

Beitrag zur Entwicklung des Recyclings von Magnetwerkstoffen mit Legierungsanteilen aus Elementen der Lanthanoidengruppe mittels Sortier- und Aufbereitungsverfahren in der Prozessvorbereitung

Thomas Rump, Ralf Holzhauer und Rüdiger Deike

| | | |
|------|--|-----|
| 1. | Ansätze und Bedeutung des Recyclings von Magnetwerkstoffen | 532 |
| 2. | Eisen-Magnet-Trennung <i>Verfahren zur Sortierung von Dauermagneten</i> | 533 |
| 2.1. | Potential der Eisen-Magnet-Trennung am Beispiel von Festplattenschrott | 535 |
| 2.2. | Ergebnis des Sortierversuchs..... | 537 |
| 2.3. | Diskussion der erreichten Sortierquote | 538 |
| 3. | Klassifizieren von Dauermagneten..... | 538 |
| 4. | Zusammenfassung und Fazit..... | 540 |
| 5. | Literatur..... | 540 |

Seltene Erden sind ein unverzichtbarer Rohstoff zukunftsweisender Technologien. Die Gruppe der Seltenen-Erden-Metalle besteht aus 15 Elementen der Lanthanoiden, dazu gehören Lanthan, Cer, Praseodym, Neodym, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und Lutetium. Außerdem gehört Yttrium wegen seiner chemischen und physikalischen Ähnlichkeiten und seines häufigen geologischen Vorkommens mit den Lanthanoiden und Scandium wegen seiner chemischen Ähnlichkeit zur Seltenen-Erden-Gruppe. Das Seltenen-Erden-Element und Lanthanoid Promethium kommt in der Natur nur sehr selten und instabil vor.

Etwa 20 % der Seltenen-Erden-Produktion werden für Magnete verwendet [1]. Neben Neodym und Samarium kommen vor allem Praseodym, Terbium und Dysprosium in Seltenen-Erden-Dauermagneten vor, welche sich durch eine hohe Energiedichte auch bei hohen Temperaturen auszeichnen. Sie finden Anwendung in Motoren, Festplatten, der Magnetresonanztomographie, der Energieerzeugung, Mikrofonen und Lautsprechern sowie der magnetischen Kühlung [2]. Die Magnete haben, geprägt durch ihre Anwendungen eine hohe Vielfalt, da sie zusätzlich zu verschiedenen Formen in vielfältigen Herstellungsverfahren produziert werden. Unterschieden werden beispielsweise isotrope Magnete (ohne Vorzugsrichtung) und anisotrope Magnete (axiale, diametrale oder polorientierte Vorzugsrichtung). Neben gesinterten Seltenen-Erden-Magneten

gibt es außerdem kunststoffgebundene-Magneten. In den Dauermagnetwerkstoffen liegen bestimmte Seltenen-Erden-Elemente im Vergleich zu ihren Vorkommen in der Natur in deutlich höheren Konzentrationen vor, so dass der Frage nachgegangen werden muss, ob und auf welche Art und Weise die Seltenen-Erden-Elemente aus Abfällen, die im Verlauf der Fertigung anfallen, sowie aus End of Life-Produkten recycelt werden können.

1. Ansätze und Bedeutung des Recyclings von Magnetwerkstoffen

Mit über 80 % der weltweiten Produktion von Seltenen Erden, ist China mit Abstand der größte Rohstofflieferant Seltener Erden. Deutschland ist mit einem Importanteil chinesischer Seltener Erden von über 90 % besonders abhängig. Ziel der chinesischen Regierung ist es Seltene-Erden-Produkte im eigenen Land herzustellen. Außerdem wird es durch verstärkte Umweltschutzvorschriften in China auf kurz oder lang zu einer Preissteigerung der Seltenen Erden kommen. Trotz des sinkenden Wachstums der chinesischen Wirtschaft wird für Seltene-Erden-Magnete ein jährliches Wachstum von über 15 % des jetzigen Bedarfs vorhergesehen. Dieses Wachstum besteht insbesondere durch eine erhöhte Nachfrage nach Zukunftstechnologien wie der Elektromobilität oder dem Bau von Windkraftanlagen. Gleichzeitig geht die chinesische Regierung gegen illegalen Abbau vor und grenzt den Abbau Seltener Erden durch Quoten ein [5]. Der Aufbau von Recyclingstrukturen außerhalb Chinas bietet daher die Chance die Entkopplung der weltweiten Industrie von Chinas Rohstoffen zu ermöglichen.



Bild 1: Verbleibewege der Magnete – links: Magnete in der Siebtrommel einer Rostascheaufbereitung; rechts: Magnete im Stahlschrott der Schredder-Schwerfraktion der Automobilverwertung

Durch die unterschiedlichen Konzentrationen von Dauermagneten in den Anwendungen gelten verschiedene Rahmenbedingungen für die Rückgewinnung. Die Rückgewinnung aus großvolumigen Magnetanwendungen der Energieerzeugung oder der Magnetresonanztomographie ist ungleich der Aufkonzentration sortenreiner,

feinteiliger Magnetfraktionen aus Massen- und Konsumgütern. Zurzeit finden sich die Magnete in den Fe-Fraktionen verschiedenster Anwendungen wieder, wie in Bild 1 dargestellt ist. Dabei handelt es sich um Magnete in der Siebtrommel einer Rostascheaufbereitung sowie um Magnete im Stahlschrott der Schredder-Schwerfraktion aus der Automobilverwertung.

Da die Magnete mit der Fe-Fraktion verwertet werden, findet eine Verdünnung statt, die aus heutiger Sicht unumkehrbar ist. Daher gilt es Verfahren zu entwickeln, die es ermöglichen Magnete aufzukonzentrieren. Die Anforderungen an diese Verfahren bestehen darin, einerseits die Magnete vom Eisen zu trennen und andererseits gleichzeitig oder in einem nächsten Schritt die Magnete nach Legierungen oder den Hauptlegierungsanteilen zu sortieren. Dieses dient dem Ziel Magnetkonzentrate aus Schrott zu erhalten. Diese hochreinen Konzentrate können dann Recyclingverfahren zugeführt werden, die auf die Legierungen zugeschnitten sind.

Solche Verfahren könnten eine Alternative zur Rückführung der Konzentrate in die Primärproduktion darstellen. Die Rückführung der Konzentrate in die Primärproduktion bietet den Vorteil, dass der Schritt der Aufkonzentration entfällt, da die Lanthanoide vergesellschaftet vorkommen und in mehrstufigen Verfahren aufwendig getrennt werden müssen. Gleichzeitig ist es aber die längste und damit aufwendigste Recyclingroute. Wenn das Recyclingverfahren auf ein Magnetkonzentrat zugeschnitten werden kann, könnte es sein, dass es eine wirtschaftliche Alternative zur Primärproduktion darstellen würde, da weniger Verfahrensschritte notwendig wären um wieder einen Magneten zu erhalten. Außerdem wäre es eine ökologisch wertvolle Alternative, da die Seltenen Erden in natürlichen Erzen sehr häufig vergesellschaftet mit radioaktiven Thorium vorliegen, das in Dauermagneten nicht vorliegt, so dass notwendige Schritte der Aufbereitung und Entsorgung, die im Rahmen der Primärproduktion zu berücksichtigen sind, beim Recycling nicht anfallen.

2. Eisen-Magnet-Trennung *Verfahren zur Sortierung von Dauermagneten*

Um die geforderte Aufkonzentration der Dauermagnete zu erreichen, kommen zum Herauslösen der Magnete Zerkleinerungsaggregate wie Schredder, Mühlen, Brecher und Stanzen zur Anwendung. Der Schredderprozess ist wichtig, um den Verbund von Funktionskomponenten aufzuheben. Schreddergut wird durch Zerreiben, Zermahlen, Zerreißen, Zertrümmern oder Zerschneiden erzeugt. Die Reibungsarbeit im Mahlwerk hat eine unterschiedliche Erwärmung der Materialien zur Folge. Durch das Zerkleinern kommen die Partikel stark deformiert, mit heterogenen Bruchkanten und Rissen aus dem Schredder.

Durch eine anschließende Vorsortierung können Störstoffe wie Kunststoff und Papier ausgesondert werden, so dass ein reines Schrott-Magnet-Gemisch zurückbleibt. Der Schritt ist erforderlich, um Materialien mit niedrigem Schmelzpunkt oder geringer Entzündungstemperatur vor der thermischen Behandlung zu entfernen. Weiterhin

verhindert er in späteren Prozessen die Wechselwirkungen der Teile untereinander. So können Dämmstoffe die Erwärmung der Dauermagnete verzögern. Es können verschiedene Sortierprozesse zur Verhinderung negativer Einflüsse vorgeschaltet werden, an deren Ende ein Dauermagnet-Eisen-Gemisch stehen sollte, das es zu trennen gilt.

Die anschließende Erwärmung durch die Annäherung des Stoffstromes an die Curie-temperatur der Dauermagnete bewirkt eine Teilentmagnetisierung. Die Verbindungen zu den Eisenpartikeln werden damit geschwächt, aber nicht unterbrochen. Einige der Elementarmagnete richten sich nicht mehr zum Feld mit den Eisenteilchen aus. Die Weisschen Bezirke werden kleiner. Die Anziehungskraft sinkt. Bei diesem Prozess ist es wichtig, die richtige Temperatur homogen über eine Verweilzeit im Wärmestrom zu erreichen. Werden die Magnete zu stark oder zu schwach erhitzt, gibt es Auswirkungen auf die Sortierreinheit. Das Bereitstellen von Wärmeenergie bedeutet jedoch einen hohen Aufwand, den es zu optimieren gilt.

Nach der Teilentmagnetisierung werden über die Zusammenschaltung von Förderbändern Verbunde aus Eisen-Magnet-Schrott aufgelöst und der Stoffstrom wird über die gesamte Bandbreite verteilt. Optimal ist es, wenn das Gemisch gleichmäßig verteilt auf das Band des Wirbelstromabscheiders gelangt, so dass eine Wechselwirkung der Teile ausgeschlossen werden kann. Die Lage und Orientierung der Teile wird hier stark beeinflusst aber nicht kontrolliert [7].

Es folgt die Wirbelstromtrennung. Werden elektrisch gut leitende Partikel einem magnetischen Wechselfeld ausgesetzt, so werden nach dem Induktionsgesetz Wirbelströme induziert, die senkrecht zu diesem Feld liegen. Um diese Felder herum baut sich nach dem Biot-Savartschen-Gesetz ein weiteres dem Induktionsfeld entgegengesetztes Magnetfeld auf, das in der klassischen Anwendung des Wirbelstromabscheiders zum Auslenken elektrisch gut leitender Partikel führt.

Hochleistungspermanentmagnetscheider gibt es sowohl in einer einfachen konzentrischen Bauform als auch mit einem exzentrisch liegenden Polrad, das die Auslenkwirkung besser beeinflusst. Da konzentrische Systeme bei Eisen oder eisenhaltigen Produktströmen die Eisenteile auf Grund ihres hohen Einwirkungsgrades nicht aus dem Wirkungsbereich lassen und durch wiederholt hohe Wirbelströme erhitzen, besteht die Gefahr, dass Eisenteile sich im Förderbandgurt einbrennen. Daher werden Mitnehmer auf dem Förderband installiert, um die Eisenteilchen aus dem Magnetfeld hinauszuziehen [4]. Diese konzentrischen Wirbelstromabscheider mit einem Mitnahmesystem sind für die Eisen-Magnet-Trennung im Labormaßstab erprobt und als geeignet empfunden worden. Am Polrad des Wirbelstromabscheiders haften Eisenteile am Förderband. Die Dauermagneten richten sich zum Wechselfeld aus, das wirkende Drehmoment sorgt für eine starke, akustisch wahrnehmbare Flatterwirkung. Die Massenträgheit der Magnete und die relativ hohe Frequenz des Polrades sorgen dafür, dass sich die Gegenpole im Laufe des Passierens ausreichend gegenüberstehen und abstoßen. Je nach Überlagerung der Gegenpolflächen wird der Magnet abgestoßen und fliegt mit einer schiefen Wurfbahn in den Auffangbehälter. Dabei bleibt das Flattern in der Flugphase erhalten. Das Eisen bildet durch die Mitnehmer des Förderbands eine eigene Fraktion.

Einige Magnete folgen dieser Theorie nicht. Sie sorgen für eine Verunreinigung der Eisenfraktion. Neben bereits erwähnten Ursachen tragen Polabstand und -prägung, die Frequenz, die Bandgeschwindigkeit, die Rotationsrichtung und eine verbleibende Wechselwirkung der Teile untereinander zu der Verunreinigung bei.

2.1. Potential der Eisen-Magnet-Trennung am Beispiel von Festplattenschrott

Das zuvor beschriebene Verfahren der Eisen-Magnet-Trennung ist bislang nur im Labormaßstab erprobt. Dabei wurden vor allem Magnete mit Kantenlängen > 20 mm unter standardisierten Bedingungen verwendet, um die Auswirkungen verschiedener Parameter auf die Sortierquote zu überprüfen. Eine noch nicht geklärte Frage ist daher die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf reale Stoffströme. Als Ausgangsmaterial für die durchzuführende Potentialanalyse standen zerkleinerte Festplatten, die mit dem Zerkleinerungsaggregats VAZ 800 des Herstellers Vecoplan behandelt wurden, zur Verfügung. Ziel des im Folgenden beschriebenen Versuches war es, die Übertragbarkeit der Laborergebnisse auf einen praxisrelevanten Stoffstrom nachzuweisen und aus den vorliegenden Ergebnissen eine Sortierquote zu bestimmen.

Die Praxisrelevanz des zur Verfügung stehenden Stoffstromes ist durch die Zertifizierung des Zerkleinerungsaggregates zur Datenvernichtung nach DIN 66399 gegeben. Diese Norm fordert eine definierte, mechanische Behandlung der Festplatten, welche den Verbund der Festplattenkomponenten aufhebt. Das zur Verfügung stehende Ausgangsmaterial hatte ein Gewicht von 7 kg und ist in Bild 2 dargestellt.



Bild 2:

Mischmaterial als Ausgangsprodukt des Festplattenzerkleinerer VAZ 800

Auf Grund der mengenmäßigen Begrenzung des Versuchsmaterials bedurfte es einer sorgfältigen Versuchsplanung und eines Probenahmekonzepts (Bild 3). Zunächst wurde eine Fe/Magnet-Fraktion aus dem Mischmaterial (Bild 2) mittels eines Überbandmagneten gebildet. Da die Magnete in geringen Korngrößen vorlagen, wurden die Parameter der Erwärmungsstufe auf Grund von Erfahrungswerten auf die Sortierung

von kleinen Magneten eingestellt. Für die Erwärmungsstufen waren dies 140 °C und 170 °C sowie 20 °C als Referenzgröße. Die Drehzahlen des Wirbelstromabscheiders wurden mit 2.000 U/min und mit 2.500 U/min festgelegt. Die Fe/Magnet-Fraktion wurde in sechs gleichgroße Portionen aufgeteilt, die infolge der Behandlungen in den Erwärmungsstufen und der unterschiedlichen Drehzahlen der Wirbelstromabscheider entsprechende Wertepaare von Prozessparametern aufwiesen.

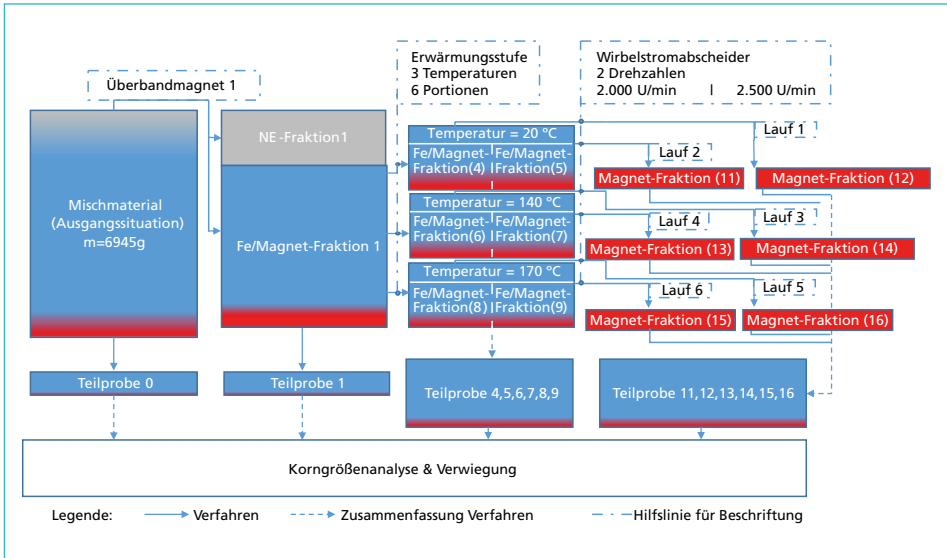


Bild 3: Versuchsanplanung und Probenahmekonzept

Das entwickelte Probenahmekonzept sah die Entnahme einer Teilprobe in Anlehnung an LAGA PN98 vor. Sie erfolgte vor und nach jedem Prozessschritt, um die Auswirkungen sichtbar zu machen. Die Teilproben wurden zunächst nach Korngrößen aufgeschlüsselt, verwogen und dokumentiert. Bild 4 zeigt die aufgeschlüsselte Teilprobe 13. Neben den Dauermagneten, die größtenteils in der 0 bis 1 mm Fraktion vorzufinden sind, finden sich in der Teilprobe auch Nickel, Kupfer und Aluminium wieder, welche visuell identifiziert wurden.

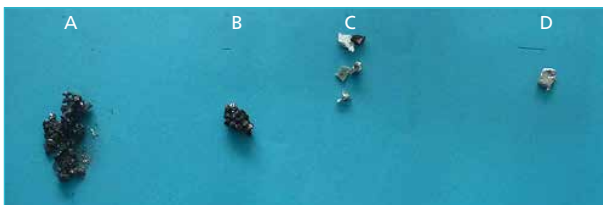


Bild 4:

Aufgeschlüsselte Teilprobe 13 – aussortierte Magnet-Fraktion

| Fraktion | Einheit | A | B | C | D |
|-----------|---------|-------|------|------|-------|
| Korngröße | mm | 0-1 | 1-5 | 5-10 | 10-20 |
| Masse | g | 10,92 | 5,99 | 1,92 | 0,96 |

Nach der Auswertung der Teilproben konnten die gewonnenen Magnete (nach Wirbelstromabscheider) auf den Gehalt der Magnete in der Fe/Magnet-Fraktion bezogen werden. Diese Bezugsgröße wurde gewählt, da die Auswirkung des Überbandmagneten auf die Sortierquote nicht primärer Teil der Fragestellung war.

2.2. Ergebnis des Sortierversuchs

Der NE-Anteil inklusive Verlusten aus Fe- und Magnet-Fraktion beträgt 28 Ma-%. Die vorliegende Fe/Magnet-Fraktion hat einen Magnetanteil von 20 Ma-%. Die Korngrößenverteilung der Fe/Magnet-Fraktion ist am Beispiel der Teilprobe 1 in Bild 5 dargestellt. Die Verhältnisse der aussortierten Magnetfraktionen nach dem Wirbelstromabscheider bezogen auf den Magnetgehalt nach dem Überbandmagnet sind ebenfalls in Bild 5 dargestellt. Insgesamt wurden Sortierquoten zwischen 8 und 41,5 Ma-% erreicht. Innerhalb der Korngrößenverteilungen schwanken die Sortierquoten stark.

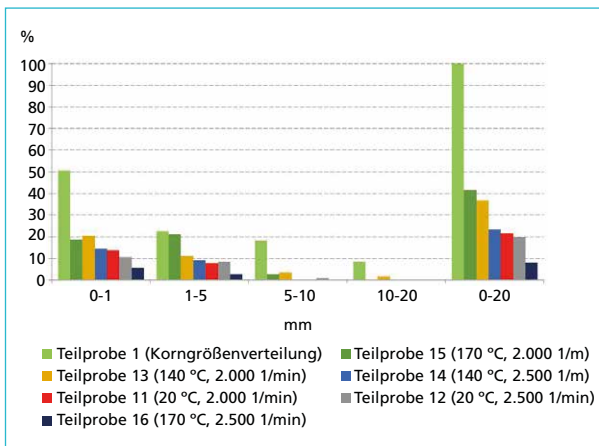


Bild 5:

Verhältnis der aussortierten Magnetfraktionen nach dem Wirbelstromabscheider bezogen auf den Magnetgehalt nach dem Überbandmagnet; dargestellt in Korngrößenbereichen (links) und dargestellt für die Gesamtfraktion (rechts)

Um den Zusammenhang zwischen den Anlagenparametern und den Sortierquoten darzustellen, sind in Bild 6 die Sortierquoten für die Korngrößen 0-1 mm, 1-5 mm und die Gesamtfraktion nach Parameterpaaren angeordnet.

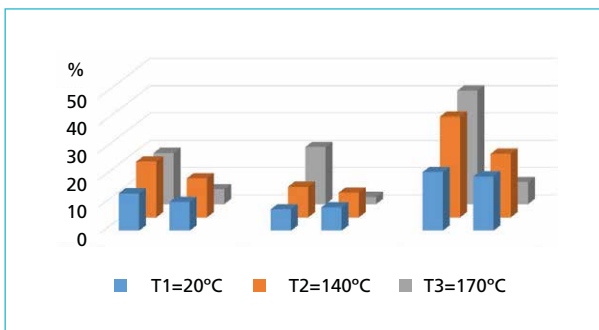


Bild 6:

Sortierquoten für unterschiedliche Korngrößen in Abhängigkeit der Temperaturen und Drehzahlen

In Bild 6 wird deutlich, dass eine zunehmende Drehzahl nur geringe Auswirkungen auf die Sortierquote hat. Mit zunehmender Temperatur, kann jedoch eine deutlich bessere Sortierquote erreicht werden. Eine Ausnahme bildet die Erhöhung der Temperatur in der 0-1 mm Fraktion von 140 auf 170 °C bei 2.000 U/min. In allen Fraktionen ist die Sortierquote bei der Erhöhung der Temperatur von 140 auf 170 °C bei 2.500 U/min deutlich eingebrochen [3].

2.3. Diskussion der erreichten Sortierquote

Die Erkenntnisse der Eisen-Magnet-Trennung aus Stoffströmen zerkleinerten Festplattenschrottes zeigen ein zu erwartendes Potential der Eisen-Magnet-Trennung von etwa 41,5 Ma-% der enthaltenden Magnete. Außerdem ist die größere Auswirkung der Temperatur im Vergleich zur Drehzahl in kleinen Korngrößenklassen erkennbar.

Da in Festplatten hauptsächlich NdFeB-Magnete verbaut werden ist eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Magnetwerkstoffe zu prüfen. Es wurde bereits untersucht ob dieses Verfahren erweitert werden kann, um damit auch die erforderliche Magnetklassifizierung durchzuführen.

3. Klassifizieren von Dauermagneten

Im Folgenden ist die Frage zu untersuchen, ob sich das bisher beschriebene Verfahren der Eisen-Magnet-Trennung auch zur Klassifikation von Dauermagneten verwenden lässt.

Die in IEC 60404-8-1:2015 festgelegten Ansprüche an die Zusammensetzungen und Eigenschaften von Dauermagnetmaterialien spiegeln sich in Form von materialspezifischen Entmagnetisierungskurven wider. Entmagnetisierungskurven sind Kurvenbündel (Bild 7) von Hysteresekurven (oberes Bündel) und Polarisationskurven (unteres Bündel) in Abhängigkeit der eingestellten Temperaturen. Das Bild 7 zeigt diese Eigenschaften für einen temperaturstabilen Seltenen-Erden-Magnet aus einer Samarium-Kobalt-Legierung $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, dessen Längen/Durchmesser Verhältnis (L/D) Rückschlüsse auf die Steigung der Arbeitsgraden zulassen. Die Arbeitsgrade eines Dauermagneten ist eine Ursprungsgrade, deren Steigung durch das L/D-Verhältnis, also durch die geometrischen Eigenschaften des Dauermagneten geprägt ist. Der Schnittpunkt der Arbeitsgraden mit der Hystereseschleife bildet den Arbeitspunkt des Magneten. Das Material, die Volumenverhältnisse und die Magnetisierungsrichtung sind die festzulegenden Kriterien bei der Konstruktion von Dauermagneten.

Durch eine mögliche Verschiebung des Arbeitspunktes durch Erwärmung kann immer dann von reversiblen Magnetfeldschwächungen ausgegangen werden, wenn die Entmagnetisierungskurve an der Schnittstelle mit dem Arbeitspunkt einen durchgängig linearen Verlauf aufweist. Verschiebt sich die Krümmung der Hysteresekurve vom linken Bereich des Arbeitspunktes in den rechts davon gelegenen Teil, dann ist von einer irreversiblen Schwächung des Magnetfeldes auszugehen.

Es stellt sich die Frage, ob materialspezifische Entmagnetisierungsvorgänge als Trennfaktoren für das weitere Auftrennen von Dauermagnetgemischen unter anschließender Anwendung des Eisen-Magnet-Trennverfahrens in Betracht gezogen werden können.

Wenn dem so wäre, könnte ein Ablauf entwickelt werden, bei dem ein Magnetgemisch auf Grund seiner nicht erfolgten Entmagnetisierung am Eisen haften bleibt und somit von einem anderen Magnetgemisch, das entmagnetisiert wurde, getrennt werden kann. Alternativ könnte geprüft werden, ob sehr stark bis komplett entmagnetisierte Magnete, die sich dann wie Eisen verhalten, von einer Gruppe schwach entmagnetisierter Magnete, die ausgeworfen werden sollen, trennen lassen.

Die Abstände der Krümmungen der Hysteresekurven verschiedener Dauermagnetmaterialien sind besonders groß für kleine L/D-Verhältnisse, also flache, großflächige Magnete. Das Bild 7 zeigt für einen $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ -Dauermagneten, dass in dem blauen Bereich von ausreichenden Abständen zwischen den Entmagnetisierungskurven ausgegangen werden kann. (Bereich I, blau). Im braunen Bereich II liegen die Entmagnetisierungskurven bereits zu dicht aneinander [6].

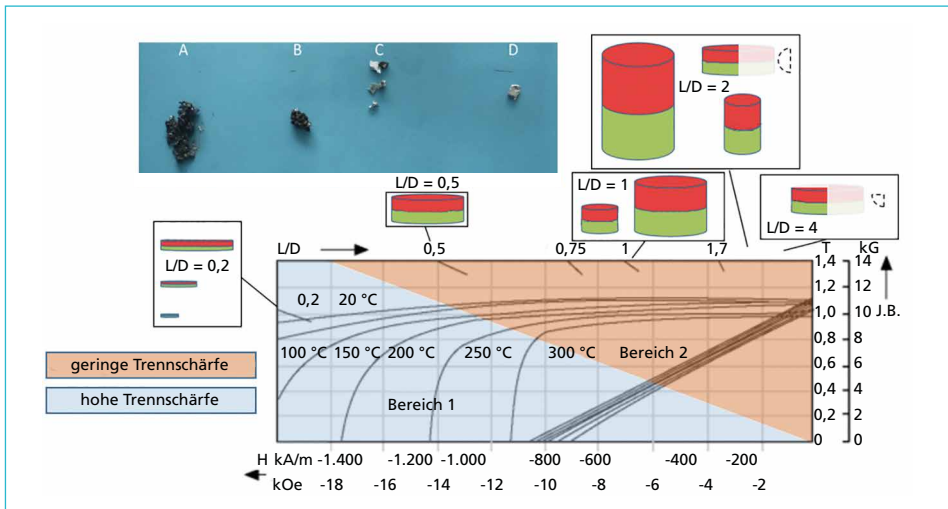


Bild 7: Entmagnetisierungskurven eines $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ -Dauermagneten (Hysteresekurvenbündel oben und Polarisationskurvenbündel unten); Andeutung der Lage der Arbeitsgraden verschiedener, zylindrischer Dauermagnete bei gleicher Polarisationsrichtung (rot, grün-Übergang); Bereiche der Klassifizierbarkeit: Bereich I (blau), Bereich II (braun)

Quelle: IBS MAGNET: Dauermagnete aus Samarium-Cobalt : $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ (190/159) Va-comax 225 HR *. URL <https://www.ibsmagnet.de/products/dauermagnete/deltamagnet.php>, 2017, abgerufen am 29.09.2015

Ein Vergleich der in Bild 7 eingezeichneten Beispielmagnete mit den vorhandenen Magneten der geschredderten Festplatten (vgl. Bild 5) zeigt, dass nicht davon auszugehen ist, in praxisrelevanten Stoffströmen unterschiedlich zusammengesetzte Magnete zu finden, die sich mit dem Verfahren der Eisen-Magnet-Trennung sicher trennen lassen [3].

4. Zusammenfassung und Fazit

Dauermagnete werden anwendungsbezogen in komplexen Herstellungsverfahren mit einem hohen Maß an Optimierungsbestreben gefertigt, wobei die aktuellen Ansätze des Recyclings diesem Bestreben allerdings nicht genügen. Die automatisierte, mechanische Aufkonzentration von hochreinen Seltenen-Erden-Magneten und Seltenen-Erden-Magnetgemischen bietet sich vor allem in den Bereichen einer starken Verdünnung an. Die Rückgewinnung aus Festplatten, Altfahrzeugen, Elektroschrott und Mischungen einzelner Gruppen von Selten-Erden-Magneten ist möglich. Inwiefern Magnetgemische klassifiziert werden können ist abhängig von den vorliegenden Geometrien der Magnete. Nach der Aufkonzentration vorliegende Seltenen-Erden-Magnetgemische oder Seltenen-Erden-Magnete können zurzeit nur in die Primärproduktion zurückgeführt werden.

Die Eisen-Magnet-Trennung ist ein Verfahren, das automatisiert Magnetgemische aufkonzentrieren kann. An geschredderten Festplatten wurden im Mittel bis zu 42 Ma-% der enthaltenen Dauermagnete aussortiert. Im Bereich der 1-5 mm Fraktion konnten sogar 92 Ma-% der enthaltenen Dauermagnete aufkonzentriert werden. Das Aufkonzentrieren von Dauermagneten ist damit bis hin zu nahezu staubförmigen Magneten möglich.

Die Klassifizierung von Dauermagneten aus Magnetgemischen ist stoffspezifisch zu betrachten. Das Zerkleinern der Magnete spricht theoretisch eher für eine Verschlechterung der Rahmenbedingungen bei der Klassifizierung der Magnete mit einem Wirbelstromabscheider. Sollte eine Magnet-Magnetgemisch-Trennung darstellbar sein, ermöglicht sie die Rückführung von klassifizierten Dauermagneten in darauf abgestimmte Recyclingverfahren.

Die großvolumige Rückgewinnung von Dauermagneten, z.B. aus Windkraftanlagen kann als Treiber für den Aufbau eines Altmagnetemarktes am ehesten dienen. Einhergehend können im nächsten Schritt aus reich an Seltenen Erden und geschredderten Stoffströmen wie Festplattenschrott, Altfahrzeugen und Elektroschrott Magnete vor allem aus der staubförmigen Fe-Fraktion aufkonzentriert und dem dann benutzten Recyclingsystemen zugeführt werden. Ein nicht überwundenes Problem ist der Umgang mit kunststoffgebundenen Magneten.

5. Literatur

- [1] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Seltene Erden, Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe. Hannover: 2014
- [2] Friedrichs, P.; Meyer, F. M.: REE Database Management System, Evaluation of REE Deposits and Occurrences. In: Blanpain, B.; Kitamura, S.-Y.; Schoenung, J.M.: Journal of Sustainable Metallurgy. Berlin: Springer-Verlag, 2017, S.13–31
- [3] Rump, T.: Beitrag zur Entwicklung des Recyclings von Magnetwerkstoffen mit Legierungsanteilen aus Elementen der Lanthanoidengruppe mittels Sortier- und Aufbereitungsverfahren in der Prozessvorbereitung, Dissertation, Universität Duisburg-Essen, 2018

- [4] Schubert, H.: Handbuch der Mechanischen Verfahrenstechnik. Weinheim: Wiley-VCH, 2003
- [5] Schüler-Zhou, Y.: Chinas Rohstoffpolitik für Seltene Erden. In: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: *Commodity TopNews* 57. Hannover, 2018
- [6] Spiecker, T.: Klassifizieren gebrauchter Dauermagnete – Rückschlüsse auf die Sortierquote durch Übertragung der Berechnung magnetischer Kreise von permanenterregten Synchronmaschinen. In: Graduierteninstitut NRW: *Wissenschaftlicher Diskurs: Ressourcen – Wissen: Hebung ungenutzter Potentiale*. Bochum, 2017
- [7] Spiecker, T.: Wirtschaftliche und energetische Optimierung der Rückgewinnung von Hochleistungsmagneten durch theoretische Verhaltensuntersuchungen im elektromagnetischen Wechselfeld. Gelsenkirchen: Westfälische Hochschule Gelsenkirchen, Bocholt, Recklinghausen, Zentrum für Recyclingtechnik, Masterarbeit, 2014

Ansprechpartner



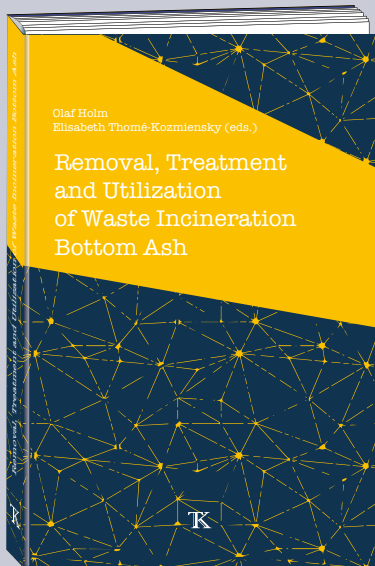
Thomas Rump

Westfälische Hochschule
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Neidenburger Straße 43
45897 Gelsenkirchen, Deutschland
+49 209-9596-0
thomas.rump@w-hs.de

Weitere beteiligte Institutionen

Universität Duisburg-Essen,
Institut für Technologien der Metalle

Removal, Treatment and Utilisation of Waste Incineration Bottom Ash



ENGLISH

Hardcover: etwa 144 Seiten,
mit farbigen Abbildungen,
Autorenverzeichnis
inkl. Kontaktdaten

Erscheinungsjahr: 2018

Preis: **75,00 EUR**

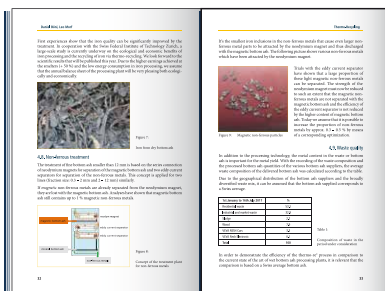
ISBN: 978-3-944310-44-2

Herausgeber: Olaf Holm und Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Das Buch Removal, Treatment und Utilisation of Waste Incineration Bottom Ash beinhaltet grundlegende Informationen zur Aufbereitung und Verwertung von Aschen aus der Müllverbrennung und stellt verschiedene Aufbereitungsmöglichkeiten vor, die weit über den Stand der Technik hinaus gehen.

Themenschwerpunkte sind die:

- trockene Aufbereitung trocken ausgetragener Aschen,
- trockene Aufbereitung nass ausgetragener Aschen (u.a. mit anschließender Wäsche der Restmineralik) und
- nasse (und umgehende) Aufbereitung nass ausgetragener Aschen, jeweils unter den Aspekten der Metallrückgewinnung und der Verwertung der Restmineralik.



Bestellen Sie direkt beim TK Verlag oder unter www.vivis.de

TK Verlag GmbH

Dorfstraße 51
D-16816 Nietwerder-Neuruppin
Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10
E-Mail: order@vivis.de

vivis

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Stephanie Thiel • Olaf Holm • Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Daniel Goldmann • Bernd Friedrich (Hrsg.):
Recycling und Rohstoffe – Band 12

ISBN 978-3-944310-46-6 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Dr.-Ing. Olaf Holm
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2019

Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Dr.-Ing. Olaf Holm,
Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.

Erfassung und Layout: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Claudia Naumann-Deppe,
Janin Burbott-Seidel, Ginette Teske, Sarah Pietsch, Roland Richter,
Cordula Müller, Gabi Spiegel

Druck: Beltz Grafische Betriebe GmbH, Bad Langensalza

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.