

Für Mensch und Umwelt

Stand: 15. Mai 2019



Factsheet

Erarbeitet im Projekt "Kartierung des Anthropogenen Lagers III – Etablierung eines Stoffstrommanagements unter Integration von Verwertungsketten zur qualitativen und quantitativen Steigerung des Recyclings von Metallen und mineralischen Baustoffen"

(FKZ 3716 35 3230)

Das Projekt wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführt und über den Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, und Reaktorsicherheit mit Bundesmitteln finanziert

1. Übersicht

Zinn ist ein sehr weiches Schwermetall mit einem für Metalle sehr niedrigen Schmelzpunkt. Dank dieser Eigenschaft wird Zinn in Lötzinn eingesetzt um elektronische Bauteile zu verbinden, obwohl seine Leitfähigkeit zwischen Stahl (C35) und Eisen liegt. Es kann mit Kupfer zu Bronze legiert werden.

Der Rohstoff für die Herstellung von Zinn ist vor allem das Mineral Kassiterit (SnO_2). Seifenlagerstätten sind bei Zinn eine wichtige Rohstoffquelle. Das Zinnoxid wird mit Kohlenstoff reduziert. Hieraus wird Rohzinn gewonnen (97-99 % Zinngehalt). In weiteren Schritten (z.B. Weigern oder Elektrolyse) kann Reinzinn erhalten werden (>99,75 %).

2. Mengenströme und Anwendungen

Zinn wird mengenmäßig am relevantesten in Form von raffiniertem Zinn nach Deutschland importiert und hier weiter verarbeitet. Die Hauptlieferländer Deutschlands für Zinn waren 2015 Indonesien (23,4 %), Belgien (21,8 %), Peru (18,6 %) und Großbritannien (12,5 %)¹. Belgien und Großbritannien sind hier genannt, da viele Importe über den Handelsplatz Antwerpen bzw. Felixstowe getätigt werden, welche dann Belgien bzw. Großbritannien zugeschrieben werden. Die Hauptförderländer von Zinnerzen mit ihrem Anteil an der Weltproduktion 2015 waren VR China (26,3 %), Indonesien (25,5 %) und Myanmar (20,7 %)¹. China und Indonesien verfügen über die weltweit größten Kapazitäten zur Raffinierung von Zinn.

Produktion

Deutschland besitzt seit den 1990er Jahren keine Primärzinnproduktion mehr, deshalb ist es vollständig von Importen abhängig. Die größten Produzenten sind China und Indonesien. In Deutschland beschäftigen sich schätzungsweise weniger als fünf Betriebe mit dem Recycling von Zinn. Die Verarbeitung von Zinn wird von mehr als tausend Unternehmen durchgeführt, welche vor allem aus der Elektronikindustrie stammen.

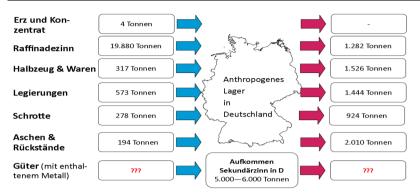
Der Gesamtverband Zinn und Seltenmetalle sowie der Gesamtverband der Deutschen Buntmetallindustrie (GDB) vertreten die Interessen der Zinnindustrie entlang der Wertschöpfungskette. Die WirtschaftsVereinigung Metalle ist der Dachverband des GDB.

Im-/Export

In Abbildung 1 sind die Im- und Exportströme 2015 für Zinn, seine Vorprodukte und die Schrotte/Aschen dargestellt.

¹ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2016): Deutschland - Rohstoffsituation 2015. URL: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min rohstoffe/Downloads/Rohsit-2015.pdf? blob=publicationFile&v=3 (zuletzt abgerufen am 25.07.2018).

Abbildung 1: Im- und Export von zinnhaltigen Stoffen in 2015



Quelle: Öko-Institut e.V. nach BGR 2017²

Nach Elsner 2014³ ist in Deutschland mit einem Sekundärzinnaufkommen zwischen 5.500 und 6.000 Tonnen pro Jahr zu rechnen.

Die Grafik lässt sich in wie folgt zusammenfassen:

► Rohstoffe → Nettoimport 4 t

► Metalle → Nettoimport 17.000 t

➤ Schrotte und Aschen → Nettoexport 2.500 t

Anwendung

Die Verwendung von Zinn in Deutschland unterscheidet sich von den durchschnittlichen, globalen Verwendungsbereichen. Während weltweit die Verwendung als Lötzinn für elektrotechnische Anwendungen dominiert (52 %), haben diese Anwendungen aufgrund der wirtschaftlichen Struktur in Deutschland nur einen Anteil von 29 %. Im Gegensatz dazu ist die Verwendung von Zinn als Lagermetall, in Bronzen und zur Verzinnung im Vergleich zum globalen Durchschnitt deutlich ausgeprägter (27 % gegenüber 6 %)³. Aus dem Blickwinkel des anthropogenen Lagers, also der Materialdynamik durch langlebige Güter, sind die Anwendungsbereiche Lötzinn und Lagermetall von besonderer Bedeutung. Eine zusammenfassende Darstellung der deutschen Hauptverwendungsgebiete findet sich in Abbildung 2.

Zinn in der Löttechnik

Lote zur Verbindung von Bauelementen in der Elektrotechnik, insbesondere für Leiterplatten, sind die Hauptanwendung von Zinn in diesem Bereich. Aufgrund der Miniaturisierung von Elektronikbauteilen und technischen Fortschritten in der Löttechnologie (z.B. Surface-Mounted-Technology), wird mit einem geringeren spezifischen Lötmittelbedarf (und damit Zinnbedarf)

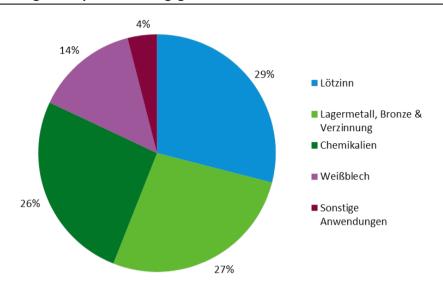
² Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2017): Deutschland - Rohstoffsituation 2016. URL: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min rohstoffe/Downloads/rohsit-2016.pdf? blob=publicationFile&v=4 (zuletzt abgerufen am 25 07 2018)

³ Elsner (2014): Zinn - Angebot und Nachfrage bis 2020. Präsentation auf dem DERA Workshop 2014. URL: https://www.bgr.bund.de/DERA/DE/Downloads/zinn-elsner.pdf? blob=publicationFile&v=4 (zuletzt abgerufen am 24.07.2018).

gerechnet. Gleichzeitig dürfen aufgrund der RoHS⁴ Richtlinie bleihaltige Lote in nur noch geringem Umfang verwendet werden. Folglich nimmt der Zinngehalt in Loten zu.

Beide Entwicklungen gleichen sich in Summe aus, so dass mit einem gleichbleibenden Zinnbedarf im Elektronikbereich gerechnet wird⁵.

Abbildung 2: Hauptverwendungsgebiete des Zinns in Deutschland



Quelle: Öko-Institut e.V. nach Elsner 2014³

Zinn in Windkraftanlagen

Aufgrund des hohen spezifischen Materialbedarfs sind Wälz- oder Gleitlager in Windkraftanlagen eine wichtige Anwendung. Nach Marscheider-Weidemann 2016⁵ ist mit 157 kg Zinn pro installierte Megawattstunde zu rechnen. Für eine Windkraftanlage (WKA) mit einer durchschnittlichen Leistung von 5 MW bedeutet diese einen Gehalt von 785 kg Zinn pro WKA. Bei der aktuell in Deutschland installierten WKA Leistung von 46.000 MW bedeutet dies ein rechnerisches Materiallager von 72.000 Tonnen Zinn.

In Abbildung 3 sind der Kreislauf des Zinns und die im Projekt Kartierung des Anthropogenen Lagers III betrachteten Produktgruppen illustriert. Bei der Quantifizierung werden nur Anwendungen betrachtet, welche zu einem anwachsenden Lager führen, d. h. Produktionsabfälle oder kurzlebige Produkte (Lebensdauer von unter einem Jahr; beispielsweise Verpackungen) werden nicht betrachtet.

Trends: Das vollständige Ausschleusen von Blei aus Lötzinn, die Elektromobilität sowie der vermehrte Einsatz von Elektrogeräten (Digitalisierung) werden zu einem höheren Zinnbedarf führen, da überall wo Platinen eingesetzt werden, Lötzinn benötigt wird. Zusätzlich kann der Einsatz von Lagermetall in Windkraftanlagen einen höheren Bedarf bedeuten.

⁴ Restriction of Hazardous Substances

⁵ Marscheider-Weidemann, F. / Langkau, S. / Hummen, T. / Erdmann, L. / Tercero Espinoza, L. / Angerer, G. / Marwede, M. / Benecke, S. (2016): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016 – DERA Rohstoffinformationen 28.



Quelle: Freymüller/123comics im Auftrag von Öko-Institut e.V.

3. Relevante rechtliche Regelungen

Luft: Nach der vierten Bundesimmissionsschutzverordnung (4. BImSchV) ist für Anlagen zur Herstellung von Nichteisenrohmetallen aus Erzen, Konzentraten oder sekundären Rohstoffen durch metallurgische, chemische oder elektrolytische Verfahren (Anhang 1 Nr. 3.3), für Anlagen zum Schmelzen, zum Legieren und zur Raffination von Nichteisenmetallen mit einer Schmelzkapazität von mehr als 20 t sonstigen Nichteisenmetallen pro Tag (Anhang 1 Nr. 3.4.1), für Nichteisenmetallgießereien mit einer Verarbeitungskapazität an Flüssigmetall (sonstige Nichteisenmetalle) von mehr als 20 t pro Tag (Anhang Nr. 3.8.1) sowie Anlagen zur Behandlung von Schrotten in Shredderanlagen mit einer Durchsatzkapazität von 50 t und mehr am Tag (Anhang 1 Nr. 3.22.1 und 8.9.1.1) ein Genehmigungsverfahren gemäß § 10 BImSchG (mit Öffentlichkeitsbeteiligung) vorgeschrieben. Für Anlagen mit 2 t bis weniger als 20 t Durchsatz am Tag (Anhang 1 Nr. 3.4.2, 3.8.2), bzw. 10 t bis weniger als 50 t (Anhang 1 Nr. 3.22.2 und 8.9.1.2) sowie Anlagen zur Herstellung von Metallpulvern und Pasten ist ein vereinfachtes

Verfahren gemäß § 19 BImSchG (ohne Öffentlichkeitsbeteiligung) vorgeschrieben. Die 4. BImschV weist einige Ausnahmen hiervon aus⁶.

Nach dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) ist für Errichtung und Betrieb einer Anlage zur Herstellung von Nichteisenrohmetallen aus Erzen, Konzentraten oder sekundären Rohstoffen durch metallische, chemische oder elektrolytische Verfahren (Anlage 1 Nr. 3.4) und für die Errichtung und Betrieb einer Anlage zum Schmelzen, zum Legieren oder zur Raffination von Nichteisenmetallen mit einer Schmelzkapazität von 100.000 t oder mehr pro Jahr (Anlage 1 Nr. 3.5.1) eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen. Für eine Kapazität von 20 t und mehr pro Tag, aber weniger als 100.000 t pro Jahr (Anlage 1 Nr. 3.5.2) muss eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls durchgeführt werden. Bei 2 t bis weniger als 20 t pro Tag (Anlage 1 Nr. 3.5.3) genügt eine standortbezogene Vorprüfung des Einzelfalls. Hierbei gelten einige Ausnahmen.

Die Kapitel 5.4.3.3 und 5.4.3.4 der TA Luft befassen sich mit den spezifischen Anforderungen an Anlagen zur Herstellung von Nichteisenrohmetallen und zum Schmelzen, zum Legieren und zur Raffination von Nichteisenmetallen. Diese Anforderungen umfassen sowohl die baulichen und betrieblichen Anforderungen als auch die zulässigen Emissionswerte, zum Beispiel für Staub, Schwermetalle und organische Verbindungen sowie an die eingesetzten Brennstoffe.

Abwasser: Die Nutzung von Gewässern, wie zum Beispiel die Entnahme von Wasser aus Gewässern oder das Einleiten von Stoffen in Gewässer, sind im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) geregelt. Die Abwasserverordnung (AbwV) beinhaltet Vorschriften für die Vermeidung, die Messung und die Einleitung von Abwasser in Gewässer. In Anhang 39 der AbwV sind spezielle Anforderungen für Abwasser aus der Herstellung von Nichteisenmetallen festgelegt.

Abfall: Die Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen wird im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) geregelt. Das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) regelt die Verwertung von Elektro- und Elektronikgeräten. Zahlreiche Verordnungen regeln die Sammlung und Verwertung bestimmter Abfallströme (z.B. Altautos). Die Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt (GGVSEB) regelt, ob gewisse Abfälle (z.B. Magnesiumspäne) als Gefahrgut transportiert werden müssen⁶.

RoHS-Richtlinie: Die Richtlinie 2011/65/EG (RoHS) beschränkt die Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (EEE). Bisher beschränkt die Richtlinie Cadmium, sechswertiges Chrom, Quecksilber, polybromierte Byphenyle, polybromierte Diphenyle und Blei, welches in Lötzinn als Legierungsbestandteil eingesetzt wurde und sich nun auf das Recycling von Lötzinn mit Bleiinhalt auswirkt. Obwohl die Richtlinie verschiedene Stoffe einschränkt, können Ausnahmen vorgesehen werden, um die Verwendung dieser Stoffe für spezifische Anwendungen zu ermöglichen, wenn eine Substitution nicht möglich ist, wenn Substitute nicht zuverlässig sind oder wenn die negativen Auswirkungen der Substitution auf die Gesundheit und die Umwelt die Vorteile überwiegen. In den Anhängen III und IV sind die Ausnahmen aufgeführt, die für solche Anträge gewährt wurden, wobei der Umfang der Ausnahme und ihre Gültigkeit festgelegt sind. Derzeit sind in den Anhängen noch mehrere gültige Ausnahmen für die Verwendung von Blei in verschiedenen Lötanwendungen aufgeführt. Einige dieser Ausnahmen stehen im Zusammenhang mit den Schwierigkeiten bei der Anwendung von Alternativen für bleihaltige Lote, die mit dem erhöhten Risiko für die Entwicklung von Zinnwhiskern⁷ in einigen Anwendungen zusammenhängen. Obwohl zu

⁶ Umweltbundesamt (2013): Nichteisenmetallindustrie. URL: https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/industriebranchen/herstellung-verarbeitung-von-metallen/nichteisenmetallindustrie#textpart-1 (zuletzt abgerufen 25.07.2018).

 $^{^7}$ Zinnwhisker sind nadelähnliche Ausprägungen aus Zinn, die hauptsächlich auf Platinen mit einer bleifreien Zinnbeschichtung auftreten.

erwarten ist, dass Zinnlegierungen in einigen Fällen als bleihaltige Lötalternativen eingesetzt werden, ist es möglich, dass in anderen Fällen weitere Alternativen gesucht werden müssen, um das Problem von Zinnwhiskern zu vermeiden.

4. Recyclingsituation

Das Maß für funktionierendes Recycling sind Recyclingraten. Diese lassen sich anhand unterschiedlicher Indikatoren messen. Eine Möglichkeit besteht darin, bei der Metallherstellung die Anteile sekundärer, also recycelter Bestandteile mit dem Gesamtgewicht der Produkte ins Verhältnis zu setzen (Recycled Content = RC). Dieser Indikator lässt allerdings keine Rückschlüsse über die Effizienz bei der Sammlung und Verwertung von Metallschrott zu. Hierzu muss die Phase mitbetrachtet werden, in der ein Produkt aus der Nutzung ausscheidet (End-of-Life; EoL). Die EoL-Recyclingrate bezeichnet die Menge eines rückgewonnenen Materials im Verhältnis zu der Menge des aus der Nutzung ausgeschiedenen Materials.

Es existieren nur Angaben zu globalen Recyclingraten, aber da Zinnschrott, genau wie das Primärmetall, ein global gehandeltes Gut ist, bilden globale Recyclingraten das Gesamtbild der Legierung besser ab. Nationale Raten sind nicht bekannt.

Tabelle 1: Globale Recyclingraten des Zinns

RC _{Zinn}	EoL _{Zinn}
10-25 % ⁸	50 % ⁸
18,8 % ⁹	

Die Hauptquellen von EoL-Zinnschrotten, welche dem Recycling zugeführt werden, sind: Altfahrzeuge, ausgemusterte Maschinen, Elektroschrott, die Güterausstattung in Gebäuden und Schrotte aus dem Rückbau von Stromerzeugungsanlagen. Für die dargestellten Gütergruppen sind in

Abbildung 4 die identifizierten Verwertungswege zusammengefasst.

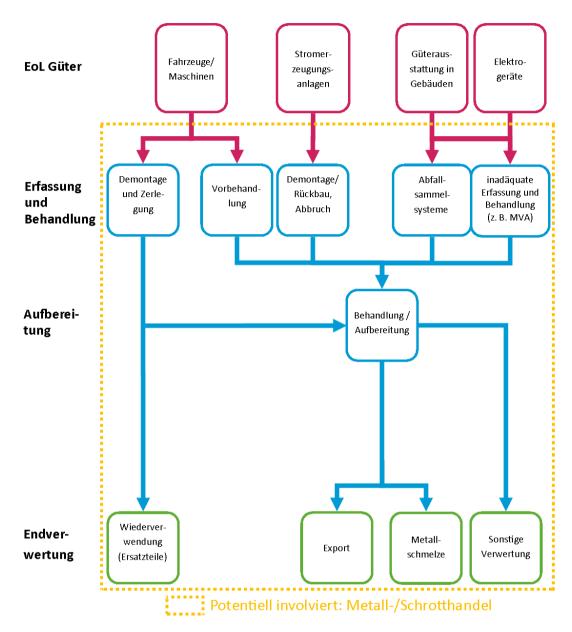
Fahrzeuge und Maschinen werden demontiert und zerlegt bzw. vorbehandelt (z. B. mittels eines Shredders). Die daraus resultierenden Ströme werden aufbereitet bzw. der Wiederverwendung zugeführt. Beim Elektroschrott ist dies ähnlich, nur ist die Behandlungstechnik eine andere. Die Metallschrotte (im Fall von E-Schrott die Platinen) werden dann vom Aufbereiter an Schmelzwerke geliefert. Das Zinn aus den aussortierten Platinen wird in der Schmelze ausgebracht. Stückige Zinnschrotte, wie Lager aus Maschinen oder Zinnteller, können direkt wieder eingeschmolzen werden. Sonstige Zinnprodukte aus Haushalten können über die Restmüllsammlung in Müllverbrennungsanlagen (MVA) gehen oder werden auf Recyclinghöfen sowie Schrottplätzen abgegeben. Von dort geht das Zinn zu Aufbereitern.

Im gesamten System sind Händler entweder als separate Akteure oder als Teil des jeweiligen Recyclingunternehmens beteiligt (gelber Rahmen).

⁸ UNEP (2011): Recycling of Metals - A Status Report. United Nations Environmental Programme. ISBN: 978-92-807-3161-3.

⁹ Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2014): Zinn - Angebot und Nachfrage bis 2020. URL:

https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-20.pdf? blob=publicationFile&v=9 (zuletzt abgerufen am 24.07.2018).



Quelle: eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Im Rahmen eines Dialogforums mit Praxisakteuren, insb. aus der Wirtschaft, wurden weitere Hemmnisse für ein Recycling in Deutschland vorgebracht¹⁰:

- Allen beteiligten Stakeholdern entlang der Verwertungskette fehlt ein gemeinsames Ziel um das Recycling zu erreichen.
- Die Preisvolatilität von Zinn führt zu einer schlechten Planbarkeit und hemmt Investitionen.
- Die Bürokratie auf verschiedenen Ebenen (Europa, Deutschland, Bundesländer, Regierungsbezirke) ist teilweise sehr inhomogen und abhängig von den zuständigen Personen. Dies kann zu langen Bearbeitungszeiten führen, einen ungewissen Ausgang

 $^{10 \;} Aussagen \; von \; Praxisakteuren, \; die \; im \; Rahmen \; des \; 1. \; Dialog forums \; zum \; UBA \; Vorhaben \; "Kartierung \; des \; anthropogenen \; Lagers \; III" \; vorgebracht \; wurden.$

von Genehmigungsverfahren zur Folge haben oder den freien Transport von Schrotten über nationale Grenzen hinweg behindern.

- Es bestehen Hemmnisse bei der Genehmigung eines Lagers zur Speicherung von zinnhaltigen Abfällen (z.B. Schrotte oder Schlämme), da hier die Finanzierung gesichert sein muss um keine Altlasten entstehen zu lassen. Eine Lagerung wäre sinnvoll um die Metalle mit zukünftigen Technologien oder nach einer langfristigen Preissteigerung wirtschaftlich recyceln zu können.
- Die Erfassung von E-Schrott ist nicht gut und führt zum Verlust von wertvollen sekundären Rohstoffen sowie möglichen Vertragsstrafen bei Nichteinhaltung gesetzlicher Quoten.
- Beim Export von E-Schrotten (deklariert als Gebrauchtgeräte) fehlen Kontrollen, welche einen illegalen Export wirkungsvoll unterbinden können.
- Für den Transport von gefährlichen Abfällen als Stückgut (beispielsweise E-Schrott in Gitterboxen) gibt es Kapazitätsengpässe, da sich die Logistikbranche mangels Wirtschaftlichkeit hierfür nicht ausreichend zertifizieren lässt.
- Das Recycling von Zinn findet meist in Verbindung mit anderen Metallen (z.B. Gold) statt auf welchen dann der Fokus liegt.
- Bauteile in Elektronikprodukten werden ärmer an Metallen, was dazu führt, dass ein Recycling nicht mehr ökonomisch darstellbar ist.
- Die gezielte Separierung von Zinn aus Elektroschrott ist derzeit nicht wirtschaftlich darstellbar.
- Niedrige Umwelt- und Sozialstandards bei der Primärproduktion drücken den Zinnpreis und sorgen dafür, dass ein Recycling nicht immer ökonomisch darstellbar ist.
- Für Lagermetall bei dessen Bearbeitung Späne entstehen, können stoffpolitische Entscheidungen (beispielsweise das Verbot von Blei) dazu führen, dass ein Recycling erschwert wird.
- Vorurteile hemmen den Einsatz von Sekundärzinn in Elektronikprodukten.

5. Recyclingperspektiven

Im Nichteisenmetall-BREF ¹¹ sind folgende Maßnahmen bzw. Technologien genannt, welche dem heutigen Stand der Technik entsprechen und für ein optimales Recycling eingesetzt werden können:

Die Entfernung von Staub aus dem Abgas von Sekundärschmelzen über eine geeignete Filteranlage reduziert die Emissionen an Staub und Metall. Das Recycling der Stäube führt zu Einsparungen des Einsatzmaterials.

Darüber hinaus sind im Nichteisenmetall-BREF keine neuartigen Technologien aufgeführt, welche den Recyclingprozess von Zinn verbessern können.