

**Sondermetallhaltige Abfallströme bündeln:
Herausforderungen und Lösungen entlang
von Prozessketten**

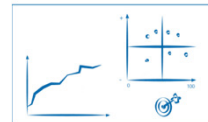
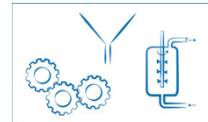
Siegfried Kreibe, Andreas Förster, Birgit Reinelt
(bifa Umweltinstitut GmbH)
Michael Krupp
Hochschule Augsburg (HSAOps)

Aus dem Projekt „Edel- und sondermetallhaltige
Abfallströme intelligent lenken: Bündelung,
Zwischenlagerung, Rückgewinnungsgrad“ (ILES A)

Auftraggeber: Umweltbundesamt

Recy und Depotech, Leoben 07.-09.11.2018

4. November 2018



Technik. Stoffe. Strategien.

ILES A: das Projekt

- Ziel: Entwicklung von Konzepten zur Lenkung geeigneter Abfallströme, um Rückgewinnung ausgewählter Edel- und Sondermetalle zu stärken.
- Schwerpunkte im Projekt
 - Erfassung und Bündelung, Logistik
 - Zwischenlagerung
 - Abschätzung ökologisch optimalen Rückgewinnungsgrades
 - Beteiligung von Praxisakteuren
 - Vorschläge zur Implementierung in die Recycling-Praxis
- Projektpartner: Hochschule Augsburg (HSAOps), avocado Rechtsanwälte
- Auftraggeber: Umweltbundesamt

Hier erläutert am Beispiel NdFeB-Magnete

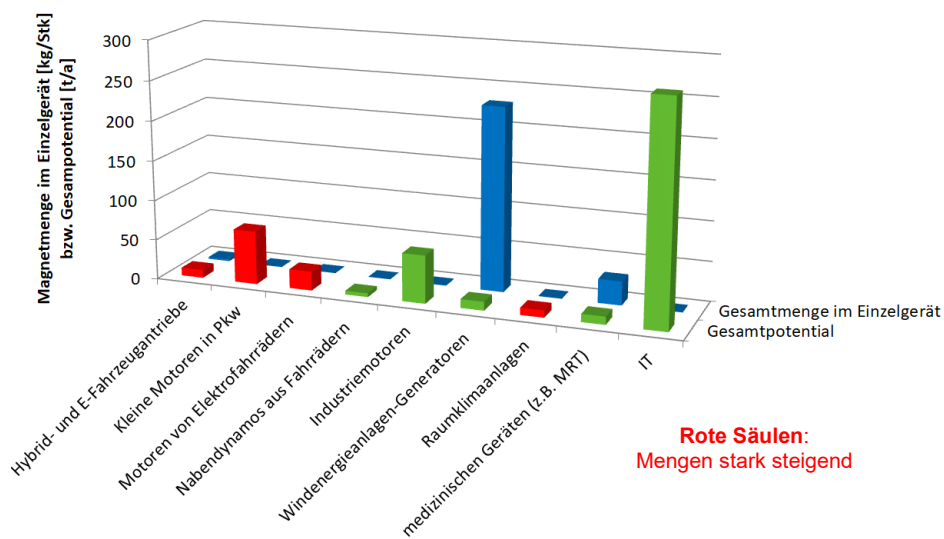
Erlöse

- Für zu separierende Abfälle fehlen meist funktionierende Märkte => keine Marktpreise zur wirtschaftlichen Bewertung
- Wenn Marktpreise: erhebliche Schwankung mit Primärrohstoffpreisen
- Hier: **Neuwarenwerte** (Mittelwert Marktpreise 2012 bis 2016 nach USGS)
 - ACHTUNG: Die Erlöse für Sekundärmaterialien meist deutlich geringer
 - ACHTUNG: tatsächliche Erlöse verteilen sich über gesamte Prozesskette
- Datenbasis über Mengenströme lückenhaft

Entwicklungsstand

- Verfahren vielfach nur im Labormaßstab entwickelt
- Vom Labormaßstab zum Produktionsmaßstab – ein weiter Weg
- Vom Labormaßstab zur Prozesskette - ein noch weiterer Weg

NdFeB-Magnete: Mengenpotenzial im Abfall 2020 und Menge pro Gerät



- Industriemotoren (hierzu insbes. Buchert 2014)
 - Manueller Ausbau Rotor
 - Manueller Ausbau Magnete
 - Herausforderung
 - Identifizierung für Erstbehandler derzeit kaum möglich
 - Aufgrund Einbauweisen meist nur mit großem Aufwand entnehmbar
 - Aufgrund Einbauweisen oft nicht unzerstört entnehmbar

- IT (insbes. Festplattenmagnete) (hierzu z.B. Völker 2015)
 - Manueller Ausbau wegen geringer Größe kaum realistisch
 - Mechanische Aufbereitung
 - Zerkleinern - Magnete haften an separierter FE-Fraktion – entmagnetisieren – separieren Magnetmaterial) (Völker 2015)
 - Automatisierung der Zerlegung (sensorgestützte Erkennung, robotergestützter Schnitt) (Remanence 2017)
 - In Festplatten sowohl gesinterte als auch polymergebundene Magnete
 - Herausforderungen: Investkosten; Reinheit für Weiterverarbeitung ausreichend?

04.11.2018

Buchert (2014): Untersuchung zu Seltenen Erden: Permanentmagnete im industriellen Einsatz in Baden-Württemberg //
Völker (2015): Rückgewinnung von Neodym aus Magneten von Computerfestplatten. Schlussbericht DBU-Projekt SeRec //
Remanence (2017): Rare Earth Magnet Recovery for Environmental and Resource Protection. Final Publishable Report

Aufbereitung von NdFeB-Magneten nach der Separation

- Wiedereinsatz Magnete
 - Nur bei unzerstörtem Ausbau; Bauform muss passen - in wenigen Fällen möglich
- Wiedereinsatz Legierungen (nach Aufbereitung)
 - Inputmaterial mit definierter Zusammensetzung erforderlich
 - Investitionsaufwand für Aufbereitungsverfahren (z.B. Zerkleinerung – Wasserstoffbehandlung - Jetmühle) (Bast 2014)
- Abtrennung Seltenerdmetalloxid-Mischkonzentrate (chemischer Prozess)
 - Investitionsaufwand
 - Erhebliche Prozesskosten
 - Realisierung in neu zu errichtender Anlage denkbar
- Aufbereitung zu Seltenerdmetall-Oxiden/ Seltenerdmetallen (komplexer chemischer Prozess)
 - Sehr großer Investitionsaufwand
 - Sehr hohe Prozesskosten
 - Vsl. nur in bestehenden Anlagen zur Produktion von Seltenerdmetallen möglich

04.11.2018

Bast (2014): Recycling von Komponenten und strategischen Metallen aus elektrischen Fahrtrieben (MORE); Schlussbericht, S. 49ff

- **Entmagnetisierung separierter Rotoren beim Erstbehandler**
 - + Ideal mit Blick auf Arbeitsschutz und Handhabbarkeit
 - Unrealistisch hohe Investitions- und Betriebskosten bei geringen Mengen
 - Entmagnetisierung (auch energetisch) ineffizient: Masse Rotor >> Magnete
- **Entmagnetisierung separierter Rotoren beim Aufbereiter**
 - + Ideal mit Blick auf Arbeitsschutz und Handhabbarkeit
 - + Investitions- und Betriebskosten den Mengen angemessen
 - Größeres Transportvolumen
 - Entmagnetisierung (auch energetisch) ineffizient: Masse Rotor >> Magnete
 - Ggfs. größere Massen im Zwischenlagerung => Verwertungsquote sinkt
- **Annahme: Entmagnetisierung separierter Magnete beim Aufbereiter**
 - Größere Vorsicht bei den vorhergehenden Prozessen erforderlich
 - Lagerung und Transport aufwendiger (Abschirmung)
 - + Nur Magnete sind zu entmagnetisieren => geringere Invest-/Betriebskosten
 - + Wirtschaftlich und energetisch günstig

Parameter	Wert
Aufkommen / Jahr	10.000 kg Magnete/Jahr (Tendenz stark steigend)
Wertpotenzial / Jahr (nur Nd, Dy, Pr)	Neuwarenwert pro kg Magnet ca. 43 € - Gesamt: 430.000 € (Potenzial nur z.T. verfügbar: unvollst. Erfassung u. Separation, Materialverlust entlang Wertungskette)
Durchschnittliches Aufkommen pro Demontagebetrieb	(1.250 Demontagebetriebe) 8 kg Magnete/Jahr (0,17 kg/Woche) aus 3,2 E-/Hybridfahrzeugen
Wertpotenzial pro Demontagebetrieb ²⁾	344 € Umsatz/Jahr (7,17 € Umsatz/Woche) Magnet-Neuwarenwert! (tats. Wert wesentlich kleiner) (Grenzfallbetrachtung: tatsächlich muss aus Materialwert gesamte Wertungskette finanziert werden!)
Kosten/Arbeitsstunde	28,10 € ¹⁾
Finanzierbare Arbeitszeit ²⁾	12,2 Stunden pro Jahr o. 3,8 Stunden pro E-/Hybridfahrzeug
Mengen- und Wertpotential	pro Fahrzeug ca. 2,4 kg Magnetmaterial (Wert ca. 108 €) (zzgl. Mehrerlöse durch bessere Vorseparation von Cu, Al)

• **Hersteller von NdFeB-Magneten**

- Aufbau Sammel-/Verwertungssystem als Beitrag zur Rohstoffversorgung
- Herstellung Magnete weit überwiegend außerhalb Europas
- Abfallwirtschaft nicht Kerngeschäft.

=> Kommen als Initiatoren in Europa kaum in Frage

• **Hersteller magnethaltiger Produkte**

- beziehen meist fertige Motoren oder Magnete
- Interesse evtl. bei Wartungs- oder Leasingkonzepten großer Hersteller von Produkten mit großen Magneten und wachsendem Mengenpotenzial
- Verwertung von NdFeB-Magneten nicht der entscheidende Faktor

=> NdFeB-Separation als Mitnahmeeffekt denkbar

• **Erstbehandler**

- Separation und Aufbereitung als Erlösquelle
- Beschränkter Mengenzugriff
- Erfassungssysteme und metallurgische Prozesse nicht Kerngeschäft
- Konkurrenten zugleich Zulieferer

=> Ausbau und Weiterverkauf größerer Magnete an Händler denkbar; umfassendere Initiative wenig realistisch

• **Spezialisierte Logistikunternehmen**

- Ggfs. guter Zugang zu Erstbehandlern
- Keine Erfahrungen in Betrieb komplexer Recycling-Prozesse
- Kerngeschäft kein wesentlicher Erfolgsfaktor

=> Kommen als Initiatoren kaum in Frage

- **Händler und Makler**

- Kaufen schon heute je nach Marktlage NdFeB-Magnete für Export an
- Keine Erfahrungen in Betrieb komplexer Recycling-Prozesse
- Kerngeschäft kein wesentlicher Erfolgsfaktor.

=> Aufbau umfassenderes Verwertungssystems nicht zu erwarten

- **Betreiber komplexer Recyclingprozesse**

- Können Aufbereitungsangebote rel. zügig aufzubauen und die Chance nutzen, Erster in einem Markt zu sein, der für weitere Aufbereiter kaum Platz bietet
- Erfahrungen in Betrieb komplexer Recycling-Prozesse

=> Auch hier erhebliches Erfolgsrisiko, dennoch wohl am ehesten motiviert und geeignet für den Aufbau eines solchen Geschäftsfeldes

- Rollenverteilung idealisiert!
- Auch Kooperationen verschiedener Akteure denkbar

Szenario für mögl. marktgetriebenen Ansatz

Deutschland (2020):
Mengenpotenzial Magnetmaterial
ca. 470 t/a; Neuwarenwert (Nd, Pr,
Dy) ca. 12 Mio. €/a

- **Einstieg Aufbereitungsunternehmen**

- Fokus: leicht zugängliche Magnete definierter Zusammensetzung
- In Nischen: direkter Wiedereinsatz von Magneten
- Pilotanlage für definierte Magnete zum Wiedereinsatz der Legierungen
- Gezielte Kooperation mit Anfallstellen für größere Magnetmengen
- Marktaufbau insbesondere in Segmenten mit geringeren Anforderungen

- **Ausbau bei absehbar hinreichendem Mengenaufkommen**

- Pilotanlage zur nasschemischen Aufbereitung kleinerer definierter Mengen
- Kooperation mit weiteren Anfallstellen, Systemlogistiker, Abnehmern
- Entwicklung von Behältersystemen
- Ausbau Entmagnetisierungsprozess, Aufbau automatischer Sortierung
- Aufbau Produktionsanlagen

Regulatorische Maßnahmenoptionen

- Kennzeichnungspflicht für Motoren / Geräte mit NdFeB-Magneten
 - Wenn Magnete > 20g oder Magnetmengen > 200 g Kennzeichnung (z.B. NdFeB) auf Typenschild; ggfs. Ausweitung auf weitere Produktgruppen
- Pflicht zum Ausbau von NdFeB-Magneten
 - NdFeB-Magnete aus als NdFeB-magnethaltig gekennzeichneten Motoren / Geräten oder wenn Vorhandensein allgemein bekannt
 - Pflicht, Magnete einer Verwertung zuzuführen, durch die Seltenerdmetalle ersetzt werden
- Pflicht zum verwertungsgerechten Einbau von NdFeB-Magneten
 - Unzerstörter Ausbau muss mit einfachen Mitteln möglich sein
 - Prüfen ob Zielkonflikte mit Energie- und Materialeffizienz

Deutschland (2020):
 Mengenpotenzial Magnetmaterial
 ca. 470 t/a; Neuwarenwert (Nd, Pr,
 Dy) ca. 12 Mio. €/a

Ausbeuten entlang der Prozesskette Erfassung – Verwertung

Verfahrens- schritt	Ausgangs- situation	Nach Umsetzung von Maßnahmenoptionen/Verbesserungsansätzen	
		konservativ abgeschätzte Ausbeuten	sehr optimistisch abgeschätzte Ausbeute
Erfassung (% v. Potenzial)	30 %	30 %	60 %
Vorseparation	0 %	50 %	70 %
Aufbereitung	0 %	50 %	85 %
Verwertung	0 %	85 %	90 %
GESAMT	0 %	6,4 %	32,1 %

Die Maßnahmen:

- Erfassung: keine Maßnahmen
- Vorseparation: Demontage Rotoren bei Kennzeichnung u. demontagefreundlichem Einbau
- Aufbereitung: Ausbau Magnete, Entfernung grober Fremdstoffanteile, Entmagnetisierung
- Verwertung: Aufbereitung zu Konzentraten

NdFeB-Magnete: Potenzial und erwarteter Nutzen (Nd, Pr, Dy) (Deutschland 2020)

	Potenzial	Nutzenpotenzial bei konservativ geschätzter Ausbeute (10 %)	Nutzenpotenzial bei sehr optimistisch geschätzter Ausbeute (50 %)
Menge (t)	470	47	235
Neuwarewert (Mio. €)	12	1,2	6
Carbon Footprint Neuproduktion (t CO _{2eq})	4.240	424	2.120
Carbon Footprint (Einwohnerwerte)*	372	37,2	186

* Carbon Footprint Einwohnerwerte Deutschland: 11,4 t CO_{2eq}/EW*a; Quelle: UBA 2018)

Vom Nutzenpotenzial abzuziehen sind die Emissionen aus der Verwertung

⇒ Angemessenheit gesetzlicher Regelung unter Klimaschutz Gesichtspunkten fraglich

⇒ Mögliche Motivationen neben Klimaschutz

- Weitere Umweltbelastungen der Primärgewinnung (u.a. radioaktive Strahlung)
- Rohstoffsicherung insbes. für Klimaschutz-Technologien (E-Mobilität, Windenergie)
- zukünftig steigende Mengen

Fazit

NdFeB-Magnete

- Potenzial NdFeB-Magnete im Vergleich zu anderen Sondermetallanwendungen relativ groß; Mengen schnell wachsend
- Marktgetriebene Etablierung von Lösungen zur Rückgewinnung von Sondermetallen aus NdFeB-Magneten erscheint mittelfristig denkbar
- Angemessenheit gesetzlicher Regelung unter Klimaschutz Gesichtspunkten fraglich

Generelle Schlussfolgerungen zu Bündelung und Lenkung von Sondermetallen in die Rückgewinnung

- Gesamte Prozesskette in den Blick nehmen
- Reale Beschaffenheit der Abfälle in all ihrer Varianz berücksichtigen
- Auch scheinbar einfache Dinge wie Behälterfragen, Lagerfähigkeit oder Arbeitsschutz durchdenken
- Bei Potenzialabschätzung Mengenverluste entlang der gesamten Prozesskette (ab Erfassung) realistisch abschätzen
- Motivationslagen der Beteiligten berücksichtigen

bifa Umweltinstitut GmbH
Am Mittleren Moos 46
86167 Augsburg



Tel.: +49 821 7000-0
Fax: +49 821 7000-100

www.bifa.de