

# Magnesium

## 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

Magnesium ist ein Leichtmetall und eines der zehn häufigsten Elemente in der Erdkruste. Es ist ein Drittel leichter als Aluminium, hat aber eine geringere Härte und Festigkeit. Auf Grund seiner Leichtigkeit wird es gerne genutzt um Aluminium direkt in Form einer Magnesium-Legierung zu ersetzen.

Der Rohstoff für die Produktion von Magnesium ist meist Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), aber auch Magnesit ( $\text{MgCO}_3$ ), Karnallit ( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ) und Meerwasser werden zur Herstellung eingesetzt. Es werden aktuell Magnesium-Projekte entwickelt, die alternative Rohstoffe einsetzen, wie etwa Serpentine aus Altlastdeponien der Asbestproduktion sowie Flugaschen aus der Braunkohlefeuerung.

Magnesium kann über zwei Verfahren gewonnen werden. Das meiste Magnesium wird über den Pidgeon-Prozess hergestellt. Hierbei wird gebrannter Dolomit mit Schwerspat und Ferrosilicium im Vakuum auf über 1.000 °C erhitzt. Hierbei entsteht gasförmiges Magnesium, welches außerhalb des Ofens kondensiert und in einer Vakuumdestillation weiter gereinigt wird. Das zweite Verfahren ist eine Schmelzflusselektrolyse von Magnesiumchlorid. Hier werden Calcium- und Natriumchlorid zugesetzt um den Schmelzpunkt zu senken. Hierbei sammelt sich das Magnesium auf der Salzschnmelze und das entstehende Chlorgas wird im oberen Teil der sogenannten Downs-Zelle abgezogen. Die Herstellung von Magnesiumchlorid erfolgt über das DOW-Verfahren, bei dem Magnesiumchlorid im Meerwasser durch Kalkmilch gefällt wird und anschließend mit Salzsäure zu Magnesiumchlorid umgesetzt wird.

## 2 Mengenströme und Anwendungen

Magnesium wird in Form von raffiniertem Magnesium und Magnesiumlegierungen nach Deutschland importiert und hier weiter verarbeitet. Die Hauptlieferländer Deutschlands für Magnesium waren 2015 China (55 %), die Tschechische Republik (12,5 %), Österreich (10,6 %) und die Niederlande (10,1 %)¹. Die Niederlande sind hier mit genannt, da viele Importe über den Handelsplatz Rotterdam getätigt werden, welche dann den Niederlanden zugeschrieben werden. Die Tschechische Republik und Österreich verfügen nur über Umschmelzwerke und haben keine eigene Produktion. China produziert etwa 85 % des gesamten Magnesiums weltweit und verfügt auch über die weltweit größten Kapazitäten zur Raffinierung von Magnesium (ebenfalls ca. 85 %).

### 2.1 Produktion

Deutschland hat keine Primärproduktion und ist vollständig importabhängig. In Deutschland beschäftigen sich schätzungsweise weniger als zehn Betriebe mit dem Recycling von Magnesium. Die Verarbeitung von Magnesium (Druckguss) wird schätzungsweise von 10-15 Unternehmen durchgeführt.

Die Europäische Forschungsgemeinschaft Magnesium² vertritt die Interessen der Industrie entlang der Wertschöpfungskette des Magnesiums. Ergänzend vertritt die Internationale Magnesium Association (IMA) die Interessen seiner deutschen Mitglieder unter anderem bei der Europäischen Kommission.

---

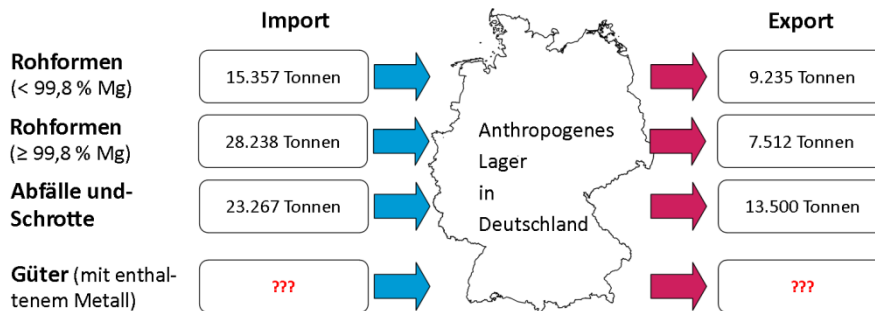
1 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2016): Deutschland - Rohstoffsituation 2015. URL: [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min\\_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2015.pdf? blob=publicationFile&v=3](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2015.pdf?blob=publicationFile&v=3)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

2 Wirtschaftsvereinigung Metalle e.V. URL: <http://efm-aalen.de/> (zuletzt abgerufen am 25.07.2018).

## 2.2 Im-/Export

In Abbildung 1 sind die Im- und Exportströme 2015 für Magnesium, seine Vorprodukte und die Abfälle und Schrotte dargestellt.

**Abbildung 1: Im- und Export von magnesiumhaltigen Stoffen in 2015**



Quelle: Öko-Institut e.V. nach BGR 2017<sup>3</sup>

Die Grafik lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- ▶ Metalle → Nettoimport 30.000 t
- ▶ Abfälle und Schrotte → Nettoimport 10.000 t

## 2.3 Anwendung

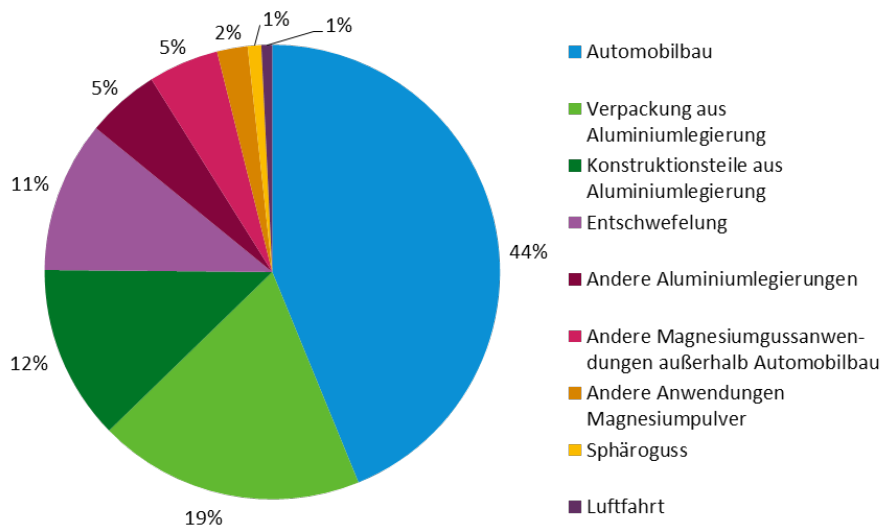
Die Verwendung von Magnesium in Deutschland ist nicht näher beschrieben, doch ist anzunehmen, dass sie der Europas ähnelt. Eine zusammenfassende Darstellung der Hauptverwendungsgebiete von Magnesium in Europa findet sich in Abbildung 2. Fast die Hälfte des Magnesiumbedarfs fließt in die Automobilindustrie. Ein Drittel beruht auf dem Einsatz in Aluminiumlegierungen (Verpackungen, Konstruktionsteile, andere Aluminiumlegierungen). Der Einsatz in der Entschwefelung von Eisen erzeugt 11 % des Bedarfs. Die übrigen Anwendungen von Magnesium machen zusammen knapp 10 % aus.

In Abbildung 3 sind der Kreislauf des Magnesiums 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:** In der Zukunft könnte die Elektromobilität zu einer vermehrten Nachfrage von Magnesium führen, der mit dem Mehrbedarf an Aluminium zusammenhängt. Deutliche Gewichtseinsparungen bei Elektroautos könnten durch den Mehreinsatz von Magnesium realisiert werden.

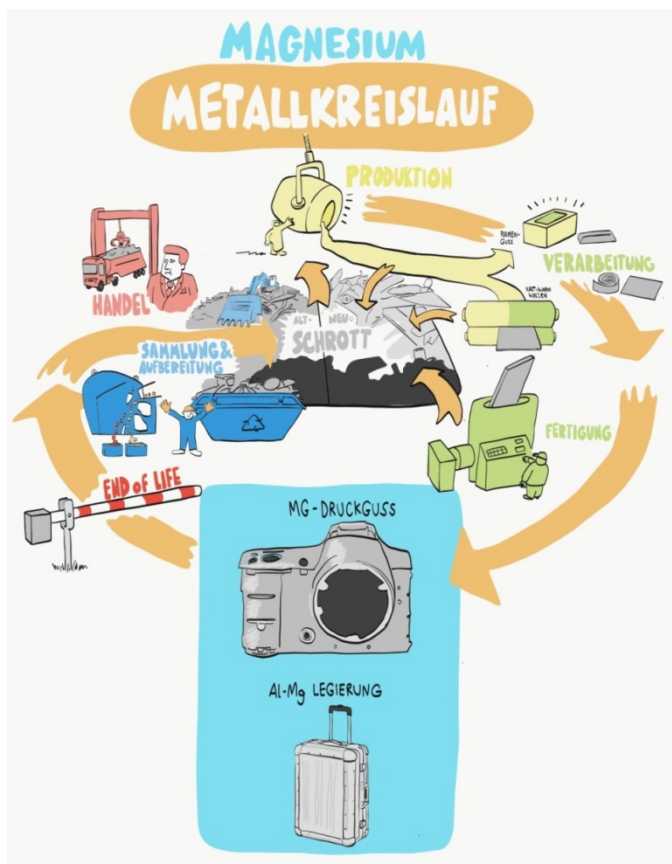
<sup>3</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2017): Deutschland - Rohstoffsituation 2016. URL: [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min\\_rohstoffe/Downloads/rohsit-2016.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2016.pdf?__blob=publicationFile&v=4) (zuletzt abgerufen am 25.07.2018).

**Abbildung 2: Hauptverwendungsgebiete des Magnesiums**



Quelle: Öko-Institut e.V. nach IMA 2017<sup>4</sup>

**Abbildung 3: Kreislauf des Magnesiums**



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

<sup>4</sup> International Magnesium Association (2017): Magnesium Recycling in the EU - Material flow analysis of magnesium (metal) in the EU and a derivation of the recycling rate. URL: [http://www.intlmag.org/resource/resmgr/sustainability/FullRprt\\_EU-Mg-recycling\\_201.pdf](http://www.intlmag.org/resource/resmgr/sustainability/FullRprt_EU-Mg-recycling_201.pdf) (zuletzt abgerufen am 24.07.2018).

### 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 aus<sup>5</sup>.

Nach dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) 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. Altfahrzeuge). Die Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt (GGVSEB) regelt, ob gewisse Abfälle (z.B. Magnesiumspäne) als Gefahrgut transportiert werden müssen<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> UBA (2013): Nichteisenmetalle. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/industrieverarbeitend/industrieverarbeitung-von-metallen/nichteisenmetallindustrie#textpart-1> (zuletzt abgerufen am 25.07.2018).

## 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 Angaben zu europäischen Recyclingraten, aber da Magnesiumschrott, genau wie das Metall, ein global gehandeltes Gut ist, bilden globale Recyclingraten das Gesamtbild des Metalls besser ab. Nationale Raten sind nicht bekannt.

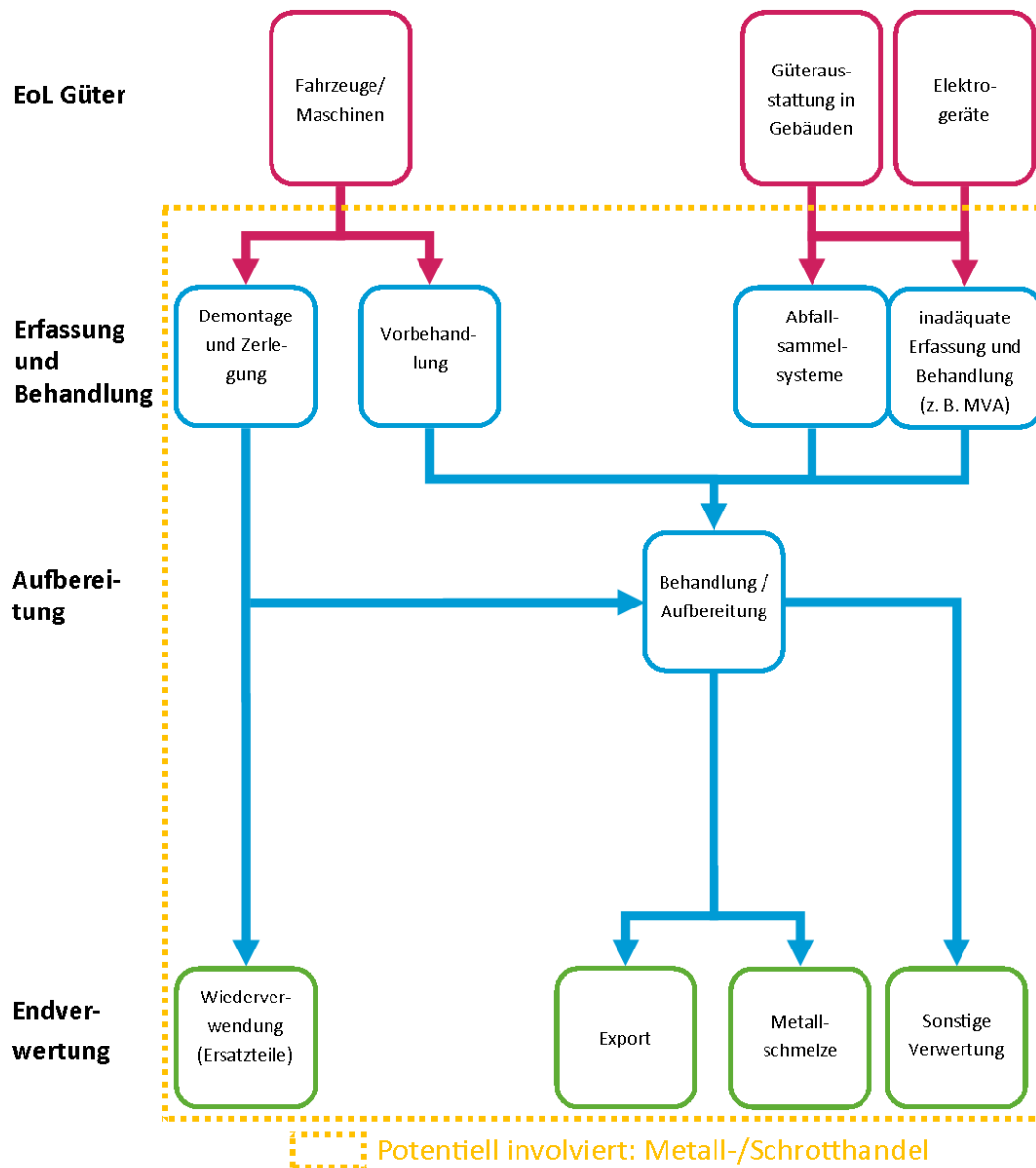
**Tabelle 1: Globale und europäische Recyclingraten des Magnesiums**

RC <sub>Magnesium</sub>	EoL <sub>Magnesium</sub>
33 % <sup>6</sup>	39 % <sup>6</sup>
7 % <sup>4</sup> (nur EU)	

Die Hauptanfallmengen, welche dem Magnesiumrecycling zugeführt werden, sind Produktionsabfälle (Ausschussteile, Gießsysteme, Bearbeitungsspäne usw.). EoL-Magnesiumschrotte stammen hauptsächlich aus Altfahrzeugen ausgemusterten Maschinen, Elektroschrott und der Güterausstattung in Gebäuden. Für die dargestellten Gütergruppen sind in Abbildung 4 die identifizierten Verwertungswege zusammengefasst. Aufgrund sehr hoher Anforderungen an die Legierungszusammensetzung werden Magnesiumschrotte aus Altfahrzeugen, Maschinen und weiteren Gütergruppen nicht oder nur in sehr geringem Umfang beim Recyclingprozess eingesetzt.

<sup>6</sup> UNEP (2011): Recycling of Metals - A Status Report. United Nations Environmental Programme. ISBN: 978-92-807-3161-3.

Abbildung 4: Verwertungswege des Magnesiums



Quelle: Öko-Institut e.V.

Fahrzeuge und Maschinen werden demontiert, 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. Sonstige Magnesiumprodukte aus Haushalten gehen meist über die Restabfallsammlung in für Metalle inadäquate Behandlungsanlagen (z. B. MVA) oder werden auf Recyclinghöfen und Schrottplätzen abgegeben. Von dort geht das Magnesium zum Aufbereiter. Die Rückgewinnung aus den MVA-Schlacken ist schwierig und trennt nur einen Teil der Metalle ab. Die Metallschrotte werden von den Aufbereitern an Schmelzwerke geliefert. Schmelzwerke können in diesem Fall auch direkt die Verarbeiter sein (z.B. Gießereien).

Im gesamten System sind Händler entweder als separate Akteure oder als Teil des jeweiligen Recyclingunternehmens beteiligt (gelber Rahmen). Das heutige Magnesiumrecycling in Europa beschränkt sich hauptsächlich auf das Recycling von hochwertigen, d.h. sortenreinen, nicht

verunreinigten Magnesiumschrottsorten, welche überwiegend bei der Herstellung von Magnesiumbauteilen anfallen.

Wenn ein wirtschaftliches Recycling von verunreinigten oder nicht sortenreinen Magnesiumreststoffen nicht möglich ist, werden diese exportiert und in diesen Ländern zu Magnesiumlegierungen umgearbeitet, die den dort geltenden Anforderungen gerecht werden. Als Gründe können der unedle Charakter des Metalls und die damit einhergehenden Schwierigkeiten bei der Entfernung enthaltener unerwünschter Störstoffe gelten<sup>7</sup>.

In geringem Umfang werden Magnesiumschrotte auch beim Aluminiumrecycling eingesetzt. Für den Einsatz als Entschwefelungsmittel in der Stahlindustrie oder zur Kugelgraphitbildung bei der Gusseisenerzeugung müssen die Magnesiumreststoffe umfangreich umgearbeitet werden, bevor sie für diese Zwecke eingesetzt werden können.

Der Einsatz von sortenreinen Magnesiumreststoffen (Ausschussteile, Gießsysteme usw.) ist gängige Praxis. Bei prozessbedingten Kreislaufanteilen von teilweise über 50 % ist dies wirtschaftlich auch zwingend notwendig.

Im Gegensatz zur Aluminiumindustrie gibt es keinen Magnesiumsekundärlegierungsmarkt. Der in Europa eingesetzte Recyclingprozess - ob durch Inhouse-Recycling oder durch externe Recyclingunternehmen - stellt sicher, dass die hohen Anforderungen durch die umgearbeiteten (recycelten) Magnesiumlegierungen erfüllt werden können.

Im Rahmen eines Dialogforums mit Praxisakteuren, insb. aus der Wirtschaft, wurden weitere Hemmnisse für ein Recycling in Deutschland vorgebracht<sup>8</sup>:

- Die geringen Magnesiummengen erschweren das Recycling, da die Wirtschaftlichkeit größere Volumenströme benötigt.
- Die Versorgungssituation bzw. Abhängigkeit von Importen führt bei Magnesium dazu, dass bspw. die Automobilindustrie bevorzugt Aluminium einsetzt.
- In der Recycling-Debatte werden oft nur die negativen Aspekte des Recycling, u.a. Downcycling betont, obwohl auch hier Primärmaterial substituiert wird.
- Genehmigungsverfahren dauern zu lange und sind stark von der lokalen Administration abhängig. Dies führt auch zu Verzögerungen beim Schrotttransport über nationale Grenzen.
- Die Gesetzgebung zur Gefährlichkeit von Mg ist sehr restriktiv, was in der Praxis zu Problemen bei Transport und Recycling von Mg-Schrotten führt.
- Die Kapazitäten für den Transport von gefährlichen Abfällen sind zu gering, die Deklarationspflichten steigen und die Menge der als gefährlich deklarierten Abfälle steigt.
- Es fehlen Kontrollen beim Export und die Definitionen die Kontrollen zugrunde gelegt werden sind teilweise intransparent.
- Die Sammlung von Schrotten ist noch nicht optimal. Das Recycling, z.B. von Metallstäuben, ist teilweise nicht wirtschaftlich darstellbar.
- Schrotte sind sehr inhomogen und müssen besser sortiert werden um Legierungsbestandteile nicht zu verlieren.

---

7 Duwe, Stephanie. (2015). Herausforderung Magnesiumrecycling: Pyrometallurgische Entfernung kritischer Verunreinigungen. 421-428.

8 Aussagen von Praxisakteuren, die im Rahmen des 1. Dialogforums zum UBA Vorhaben „Kartierung des anthropogenen Lagers III“ vorgebracht wurden.



- Die Einstufung des Wassergefährdungspotentials von Metallpartikeln kleiner 1 mm verhindert ein Recycling.
- Die Anforderung an die Qualität des Sekundärmaterials steigt.
- Produkte werden ohne Rücksicht auf das Recycling designed und sind deshalb später nur schwer recycelbar.

## 5 Recyclingperspektiven

Im Nichteisenmetall-BREF<sup>9</sup> sind keine separate Maßnahmen bzw. Technologien genannt, welche für die Optimierung des Magnesiumrecyclings eingesetzt werden können. Vor dem Hintergrund, dass Aluminium und Magnesium als Legierung verarbeitet werden und ähnliche Verarbeitungs- sowie Recyclingwege haben, werden hier die Optimierungsmöglichkeiten des Aluminiums aus JRC 2017<sup>9</sup> aufgezeigt:

- Der Einsatz der Magnetabscheidung, der Wirbelstromabscheidung und einer Trennung über die relative Dichte (z.B. Schwimm-/Sinktrennung) ermöglicht es, zerkleinerte Schrotte besser aufzutrennen und erhöht so die Vielfalt der für das Recycling einsetzbaren Schrotte. Das Einsatzmaterial für das Einschmelzen wird besser selektiert und optimiert den Prozess (Reduktion der Emissionen, des Salzeinsatzes und der produzierten Krätzen). Zusätzlich können hierbei weitere Metalle abgetrennt und recycelt werden.
- Mit Kühlschmierstoffen oder Ölen verunreinigte Späne können, je nach Beschaffenheit, vor dem Einschmelzen zentrifugiert oder über einen Rotationstrockner von diesen Verunreinigungen befreit werden um die Entstehung von organischen Emissionen zu verhindern, den Schmelzprozess zu optimieren (s.o.), die Ausbeute an Metall zu erhöhen sowie die Schmiermittel wieder einsetzbar zu machen.
- Der genutzte Ofen (Flammofen/ Drehtrommelofen/ Induktionsofen/ Schachtofen) muss auf den zu verwertenden Schrott (z.B. Art und Anteil an Verunreinigungen, zu schmelzende Menge, Verhältnis Oberfläche zu Volumen) angepasst sein um die Ausbeute, den Einsatz von Salz und den Energieeinsatz zu optimieren.
- Die Kühlung und Behandlung von Krätzen unter inerten Bedingungen kann ermöglicht eine höhere Ausbeute da hier eine Oxidation verhindert wird.

Als neuartige Technologien, welche das Recycling (von Aluminium und damit evtl. auch Magnesium) noch weiter verbessern können, gelten<sup>9</sup>:

- Legierungssortierung mittels Laser- und Wirbelstromtrennverfahren um den Schrott bis auf Legierungsebene zu sortieren um die Herstellung von Legierungen aus Schrott zu vereinfachen.

Speziell existieren noch folgende Sortiertechnologien:

- Röntgenfluoreszenz (XRF), Röntgentransmission (XRT), Laserinduzierte Plasma-Spektroskopie (LIBS) und Neutronen-Aktivierungsanalyse (NAA), welche in der Praxis bisher vor allem in der manuellen Sortierung und äußerst selten in der automatisierten Sortierung eingesetzt werden, können zu einer besseren Aufbereitung des Schrotts (homogenere Fraktionen) vor der Einschmelzung führen. Dies führt zur Einsparung von Legierungsmaterial und Schlackenbildner, was auch zur Senkung der Menge an entstehenden Schlacken führt.

---

<sup>9</sup> Joint Research Centre (2017): Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the main Non-Ferrous Metals Industries. URL: [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/NFM/JRC107041\\_NFM\\_Bref\\_2017.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/NFM/JRC107041_NFM_Bref_2017.pdf) (zuletzt abgerufen 25.07.2018).