

Rückgewinnung von Edel- und Sondermetallen: Potenziale, Maßnahmenoptionen und ihre Bewertung

Siegfried Kreibe, René Peche und Michael Krupp

1.	Verwertungsprozesse, Bündelungs- und Informationskonzepte.....	490
1.1.	Seltenerdmetallhaltige Magnetwerkstoffe.....	490
1.2.	Edelmetallhaltige Bauteile aus Altfahrzeugen.....	492
2.	Ökologisch optimaler Rückgewinnungsgrad von Edel- und Sondermetallen.....	493
2.1.	Abfallstrom NdFeB-Magnete.....	493
2.2.	Leiterplatten aus Altfahrzeugen.....	495
3.	Implementierung der Maßnahmen zur Stärkung des Recyclings von Edel- und Sondermetallen.....	496
3.1.	Seltenerdmetallhaltige Magnetwerkstoffe.....	496
3.2.	Edelmetallhaltige Leiterplatten und Lambdasonden aus Altfahrzeugen.....	498
3.3.	Übergeordnete Maßnahmen.....	499
4.	Angemessenheit von Maßnahmen.....	500
5.	Literatur.....	503

Ansätze zur Rückgewinnung von Sondermetallen wurden bereits in vielen Forschungsprojekten entwickelt. Der Umsetzung stehen vor allem wirtschaftliche Herausforderungen entgegen, insbesondere die derzeit noch geringen Mengen an verfügbaren Abfällen. Dies gilt auch für die Rückgewinnung von Edelmetallen aus bestimmten Abfällen. Auch technische und organisatorische Hürden sowie Informationsdefizite spielen eine Rolle. Erst wenn die Analyse über den technischen Kernprozess hinaus die gesamten Abläufe von der Erfassung über die Demontage und/oder Aufbereitung bis hin zur Rückgewinnung der Metalle oder anderer marktfähiger Produkte erfolgt, können Chancen und Herausforderungen realistisch eingeschätzt werden.

Im Projekt ILESA (*Edel- und sondermetallhaltige Abfallströme intelligent lenken: Bündelung, Zwischenlagerung, Rückgewinnungsgrad*) untersuchte das bifa-Umweltinstitut gemeinsam mit der Hochschule Augsburg und avocado Rechtsanwälte im Auftrag des Umweltbundesamtes zahlreiche edel- und sondermetallhaltige Abfallströme.

Ein zentrales Ziel war es, Maßnahmen zu identifizieren, mit denen die Rückgewinnung von Edel- und Sondermetallen aus den untersuchten Abfallströmen verbessert oder überhaupt erst ermöglicht werden kann. Dieser Beitrag zeigt an zwei konkreten Beispielen, welche Maßnahmen hierzu in Betracht kommen und was damit erreicht werden kann.

1. Verwertungsprozesse, Bündelungs- und Informationskonzepte

1.1. Seltenerdmetallhaltige Magnetwerkstoffe

Erschwert wird der Aufbau von Verwertungslösungen für Neodym-Eisen-Bor-Magnete (NdFeB-Magnete) aus Abfällen zunächst dadurch, dass in den Abfallströmen mit den größten Aufkommen (derzeit vor allem Festplatten) die Magnetmenge pro Einzelgerät sehr klein ist, während Abfallströme mit großen Einzelmengen (z.B. Windenergieanlagen) derzeit nur ein geringes Gesamtpotential aufweisen.

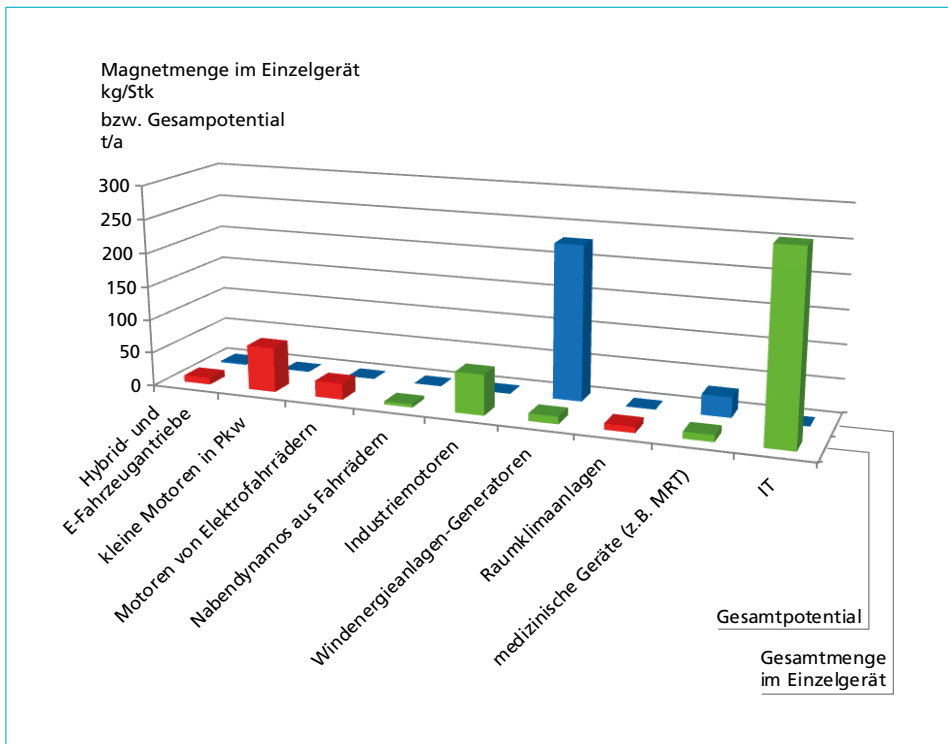


Bild 1: Massenanteil von NdFeB-Magnetwerkstoffen pro Einzelgerät und Anteil im Abfall in Deutschland im Jahr 2020 (rote Balken: künftig erhebliche Mengensteigerung zu erwarten). Quellen: Werte für Gesamtpotenzial beruhen auf Daten von [5, 6], ausgenommen PKW (Antrieb Hybrid- und Elektrofahrzeuge) [Annahme 4.000 Fahrzeuge mit etwa 2,4 kg Magnetmaterial pro Fahrzeug [8]] und PKW (kleine E-Motoren) [Annahme 134 g Magnetmaterial in Magneten pro Fahrzeug (Basis: [3]: etwa 30 bis 50 g Seltenerdmetalle je nicht aktuelles Fahrzeug) bei 500.000 Altfahrzeugen; hier nur erfasste Altfahrzeuge, Potenzial höher, aber nicht bekannt]

Bei Elektrofahrrädern, Pkw und Raumklimaanlagen wird allerdings mit einem starken Mengenwachstum gerechnet.

Insgesamt größter Kostenfaktor ist die Demontage der Magnete. Für vergleichsweise große Magnete erscheint eine wirtschaftliche Demontage insbesondere in größeren Betrieben langfristig nicht unrealistisch. Zur wirtschaftlichen Umsetzung der Gesamtprozesskette bis zur Gewinnung marktfähiger Materialfraktionen sind aber Durchsätze erforderlich, die nur mit wachsenden Abfallströmen und Mengenbündelung erreichbar sein dürften. Neben regulatorischen Maßnahmen können Handreichungen für Demontagebetriebe zur Übertragung von Lean-Management-Ansätzen auf die Zerlegeprozesse die Reduzierung des Demontageaufwandes unterstützen.

Die erforderliche Entmagnetisierung sollte bei einem zentralen Aufbereiter in großen und effizienten Durchlauföfen erfolgen.

Grundsätzlich sind zwei Arten der Bündelung zu unterscheiden: Bündelung in der Abholung und Bündelung in der Aufbereitung und Verarbeitung. Bei der Abholung senkt ein gemeinsamer Transport von (gekennzeichneten) Mengen aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen, aber einheitlichen Anfallstellen in der Regel die Transportkosten. An welchen Stellen der Prozesskette zur Aufbereitung und Verarbeitung Teilmengen gebündelt, also vermischt werden sollten, hängt unter anderem von Größe und Einheitlichkeit der Teilmengen, den enthaltenen Fremdstoffen, dem vorgesehenen Aufbereitungsverfahren und den Anforderungen an die Qualität des Sekundär-Magnetmaterials sowie von den Anforderungen der Abnehmermärkte der Sekundärmaterialien und der Höhe der zu erwartenden Vergütung ab. Magnetmaterial, das in größerer Menge in gut definierter Form und Zusammensetzung anfällt, könnte gegebenenfalls direkt, etwa zur Rückgewinnung von Magnetlegierungen, weiterverarbeitet werden. Anstelle einer manuellen Entfernung sollten insbesondere bei kleinteiligen Magneten in großen Stückzahlen (z.B. aus Festplatten) mechanische bzw. automatische Separationsverfahren eingesetzt werden.

Eine Aufbereitung bis hin zur Separation reiner Seltenerdmetalle oder -metalloxide erfordert sehr aufwändige Trennprozesse und ist wohl nur in einer bestehenden Anlage, ggf. im Ausland, realistisch. Künftige zentrale Aufbereiter für NdFeB-Magnete würden sich, sofern sie nicht bereits solche Prozesse betreiben, voraussichtlich auf die Rückgewinnung von Magnetlegierungen und/oder die Abtrennung von Seltenerdmetalloxid-Konzentraten beschränken, die dann an Aufbereitungsspezialisten für Seltenerdmetalle abgegeben werden.

Interessierte Akteure könnten einen weitgehend unbesetzten voraussichtlichen Wachstumsmarkt besetzen, sobald insbesondere Altprodukte mit großen Magneten in größerer Zahl entsorgt werden. Es bleibt jedoch das Risiko der Refinanzierung der Investitionskosten. Fraglich ist, welche Vergütung an Erstbehandler gezahlt werden muss, um Lieferbereitschaft und Lieferqualität zu sichern. Abnahmebereitschaft und Konditionen der Verwerter von Seltenerdmetallkonzentraten respektive Preisschwankungen am Rohstoffmarkt sind kaum prognostizierbar. Änderungen an Magnet-Rezepturen oder Produktdesigns können ebenfalls das Geschäft gefährden. Trotz aller Schwierigkeiten erscheint eine Umsetzung denkbar.

Regulatorische Maßnahmen können unterstützend wirken. Denkbar sind insbesondere:

- eine Pflicht zur Kennzeichnung von Motoren mit NdFeB-Magneten, die Einzelmagnete ab einer definierten Masse enthalten,
- eine Verpflichtung, NdFeB-Magnete, die als solche bekannt bzw. erkennbar sind, sowie solche aus gekennzeichneten Motoren und Geräten auszubauen und einer Verwertung zuzuführen und
- die Verpflichtung zum demontagegerechten Einbau von NdFeB-Magneten, sofern kein Zielkonflikt mit Energie- und Materialeffizienz besteht.

1.2. Edelmetallhaltige Bauteile aus Altfahrzeugen

Die über die Elektronikkomponenten verteilte Leiterplattenmenge je Altfahrzeug kann derzeit mit etwa einem Kilogramm abgeschätzt werden. Allerdings können bei Weitem nicht alle Leiterplatten und Elektronikbauteile mit vertretbarem Aufwand ausgebaut werden [3]. Ein weiteres Hemmnis besteht darin, dass je Altfahrzeugverwerter nur kleine Mengen an Fahrzeugelektronik anfallen. Zur Separation von edelmetallhaltigen Fraktionen aus Elektronikkomponenten können Prozesse der Elektroaltgeräteaufbereitung genutzt werden, die größtenteils verfügbar sind. Zunächst kann dabei der manuelle Ausbau von leiterplattenhaltigen Bauteilen erfolgen sowie das Aufbrechen von Gehäusen und Freilegen der enthaltenen Leiterplatten z.B. in Prallmühlen mit anschließender manueller oder automatischer Sortierung [1]. Aus den gewonnenen Leiterplatten-Sortierfraktionen werden in Kupferhütten oder anderen metallurgischen Prozessen die Edelmetalle zurückgewonnen.

Die Wirtschaftlichkeit könnte dadurch verbessert werden, dass Altfahrzeug-Demontagebetriebe leicht ausbaubare edelmetallhaltige Komponenten separieren und sie mit demontierten, aber nicht verkaufbaren Brauchtteilen bündeln. Bei der Abholung sollten etablierte Abholbeziehungen zu z.B. Entsorgungslogistikern und Aufbereitern ausgebaut werden. Für letztere wäre bei der Abhollogistik eine Bündelung ähnlicher edelmetallhaltiger Abfallströme, z.B. aus der Werkstattentsorgung, vorteilhaft. Handreichungen für die Demontagebetriebe zur Übertragung von Lean-Management-Ansätzen auf Demontageprozesse können die Reduzierung des Demontageaufwandes unterstützen. Ein marktgetriebener Ansatz mit erheblicher Mengenwirkung erscheint für diesen Abfallstrom dennoch nicht realistisch.

Sollte ein regulatorisch getriebener Ansatz realisiert werden, so sind folgende, überwiegend zunächst im europäischen Recht zu verankernde Regelungen denkbar:

- Designvorgaben an die Fahrzeugindustrie zum demontagegerechten Einbau größerer Elektronikkomponenten in Fahrzeuge und
- die Verpflichtung zum Ausbau größerer Fahrzeugelektronik-Komponenten und zur Zufuhr zu einem Verwertungsprozess, bei dem Leiterplatten abgetrennt und der Edelmetallrückgewinnung zugeführt werden.

2. Ökologisch optimaler Rückgewinnungsgrad von Edel- und Sondermetallen

Im Rahmen dieses Vorhabens wurde ein Werkzeug entwickelt, das eine Abschätzung und Einordnung realistisch erreichbarer Rückgewinnungsgrade ermöglicht. Der Rückgewinnungsgrad ergibt sich aus einer Abfolge von Ausbeuten über die Prozessschritte der Recyclingkette von der Erfassung über die Separation und die Aufbereitung bis zur Rückgewinnung. Hierzu erfolgt eine Identifikation und qualitative bis halbquantitative Bewertung von Maßnahmen zur Steigerung des Rückgewinnungsgrades in einem Tabellenkalkulations-Tool. Die zugrundeliegende Bewertungsmethode umfasst folgende Stufen:

1. Definition der Ausgangsparameter für jede Teilmenge eines Abfallstroms (z.B. Gehalt an Zielmetallen),
2. Gliederung des Ausgangsprozesses in vier Verfahrensschritte (Erfassung, Separation, Aufbereitung, Rückgewinnung) sowie Abschätzung der derzeitigen Ausbeute pro Verfahrensschritt,
3. Verbesserungsansätze
 - a) Sammlung von Maßnahmenoptionen (Verbesserungsansätzen) zu den einzelnen Verfahrensschritten und
 - b) Abschätzung der Verbesserung der Ausbeute pro Verfahrensschritt,
4. qualitative/halbquantitative Bewertung der Maßnahmenoptionen hinsichtlich sechs Parameter, die untereinander zu gewichten sind: Umweltbelastungen durch die Maßnahme (Global Warming Potential, Toxikologie), Energieverbrauch (Kumulierter Energieaufwand), Effekt auf die Ausbeute an Nicht-Zielmaterialien sowie Machbarkeit (Realisierungschancen, Realisierungsaufwand),
5. Überführung der qualitativen Bewertung jeder Maßnahmenoption in einen Zahlenwert sowie Ranking der Maßnahmenoptionen innerhalb der Verfahrensschritte,
6. Verrechnung der Zielmetall-Ausbeuten der Maßnahmenoptionen, die innerhalb der Verfahrensschritte am besten abgeschnitten haben, mit ihren Neuwerten sowie der Menge an Treibhausgasen, die für die Primärproduktion der zurückgewonnenen Zielmetalle freigesetzt worden wären, und
7. Gesamtbewertung.

Das Tabellenkalkulations-Tool wurde exemplarisch auf zwei Beispiele angewendet.

2.1. Abfallstrom NdFeB-Magnete

Zur Analyse des Abfallstroms NdFeB-Metalle wurden die drei mengenmäßig wichtigsten Teilströme analysiert, auf die in 2020 voraussichtlich etwa 85 % des gesamten Potenzials an NdFeB-Magneten entfallen werden: Magnete aus IT, Magnete aus Industriemotoren und Magnete aus kleinen E-Motoren aus PKW.

In der Ausgangssituation für diesen seltenerdmetallhaltigen Abfallstrom (Abschätzung: 402 Tonnen NdFeB-Magnetmaterial pro Jahr mit steigender Tendenz) wird davon ausgegangen, dass derzeit die betrachteten Zielmetalle Dysprosium, Neodym und Praseodym während der Recyclingprozesskette vollständig verloren gehen. Durch Umsetzung verschiedener Maßnahmenoptionen/Verbesserungsansätze in den Verfahrensschritten des Recyclingprozesses mit realistisch abgeschätzten Ausbeutesteigerungen kann ein Rückgewinnungsgrad (Gesamtausbeute) von 6,8 % erzielt werden (Tabelle 1). Das entspricht Einsparungen

- an treibhauswirksamen Emissionen in Höhe von etwa 258.000 kg CO₂-Äquivalenten,
- an fossilen Brennstoffen und regenerativen Energieträgern in Höhe von etwa 5,85 Millionen MJ sowie
- an Kosten für den Einkauf von Primärrohstoffen in Höhe von 675.000 EUR.

Tabelle 1: Angenommene Ausbeuten aus dem seltenerdmetallhaltigen Abfallstrom NdFeB-Magnete

Verfahrensschritt	Ausgangssituation			nach Umsetzung ausgewählter Maßnahmenoptionen/ Verbesserungsansätze					
				bei realistisch abgeschätzten Ausbeuten			bei sehr optimistisch abgeschätzten Ausbeuten		
	IM	IT	AF	IM	IT	EF	IM	IT	EF
	%								
Erfassung	30	50	50	30	65	52	60	70	85
Vorseparation	0	0	0	50	20	30	70	85	80
Aufbereitung	0	0	0	50	60	60	85	80	80
Verwertung	0	0	0	85	85	85	90	90	90
GESAMT	0			6,8			42,3		

IM = Magnete aus Industriemotoren (60 t/a = 15 % der betrachteten Gesamtmenge)

IT = Magnete aus IT (275 t/a = 68 % der betrachteten Gesamtmenge)

AF = Magnete aus kleinen E-Motoren aus Pkw (67 t/a = 17 % der betrachteten Gesamtmenge)

Mit sehr optimistischen Annahmen hinsichtlich der Steigerung der Ausbeuten für die gleichen Maßnahmenoptionen/Verbesserungsansätze ergibt sich ein Rückgewinnungsgrad von etwa 42 %.

Die damit zurückgewonnenen Zielmetallmengen entsprechen

- treibhauswirksamen Emissionen in Höhe von etwa 1,6 Millionen kg CO₂-Äquivalenten,
- einem Verbrauch an fossilen Brennstoffen und regenerativen Energieträgern in Höhe von etwa 36,1 Millionen MJ sowie
- Kosten für den Einkauf von Primärrohstoffen in Höhe von 4,1 Millionen EUR.

Von diesen Umweltentlastungs- und Kosteneffekten sind noch die Umweltbelastungen bzw. Kosten abzuziehen, die durch den Recyclingprozess verursacht werden.

2.2. Leiterplatten aus Altfahrzeugen

In der Ausgangssituation für diesen edelmetallhaltigen Abfallstrom (Annahme: 1.000 Tonnen Leiterplatten pro Jahr mit steigender Tendenz bei zugleich sinkendem Edelmetallgehalt) wird davon ausgegangen, dass derzeit die betrachteten Zielmetalle Gold, Silber, Palladium und Platin während der Recyclingprozesskette für Altfahrzeuge vollständig verloren gehen. Durch Umsetzung verschiedener Maßnahmenoptionen/ Verbesserungsansätze in den Verfahrensschritten mit realistisch abgeschätzten Ausbeutesteigerungen kann für den gesamten Recyclingprozess ein Rückgewinnungsgrad (Gesamtausbeute) von 5,9 % erzielt werden (Tabelle 2). Das entspricht Einsparungen

- an treibhauswirksamen Emissionen in Höhe von etwa 227.000 kg CO₂-Äquivalenten,
- an fossilen Brennstoffen und regenerativen Energieträgern in Höhe von etwa 3,3 Millionen MJ sowie
- an Kosten für den Einkauf von Primärrohstoffen in Höhe von 566.000 EUR.

Tabelle 2: Angenommene Ausbeuten im edelmetallhaltigen Abfallstrom *Leiterplatten aus Altfahrzeugen*

Verfahrensschritt	Ausgangssituation	nach Umsetzung ausgewählter Maßnahmenoptionen/ Verbesserungsansätze	
		bei realistisch abgeschätzten Ausbeuten	bei sehr optimistisch abgeschätzten Ausbeuten
		%	
Erfassung	50	52 (Werbung, Öffnungszeiten etc.)	85
Vorseparation	0	40 (Ausweitung manueller Demontage)	60
Aufbereitung	0	30 (Prallmühle und Sortierschritt)	85
Verwertung	95	95 (Kupferhütte)	96
GESAMT	0	5,9	41,6

Mit sehr optimistischen Annahmen hinsichtlich der Steigerung der Ausbeuten für die gleichen Maßnahmenoptionen/ Verbesserungsansätze ergibt sich ein Rückgewinnungsgrad von knapp 42 %.

Die mit dem ermittelten Rückgewinnungsgrad von 41,6 % erhaltenen Zielmetalle entsprechen

- treibhauswirksamen Emissionen in Höhe von etwa 1,6 Millionen kg CO₂-Äquivalenten,
- einem Verbrauch an fossilen Brennstoffen und regenerativen Energieträgern in Höhe von etwa 23,4 Millionen MJ sowie
- Kosten für den Einkauf von Primärrohstoffen in Höhe von 3,97 Millionen EUR.

Von diesen Umweltentlastungs- und Kosteneffekten sind noch die Umweltbelastungen bzw. Kosten abzuziehen, die durch den Recyclingprozess verursacht werden.

3. Implementierung der Maßnahmen zur Stärkung des Recyclings von Edel- und Sondermetallen

Die im Projekt entwickelten Maßnahmenoptionen wurden qualitativ bewertet mit Blick auf Steigerung der zurückgewonnenen Menge Zielmetalle, Grad der Verbindlichkeit, Realisierungschancen, Realisierungsaufwand und Effekte auf die Verwertung anderer Metalle.

3.1. Seltenerdmetallhaltige Magnetwerkstoffe

Zur Stärkung des Recyclings seltenerdmetallhaltiger Magnetwerkstoffe könnten folgende Maßnahmen zweckmäßig sein:

M 1: Kennzeichnungspflicht

Kennzeichnung von Motoren (oder anderen Anwendungen) z.B. auf dem Typenschild, die Einzelmagnete größer als z.B. 20 g enthalten oder eine Gesamtmenge größer als z.B. 200 g. Der Kennzeichnungs-Code gibt den Magnettyp an (z.B. NdFeB), gegebenenfalls erweitert mit Angabe aller in Anteilen von mehr als 1 Ma.-% enthaltenen Seltenerdmetalle (z.B. NdPrDyFeB). Zu prüfen wäre, ob die Kennzeichnung auch eine Unterscheidung von polymergebundenen und Sinter-Magneten ermöglichen sollte.

Hinweis: Gegebenenfalls Kennzeichnungspflicht für alle Permanentmagnettypen, damit auch der vermehrte Einsatz anderer seltenerdmetallhaltiger Magnettypen erfasst wäre und Ausweichbewegungen durch Wechsel des Magnettyps vermieden würden bzw. nachvollziehbar sind.

Hinweis: Bei automatischer Sortierung könnte die Kennzeichnung sehr einfach gehalten werden (z.B. NdFeB).

M 2: Ausbau-, Verwertungs- und Informationspflicht

Für Motoren bzw. Geräte mit nicht motorengelunden Magneten, die als NdFeB-haltig erkennbar (z.B. in Festplatten) oder, wie unter M 1 beschrieben, gekennzeichnet sind, Ausbaupflicht und Verpflichtung, die ausgebauten Magnete einer Verwertung zuzuführen, durch die Seltenerdmetalle ersetzt werden.

Hinweis: Eine Pflicht zum Ausbau ist nur dort zielführend, wo eine Kennzeichnungspflicht besteht oder z.B. aufgrund der Demontagehinweise das Vorhandensein von NdFeB-Magneten bekannt ist. Gegebenenfalls kann in die genannten Regelwerke eine Formulierung aufgenommen werden wie

... sind auszubauen aus Geräten, die entsprechend gekennzeichnet sind oder bei denen das Vorhandensein NdFeB-haltiger Magnete allgemein bekannt ist.

M 3: Verpflichtung zum verwertungsgerechten Design

Zu prüfen: Erscheint eine Vorgabe *Magnete müssen mit einfachen Mitteln unzerstört ausgebaut werden können* unter Abwägung aller Gesichtspunkte vertretbar (mögliche Zielkonflikte mit Energie- und Materialeffizienz)?

Wenn ja: Prüfung der Möglichkeiten zur Verpflichtung der Hersteller bzw. Importeure der sondermetallhaltigen Elektro- und Elektronikgeräte bzw. Fahrzeuge. Wenn eine solche Vorgabe nicht vertretbar ist, dann muss auch die Verpflichtung zum Ausbau eingeschränkt werden, z.B. *Ausbau, sofern technisch möglich, wirtschaftlich zumutbar und unter Beachtung der sozialen Folgen*. Ob der Aufwand vertretbar ist, könnte in technischen Leitlinien anhand von Kriterien oder Bauteillisten beschrieben und regelmäßig aktualisiert werden.

M 4: Verwertungsquote

Einführung einer speziellen sondermetallbezogenen Verwertungsquote mit Bezug auf die der Verwertung zugeführte Menge: allenfalls mit großem Aufwand zu überwachen, denn hierzu müssten sowohl die separierten und der Verwertung zugeführten Mengen als auch die Ausbeuten der Verwertungsprozesse ermittelt und zusammengeführt werden (vgl. daher die Möglichkeit einer entsprechenden Anpassung der Mitteilungspflichten im ElektroG und in der AltfahrzeugV).

M 5: Schaffung der Möglichkeit zur Einrichtung von Langzeitzwischenlagern

Für NdFeB-Magnete oder Teile, die z.B. zu mindestens 10 % aus NdFeB-Magneten bestehen; Möglichkeit zur Einrichtung und Unterhaltung privatwirtschaftlich betriebener Langzeitzwischenlager, dazu Änderungen der Anforderungen an die Langzeitlagerung in § 23 DepV.

M 6: Bündelungsworkshops

Unter Einbeziehung von Demontagebetrieben, Aufbereitern und für Demontagebetriebe (auch in anderen Feldern) tätigen Logistikern und Verwertern.

M 7: Förderung der Entwicklung von Transport- und Behältersystemen für NdFeB-Magnetabfälle

Ausschreibung eines Forschungsprojekts unter Beteiligung von Praxispartnern; Schritt 1: Prüfung der Eignung von Systemen, die zur Bereitstellung von Neu-Magneten eingesetzt werden.

M 8: Initiierung Erfassungs- und Demontagenetzwerk für Elektrofahrräder

Anstoßen einer freiwilligen Kooperation zwischen Fahrrad-Herstellern, -Händlern und -Verwertern z.B. durch einen Workshop.

Bewertung der Maßnahmenoptionen:

Als wirksame Maßnahmen mit hoher Verbindlichkeit stellen sich M 2 in Kombination mit M 1 dar, die durch M 3 und/oder M 4 zusätzlich gestärkt werden könnten. Insbesondere der Realisierungsaufwand für M 3 und M 4 ist jedoch recht hoch. Maßnahmen mit insgesamt günstigen Bewertungen, die mit geringem Aufwand zu realisieren wären, sind M 6 und M 8. Beide Maßnahmen haben zudem positive Effekte auf die Verwertung anderer Metalle. Der Grad der Verbindlichkeit ist hier jedoch deutlich geringer.

3.2. Edelmetallhaltige Leiterplatten und Lambdasonden aus Altfahrzeugen

Zur Stärkung der Rückgewinnung von Edelmetallen aus Fahrzeugelektronik könnten folgende Maßnahmen zweckmäßig sein:

M 1: Designvorgaben an die Fahrzeugindustrie

Verpflichtung zum demontagegerechten Einbau (z.B. VDI Richtlinie 2243: recycling-orientierte Produktentwicklung) größerer Elektronikkomponenten in Fahrzeuge; Verankerung in der Altfahrzeugrichtlinie und in der AltfahrzeugV, gegebenenfalls in Form zusätzlicher bzw. ergänzter Anhänge; nur zielführend in Kombination mit einer Ausbaupflichtung für Altfahrzeug-Demontagebetriebe.

Eingrenzung auf relevante Komponenten, um unangemessenen Aufwand zu vermeiden; als erste Grundlage einer Auswahl-Orientierung könnte die Separationsempfehlung von [3] dienen.

Zu prüfen: Zuvor sollte geprüft werden, in welchem Umfang Konflikte mit den Designzielen Gewichtsreduzierung und Materialeffizienz auftreten können.

M 2: Ausbau-, Verwertungs- und Informationspflicht

Verpflichtung zum Ausbau größerer Fahrzeugelektronik-Komponenten aus Altfahrzeugen und zur Zufuhr zu einem Verwertungsprozess, bei dem Leiterplatten abgetrennt und der Edelmetallrückgewinnung zugeführt werden.

Soweit neue Anforderungen an die Ausschleusung von edelmetallhaltigen Bauteilen aus Altfahrzeugen im Rahmen der Demontage gesetzlich festgelegt werden sollten, würde dies auch bedeuten, dass die Hersteller den Demontagebetrieben entsprechend ergänzte Demontagehinweise zur Verfügung stellen müssen, aus denen sich ergibt, wie diese edelmetallhaltigen Bauteile ausgebaut werden können.

M 3: Altfahrzeugrücklauf verbessern

Steigert das Potenzial zur Rückgewinnung von Edelmetallen sowohl im Falle der Demontage edelmetallhaltiger Teile als auch – mit deutlich schlechteren Ausbeuten – beim Schreddern noch in den Altfahrzeugen enthaltener, nicht demontierter Bauteile.

M 4: Schredderoptimierung

Förderung von Projekten zur Verbesserung der Edelmetallausbeute (wie auch der Ausbeute weiterer Metalle wie Stahl, Kupfer und Aluminium) aus Schredderfraktionen im Falle nicht demontierter edelmetallhaltiger Bauteile; z.B. durch Ausschreibung eines Forschungsprojekts unter Beteiligung von Praxispartnern.

M 5: Bündelungs-Workshops

Im Rahmen von Bündelungs-Workshops werden Möglichkeiten erarbeitet, bestehende Netzwerke zu nutzen und auszubauen. Sinnvoll könnte das Zusammenbringen von Demontagebetrieben (und ggf. weiteren Betrieben mit ähnlichen Abfällen aus anderen Branchen) mit deren potenziellen Abnehmern und Logistikern zur Erweiterung bestehender oder zur Entwicklung neuer Netzwerke sein. Ziel ist es, dass entsprechende Vereinbarungen getroffen werden, um bereits etablierte Abholbeziehungen zu nutzen und neue Verbindungen aufzubauen.

Bewertung der Maßnahmenoptionen:

Die einzige wirksame Maßnahme mit hoher Verbindlichkeit bei insgesamt günstiger Bewertung ist M 2. Hier ist der Realisierungsaufwand jedoch recht hoch. Die Maßnahmen M 3, M 4 und M 5 weisen insgesamt günstige Bewertungen auf. Auch diese Maßnahmen haben positive Effekte auf die Verwertung anderer Metalle, der Grad der Verbindlichkeit ist hier jedoch eher gering.

3.3. Übergeordnete Maßnahmen

Über die zuvor für einzelne Abfallströme dargestellten spezifischen Maßnahmenoptionen hinaus bestehen weitere übergeordnete Handlungsmöglichkeiten zur Effizienzsteigerung der betriebsinternen und der betriebsübergreifenden Logistik, die auf die Abfall- bzw. Stoffstrombewirtschaftung in den Betrieben insgesamt, nicht nur speziell auf die edel- und sondermetallhaltigen Abfallströme abzielen, aber dennoch positive Auswirkungen auf die Rückgewinnung der Zielmetalle aus den Abfällen haben können. Dabei handelt es sich um Maßnahmen, die im Bereich der Demontage und Verwertung angesiedelt sind:

- die Förderung der Entwicklung eines Recycling-Warenwirtschaftssystems (RWWS), betriebsintern und/oder betriebsübergreifend,
- die Ausarbeitung einer Handreichung *Lean Management*,
- die Entwicklung und Verbreitung von Füllstand erfassungssystemen, beispielsweise zur Unterstützung eines RWWS, sowie
- die stoffstromübergreifende Bündelung, welche auf eine bessere Auslastung der logistischen Ketten bei Transporten zielt. Wird ein Umschlagpunkt zwischengeschaltet, ist die Bündelung weitgehend unabhängig von den Inhaltsstoffen der transportierten Objekte. Die Bündelungspotenziale ergeben sich über die räumliche Nähe der Abholadressen bzw. nach dem Umschlagpunkt der Zieldestinationen. Dies lässt sich beispielsweise durch Bündelungs-Workshops unterstützen.

Bild 2 zeigt stoffstromübergreifende Bündelungsoptionen über die hier dargestellten Abfallströme hinaus, durch die der Aufwand für die Kleinmengenlogistik reduziert werden kann.

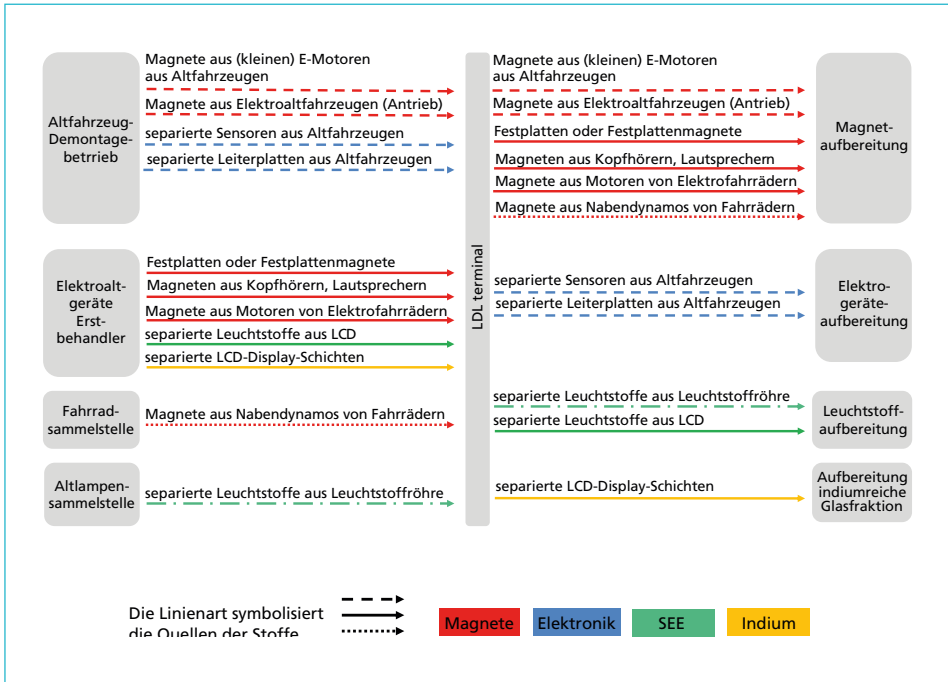


Bild 2: Bündelungspotenziale ausgewählter Stoffströme

4. Angemessenheit von Maßnahmen

Der Aufwand für die Realisierung und Umsetzung von Maßnahmen zur Stärkung des Recyclings sollte in angemessenem Verhältnis zum erwarteten ökologischen Nutzen stehen. Daher wurde das Umweltentlastungspotential durch das Recycling der Zielmetalle in den betrachteten Abfallströmen, das sich durch die Vermeidung der Primärproduktion ergibt, anhand des Leitparameters Treibhausgasemissionen abgeschätzt (Bild 3).

Der mögliche ökologische Nutzen von Maßnahmen zur Verbesserung des Recyclings beschränkt sich auf den Anteil der aus diesem Potenzial tatsächlich zurückgewonnenen Metalle. Aufgrund unvollständiger Erfassung und von Verlusten entlang der Prozesskette kann die tatsächlich zu erwartende Ausbeute wesentlich geringer sein. Von diesem Brutto-Nutzen sind dann noch die Treibhausgasemissionen abzuziehen, die durch die Recyclingprozesse verursacht werden.

Selbst im Falle von NdFeB-Magneten und bei künftig erheblich steigenden Mengen wird zwar das Potenzial voraussichtlich auf bis zu wenige tausend Einwohnerwerte steigen, der zu erwartende Nutzen mit Blick auf die Treibhausgasemissionen dürfte durch Exporte in Form von Gebrauchtgeräten, Verluste entlang der Verwertungskette und Treibhausgasemissionen aus der Verwertung allerdings dennoch einige Hundert Einwohnerwerte in Deutschland kaum übersteigen. Mindestens aus Sicht des Klimaschutzes erscheinen daher in Implementierung und Umsetzung aufwendige, gesetzgeberische Maßnahmen kaum angemessen.

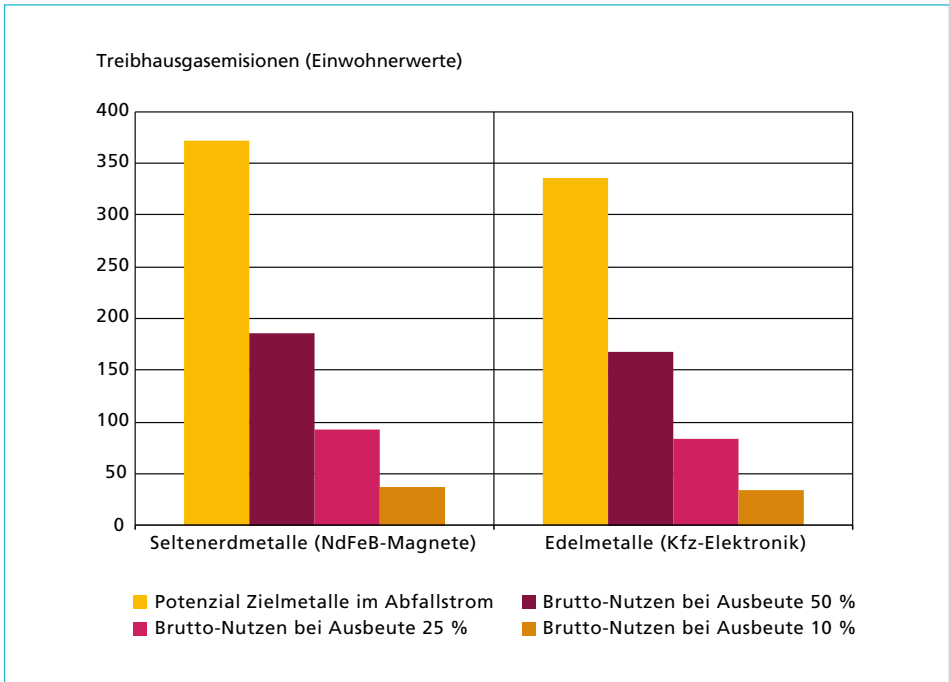


Bild 3: Brutto-Umwelentlastungspotenzial der Zielmetalle in den betrachteten Abfallströmen durch Verzicht auf ihre Primärproduktion; dargestellt anhand des Leitparameters Treibhausgasemissionen (Angaben in Einwohnerwerten); Carbon Footprint Einwohnerwerte Deutschland: 11,4 Tonnen CO₂ eq/a

Quellen: Bulach, W.; Schüler, D.; Sellin, G.; Elwert, T.; Schmid, D.; Goldmann, D.; Buchert, M.; Kammer, U.: Elektrofahrzeugrecycling 2020 – Schlüsselkomponente Leistungselektronik. Endbericht zum BMBF Forschungsprojekt ElmoReL 2020. Förderkennzeichen 16EM2032-1. Darmstadt, S. 37f., 2017.

Carbon Footprint Zielmetalle: Dy, Tb: Umweltbundesamt: Treibhausgas-Emissionen in der Europäischen Union: Pro-Kopf-Emissionen. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-der-europaeischen-union#textpart-2>. aufgerufen am 05.04.2018, 2018.

alle anderen: PLoS: Life Cycle Assessment of Metals: A Scientific Synthesis. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0101298>. aufgerufen am 31.03.2018, 2014.

Für die Frage nach der Angemessenheit von (rechtlichen) Maßnahmen zur Stärkung der Rückgewinnung von Edel- und Sondermetallen sind neben dem Klimaschutz weitere Aspekte relevant, beispielsweise:

- weitere Umweltbelastungen aus der Primärgewinnung der Metalle,
- die Versorgungssicherheit insbesondere mit kritischen Rohstoffen,
- die Rohstoffsicherung insbesondere für zukünftig immer relevanter werdende Klimaschutz-Technologien wie Photovoltaikanlagen, Windenergieanlagen oder Elektromobilität und
- die mittel- oder langfristig voraussichtlich steigenden Mengen vieler der untersuchten Edel- und Sondermetalle in den Abfallströmen.

Auch bei der Bewertung dieser Aspekte sind jedoch die bei den meisten betrachteten Abfallströmen zu erwartenden erheblichen Verluste entlang der Verwertungskette zu berücksichtigen.

Dennoch sind weitere Aktivitäten zur Verbesserung bzw. Realisierung der Rückgewinnung der Zielmetalle aus den betrachteten Abfallströmen sinnvoll und wünschenswert. So kann in bestimmten Konstellationen, etwa bei direktem Zugriff eines Geräteherstellers oder Verwerter auf geeignete Abfallmengen eine Separation von Zielmetallen ökologisch und möglicherweise auch wirtschaftlich vorteilhaft sein, sofern in genau diesen Konstellationen Abnehmer für das gewonnene Material zur Verfügung stehen. Auch können ausgeprägte Preisspitzen bei hohem Bedarf gute Voraussetzungen zum Aufbau begrenzter Rückgewinnungsaktivitäten sein, weil vorübergehend Abnehmer auf internationalen Märkten auftreten. Und schließlich gelingt es einzelnen Akteuren immer wieder, kreative Lösungen für Teilmengen von Abfallströmen zu entwickeln. Zudem ist in einigen der genannten Felder nicht auszuschließen, dass einzelne Akteure eigeninitiativ umfassendere Lösungen aufbauen, und sei es, um auf diesem Wege andere, wirtschaftlich aussichtsreichere Aktivitäten zu stützen.

Gezielte und begrenzte staatliche Aktivitäten können hilfreich sein, wenn sie die Eigeninitiative der Beteiligten unterstützen. So können Akteure etwa in Form von Bündelungs-Workshops oder Round-Table-Gesprächen zusammengebracht werden. Für die Teilnehmer kann das insbesondere dann interessant sein, wenn grundsätzliche Verbesserungen angestrebt sind, bei denen eine mögliche Rückgewinnung der hier betrachteten Metalle nur einer von vielen denkbaren positiven Effekten ist. Dies ist etwa der Fall bei der Entwicklung von Recycling-Warenwirtschaftssystemen oder bei der Entwicklung von Lean-Management-Handreichungen speziell für kleine und mittlere Unternehmen.

Gesetzgeberische Maßnahmen, die auf einer übergeordneten Ebene angreifen, können die Voraussetzungen für Eigeninitiative der Akteure verbessern. So führen Maßnahmen zur Verbesserung der vorschriftsmäßigen Erfassung von Altprodukten wie Altfahrzeuge oder Elektroaltgeräte zu größeren für interessierte Akteure greifbaren Mengen an Edelmetallen, insbesondere aber zu größeren Mengen an Massenmetallen. Die Schaffung einer Möglichkeit zur Langzeitzwischenlagerung geeigneter separierter Komponenten oder Materialien durch Verwerter trägt ebenfalls zur Ausweitung ihres Handlungsspielraums bei. Dies kann beim Aufbau von Lösungen helfen, und zwar nicht nur für die hier betrachteten Metalle.

Der ausführliche Ergebnisbericht zum Projekt wird in Kürze in der Schriftenreihe UBA-Texte des Umweltbundesamtes erscheinen. Dort findet sich neben der Analyse weiterer Abfallströme auch eine ausführliche rechtliche Bewertung der gesetzgeberischen Ansätze, eine Analyse der Option einer Schaffung von Möglichkeiten zur Langzeitzwischenlagerung und eine ausführliche Beschreibung des Tabellenkalkulationstools zur Bewertung von Maßnahmen und zur Abschätzung realistisch zu erwartender Ausbeuten.

5. Literatur

- [1] Bulach, W.; Schüler, D.; Sellin, G.; Elwert, T.; Schmid, D.; Goldmann, D.; Buchert, M.; Kammer, U.: Elektrofahzeugrecycling 2020 – Schlüsselkomponente Leistungselektronik. Endbericht zum BMBF Forschungsprojekt ElmoReL 2020. Förderkennzeichen 16EM2032-1. Darmstadt., S. 37f., 2017
- [2] ecoinvent: v3.4. <https://www.ecoinvent.org>. aufgerufen 31.03.2018, 2017
- [3] Groke, M.; Kaerger, W.; Sander, K.; Bergamos, M.: Optimierung der Separation von Bauteilen und Materialien aus Altfahrzeugen zur Rückgewinnung kritischer Metalle (ORKAM). UBA-Texte 02/2017. Hrsg. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau, S. 87-89, 2017
- [4] PLoS: Life Cycle Assessment of Metals: A Scientific Synthesis. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0101298>. aufgerufen am 31.03.2018, 2014
- [5] Sander, K.; Gößling-Reisemann, S.; Zimmermann, T.; Marscheider-Weidemann, F.; Wilts, H.; Schebeck, L.; Wagner, J.; Heegn, H.; Pehlken, A. et al.: Recyclingpotenzial strategischer Metalle (Projekt ReStra). UBA-Texte 68/2017. Hrsg. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/recyclingpotenzial-strategischer-metalle-restra>, S. 35, 2017
- [6] Sander, K.; Schilling, S.; Marscheider-Weidemann, F.; Wilts, H.; von Gries, N.; Hobohm, J.: Abfall-wirtschaftliche Produktverantwortung unter Ressourcenschutzaspekten (Projekt RePro.). Meilensteinbericht August 2012. Dessau-Roßlau. http://www.oekopol.de/archiv/material/603_RePro_Meilensteinbericht_1.pdf, S. 58, 2012
- [7] Umweltbundesamt: Treibhausgas-Emissionen in der Europäischen Union: Pro-Kopf-Emissionen. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-der-europaischen-union#textpart-2>. aufgerufen am 05.04.2018, 2018
- [8] Zepf, V.: Das verkannte Recyclingpotential der Seltenen Erden – Quantitative Ergebnisse für Neodym in Deutschland. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 8. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2015, S. 463-476

Ansprechpartner



Dr. Siegfried Kreibe
bifa Umweltinstitut GmbH
Stellvertretender Geschäftsführer
Am Mittleren Moos 46
86167 Augsburg, Deutschland
+49 821-7000-178
skreibe@bifa.de

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.