				
Leuchtstoffröhren	mg/Stk	keine Angaben				
Energiesparlampe	mg/Stk	keine Angaben				
<b>Sonstige wertstoffrelevante Produkte</b>						
Photovoltaikmodule	kg/MWp	keine Angaben				
Windkraftanlage	kg/MW	keine Angaben				
Wendeschneidplatte	mg/Stk	16.000,0	Annahme nach Rücksprache	16000,0	<b>16000,0</b>	16000,0
ind. Poliermittel	mg/kg	keine Angaben				

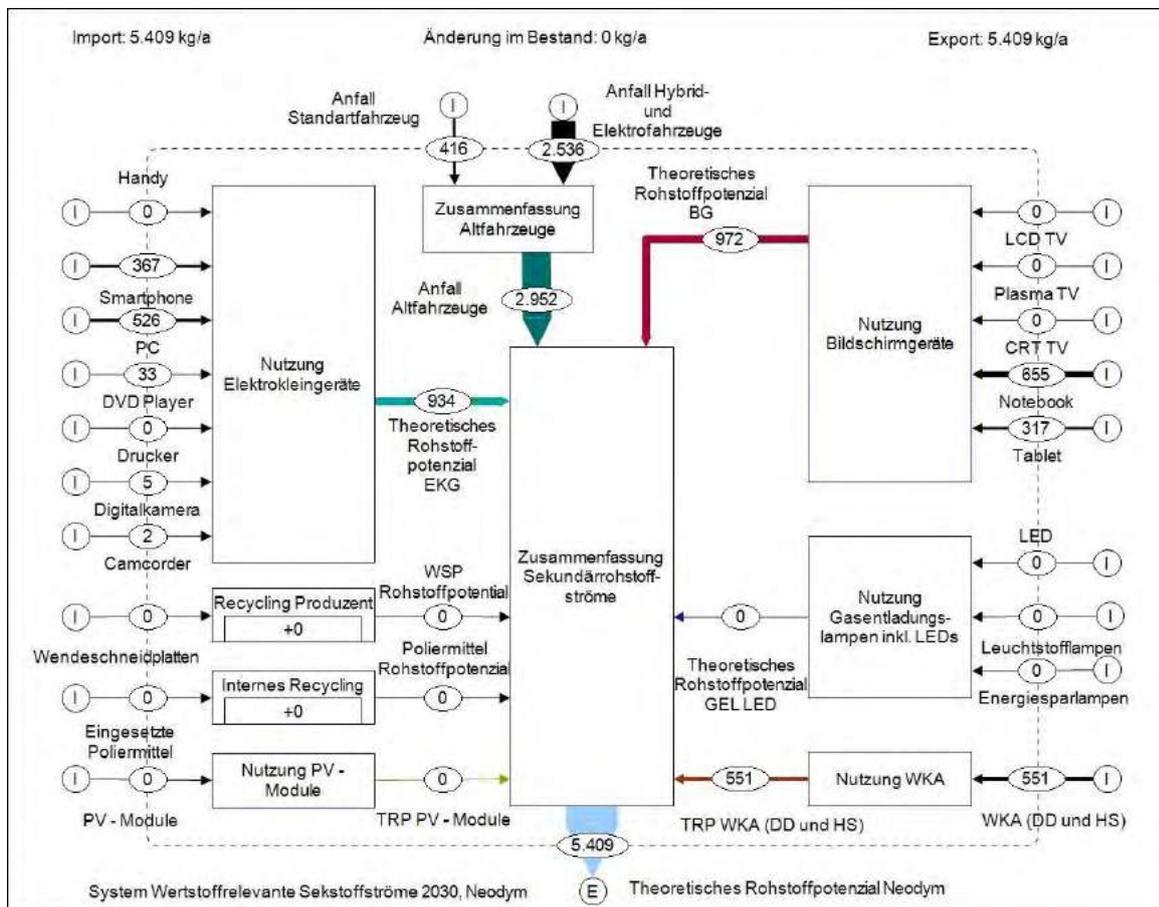
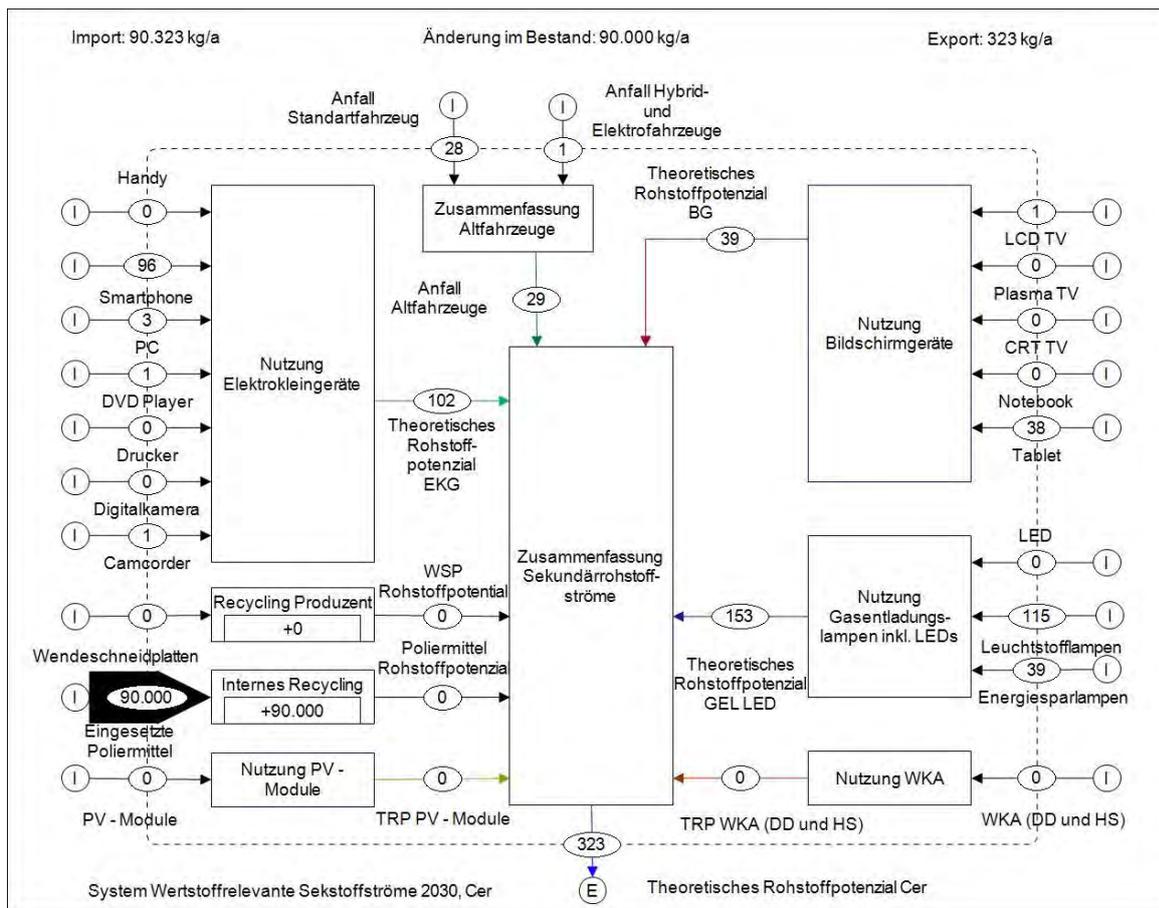
Gallium Elektrogeräte und sonstige Produkte							
Produkt	Einheit	Mengegehalt laut Literatur		Quelle	Mengegehalte		
					min.	Ø	max.
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Bildschirmgeräte</b>							
LCD-TV (CCFL)	mg/Stk		0,0	Buchert et al. (2012b): S. 14.	0,0	2,5	4,9
LCD-TV (LED)	mg/Stk		4,9	Buchert et al. (2012b): S. 14.			
Plasma-TV	mg/Stk	keine Angaben					
CRT-TV	mg/Stk		0,4	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	0,4	0,4	0,4
Notebook	mg/Stk		4,0	Sander et al. (2012): S. 53.	0,0	2,6	4,9
Notebook	mg/Stk		4,9	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Notebook (mit CCFL)	mg/Stk		0,0	Buchert et al. (2012b): S. 32.			
Notebook (mit LED)	mg/Stk		1,6	Buchert et al. (2012b): S. 32.			
Tablet	mg/Stk		0,4	Sander et al. (2012): S. 53.	0,4	0,4	0,4
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Elektro- und Elektronikkleingeräte</b>							
Handy	mg/Stk		4,7	Sander et al. (2012): S. 53.	4,7	4,7	4,7
Smartphone	mg/Stk		0,1	Sander et al. (2012): S. 53.	0,1	1,6	3,0
	mg/Stk		3,0	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
PC	mg/Stk		15,5	Sander et al. (2012): S. 52.	10,7	13,1	15,5
	mg/Stk		10,7	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
DVD-Player	mg/Stk		4,0	Sander et al. (2012): S. 53.	4,0	5,2	6,3
	mg/Stk		6,3	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Multifunktionsdrucker	mg/Stk		0,1	Sander et al. (2012): S. 53.	0,1	0,4	0,6
	mg/Stk		0,6	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Digitalkamera	mg/Stk	0,7	4,3	Sander et al. (2012): S. 53.	0,7	2,7	4,3
	mg/Stk		3,1	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Camcorder	mg/Stk	2,4	5,5	Sander et al. (2012): S. 53.	2,4	4,7	6,3
	mg/Stk		6,3	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Gasentladungslampen inkl. LED</b>							
LED	mg/Stk	0,03	0,2	Sander et al. (2012): S. 53.	0,03	0,3	0,5
	mg/Stk		0,5	Angerer et al. (2009): S. 95.			
Leuchtstoffröhren	mg/Stk	keine Angaben					
Energiesparlampe	mg/Stk	keine Angaben					
<b>Sonstige wertstoffrelevante Produkte</b>							
Photovoltaikmod. (CIGS)	kg/MWp		44,0	Angerer et al. (2009): S. 145.	2,0	25,1	90,0
	kg/MWp		5,0	Kleijn et al. (2010): S. 2790.			
	kg/MWp		2,3	Moss et al. (2011): S. 97.			
	kg/MWp		90,0	Schriefl (2013): S 13			
	kg/MWp		2,0	Schlegl (2013): S 11			
	kg/MWp		7,2	Wuppertal Institut (2014): S 156			
Windkraftanlage	kg/MW	keine Angaben					
Wendeschneidplatte	mg/Stk	keine Angaben					
ind. Poliermittel	mg/kg	keine Angaben					

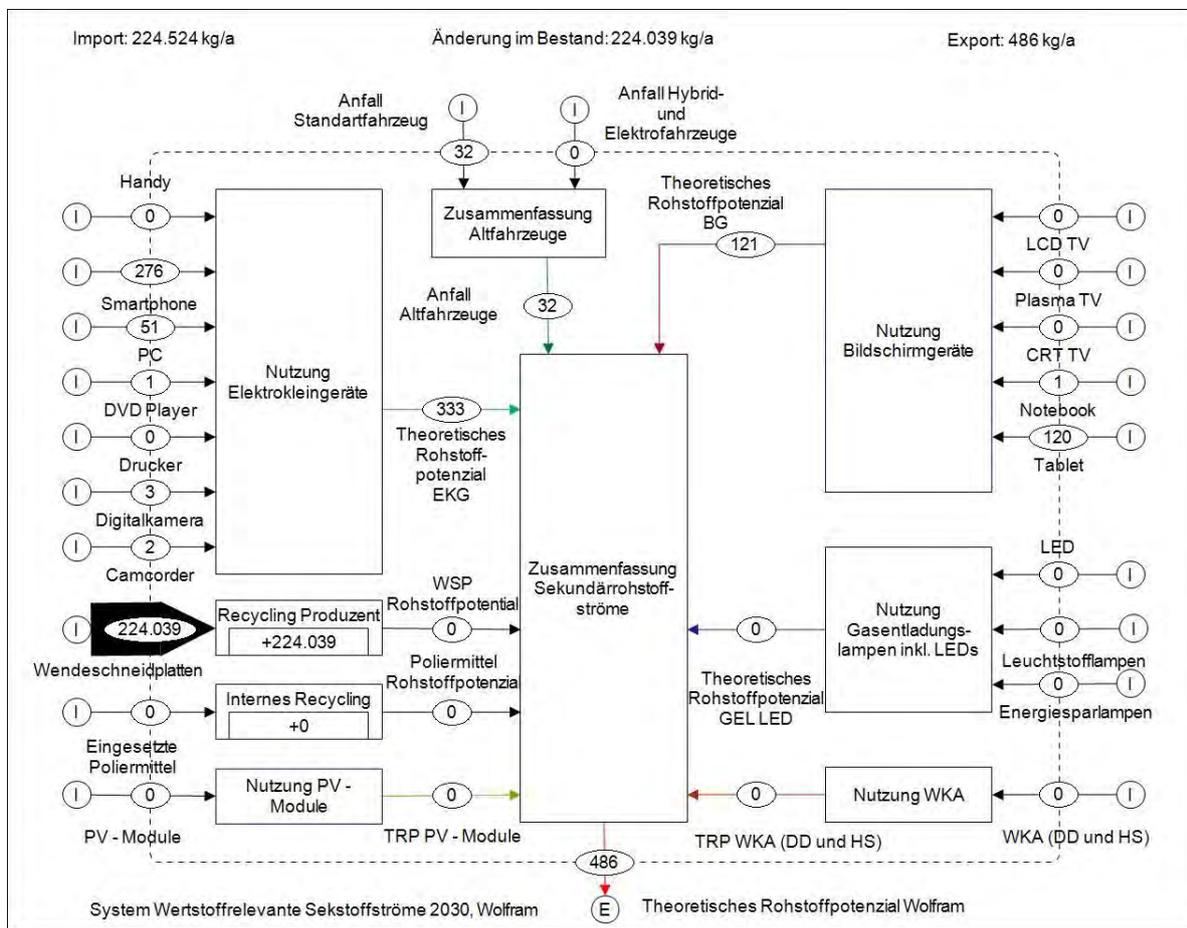
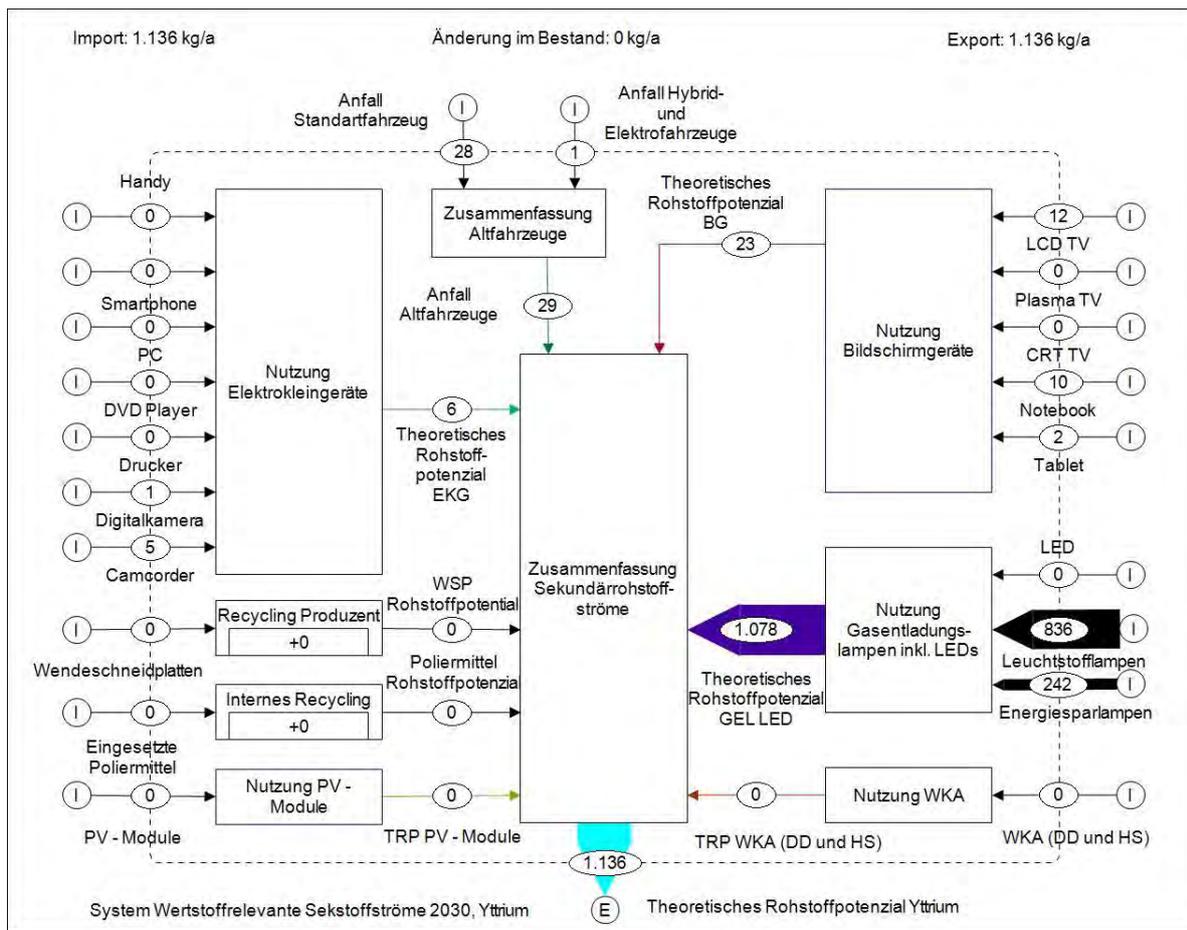
Indium Elektrogeräte und sonstige Produkte							
Produkt	Einheit	Mengegehalt laut Literatur	Quelle	Mengegehalte			
				min.	Ø	max.	
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Bildschirmgeräte</b>							
LCD-TV (CCFL und LED)	mg/Stk		260,0	Sander et al. (2012): S. 55.	4,4	200,5	337,0
	mg/Stk		4,4	Buchert et al. (2012b): S. 8.			
	mg/Stk		337,0	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Plasma-TV	mg/Stk		156,0	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	156,0	156,0	156,0
CRT-TV	mg/Stk		0,4	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	0,4	0,4	0,4
Notebook (CCFL und LED)	mg/Stk		40,0	Buchert et al. (2012b): S. 32.	1,0	20,5	40,0
	mg/Stk		1,0	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Tablet	mg/Stk		28,6	Sander et al. (2012): S. 54.	28,6	28,6	28,6
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Elektro- und Elektronikkleingeräte</b>							
Handy	mg/Stk	1,8 -	10,2	Sander et al. (2012): S. 55.	1,7	4,6	10,2
			1,7	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Smartphone	mg/Stk		2,4	Sander et al. (2012): S. 55.	1,7	2,1	2,4
	mg/Stk		1,7	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
PC	mg/Stk		1,0	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	1,0	1,0	1,0
DVD-Player	mg/Stk		70,0	Blaser et al. (2012): Anhang 2.	70,0	70,0	70,0
Multifunktionsdrucker	mg/Stk	0,0 -	0,0	Sander et al. (2012): S. 55.	0,0	0,1	0,2
	mg/Stk		0,2	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Digitalkamera	mg/Stk	1,4 -	4,6	Sander et al. (2012): S. 55.	1,4	4,4	7,3
	mg/Stk		7,3	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
Camcorder	mg/Stk		4,0	Sander et al. (2012): S. 55.	4,0	6,3	8,5
	mg/Stk		8,5	Blaser et al. (2012): Anhang 2.			
<b>Ausgewählte wertstoffrelevante Gasentladungslampen inkl. LED</b>							
LED	mg/Stk	0,0002 -	0,0	Sander et al. (2012): S. 55.	0,0002	0,1	0,2
	mg/Stk		0,2	Angerer et al. (2009): S. 95.			
Leuchtstoffröhren	mg/Stk	keine Angaben					
Energiesparlampe	mg/Stk	keine Angaben					
<b>Sonstige wertstoffrelevante Produkte</b>							
Photovoltaikmod. (CIS/CIGS)	kg/MWp		50,0	Angerer et al. (2009): S. 145.	0,9	31,7	75,0
	kg/MWp		27,0	Kleijn et al. (2010): S. 2790.			
	kg/MWp		63,3	Moss et al. (2011): S. 97.			
	kg/MWp		45,0	Schriebl (2013): S 13			
	kg/MWp		75,0	Schlegl (2013): S 11			
Photovoltaikmod. (CdTe)	kg/MWp		15,5	Wuppertal Institut (2014): S 156			
Photovoltaikmod. (a-Si)	kg/MWp		0,9	Schriebl (2013): S 13			
	kg/MWp		5,0	Schlegl (2013): S 11			
	kg/MWp		4,0	Wuppertal Institut (2014): S 156			
Windkraftanlage	kg/MW	keine Angaben					
Wendeschneidplatte	mg/Stk	keine Angaben					
ind. Poliermittel	mg/kg	keine Angaben					

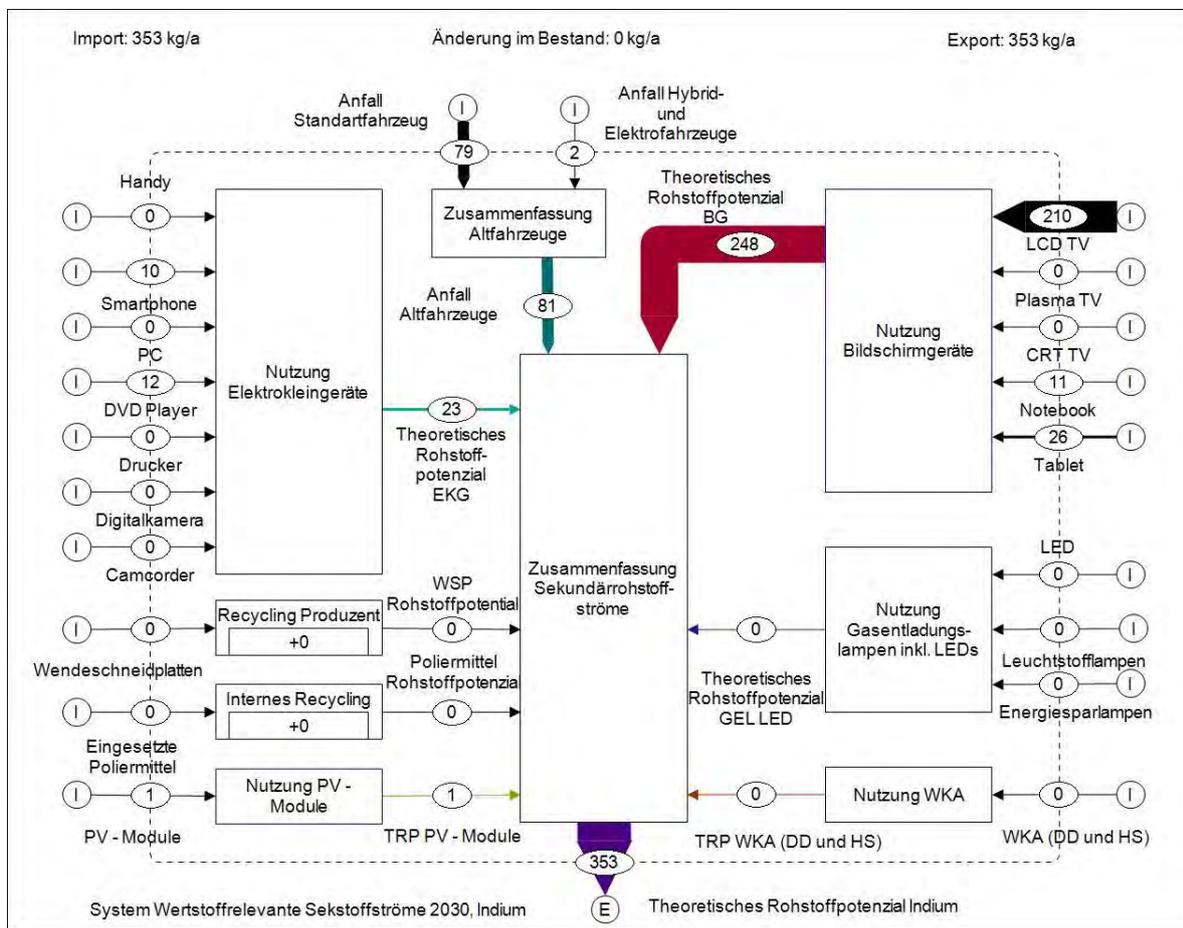
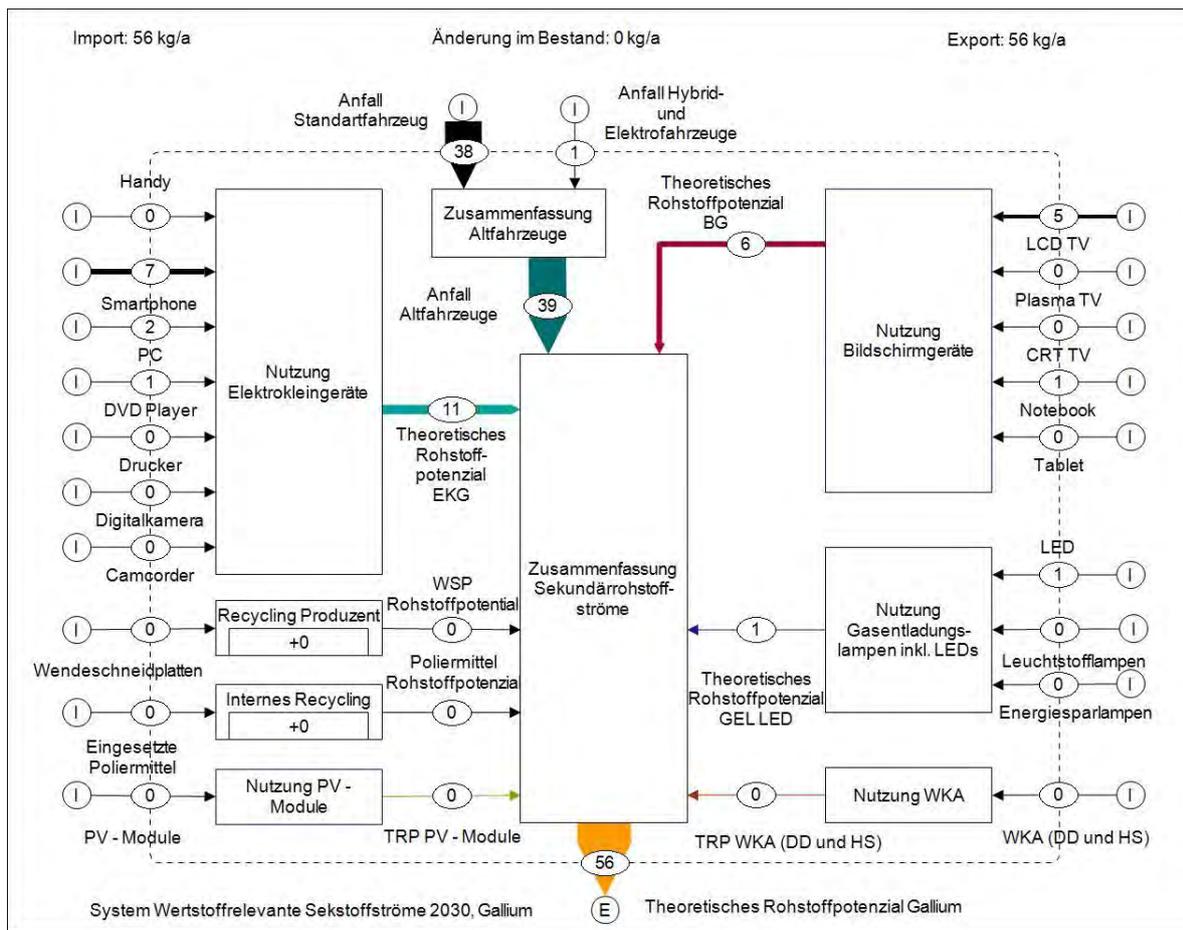
# Anhang III – Stoffflussanalysen 2030











## Anhang IV – Bevölkerungsprognosen für die Bezirke in den einzelnen Bundesländern

### Burgenland

Das Burgenland wird gesamt gesehen künftig steigende Bevölkerungszahlen zu verzeichnen haben.

Tabelle 35: Bevölkerungsprognose für das Burgenland nach Bezirken

Pol. Bez. Kennziffer	Pol. Bezirksname / Meldestelle	2014	2015	2020	2025	2030
		EW	EW	EW	EW	EW
101	Eisenstadt(Stadt) inkl. Rust	15.427	15.578	16.098	16.616	17.111
103	Eisenstadt-Umgebung	41.474	41.881	43.278	44.673	46.003
104	Güssing	26.394	26.416	26.326	26.266	26.256
105	Jennersdorf	17.376	17.538	17.435	17.380	17.352
106	Mattersburg	39.134	39.956	40.956	41.983	42.980
107	Neusiedl am See	56.504	56.089	57.782	59.507	61.166
108	Oberpullendorf	37.534	37.358	37.357	37.513	37.745
109	Oberwart	53.573	54.034	54.432	54.865	55.251
<b>Burgenland Gesamt</b>		<b>287.416</b>	<b>288.849</b>	<b>293.665</b>	<b>298.804</b>	<b>303.864</b>

### Kärnten

Kärntens Bevölkerungszahl wird mittelfristig relativ konstant bleiben, langfristig bis 2030 aber niedriger sein als heute.

Tabelle 36: Bevölkerungsprognose für Kärnten nach Bezirken

Pol. Bez. Kennziffer	Pol. Bezirksname / Meldestelle	2014	2015	2020	2025	2030
		EW	EW	EW	EW	EW
201	Klagenfurt Stadt	96.640	94.119	95.140	95.998	96.534
202	Villach Stadt	60.004	59.863	60.789	61.459	61.859
203	Hermagor	18.547	18.576	18.194	17.849	17.528
204	Klagenfurt Land	58.435	59.549	60.568	61.451	62.118
205	Sankt Veit an der Glan	55.394	55.637	54.781	54.080	53.471
206	Spittal an der Drau	76.971	77.402	75.939	74.549	73.199
207	Villach Land	64.268	64.471	64.482	64.588	64.647
208	Völkermarkt	42.068	41.994	41.524	41.126	40.735
209	Wolfsberg	53.472	53.496	52.433	51.463	50.505
210	Feldkirchen	30.082	30.503	30.536	30.567	30.571
<b>Kärnten Gesamt</b>		<b>555.881</b>	<b>555.609</b>	<b>554.385</b>	<b>553.130</b>	<b>551.167</b>

## Niederösterreich

Niederösterreich wird in den kommenden Jahren infolge der verstärkten Zuwanderung weiter an Bevölkerung gewinnen und auf 1,76 Mio. bis 2030 anwachsen. Absolut gesehen wird neben Wien Niederösterreich den höchsten Bevölkerungszuwachs zu verzeichnen haben.

Tabelle 37: Bevölkerungsprognose für Niederösterreich nach Bezirken

Pol. Bez. Kennziffer	Pol. Bezirksname / Meldestelle	2014	2015	2020	2025	2030
		EW	EW	EW	EW	EW
301	Krems an der Donau(Stadt)	24.085	24.175	24.540	24.889	25.208
302	Sankt Pölten(Stadt)	52.145	52.907	54.335	55.551	56.628
303	Waidhofen an der Ybbs(Stadt)	11.341	11.358	11.497	11.637	11.757
304	Wiener Neustadt(Stadt)	42.273	42.442	44.144	45.656	46.978
305	Amstetten	112.944	113.117	114.497	115.891	117.088
306	Baden	140.078	142.925	149.469	155.613	161.258
307	Bruck an der Leitha	43.615	44.067	45.997	47.936	49.775
308	Gänserndorf	97.460	98.435	102.680	106.929	110.986
309	Gmünd	37.420	37.106	36.359	35.754	35.244
310	Hollabrunn	50.065	50.407	51.093	51.933	52.824
311	Horn	31.273	30.882	30.666	30.572	30.559
312	Korneuburg	76.370	77.861	81.595	85.245	88.680
313	Krems(Land)	55.945	55.740	56.435	57.193	57.860
314	Lilienfeld	26.040	26.418	26.355	26.399	26.521
315	Melk	76.369	76.457	77.042	77.711	78.340
316	Mistelbach	74.150	75.381	77.183	79.169	81.178
317	Mödling	115.677	117.126	121.582	125.873	129.769
318	Neunkirchen	85.539	85.762	86.526	87.460	88.459
319	Sankt Pölten(Land)	97.365	97.923	100.043	102.254	104.365
320	Scheibbs	41.073	41.104	41.183	41.317	41.397
321	Tulln	72.104	72.346	75.296	78.246	80.985
322	Waidhofen an der Thaya	26.424	26.564	26.219	25.951	25.721
323	Wiener Neustadt(Land)	75.285	76.045	78.216	80.448	82.540
324	Wien-Umgebung	117.343	119.103	125.642	131.885	137.649
325	Zwettl	43.102	42.693	41.855	41.193	40.578
<b>Niederösterreich Gesamt</b>		<b>1.625.485</b>	<b>1.638.343</b>	<b>1.680.449</b>	<b>1.722.703</b>	<b>1.762.349</b>

## Oberösterreich

Die Bevölkerungszahl wird in Oberösterreich von 1,43 Mio. (2014) auf 1,52 Mio. im Jahr 2030 (+5,9 %) steigen.

Tabelle 38: Bevölkerungsprognose für Oberösterreich nach Bezirken

Pol. Bez. Kennziffer	Pol. Bezirksname / Meldestelle	2014	2015	2020	2025	2030
		EW	EW	EW	EW	EW
401	Linz (Stadt)	193.814	195.138	201.127	205.926	209.999
402	Steyr (Stadt)	38.120	38.010	38.140	38.258	38.317
403	Wels (Stadt)	59.339	60.662	62.668	64.294	65.647
404	Braunau am Inn	98.842	99.432	101.748	103.890	105.798
405	Eferding	31.961	32.186	32.911	33.623	34.261
406	Freistadt	65.208	65.304	66.191	67.080	67.768
407	Gmunden	99.540	100.511	101.896	103.197	104.322
408	Grieskirchen	62.938	63.243	64.182	65.122	65.957
409	Kirchdorf an der Krems	55.571	56.245	57.018	57.799	58.485
410	Linz-Land	141.540	144.090	150.501	156.284	161.285
411	Perg	66.269	66.378	67.567	68.664	69.607
412	Ried im Innkreis	58.714	58.941	59.539	60.134	60.662
413	Rohrbach	56.455	56.948	57.096	57.321	57.418
414	Schärding	56.287	56.646	57.003	57.324	57.598
415	Steyr-Land	58.618	59.483	60.486	61.539	62.466
416	Urfahr-Umgebung	82.109	82.360	84.366	86.329	87.954
417	Vöcklabruck	131.497	130.987	133.060	134.849	136.379
418	Wels-Land	68.600	69.307	71.836	74.281	76.433
<b>Oberösterreich Gesamt</b>		<b>1.425.422</b>	<b>1.435.872</b>	<b>1.467.336</b>	<b>1.495.915</b>	<b>1.520.356</b>

## Salzburg

In Salzburg werden 2030 rund 30.200 Menschen mehr als 2014 leben.

Tabelle 39: Bevölkerungsprognose für Salzburg nach Bezirken

Pol. Bez. Kennziffer	Pol. Bezirksname / Meldestelle	2014	2015	2020	2025	2030
		EW	EW	EW	EW	EW
501	Salzburg(Stadt)	146.631	150.980	154.769	157.360	159.194
502	Hallein	58.336	58.408	60.109	61.492	62.541
503	Salzburg-Umgebung	145.275	144.585	148.542	151.859	154.464
504	Sankt Johann im Pongau	78.614	79.328	80.689	81.654	82.380
505	Tamsweg	20.450	20.660	20.579	20.443	20.295
506	Zell am See	84.964	84.627	85.239	85.556	85.617
<b>Salzburg Gesamt</b>		<b>534.270</b>	<b>538.589</b>	<b>549.927</b>	<b>558.364</b>	<b>564.491</b>

## Steiermark

Im Vergleich zu anderen Bundesländern weist die Steiermark ein geringes prognostiziertes Wachstum für das Jahr 2030 auf. Im Vergleich zu 2014 kommt es zu einer Steigerung von rund 3 %.

Tabelle 40: Bevölkerungsprognose für Steiermark nach Bezirken

Pol. Bez. Kennziffer	Pol. Bezirksname / Meldestelle	2014	2015	2020	2025	2030
		EW	EW	EW	EW	EW
601	Graz(Stadt)	269.997	266.254	275.709	282.677	288.342
603	Deutschlandsberg	60.466	60.974	61.251	61.623	61.997
606	Graz-Umgebung	145.660	149.392	156.483	163.125	168.960
610	Leibnitz	77.774	78.508	80.161	81.752	83.159
611	Leoben	61.771	61.856	60.401	59.125	58.073
612	Liezen	78.893	79.688	79.310	78.893	78.388
614	Murau	28.740	28.725	27.937	27.255	26.622
616	Voitsberg	51.599	52.353	52.384	52.457	52.527
617	Weiz	88.355	87.944	88.950	89.907	90.685
620	Murtal	73.041	73.235	72.087	71.063	70.080
621	Bruck-Mürzzuschlag	100.855	101.294	99.742	98.422	97.254
622	Hartberg-Fürstenfeld	89.252	90.117	90.369	90.580	90.702
623	Südoststeiermark	88.843	90.384	90.642	90.930	91.200
<b>Steiermark Gesamt</b>		<b>1.215.246</b>	<b>1.220.723</b>	<b>1.235.424</b>	<b>1.247.809</b>	<b>1.257.989</b>

## Tirol

Tirol wird prozentuell mit 8% bis 2030 stärkere Bevölkerungszuwächse zu verzeichnen haben.

Tabelle 41: Bevölkerungsprognose für Tirol nach Bezirken

Pol. Bez. Kennziffer	Pol. Bezirksname / Meldestelle	2014	2015	2020	2025	2030
		EW	EW	EW	EW	EW
701	Innsbruck-Stadt	124.579	123.025	127.783	131.426	134.387
702	Imst	57.271	59.027	61.120	62.905	64.434
703	Innsbruck-Land	169.680	172.708	180.468	187.193	192.873
704	Kitzbühel	62.318	63.374	65.137	66.489	67.551
705	Kufstein	103.317	104.055	108.237	111.691	114.564
706	Landeck	43.906	44.071	44.336	44.508	44.720
707	Lienz	48.990	50.265	50.479	50.518	50.384
708	Reutte	31.672	32.513	33.248	33.798	34.231
709	Schwaz	80.305	81.902	84.900	87.408	89.468
<b>Tirol Gesamt</b>		<b>722.038</b>	<b>730.941</b>	<b>755.707</b>	<b>775.935</b>	<b>792.611</b>

## Voralberg

Auch Voralberg wird bis 2030 um rund 8 % auf 411.000 Menschen anwachsen.

Tabelle 42: Bevölkerungsprognosen für Voralberg nach Bezirken

Pol. Bez. Kennziffer	Pol. Bezirksname / Meldestelle	2014	2015	2020	2025	2030
		EW	EW	EW	EW	EW
801	Bludenz	61.100	62.120	63.057	63.789	64.398
802	Bregenz	128.568	129.358	133.436	136.749	139.516
803	Dornbirn	84.117	84.856	88.589	91.593	93.976
804	Feldkirch	101.497	103.466	107.423	110.599	113.204
<b>Voralberg Gesamt</b>		<b>375.282</b>	<b>379.800</b>	<b>392.505</b>	<b>402.730</b>	<b>411.094</b>

## Wien

Wien wird das stärkste Bevölkerungswachstum aller neun Bundesländer aufweisen und sich zum Bundesland mit der jüngsten Bevölkerungsstruktur entwickeln. Im Jahr 2030 werden über 2 Mil. Menschen in der Bundeshauptstadt wohnen.

Tabelle 43: Bevölkerungsprognose für Wien nach Bezirken

Pol. Bez. Kennziffer	Pol. Bezirksname / Meldestelle	2014	2015	2020	2025	2030
		EW	EW	EW	EW	EW
901	Wien 1.,Innere Stadt	16.131	17.849	18.627	19.099	19.439
902	Wien 2.,Leopoldstadt	99.597	102.049	107.644	111.072	113.525
903	Wien 3.,Landstraße	86.454	87.154	90.680	93.042	94.727
904	Wien 4.,Wieden	31.452	32.670	34.396	35.536	36.363
905	Wien 5.,Margareten	53.610	55.556	58.073	59.592	60.622
906	Wien 6.,Mariahilf	30.613	31.416	32.997	33.985	34.672
907	Wien 7.,Neubau	30.792	31.929	33.410	34.269	34.828
908	Wien 8.,Josefstadt	24.279	24.518	25.338	25.774	26.107
909	Wien 9.,Alsergrund	40.528	40.640	41.971	42.666	43.145
910	Wien 10.,Favoriten	186.450	185.603	196.216	204.087	209.856
911	Wien 11.,Simmering	93.440	96.150	102.624	107.359	110.814
912	Wien 12.,Meidling	90.874	94.732	100.600	104.735	107.744
913	Wien 13.,Hietzing	51.275	53.621	55.950	57.863	59.467
914	Wien 14.,Penzing	87.597	89.334	94.007	97.536	100.199
915	Wien 15.,Rudolfsheim- Fünfhaus	74.791	73.621	76.582	78.374	79.630
916	Wien 16.,Ottakring	99.094	101.232	106.586	110.091	112.574
917	Wien 17.,Hernals	54.422	55.820	58.598	60.441	61.712
918	Wien 18.,Währing	48.365	50.800	53.291	54.921	56.103
919	Wien 19.,Döbling	69.242	71.464	74.558	76.924	78.780
920	Wien 20.,Brigittenau	84.305	87.146	91.254	93.846	95.640
921	Wien 21.,Floridsdorf	148.947	151.557	161.320	168.934	174.787
922	Wien 22.,Donaustadt	168.394	170.240	183.819	194.733	203.267
923	Wien 23.,Liesing	96.094	99.978	106.793	112.147	116.214
<b>Wien Gesamt</b>		<b>1.766.746</b>	<b>1.805.078</b>	<b>1.905.336</b>	<b>1.977.027</b>	<b>2.030.214</b>