



Leitprojekt Kritikalität Seltener Erden | Interner Newsletter

MAI 2015



Liebe Projektpartner,

in dieser Ausgabe des Newsletters weichen wir vom bekannten Format ab. Statt eines wissenschaftlichen Highlights und eines Porträts präsentieren wir die Höhepunkte der bisherigen Arbeit – als Zwischenbilanz und Ansporn für die kommenden Jahre. Diese Gelegenheit möchte ich auch nutzen, allen Projektpartnern herzlich für das bisherige Engagement und die gute Zusammenarbeit zu danken.

Übrigens hat Oliver Gutfleisch einen Tag nach unserer letzten Projektleitungsratssitzung die Bedeutung Seltener Erden in seinem Vortrag »Magnetic Materials for Green Technologies« bei der Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft in Berlin vorgestellt, wofür ich ihm auch an dieser Stelle danken möchte.

Ich freue mich, möglichst viele von Ihnen beim Industrieworkshop vom 19.-20. Mai am Fraunhofer IFAM in Bremen zu sehen. Mit acht externen Vortragenden und zwölf Fraunhofer-Referenten erwartet uns ein spannendes Programm. Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre,



Ralf B. Wehrspohn

Wichtige Beiträge zur signifikanten Reduzierung des SE-Bedarfs

Dank der guten Zusammenarbeit der beteiligten Institute entwickeln sich fast alle Teilprojekte im Leitprojekt Kritikalität Seltener Erden nach anderthalb Jahren wie prognostiziert. Zeit für eine Zwischenbilanz.

TP1 Materialsubstitution

Die Suche nach neuen, seltenerdfreien Magnetphasen steht im Mittelpunkt der Arbeit im Teilprojekt 1. Dazu wurden am IWM intrinsische Materialeigenschaften von binären, ternären und quaternären intermetallischen Phasen aus Übergangsmetallen, schweren Elementen und Additiven berechnet. Als Startpunkte dienten die folgenden Modellstrukturen: ThCu_5Sn , Fe_{16}N_2 , CaMg_2Ni_9 , $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}\text{X}_3$, $\text{ThFe}_{11}\text{C}_2$, NaZn_{13} , BaAl_9Fe_2 und Zr_4Al_3 . Mittels eines Hochdurchsatz-Computerskripts wurden die Kenngrößen für tausende Verbindungen, bei denen einzelne Elemente dieser Modellstrukturen substituiert wurden, automatisiert berechnet. Aus der Vielzahl der berechneten Phasen wurden vier Kandidaten als besonders vielversprechend hinsichtlich ihrer intrinsischen Materialeigenschaften gefiltert. Diese Vorschläge aus



Das am IWM mit der Fa. 3D-Micromac AG entwickelte micro-PPREP-Tool wird im Projekt eingesetzt. [Quelle: Fraunhofer IWM]

dem theoretischen Screening wurden am IWKS bereits aufgegriffen und Experimente hinsichtlich der $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}\text{X}_3$ - und $\text{ThFe}_{11}\text{C}_2$ -Verbindungen durchgeführt mit dem Ziel der Synthese der theoretisch vorhergesagten Phasen. Die Ausgangsmaterialien (reines Hf, reines Fe und FeB) wurden in einem Lichtbogenofen, in dem durch Erzeugung eines Lichtbogens lokal Temperaturen bis 3500 °C möglich sind, aufgeschmolzen. Durch wassergekühlte Kupfertiegel werden hohe Abkühlgeschwindigkeiten erreicht, wodurch metastabile Phasen herstellbar sind. Diese ersten Versuche zeigten jedoch, dass der Lichtbogenofen nicht geeignet ist, eine $\text{Hf}_2\text{Fe}_{17}\text{B}_3$ -Phase herzustellen und stattdessen bevorzugt stabile Hf- und HfB-Phasen in einer Fe-Matrix gebildet werden. Die weitere Planung sieht vor, alternative Synthesemethoden anzuwenden.

TP2 Effizientere Prozesse

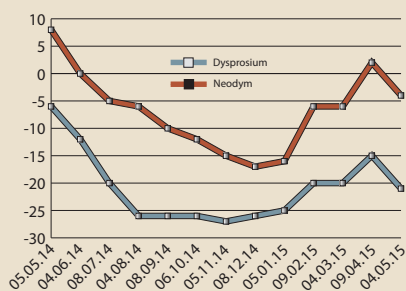
Im AP2 sollen Prozessketten der Net-Shape-Produktion identifiziert werden, die eine Herstellung von endabmessungsnahen Magneten ermöglichen, um den erheblichen Materialverlust bei der Fertigung von Hochleistungs-Permanentmagneten zu verringern. Um dieses Ziel zu erreichen, werden zwei technologische Routen der Net-Shape-Produktion verfolgt. Das sind einerseits am IFAM in Bremen der Metallpulverspritzguss (MIM) und andererseits am IWU in Dresden und Chemnitz (AP5) die 3D-Umformtechnik, die für die Herstellung von Hochleistungs-Magneten aufgebaut,

Weiter auf S. 2

Marktkonzentration in China schreitet voran

Mehr als 50 Prozent des Marktes für Seltene Erden in China hat in den vergangenen Jahren der illegale Handel eingenommen, schätzt der Verband der Chinesischen Seltenerd-Industrie. Um den Markt besser kontrollieren zu können, hat die chinesische Regierung im Januar 2014 beschlossen, alle Aktivitäten zum Abbau von Seltenen Erden bei sechs Unternehmen zu bündeln. Alle neuen Aktivitäten sollen bei diesen Konsortien angesiedelt sein und bereits bestehende nach und nach dort integriert werden. Zudem sollen die Provinzregierungen härtere Strafen gegen illegalen Handel verhängen. Wie »China Daily« berichtet, vereinen die sechs Unternehmen mittlerweile bereits mehr als 90 Prozent der offiziellen Produktion auf sich. Bis zum Ende des Jahres soll der Prozess der vollständigen Integration abgeschlossen sein. Die Produktionsmengen haben sich im Vergleich zum Vorjahr sowohl bei der Bergwerksförderung (11,94 Prozent) als auch bei Raffinade (10,61 Prozent) erhöht.

Preisentwicklung Dysprosium- und Neodymoxid

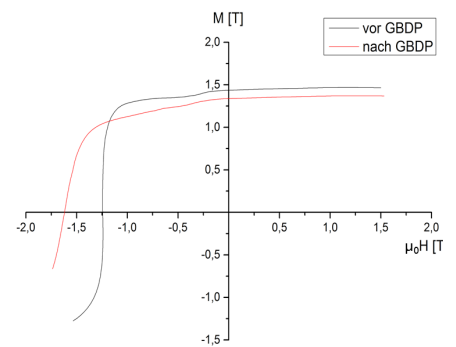


Ausgangspreis zum Projektstart LP-KSE:
 Neodymoxid (99%): 81 US\$/kg
 Dysprosiumoxid (99,5%): 592 US\$/kg

Quelle: www.metaerden.de

getestet und optimiert werden. Am IFAM erfolgte zunächst die magnetische Charakterisierung des Referenzmagneten aus Demonstrator I und die Charakterisierung des Ausgangspulvers für den Spritzguss. Es wurden isotrope und anisotrope Würfelproben hergestellt und dabei der Einfluss der Prozessschwankungen auf Abmessungen, Dichte und magnetische Kennwerte ermittelt. In Langzeitversuchen zur chemischen Stabilität des Magnetpulvers im polymeren Bindersystem ließ sich bisher kein negativer Einfluss auf die magnetischen Eigenschaften erkennen. Hiermit zeigte sich, dass die MIM-Fertigung prinzipiell geeignet ist, hochremanente anisotrope NdFeB-Magnete herzustellen. Für die Entwicklung einer Prozesskette zur Herstellung endformnaher Magnete für Demonstrator I mittels 3D-Umformtechnik wurden am IWU in Dresden und Chemnitz die Arbeiten zur Warmumformbarkeit an nanokristallinen, heißgepressten NdFeB-Materialien begonnen. Dabei lag das Hauptaugenmerk der experimentellen Stauchversuche auf der Beeinflussung der Mikrostruktur und der magnetischen Textur durch verschiedene Umformparameter (Variation von Umformtemperatur, Dehnrate und Umformgrad), die sich entscheidend auf die magnetischen Eigenschaften auswirken können. Es wurden, basierend auf einer numerischen Prozesssimulation der Stauchversuche, geeignete Parameter für den Prozess der Magnetfertigung ermittelt sowie das Werkzeugsystem und die Auslegung der Aktivteile (Werkstoffe, Temperierung) vorbereitet.

Im AP3 wird die gezielte Aufkonzentration von Dy an der Korngrenze von NdFeB-Partikeln angestrebt, um NdFeB-Magnete mit einer hohen Remanenz bei möglichst geringem Einsatz schwerer Seltener Erden (vor allem Dy) herzustellen. Am IWKS wurden Methoden zur Korngrenzdifffusion durch oberflächliche Beschichtung mit Dy-haltigen Verbindungen und gezielter Glühung erarbeitet. Durch Wärmebehandlung diffundiert die Seltene Erde dabei von der Oberfläche entlang der Korngrenzen ins Innere des Magneten. Die Verwendung niedrigschmelzender vorzugsweise binärer Legierungen in Verbindung mit kommerziellen Sintermagneten hat hier schon vielversprechende Ergebnisse geliefert. Eine industrielle Umsetzung ist bisher jedoch nur begrenzt möglich, da die Eindringtiefe der schweren Seltenen Erden bei der konventionellen Diffusionsbehandlung begrenzt ist. Am IFAM erfolgte die Entwicklung eines geeigneten Dy-haltigen Binders für den Einsatz im Metallpulver-Spritzguss. Dazu wurden die Spritzguss- und Sinterparameter von bisher verwendetem



Vergleich der Kennwerte zweier Magnete vor und nach dem Korngrenzdifffusionsprozesses. [Quelle: Fraunhofer IWKS]

Pulver übertragen und ein Anforderungskatalog für Dy-Verbindungen und Beschaffung formuliert. Als potenziell geeignete Dy-Verbindungen wurden Dy-Carbonat, Dy-Acetat, Dy-Acetat-Tetrahydrat und Dy-Acetylacetonat identifiziert. Die Versuche zu einer Anbindung über ein PE-Co-Polymer mit polaren Gruppen zeigten jedoch, dass die Extrusion nicht möglich ist, weil Co-Polymere sehr zäh sind. Alternativ wird nun das direkte Einmischen der Verbindungen in Binder untersucht. Das IWM war mit experimenteller Identifizierung und ergänzenden theoretischen ab-initio-Berechnungen zu NdFeB-Korn- und Phasengrenzen betraut. Am IWM-H waren die Arbeiten geprägt von Kompetenzausbau im Bereich der Mikrostrukturdiagnostik an Magnetmaterialien (Probenpräparation, REM- und TEM-Analyse) sowie der Mikrostrukturcharakterisierung und Bestimmung des Seltenerdgehalts des im Referenzmotor für den Demonstrator I eingesetzten Magnetmaterials. Es wurde an mehreren, IFAM-B gesinterten Spritzgussproben die Mikrostruktur sowie die Korn- und Sekundärphasenzusammensetzung vergleichend bewertet. Erste Versuche zur laserbasierten TEM-Präparation wurden durchgeführt.

Die Entwicklung einer optimierten Mikrostruktur zur Reduzierung des Dy-Gehalts in polykristallinen Nd-Fe-B Magneten wird in AP4 angestrebt. Am IWKS erfolgen die Herstellung geeigneter Magnetpulver mittels Rascherstarung. Dabei wird das Material zunächst aufgeschmolzen und anschließend durch eine Düse auf ein schnell rotierendes, wassergekühltes Kupferrad gespritzt, wodurch Flakes mit sehr feiner Mikrostruktur entstehen. Es wurden die Materialeigenschaften in Abhängigkeit von Umformgrad, Pressdauer und Pressgeschwindigkeit untersucht. Es zeigte sich, dass die Heiß-

Weiter auf S. 3

Impressum

Redaktion: Clemens Homann,
 clemens.homann@iwmh.fraunhofer.de
 Michael Kraft
 michael.kraft@iwmh.fraunhofer.de
 Grafik: Cornelia Dietze
 Fotos: Fraunhofer IWM, IFAM, IGB, ISC, IWKS
 ©Fraunhofer IWM, www.iwm.fraunhofer.de

Fraunhofer IWM Halle

Walter-Hülse-Straße 1 | 06120 Halle

DERA: Seltene Erden in der höchsten Risikogruppe

Seltene Erden gehören weiterhin zu den Rohstoffen mit den höchsten Versorgungsrisiken, zeigt die neue Rohstoffliste der Deutschen Rohstoffagentur (DERA). Hinsichtlich der Konzentration der Produktion werden sie in der höchsten Risikostufe 3 eingruppiert. 85 Prozent der Bergwerksförderung erfolge in China, für Raffinade liege der chinesische Anteil bei 95 Prozent. Den Spitzenplatz belegt China auch weiterhin als weltweit größter Nettoexporteur von Seltenerdmetallen, Scandium und Yttrium (55,7 Prozent), Cerverbindungen (52,7 Prozent) und anorganischen oder organischen Verbindungen der Seltenerdmetalle ohne Cerverbindungen (38,5 Prozent). Insgesamt identifiziert die Agentur für rund ein Drittel der knapp 300 untersuchten mineralischen Rohstoffe und Handelsprodukte erhöhte Preis- und Lieferrisiken. Die Angebotskonzentration auf den Weltrohstoffmärkten sei weiterhin sehr hoch. Die vollständige DERA-Rohstoffliste 2014 ist hier verfügbar:

Rohstoffeffizienz-Preis: Bewerbungsphase läuft

Noch bis 22. September sind Bewerbungen für den Deutschen Rohstoffeffizienz-Preis möglich. Prämiert werden vier mittelständische Unternehmen und eine Forschungseinrichtung, deren Ergebnisse nachhaltig den Rohstoff- und Materialeinsatz verringern, für neuartige Ansätze stehen sowie praxisnah und marktfähig sind. Ausgeschrieben wird der Preis vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Ausführliche Informationen sind verfügbar unter www.deutscher-rohstoffeffizienz-preis.de

Termine

19.-20. Mai 2015

Industrieworkshop des Leitprojekts Fraunhofer IFAM Bremen

10. Juni 2015

KSE-Lenkungskreissitzung als Frühstückstermin im Rahmen der Fraunhofer-Jahrestagung in Wiesbaden

23. September 2015

KSE-Projektlenkungsratsitzung Fraunhofer LBF Darmstadt

umformung bis zu hohen Umformgraden problemlos anwendbar ist und dass bei entsprechender Radgeschwindigkeit Korngrößen $< 1 \mu\text{m}$ erreicht werden. Aus dem gemahlene Pulver dieser rascherstarrten Flakes wurden am IFAM Dresden Sinterkörper mittels Spark-Plasma-Sintering (SPS) hergestellt. Es wurden Versuche zur Optimierung der Sinterparameter (Pressdruck, Heizrate, Sintertemperatur, Sinterzeit) durchgeführt. Bereits bei einer Haltezeit von 0 min wurde eine vollständige Verdichtung $> 99 \%$ der theor. Dichte erzielt (archimedische Dichtebestimmung) und es waren – im Gegensatz zum Sintern von Pulvern mit größerer Teilchengröße – keine Risse in den Proben erkennbar. Die gesinterten Proben wurden zur magnetischen Charakterisierung an IWU und IWKS weitergegeben. Die Ergebnisse dort zeigen, dass die Phase weitestgehend der NdFeB-(2-14-1)-Phase entspricht. Zudem wurde ein unbekannter Reflex beobachtet, Versuche zur Identifizierung laufen. Am IWM-H erfolgte derweil eine methodische Entwicklung experimenteller Hochdurchsatzverfahren für die Mikrostrukturcharakterisierung. Diese Verfahren nutzen die Ultrakurzpulslaserablation für die Hochratenpräparation von Präparaten, die nach Ionenstrahlbehandlung für die Gefügecharakterisierung mit hohem Durchsatz geeignet sind. Dazu wurde gemeinsam mit der Fa. 3D-Micromac AG das microPREP Tool entwickelt, welches die gegen magnetische Felder unempfindliche Lasertechnologie einsetzt und besonders für Gradientenmaterialien durch Parallelisierung für deutliche Zeitvorteile sorgt.

TP3 Optimierte Auslegung

Als Referenzmotor für Demonstrator I wurde ein Motor (600 W) für elektrohydraulische Ölpumpen aus dem Getriebe DQ400 gewählt. Einer der Motoren wurde am IFAM auseinandergelöst und vermessen. Mithilfe der gemessenen Daten ist ein entsprechendes FEM-Simulationsmodell parametrisiert aufgebaut worden, das eine gute Übereinstimmung mit den realen Messdaten zeigt. Kennlinien zu Verlusten, Drehzahl-Drehmoment-Verhalten, Wirkungsgrad etc. sind erstellt worden. Parallel dazu wurden am IWU einzelne Magnete aus dem Demonstrator-I-Motor entfernt und Messungen zu magnetischen Eigenschaften in Abhängigkeit von der Temperatur durchgeführt. Ein alternatives Design für die Magnetgeometrie des Motors wurde entwickelt, das ein höheres Drehmoment ermöglicht, allerdings derzeit teurer in der Herstellung ist. AP6 verfolgt den Ansatz, durch Management des Lastverhaltens und



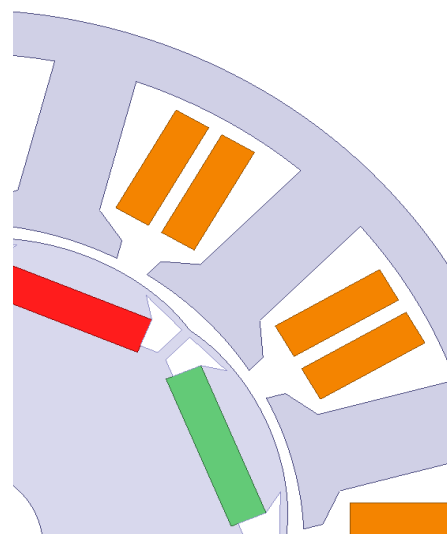
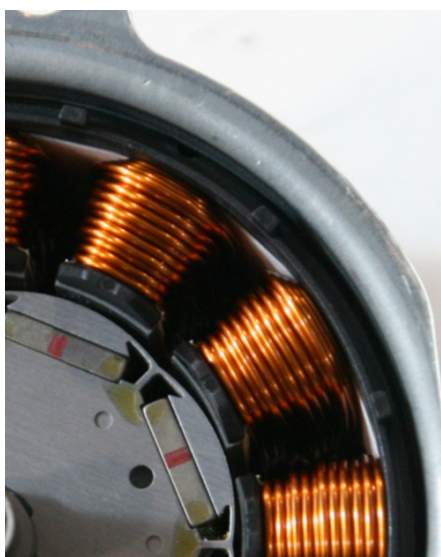
Der Rascherstarrungsprozess lässt Flakes mit sehr feiner Mikrostruktur entstehen. Dabei wird das Material eingeschmolzen und anschließend durch eine Düse auf ein schnell rotierendes, wassergekühltes Kupferrot gespritzt. [Quelle: Fraunhofer IWU]

Senkung der Motortemperaturen die benötigte Menge an Dy reduzieren. Als Basis des Demonstrators II ist dabei der elektrische Traktionsantrieb HEM 80 der Volkswagen AG geplant, der allerdings zunächst überhaupt nicht und bisher nicht in ausreichender Stückzahl zur Verfügung stand, sodass zunächst ein E-Traktionszyklus als Lastprogramm-Standard für die Laborerprobung von E-Traktionsantrieben entwickelt wurde. Dabei wurde auf einer 76,5 km langen Strecke eine typische Nutzung von Elektrostraßenfahrzeugen in Metropolregionen und Ballungsräumen mit Innerorts- und Außerortsverkehren sowie einem Anteil Bundesautobahn abgebildet und Fahrbetriebsmessungen mit einem messtechnisch ausgerüsteten Elektrostraßenfahrzeug »Smart ED« (electric drive) durchgeführt. Mit diesen Arbeiten wurde die Basis für ein repräsentatives Lastprofil elektrischer Traktionsantriebe entwickelt, das die spätere Charakterisierung des Demonstrators II unter nutzungstypischen Lasten erlaubt. Für eine gezielte Wiederverwendung der Hochleistungsmagnete nach »end-of-life-vehicle« wurden erste Konzepte entwickelt. Voraussetzung hierfür sind flexible Multifunktionswerkzeuge für Handling und Demontage bzw. für Robotikanwendungen geeignete Docking- und Wechselsysteme. Spezielle Herausforderungen ergeben sich durch im Detail unterschiedliche Magnetkonfigurationen der PSM sowie stark unterschiedliche Erhaltungszustände der zu demontierenden Baugruppen und Komponenten, beispielsweise hinsichtlich Schraubenlösemomente oder Korrosionsgrad.

Weiter auf S. 4

TP4 Design for Recycling

AP7 hat zum Ziel, zum einen Sintermagnete aus gebrauchten Elektromotoren so zu recyceln, dass das rezyklierte Granulat der Primärproduktion zugeschlagen werden kann, ohne die Eigenschaften der Magnete zu beeinträchtigen. Dazu müssen Verunreinigungen entfernt und eventuell bereits begonnene Korrosion rückgängig gemacht werden. Als zweites Ziel wird geprüft, inwieweit das rezyklierte Magnetgranulat für die Herstellung kunststoffgebundener Magnete verwendet werden kann. Das dritte Ziel des AP7 ist es eine stoffliche Aufarbeitung, bei der aus rückgeführten Magneten das Granulat gelöst, anschließend aufkonzentriert und getrennt wird. Ein Schwerpunkt der bisherigen Arbeiten war die Herstellung von kunststoffgebundenen Magneten. Dazu wurden Versuche mit verschiedenen Kunststoffen (Polyethersulfon, Silikon, Polylactid), Kunststoffmassenanteilen, verschiedenen Verhältnissen Magnetpulver zu Kunststoff sowie mit unterschiedlichen Korngrößenfraktionen des Magnetpulvers durchgeführt, um die optimale Zusammensetzung für die polymergebundenen Magneten zu eruieren. Weiterer Schwerpunkt war die stoffliche Aufarbeitung rückgeführter Magnete u.a. durch biologisch-nasschemische Prozesse. Mittels Bio-Leaching wurden die gewünschten Elemente aus dem granulierten Material herausgelöst. Die dafür geeigneten Organismen wurden beschafft, auf ihre Resistenz und Aktivität auf den Ausgangsmaterialien überprüft und in Mischpopulationen angereichert. Es konnten Bakterienpezies wie *Acidithiobacillus ferrooxidans* ermittelt werden, die für einen Einsatz im Bioreaktor zur biotechnischen Gewinnung von Neodym infrage kommen. Die selektive Konzentrierung erfolgte durch einen Membranadsorber. Die Ergebnisse des Adsorptionstests mit Nd und Dy zeigen, dass ein Phosphonatgruppen-haltiger Membranadsorber Nd und Dy sehr gut adsorbiert, aber nahezu keine Selektivität des Materials bei der Adsorption zu erkennen ist. Schließlich sorgte die Free-Flow-Elektrophorese für die selektive Trennung des Resteisens von den Seltenen Erden. In einem zweistufigen Verfahren wurden dabei 80 Prozent des Dysprosiums und 90 Prozent des Neodyms in Fraktionen mit nur einem Metall wiedergefunden, der Prozess liefert also eine hohe Ausbeute und Reinheit. In den bisherigen Arbeiten von AP8 und AP9 wurden Verfahren zur Reinigung und Zerkleinerung von Altmagneten aus E-Motoren entwickelt sowie die Arbeiten zur Separation von Nd/



Originaler Demonstrator I Motor (links) und FEM-Simulationsmodell als Symmetrieeinheit (rechts). [Quelle: Fraunhofer IFEM]

Dy begonnen, ebenso wie Arbeiten zur Rückführung gemahlener Altmagnete in den Primärkreislauf. Die Entwicklung eines wirtschaftlichen Konzepts zum Recycling/ Re-Use war nicht möglich, weil der neue Demonstrator-Motor dafür nicht geeignet ist: Der Wert der darin enthaltenen SE ist gering, der Aufwand zur Demontage und Rückgewinnung ist sehr hoch. Stattdessen wurden Ideen entwickelt, wie Elektromotoren gestaltet sein sollten, damit sie sich besser zum Recycling eignen. Im AP10 soll der Export von Altfahrzeugen am Beispiel Südafrika näher beleuchtet werden, um Strategien für eine höhere Rückgewinnungsquote von Elektromotoren und Handlungsempfehlungen für OEM innerhalb und außerhalb der EU entwickeln zu können. Als hohe Hürde hat sich dabei die unzureichende Datenlage erwiesen. Von den 3,26 Millionen Autos, die in Deutschland jährlich stillgelegt werden, ist bei 1,47 Millionen der Verbleib unklar. Aufgrund dieser Datenlage ist keine eindeutige Strategie für OEM ableitbar. Denkbar sind vielmehr finanzielle Anreize für die Letzthalter, Altautos einem fachgerechten Recycling zuzuführen und so die Rückgewinnungsquote von SE und anderen Rohstoffen zu erhöhen.

TP5 Stoffströme/Märkte/Umwelt

Ziel des AP11 ist es, physische Stoffströme auf den Weltmärkten besser verstehen zu können. Dazu werden dynamische Modelle mit dem System-Dynamics-Ansatz erstellt, zunächst für Dysprosium, später für ein vorgesehene Substitut. Bereits abgeschlossen ist die Entwicklung eines Stoffstrommodells zur Erhöhung der Markttransparenz und zur eindeutigen Quantifizierung der Ver-

wendungsstrukturen von Dysprosium bzw. Dysprosium-haltigen NdFeB-Magneten auf globaler Ebene. Hierzu wurden zunächst die Minenaktivitäten aller Seltenen-Erd-Elemente analysiert und die Dysprosium-Anteile über einen Top-Down Ansatz abgeschätzt. Gleichzeitig wurden über einen Bottom-Up Ansatz die globale Produktion und die Verwendung von NdFeB Magneten erhoben, sowie die derzeit gängigen Dysprosium-Mengen in den verschiedenen Magnetspezifikationen zusammengestellt. Durch den Vergleich der Ergebnisse zeigte sich, dass die von westlichen geologischen Diensten angenommenen Mengen zur Dysprosium-Produktion höchst wahrscheinlich stark unterschätzt werden. Dies ist in erster Linie auf die Tatsache zurückzuführen, dass sowohl die Minenproduktion als auch die Herstellung und Verarbeitung der Permanentmagnete hauptsächlich in China stattfindet, wo wenig Markttransparenz besteht. Insbesondere in den an Schweren Seltenen Erden reichen Minen im Süden Chinas ist von einer erheblichen Förderung auszugehen, die von offizieller Seite nicht erfasst wird. Die Ergebnisse der globalen Modellierung haben diesbezüglich erheblich zu einem besseren Marktverständnis beitragen. Im nächsten Schritt wurde das globale Stoffstrommodell um ein separates deutsches Modell ergänzt, für das Firmendaten, Handelsdaten, Verkaufszahlen und Produktionsstatistiken analysiert wurden. Die Modelle ermöglichen eine Simulation der Verwendungsstrukturen von Dysprosium ab dem Jahr 2000 über die Gegenwart bis hin zu zukünftigen Szenarien. Dabei sind Schnittstellen eingebaut worden, die die Berücksichtigung der im Leitprojekt gesetzten Effizienzpotenziale ermöglichen.