



Y

Yttrium wurde erstmals aus dem Mineral Gadolinit (Bild) gewonnen. Es ist eines von 17 Metallen aus der Seltenerd-Gruppe.

An diesen Steinen hängt die **ZUKU**



FOTOS: NAME NACHNAME, NAME NACHNAME

NFT

Seltenerd-Metalle stecken in Supermagneten für Elektronik, Windkraft und E-Autos. China beherrscht den Weltmarkt – und zerstört beim Abbau die Umwelt. Wie entkommen wir der Abhängigkeit?

TEXT: CARSTEN JASNER

**Schmutziges Geschäft:
Arbeiter in einer Seltenerd-
Mine in Chinas Provinz
Jiangxi**

Diese Kraft polarisiert die Welt – und jetzt steht sie auf Oliver Gutfleischs Schreibtisch. Zehn gelochte Magnete, klein wie Hemdknöpfe, aufgespießt auf einen senkrechten Draht. Sie schweben übereinander, ihre Pole stoßen sich gegenseitig ab.

Gutfleisch presst sie ganz nach unten und lässt sie wieder los. Wie von einer Sprungfeder getrieben, hüpfen die Magnete gut einen halben Meter hoch. Der Professor für Funktionale Materialien an der Technischen Universität Darmstadt grinst. Er freut sich über seine Superknöpfe. Doch er sorgt sich auch: Ihre Kraft birgt eine dunkle Seite.

Gutfleischs Magnete bestehen aus einer Neodym-Eisen-Bor-Legierung. Neodym ist eine von 17 sogenannten Seltenen Erden. Die Elemente sind in Wahrheit Metalle und gar nicht selten – sie ruhen in der Erdkruste aller Kontinente. Doch nirgendwo werden sie so billig gefördert wie in China. Rund 95 Prozent der auf dem Markt erhältlichen Seltenerdmetalle stammen aus chinesischen Minen.

In fast jedem Hightech-Produkt werden sie verbaut: In Handys, Computerfestplatten, Flachbildschirmen, Leuchtstoffröhren. Seltenerdmetalle dienen zum Polieren von Glas ebenso wie als Kontrastmittel in der medizinischen Diagnostik. In »normalen« Magneten wirken sie wie eine Art Doping: Sie verdichten deren Leistung und schützen vor Entmagnetisierung durch Hitze, Erschütterung oder äußere Magnetfelder. Baut man solche Supermagnete in Elektromotoren und Generatoren ein, bringen sie den Stromfluss in benachbarten Spulen besonders gut in Schwung. Sie galten daher als Segen für Umwelttechnologien: Windkraft und Elektromobilität wurden mit der Kraft der seltenen Erden effizienter und wettbewerbsfähiger.

Bis die Krise begann.

Im Jahr 2011 beschloss die Regierung in Peking überraschend, den Export der Seltenen Erden künstlich zu drosseln. Über Nacht stiegen die Preise, teils um das Zehnfache. ganze Industriezweige, die auf die Metalle angewiesen waren, gerieten in Panik. Zugleich wuchs im Westen auch das öffentliche Interesse an der Herkunft der Wunderstoffe. In der Wüste Gobi entdeckten Reporter bald Umweltverschmutzung im katastrophalen Ausmaß.

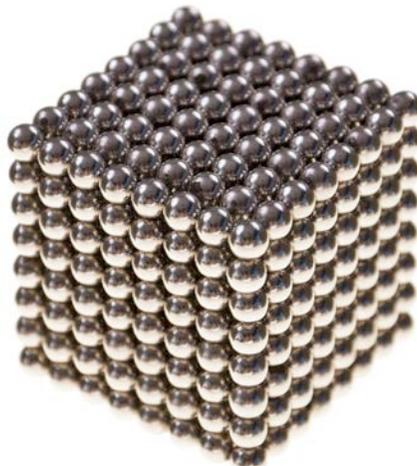
Mit giftigen Säuren werden dort die seltenerdhaltigen Erze aus dem Erdreich



Jenseits von China

Als die Preise stiegen, begannen Kalifornien und Australien mit dem Abbau seltener Erden. Die US-Mine ist inzwischen wieder pleite. In Australien hingegen wird gerade ein zweites Abbaugebiet erschlossen.

Auch dieser Spielzeugwürfel besteht aus supermagnetischen Kügelchen – sie enthalten das Seltenerd-Metall Neodym.



gepresst; Arbeiter ohne Schutzkleidung lösen danach an Säurebecken und an 1000 Grad heißen Schmelzöfen die begehrten Metalle aus. Die Abwässer, angereichert mit Schwermetallen und den radioaktiven Elementen Uran und Thorium, schwappen in einen künstlichen See. Über Quadratkilometer verseucht die Brühe Brunnen und Böden. Bauern verlieren ihre Lebensgrundlage, Familien erkranken, Krebsraten steigen.

Die »sauberen«, die »grünen« Umwelttechnologien, die auf seltene Erden setzten – sie erschienen plötzlich rabenschwarz. Obendrein waren die Metalle teurer geworden. Seither tüfteln Ingenieure und Forscher an Alternativen.

Und was sie ersinnen, lässt hoffen.

In Deutschland blieben die Windturbinenbauer vom Sturm der Entrüstung relativ unbehelligt: Die meisten Anlagen kommen bislang ohne Supermagnete aus. Als vorbildlich gilt etwa die Firma Enercon, die fast jede zweite Anlage hierzulande gebaut hat.

Das Unternehmen aus dem ostfriesischen Aurich setzt seit über 20 Jahren auf Synchrongeneratoren, die kein Getriebe brauchen. Das spart Gewicht, Platz und Wartungskosten. Gegenüber einem gewaltigen Ständer mit Kupferwicklungen kreist ein ebenso gewaltiger Rotor. Den könnte man mit Magneten bestücken, doch Enercon erzeugt das nötige Magnetfeld mit stromdurchflossenen Spulen. Das verbraucht zwar Energie, und die händische Fertigung der Bauteile kostet Zeit. Doch diesen Preis sind Unternehmen und Kunden bereit zu zahlen.

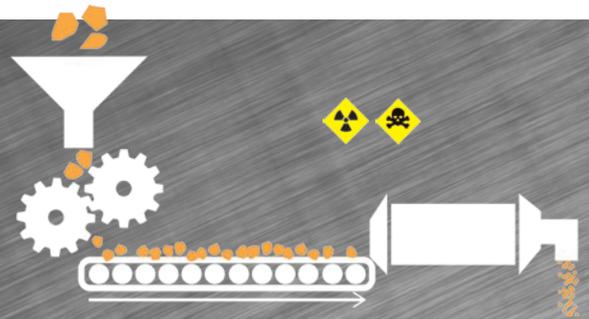
»Wir wollen nicht abhängig sein von einem künstlich verknappten Rohstoff, der unter extrem umweltschädlichen Bedin-

DIE GEWINNUNG SELTENER ERDEN



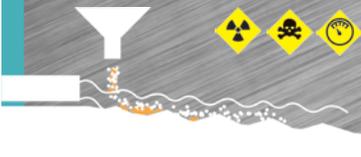
1 ABBAU AUS LAGERSTÄTTEN

Seltenerdhaltige Erze (links) und Sande (Mitte) werden in Minen, im Tagebau oder am Grund von Gewässern abgebaut. Stecken die Metalle in Tonschichten, können sie dort chemisch gelöst und an die Oberfläche gepumpt (rechts) werden; bei dieser Methode entfallen die Schritte 2 und 3.



2 ZERKLEINERUNG UND ZERMAHLUNG

Das abgebaute Erz – an erster Stelle Bastnäsit – wird erst in kleinere Brocken zerteilt und schließlich zu einem feinen Pulver gemahlen. Es enthält auch radioaktive Elemente wie Uran oder Thorium.



3 REINIGUNG

Das Pulver wird mit Wasser gewaschen (oben) und von Verunreinigungen getrennt, die im Gegensatz zum Erz nicht magnetisch sind (Mitte). Schließlich wird es mit einer Lösung versetzt, in der Erzpartikel an Schaumbläschen klebend nach oben steigen und abgeschöpft werden.



4 RÖSTUNG UND AUSWASCHUNG

Das Konzentrat wird zur weiteren Reinigung etwa mit Schwefelsäure versetzt und stark erhitzt. Salzsäure und weitere Chemikalien lösen die Seltenen Erden aus ihren Verbindungen mit anderen Stoffen heraus.



5 TRENNUNG DER ELEMENTE

Seltene Erden kommen gemeinsam vor und haben sehr ähnliche Eigenschaften; die einzelnen Elemente im letzten Schritt voneinander zu trennen, ist daher sehr aufwendig.



- Radioaktive Abfälle
- Toxische Abfälle
- Abgase
- Hoher Verbrauch von Wasser, Energie, Chemikalien



Kraftmeier

Neodym verleiht Magneten Superkräfte. 1925 wurde das Metall erstmals in reiner Form gewonnen. Heute werden Schätzungen zufolge jährlich rund 25 000 Tonnen produziert.

gungen gefördert wird«, sagt Firmensprecher Felix Rehwald. Andere Hersteller zeigen sich ebenfalls reserviert gegenüber Magneten mit Seltenerdmetallen. Bislang treiben diese hierzulande nur etwa jede zehnte Anlage an.

Autokonzerne hingegen pflegen eine Vorliebe für das Material. Jedes Auto ist vollgestopft mit Supermagneten. Auch in einem benzinbetriebenen Wagen arbeiten rund 100 Elektromotoren: für die automatische Einstellung der Sitze, der Seitenspiegel, der Scheinwerfer und des Lenkrads; für Schei-

benwischer, Antiblockiersystem und Servolenkung. Als die Preise für Seltene Erden explodierten, wechselten einige Hersteller vorübergehend zu Ferritmagneten aus Eisen, Nickel und Kobalt. Die sind günstiger, aber auch zehnmal schwächer.

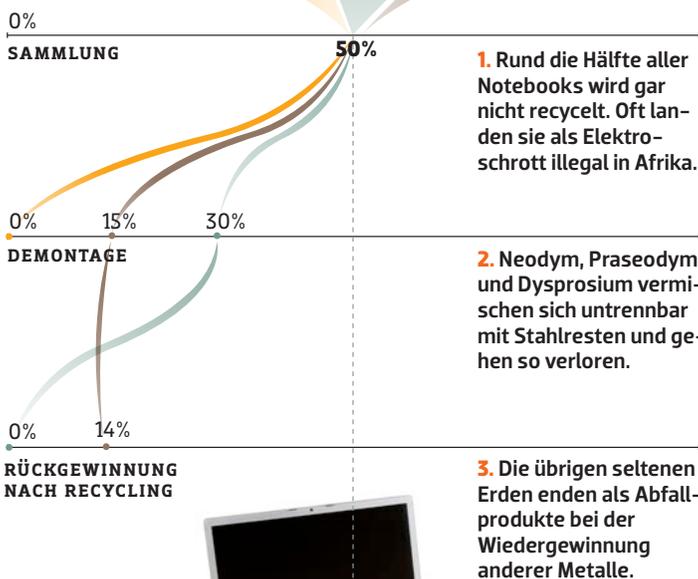
Bei E-Mobilen versuchen die Ingenieure auf zwei verschiedenen Wegen, die Abhängigkeit zu verringern. Volkswagen und die Zulieferer ZF und Continental testen Motoren, die durch stromerregte Kupferdrähte in Gang kommen, magnetfrei. Nachteil: Die Antriebe sind bis zu 30 Prozent größer und schwerer, die Drehzahlsteuerung ist aufwendiger und der Verschleiß höher.

Um einen zweiten Ansatz bemühen sich Daimler, Mitsubishi und der Coburger Zulieferer Brose: Sie verwenden zwar Supermagnete, versuchen aber, die Temperatur des Motors durch eine verbesserte Kühlung zu senken. Dadurch sparen sie einige Dutzend Gramm des teuren Seltenerdmetalls Dysprosium. Dieses Element schützt die Magneten bis zu einer Temperatur von 200 Grad. Gelingt es, die Motortemperatur auf 150 Grad zu drücken, braucht man entsprechend weniger Dysprosium.

Kein zweites Leben

RECYCLING Nur ein Prozent aller in Technik verbauten Seltenern Erden wird überhaupt wiedergewonnen. Unsere Grafik zeigt, welche Gesamtmenge allein die 2010 in Deutschland verkauften Notebooks enthielten, und was damit geschah.

Nd Neodym 15,2 t	Pr Praseodym 1,9 t	Dy Dysprosium 0,4 t	Yt Yttrium 12 kg	Gd Gadolinium 4,8 kg	Ce Cer 0,7 kg	Zum Vergleich:	
			Eu Europium 0,3 kg	La Lanthan 0,08 kg	Tb Terbium 0,03 kg	Au Gold 0,7 t	Ag Silber 3,1 t



Ließe sich der Anteil Seltener Erden in Magneten auch ohne Leistungseinbuße senken? Dieser Frage geht Oliver Gutfleisch an der TU Darmstadt nach. Der Materialforscher mit den hüpfenden Knöpfen auf dem Schreibtisch greift dazu tief in die Struktur der Magnete ein.

Im Lichtbogenofen schmelzen seine Mitarbeiter Neodym, Eisen und Bor, die Bestandteile des Supermagneten. Die entstehende Legierung zermahlen sie zu einem Pulver aus winzigen Elementarmagneten und pressen daraus einen Ziegel, den sie magnetisieren. Dabei richten sich die Pole aller Elementarmagnete in exakt dieselbe Richtung aus – der Supermagnet ist nun einsatzbereit.

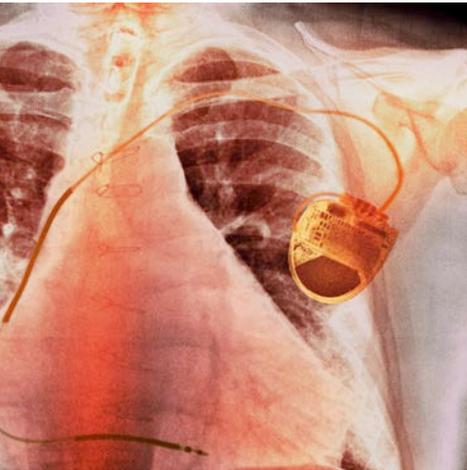
Die Seltenerdmetalle sollen dafür sorgen, seine Superkraft zu bewahren. Der Ziegel wird dazu mit einer Dysprosium-Paste bestrichen und erneut erhitzt. Dabei sickern Neodym und Dysprosium in die Fugen zwischen den Elementarmagneten und reichern sich dort an. Der Film isoliert die Elementarmagnete voneinander und umgibt sie mit einer starken Schutzschicht. So können Hitze oder ein äußeres Magnetfeld nur die äußerste Atomschicht schwächen, das Innere bleibt geschützt.

Die Forscher versuchen, das Neodym in diesem Prozess schrittweise durch andere Seltenerdmetalle wie Cer und Lanthan zu ersetzen. Sie kommen in der

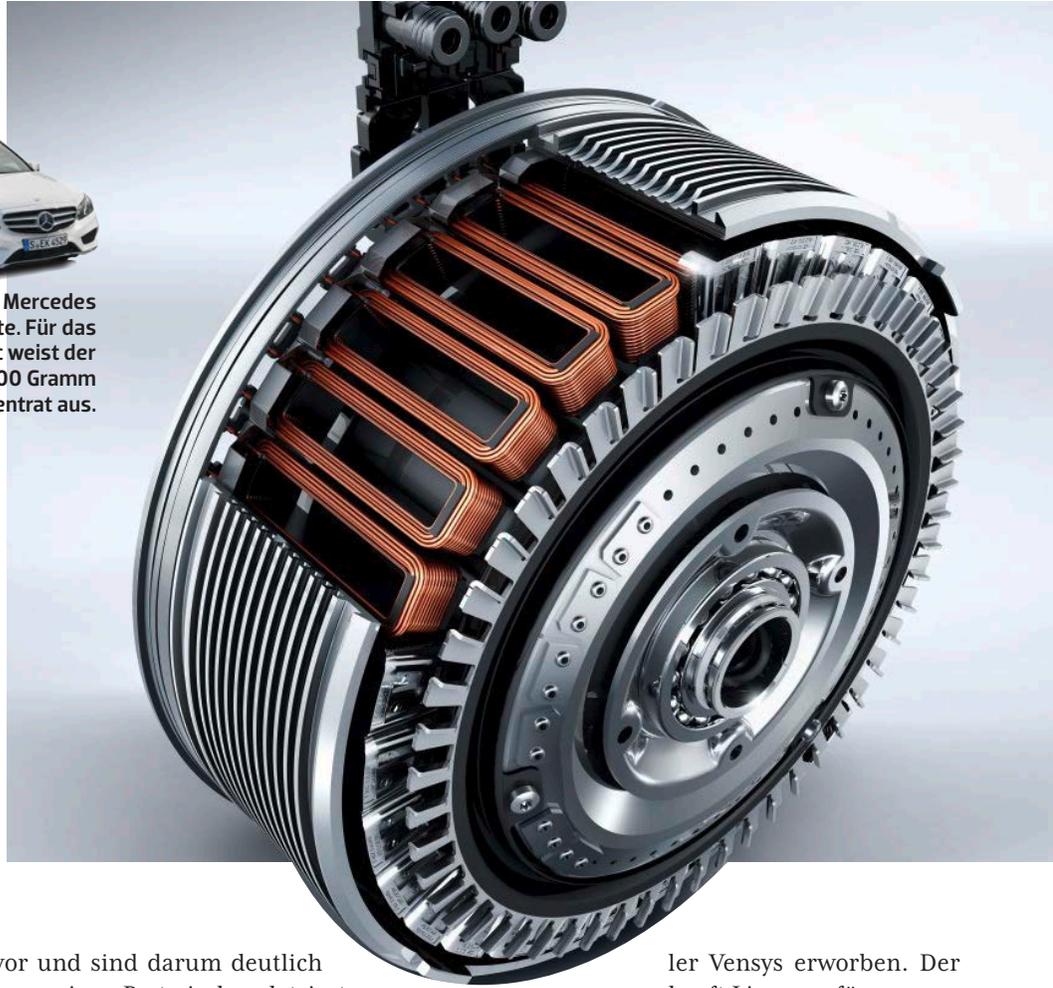




Elektromotoren wie dieser von Mercedes verwenden starke Seltenerd-Magnete. Für das Hybridauto E 300 Bluetec weist der Hersteller den Einsatz von 700 Gramm Erzkonzentrat aus.



Herzschrittmacher wurden in den 1970er Jahren teils von Batterien mit dem radioaktiven Seltenerd-Metall Promethium angetrieben.



Natur häufiger vor und sind darum deutlich günstiger. Die Dysprosium-Paste indes platziert das Team immer gezielter in immer kleineren Kleckschen auf dem Material. Dank solcher Experimente konnte der Dysprosium-Anteil in Automagneten bereits halbiert werden.

Den Anteil an seltenen Erden durch verbesserte Legierungen senken und Motoren effizienter kühlen – das ist der wohl zukunftssträchigste Weg. Denn so sehr jene Technologie-Hersteller Lob verdienen, die ganz auf seltene Erden verzichten: Der Bedarf an Supermagneten wird zunehmen.

Für die Autokonstrukteure bieten die Seltenen Erden eine unschlagbare Kombination: Sie sparen Volumen und Gewicht bei gleichzeitiger Leistungssteigerung. Der Absatz von batteriebetriebenen Zwei- und Vierrädern dürfte sich in kommenden Jahrzehnten vervielfachen. Der von Windturbinen ebenfalls. Und weil die Tendenz zu immer leistungsstärkeren Mühlen mit acht und mehr Megawatt geht, werden auch hier vermehrt Hochleistungsmagneten eingebaut.

Siemens, der Weltmarktführer für Offshore-Anlagen, errichtet vor Küsten inzwischen nur noch Türme mit magnetbestückten Synchrongeneratoren, um den Wind bestmöglich nutzen, die Investition schnellstmöglich zu amortisieren. Goldwind, Weltmarktführer für Anlagen im Binnenland, nutzt dieselbe Technologie. Das Know How dazu hat das chinesische Unternehmen vom deutschen Entwick-

ler Vensys erworben. Der verkauft Lizenzen für magnetisierte Generatoren auch nach Kanada, Brasilien, Ecuador, Ägypten, Indien, Australien.

Weltweit zieht es die Industrie also zu den Supermagneten – und damit in die Abhängigkeit von China. Zwar kann man die Stoffe fast überall im Boden finden, sogar in Nordsachsen. Doch sie abzubauen und aus dem Erz zu extrahieren, ist teuer und giftig. Und könnte in Europa nie zu konkurrenzfähigen Preisen geschehen – zumal China die Exportquoten inzwischen wieder aufgehoben hat und die Preise radikal gesunken sind.

Experten sehen die Lage mit Sorge. Gutfleisch fordert, außerhalb von China einen nachhaltigen Abbau zu rentablen Preisen zu entwickeln. »Würde die EU nur eine Milliarde Euro in eine europäische Mine investieren, wäre unsere Versorgung gesichert.« Eine Alternative zu den Seltenen Erden sieht er nicht: »Darauf bei der Entwicklung neuer Technologien zu verzichten, wäre fatal.« ■

P.M. KOMPAKT

- Metalle aus der Gruppe der **seltene Erden** stecken in vielen Hightech-Geräten, vor allem in **Supermagneten** für Elektromotoren und Windturbinen.
- **China** kontrolliert Abbau und Preise; außerdem ist die Gewinnung dort extrem umweltschädlich.
- Forscher arbeiten deshalb an Technologien, die den Einsatz der Metalle **verringern oder ganz vermeiden**.



Carsten Jasner war schon als Kind fasziniert von der magnetischen Kupplung seiner Lego-Lok. Umso mehr staunte er nun über die Kraft der Supermagnete.