Karl J. Thomé-Kozmiensky

Aschen • Schlacken • Stäube

– aus Abfallverbrennung und Metallurgie –



TK

Karl J. Thomé-Kozmiensky

Aschen • Schlacken • Stäube

– aus Abfallverbrennung und Metallurgie –

TK

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Aschen • Schlacken • Stäube
– aus Abfallverbrennung und Metallurgie –
Karl J. Thomé-Kozmiensky.
– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013
ISBN 978-3-935317-99-3

ISBN 978-3-935317-99-3 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2013
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky, Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Erfassung und Layout: Ginette Teske, Ina Böhme, Petra Dittmann, Cordula Müller, Fabian Thiel, Martin Schubert
Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München
Foto auf dem Buchdeckel: Dipl.-Ing. Daniel Böni, KEZO Kehrichtverwertung Zürcher Oberland

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, 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.

Der Umgang mit mineralischen Abfällen soll seit einem Jahrzehnt neu geregelt werden. Das Bundesumweltministerium hat die Verordnungsentwürfe zum Schutz des Grundwassers, zum Umgang mit Ersatzbaustoffen und zum Bodenschutz zur Mantelverordnung zusammengefasst. Inzwischen liegt die zweite Fassung des Arbeitsentwurfs vor. Die Verordnung wurde in der zu Ende gehenden Legislaturperiode nicht verabschiedet und wird daher eines der zentralen und weiterhin kontrovers diskutierten Vorhaben der Rechtssetzung für die Abfallwirtschaft in der kommenden Legislaturperiode sein. Die Reaktionen auf die vom Bundesumweltministerium vorgelegten Arbeitsentwürfe waren bei den wirtschaftlich Betroffenen überwiegend ablehnend. Die Argumente der Wirtschaft sind nachvollziehbar, wird doch die Mantelverordnung große Massen mineralischer Abfälle in Deutschland lenken – entweder in die Verwertung oder auf Deponien.

Weil die Entsorgung mineralischer Abfälle voraussichtlich nach rund zwei Wahlperioden andauernden Diskussionen endgültig geregelt werden soll, soll dieses Buch unmittelbar nach der Bundestagswahl den aktuellen Erkenntnis- und Diskussionsstand zur Mantelverordnung für die Aschen aus der Abfallverbrennung und die Schlacken aus metallurgischen Prozessen wiedergeben.

Die Praxis des Umgangs mit mineralischen Abfällen ist in den Bundesländern unterschiedlich. Bayern gehört zu den Bundesländern, die sich offensichtlich nicht abwartend verhalten. Der Einsatz von Ersatzbaustoffen in Bayern wird ebenso wie die Sicht der Industrie vorgestellt.

Auch in den deutschsprachigen Nachbarländern werden die rechtlichen Einsatzbedingungen für mineralische Ersatzbaustoffe diskutiert. In Österreich – hier liegt der Entwurf einer Recyclingbaustoff-Verordnung vor – ist die Frage der Verwertung von Aschen und Schlacken Thema kontroverser Auseinandersetzungen. In der Schweiz ist die Schlackenentsorgung in der Technischen Verordnung für Abfälle (TVA) geregelt, die strenge Anforderungen bezüglich der Schadstoffkonzentrationen im Feststoff und im Eluat stellt, so dass dies einem Einsatzverbot für die meisten Schlacken gleichkommt. Die Verordnung wird derzeit revidiert.

In diesem Buch stehen insbesondere wirtschaftliche und technische Aspekte der Entsorgung von Aschen aus der Abfallverbrennung und der Schlacken aus der Metallurgie im Vordergrund.

Zahlreiche Aspekte der Verwertung werden referiert, unter anderem zu

- Rückständen aus thermischen Prozessen,
- Verwertungsmöglichkeiten mineralischer Sekundärrohstoffe in der Zementindustrie,
- Nebenprodukten aus Stahlwerken,
- zertifizierten Flugaschen aus Steinkohlekraftwerken.

Zu Beginn der Ausführungen über die Rostaschen aus der Abfallverbrennung und Rückstände aus der Abgasreinigung wird der Arbeitsentwurf einer Studie zur Diskussion gestellt, die im Kontext mit den folgenden Veröffentlichungen die Fachöffentlichkeit zur Mitwirkung an einer umfassenden Darstellung der Entsorgung von Rückständen aus Abfallverbrennungsanlagen – mit dem Schwerpunkt der Verwertung – anregen soll.

Die Entsorgung von Aschen/Schlacken aus der Verbrennung von Abfällen wurde ursprünglich in erster Linie unter dem Aspekt der Immobilisierung von Schadstoffen betrachtet. Die wichtigsten Verfahren und Ansätze zur Verfestigung und zur Hochtemperaturbehandlung werden im Einführungsbeitrag dargestellt.

Heute steht die Gewinnung von Metallen und damit einhergehend die Qualitätsverbesserung der aus den Verbrennungsaschen aufbereiteten Baustoffe im Vordergrund des Interesses. Der Untersuchung der Recyclingpotentiale von Metallen kommt ebenso wie den Verfahren der Metallgewinnung aus nass und aus trocken ausgetragenen Rostaschen große Bedeutung zu, weil hier deutlich wird, dass der Abfallverbrennung neben der Gewinnung von elektrischem Strom und Wärme sowie der Schadstoffzerstörung und Volumenreduzierung des Abfalls auch die Funktion eines Recyclingprozesses zukommt.

Während die Gewinnung von Metallen aus der Ofenasche Stand der Technik ist, ist das Recyclingpotential von Metallen aus den Abgasreinigungsrückständen erst in Teilbereichen erschlossen. Großtechnische Verfahren werden derzeit bei Abgasreinigungsanlagen mit elektrostatischer Staubabscheidung ohne vorherige Zugabe von Additiven, aber mit nasser Abgasreinigungsstufe angewandt. In der Schweiz wird mehr als die Hälfte der aus der thermischen Abfallbehandlung anfallenden Flugasche durch saure Flugaschenwäsche von Schwermetallen entfrachtet und anschließend mit der Rostasche verwertet. In der Filterasche enthaltene Metalle werden durch Aufbereitung des resultierenden schwermetallhaltigen Filtrats gewonnen. Cadmium, Blei und Kupfer werden als Metallgemisch abgetrennt und als sekundärer Rohstoff an Metallhütten verkauft. Zink, das in hohen Konzentrationen in den Flugaschen enthalten ist, wird nach prozessinterner Anreicherung und Aufbereitung schon an den Verbrennungsanlagen elektrolytisch als Reinstmetall mit einer Konzentration von mehr als 99,995 Prozent rückgewonnen. So werden aus dem sekundären Abfallstoffstrom Flugasche Blei, Cadmium, Kupfer und Zink in den Stoffkreislauf rückgeführt. Der Rückgewinnung von Kupfer ist ein gesonderter Beitrag gewidmet.

Die Verwertung von Schlacken aus der Metallurgie hat eine lange Tradition, wie zahlreiche Veröffentlichungen zeigen. Auch hier werden zunehmend höhere Anforderungen sowohl an den Behandlungsprozess als auch an die Umweltverträglichkeit der Produkte aus der Schlacke gestellt. Dem trägt die Industrie durch umfangreiche Untersuchungen und Entwicklungen Rechnung.

Bei den Schlacken aus der Metallurgie bilden die Nebenprodukte aus der Eisen- und Stahlherstellung den Schwerpunkt in diesem Buch; das sind Eisenhütten- und Stahlwerksschlacken sowie -stäube. Die Beiträge kommen überwiegend aus Forschungsinstituten sowie aus der Metallindustrie oder Industriekooperationen. Ein Beitrag geht auf das Ressourcenmanagement für Elektrostahlwerke ein.

Maßnahmen zur prozessintegrierten Qualitätsoptimierung von Schlacken sowie deren Aufbereitung zur Herstellung hochwertiger Baustoffe werden ausführlich dargestellt.

Aus Schlacken und Stäuben von metallurgischen Prozessen werden Metalle gewonnen. Beispielhaft wird hier ein Forschungsprojekt zur Gewinnung von Metallen aus Hüttenhalden – insbesondere unter dem Aspekt der Reduktion von Rohstoffimporten – vorgestellt.

Forschungsergebnisse aus der Nichteisen-Metallurgie werden von Vertretern von Hochschulen vorgestellt.

Mit diesem Buch wird ein Bericht vorgelegt, der weitgehend den Stand der Praxis und die Entwicklungsperspektiven für die Aschen aus der Abfallverbrennung und für die Schlacken aus metallurgischen Prozessen darstellt. Die Arbeiten werden fortgesetzt; Herausgeber und Autoren sind für Anregungen und Kritik dankbar.

September 2013

Professor Dr.-Ing. Dr. h.c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Recht und Strategie

Stellungnahme der Industrie zum Arbeitsentwurf der Mantelverordnung
Jörg Demmich 3

Zum Entwurf der österreichischen Recyclingbaustoff-verordnung am Beispiel der Stahlwerksschlacken – Chronik eines (vorläufig) gescheiterten abfallrechtlichen Regelungsversuchs und Grund zur Hoffnung –
Wilhelm Bergthaler 21

Schweizerische Technische Verordnung über Abfälle (TVA) – Verwertungsbedingungen für Rückstände aus Metallindustrie, Abfallverwertungsanlagen und Kraftwerken –
Hans-Peter Fahrni 29

Einsatz von Ersatzbaustoffen in Bayern – Stand und Perspektiven –
Christian Daehn 43

Wertstoffpotential in Rückständen

Potenzial der Metalle in Stäuben
Mario Mocker, Fabian Stenzel und Matthias Franke 55

Datengrundlagen und Bewertung von Schlackenanalysen
Michael Oberdörfer 65

Rückstände aus der Abfallverbrennung

Möglichkeiten und Grenzen der Verwertung von Sekundärabfällen aus der Abfallverbrennung
Karl J. Thomé-Kozmiensky 79

Recyclingpotenziale von Metallen bei Rückständen aus der Abfallverbrennung
Rüdiger Deike, Dominik Ebert, Daniel Schubert, Reza M. Ulum, Ragnar Warnecke und Martin Vogell 281

Aufschluss, Trennung und Rückgewinnung von Metallen aus Rückständen thermischer Prozesse – Verdoppelung der Metallausbeute aus MVA-Rostasche –
Franz-Georg Simon und Olaf Holm 297

Innovative Aufbereitungsanlage für Kehrichtschlacke in der Schweiz
Lenka Muchova und Stefan Eberhard 311

Metallrückgewinnung aus trocken ausgetragenen MVA-Schlacken
Edmund Fleck, Eva-Christine Langhein und Edi Blatter 323

ReNe-Verfahren zur Rückgewinnung von dissipativ verteilten Metallen aus Verbrennungsrückständen der thermischen Abfallbehandlung
Boris Breitenstein, Daniel Goldmann und Iven Quedenfeld 341

Elektrodynamische Fragmentierung von MVA-Schlacken – Zerlegung der Schlacken und Abscheidung von Chloriden und Sulfaten –
Severin Seifert, Volker Thome, Christof Karlstetter und Matthias Maier 353

Recycling der Reaktionsprodukte aus der Abgasreinigung mit Natriumbicarbonat
Thomas Bauer, Peter Fischer und Grzegorz Swieszek 367

Metallrückgewinnung aus Filterstäuben der thermischen Abfallbehandlung nach dem FLUREC-Verfahren
Stefan Schlumberger und Jürg Bühler 377

Aufbereitung und Wiederverwertung von Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen unter Rückgewinnung von Nichteisenmetallen
Christian Fuchs und Martin Schmidt 399

Mineralische Sekundärrohstoffe für die Verwertung in der Zementindustrie – Anforderungen an die Qualität –
Peter Scur 411

Verfahren zur Inertisierung von Aschen/Schlacken aus der Rostfeuerung
Ralf Koralewska 423

Inertisierungsverfahren für Wirbelschichtaschen
Gerald Fraissler, Kurt Kaufmann, Sebastian Kaiser und Günter Jaritz 437

Rückstände aus der Metallurgie

Aufbereitung metallurgischer Schlacken
Hermann Wotruba und Lars Weitkämper 451

Recycling von Eisenhüttenschlacken
– Technisch-ökonomische Analyse und Bewertung –
Christoph Meyer, Matthias G. Wichmann und Thomas S. Spengler 465

Ressourcenmanagement eines Elektrostahlwerks
Michael Heußen und Hans Peter Markus 485

Metallurgische Einblasanlagen für die Qualitätsoptimierung von Stahlwerksschlacken und das Recycling von Filterstäuben
Henner Hornberg und Lutz Kaiser 507

Anforderungen an die umweltfreundliche Entsorgung von Stahlwerksschlacken am Beispiel der LD-Schlacken
Roland Jöbstl 523

Herstellung hochwertiger Baustoffe aus Stahlwerksschlacken nach nahezu vollständiger Metallrückgewinnung
Holger Wulfert und Andreas Jungmann 541

Bioleaching von Schwermetallen aus Aschen und Schlacken mit gleichzeitiger Rückgewinnung von Phosphat
Wolfgang Dott, Maxime Dossin, Birgit Lewandowski und Petra Schacht 555

Aufbereitung von Edelstahlschlacken
Dietmar Guldan 565

Rückgewinnung von Wertmetallen aus Stahlwerksstäuben durch ein reduzierendes Metallbad
Christoph Pichler, Alois Unger und Jürgen Antrekowitsch 587

Rückgewinnung von Kupfer und Kobalt aus Schlacken der NE-Metallurgie
Bernd Friedrich, Marco Zander und Christoph Kemper 599

Reststoffe aus der Aluminium-Sekundärindustrie
Helmut Antrekowitsch, Helmut Paulitsch und Armin Pirker 615

Reduktion von Rohstoffimporten durch Wertstoffgewinnung aus Hüttenhalden – Entwicklung eines multiskalaren Ressourcenkatasters für Hüttenhalden –
Michael Jandewerth, Michael Denk, Cornelia Gläßer, Asja Mrotzek und Sebastian Teuwsen 639

Rückstände aus Kraftwerken

Zertifizierte Steinkohlenflugasche im Spannungsfeld zwischen Bauproduktenrecht und Abfallrecht
Ulrich Stock, Rüdiger Schultz-Sternberg und Gerhard Waldner 661

Entsorgung in Bergwerken

Technik, Kapazitäten und Preisentwicklung der Untertage-Entsorgung in Deutschland
Georg Rottlaender 677

Dank 689

Autorenverzeichnis 693

Inserentenverzeichnis 711

Schlagwortverzeichnis 717

Recht und Strategie

Stellungnahme der Industrie zum Arbeitsentwurf der Mantelverordnung

Jörg Demmich

1. Einleitung 4

2. Umweltpolitische Zielsetzungen 5

3. Zweiter Arbeitsentwurf der MantelV vom 31.10.2012 6

3.1. Regelungskonzept der GrwV 7

3.2. Wesentliche Regelungen der EBV 8

3.3. Änderung der Deponieverordnung (DepV) 11

3.4. Regelungskonzept der BBodSchV 11

3.4.1. Vorsorgeanforderungen 11

3.4.2. Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden 12

4. Bewertung und Betroffenheit der Wirtschaft 14

4.1. Kritikpunkte der GrwV 14

4.2. Kritikpunkte der EBV 15

4.3. Kritikpunkte der BBodSchV 16

5. Fazit 18

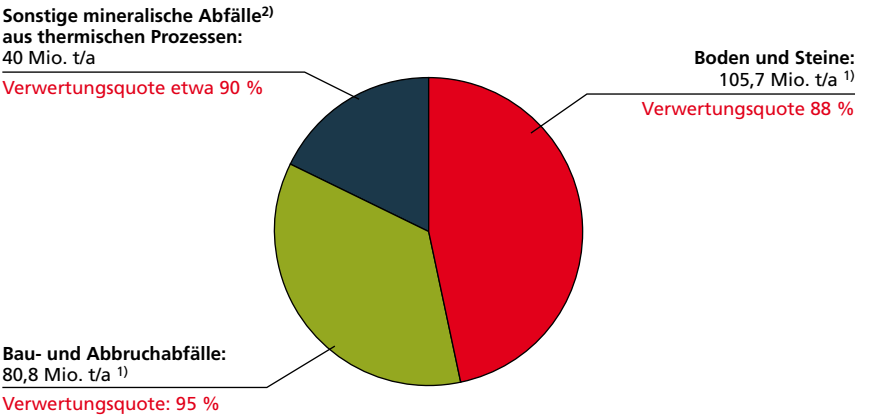
6. Literatur 18

Mit jährlich rund 230 Millionen Tonnen stellen mineralische Abfälle und industrielle Nebenprodukte das mit Abstand größte Abfallaufkommen in Deutschland dar. Damit bietet dieser Abfallstrom auch ein großes Rohstoffressourcen-Potenzial. Die mit den geplanten Novellierungen der wasser-, bodenschutz- und abfallrechtlichen Verordnungen (Mantelverordnung – MantelV) vorgesehenen bundeseinheitlichen Rahmenbedingungen für die Verwertung dieser Stoffe sind jedoch insbesondere im Hinblick auf Grundwasser- und Bodenschutz im Vergleich zum bisherigen Rechtsrahmen derart restriktiv, dass nicht nur die betroffenen Wirtschaftsbranchen einen erheblichen Rückgang der bisherigen sehr hohen Verwertungsquoten befürchten. Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Erläuterung der wesentlichen Aspekte des 2. Arbeitsentwurfs der MantelV vom 31.10.2012 und den aus Sicht der betroffenen Industrie zu erwartenden Auswirkungen auf die Verwertung mineralischer Sekundärrohstoffe.

1. Einleitung

Bei einem Gesamtabfallaufkommen in Deutschland von rund 373 Millionen Tonnen in 2010 nehmen mineralische Abfälle mit jährlich rund 230 Millionen Tonnen (62 %) den mit Abstand größten Anteil ein, wobei unter dem Begriff *mineralische Abfälle* auch industrielle Nebenprodukte subsumiert sind. Zu diesen Materialien gehören Rückstände aus industriellen Tätigkeiten (Bau, Rohstoffgewinnung usw.) und thermischen Prozessen, die im Anfallzustand den Abfall- oder Produktstatus besitzen.

Der Massenstrom und die Verwertungsquoten der mineralischen Abfälle gliedern sich gemäß Angaben des Statistischen Bundesamtes [1] und eigener Erhebungen wie folgt auf:



[1)] Kreislaufwirtschaft Bau – Monitoring Bericht 2010, Berlin 2013
[2)] Aschen und Schlacken aus Kraftwerken und anderen Verbrennungsprozessen, Hochofenschlacke, Stahlwerksschlacke usw.: eigene Verbandsumfrage 2009

Bild 1: Aufkommen und Verwertung mineralischer Abfälle

Ein Großteil der Bau- und Abbruchabfälle wird zu Recycling-Baustoffen aufbereitet und vermarktet (2010: rund 55 Millionen Tonnen) [2].

Einen wesentlichen Verwertungsbereich nimmt darüber hinaus die Verfüllung im Rahmen der Rekultivierung von Tagebauen und sonstigen Abgrabungen in einer Größenordnung von etwa 40 % bezogen auf die Gesamtmenge des mineralischen Abfalls.

Mit der in Bild 1 dargestellten Verwertungsquote liegt Deutschland mit weitem Abstand vor den Verwertungszielen der EG-Abfallrahmenrichtlinie [3] für nicht gefährliche Bau- und Abbruchabfälle. Diesem enormen Nutzungspotential tragen auch die umweltpolitischen Zielsetzungen auf europäischer und deutscher Ebene Rechnung.

2. Umweltpolitische Zielsetzungen

Die Europäische Kommission hat sich zum Verwertungspotential von Abfällen und Nebenprodukten in der letzten Zeit bereits mehrfach geäußert:

(…) Das langfristige Ziel besteht darin, die Europäische Union zu einer Gesellschaft mit Kreislaufwirtschaft weiterzuentwickeln, welche die Vermeidung von Abfällen zum Ziel hat und Abfälle als Ressourcen nutzt. (…) Dies wird zur Lösung der derzeitigen Probleme bei der Umsetzung beitragen und die Europäische Union in entscheidender Weise auf die Entwicklung zur ökonomisch und ökologisch effizienten Recyclinggesellschaft ausrichten. [4]

In diesem Zusammenhang werden in der EG-Abfallrahmenrichtlinie Verwertungsquoten bis 2020 für Papier, Metall, Kunststoff und Glas von mindestens 50 Ma.-% und für nicht gefährliche Bau- und Abbruchabfälle von mindestens 70 Ma.-% vorgegeben.

Aber auch das Bundesumweltministerium (BMU) äußerte sich in den letzten Jahren zunehmend zu diesem Thema:

(…) Wir müssen in unserem Umgang mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen erkennen, dass wir (…) nur dann dauerhaft bestehen können, wenn wir mit den Ressourcen rationeller, effektiver und effizienter umgehen als andere. Dies bedeutet zu erkennen, dass die Produkte von heute die Ressourcen von morgen sind. (…) Nur wenn wir verstehen, dass die heutigen Abfälle die ‚Bergwerke der Zukunft' sind, werden wir rechtzeitig innovative Verfahrensweisen und Technologien entwickeln (…). Eine Abfallwirtschaft, die dieses nicht begreift, sondern derartige Stoffe und Gegenstände durch Verbrennen oder Ablagern beseitigt, wird dauerhaft nicht überleben können. (…) [5]

Und weiter:

(…) Das umweltpolitische Ziel der Bundesregierung ist, die Abfall- und Kreislaufwirtschaft in den nächsten Jahren hin zu einer Stoffstromwirtschaft weiterzuentwickeln. Durch konsequente Getrennthaltung von Abfällen, ihre Vorbehandlung durch Recycling oder ihre energetische Nutzung wird angestrebt, die im Abfall gebundenen Stoffe und Materialien vollständig zu nutzen und somit eine Deponierung von Abfällen überflüssig zu machen. [6]

Im August 2008 veröffentlichte das BMU ein Papier mit dem Titel *Ökologische Industriepolitik – Nachhaltige Politik für Innovation, Wachstum und Beschäftigung* [7]. Unter den Überschriften *Ordnungsrecht nutzen* und *Leuchtturm Urban Mining* führt das BMU u.a. Folgendes aus:

(…) Angesichts knapper Rohstoffe wird es in Zukunft immer wichtiger, Abfälle optimal zu nutzen und die Verwertungsquoten zu steigern. (…) Das müssen wir uns auch im Interesse der Umwelt zunutze machen und die Verwertungsquoten erhöhen. (…) Der Wohnbestand von Städten und Gemeinden stellt eine gewaltige Sekundärrohstoffquelle und damit das ‚Materiallager von morgen' dar (Urban Mining). (…) Auch wenn bereits ein großer Teil der Bau- und Abbruchabfälle wiederverwertet wird, bleibt ein hohes Recycling-Potential der Abfälle bisher ungenutzt.

Das Ziel, das hohe Verwertungsniveau für mineralische Abfälle langfristig zu sichern und damit Rohstoffressourcen zu schonen, wurde mit dem *Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess)* [8] nochmals besonders betont. Demnach ist der

Bauwerksbestand auch ein bedeutendes Lager von Rohstoffen, die überwiegend dem Recycling und der Wiederverwertung zugeführt werden sollen.

Vor diesem Hintergrund ist die Erwartungshaltung auch der betroffenen Wirtschaft sehr hoch, dass das BMU entsprechende umweltrechtliche Weichenstellungen vornimmt, um diese anspruchsvollen Zielsetzungen auch im Hinblick auf die bisher erreichten Ziele realisieren zu können.

3. Zweiter Arbeitsentwurf der MantelV vom 31.10.2012

Anfang 2006 begann das BMU unter dem Arbeitstitel *Bundesverwertungsverordnung* bundeseinheitliche Regelungen zur Verwertung mineralischer Abfälle und industrieller Nebenprodukte in Fortsetzung der LAGA-Mitteilung 20 zu erarbeiten. Nach mehreren Workshops und *Zwischenentwürfen* wurde am 06.01.2011 ein 1. Arbeitsentwurf vorgelegt [9].

Ein zweiter Arbeitsentwurf wurde am 31.10.2012 veröffentlicht [10], der wie folgt gegliedert ist:

- Artikel 1: Änderung der Grundwasserverordnung.
- Artikel 2: Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke (Ersatzbaustoffverordnung – ErsatzbaustoffV).
- Artikel 3: Änderung der Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV)
- Artikel 4: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), Neufassung.

Mit diesem Entwurf der MantelV wird nochmals deutlich gemacht, dass zwischen der Verwertung von Ersatzbaustoffen (mineralischen Abfällen und industriellen Nebenprodukten) im Rahmen der EBV auch die Regelungen des Boden- und Grundwasserschutzes zu beachten sind und damit eine enge rechtliche Verzahnung der Artikel 1, 2 und 4 existiert. Diese *enge Verzahnung* ist im nachfolgenden Bild 2 detailliert dargestellt.

Bereits an dieser Stelle sei angemerkt, dass die betroffenen Wirtschaftsbranchen bundeseinheitliche Regelungen zur Verwertung mineralischer Abfälle begrüßen, die auch den Boden- und Grundwasserschutz angemessen berücksichtigen. Auch der Wegfall der wasserrechtlichen Erlaubnis bei Einhaltung der Anforderungen der EBV und der BBodSchV stößt auf ungeteilte Zustimmung. Wesentliche Voraussetzung für die Akzeptanz dieser neuen Verordnungen ist allerdings, dass diese praktikable Regelungen beinhalten, die auch den Grundsatz der Verhältnismäßigkeit beachten.

Nachfolgend werden wesentliche Aspekte der einzelnen Regelungsbereiche näher erläutert, bevor abschließend auf die Betroffenheit der Wirtschaft eingegangen wird.

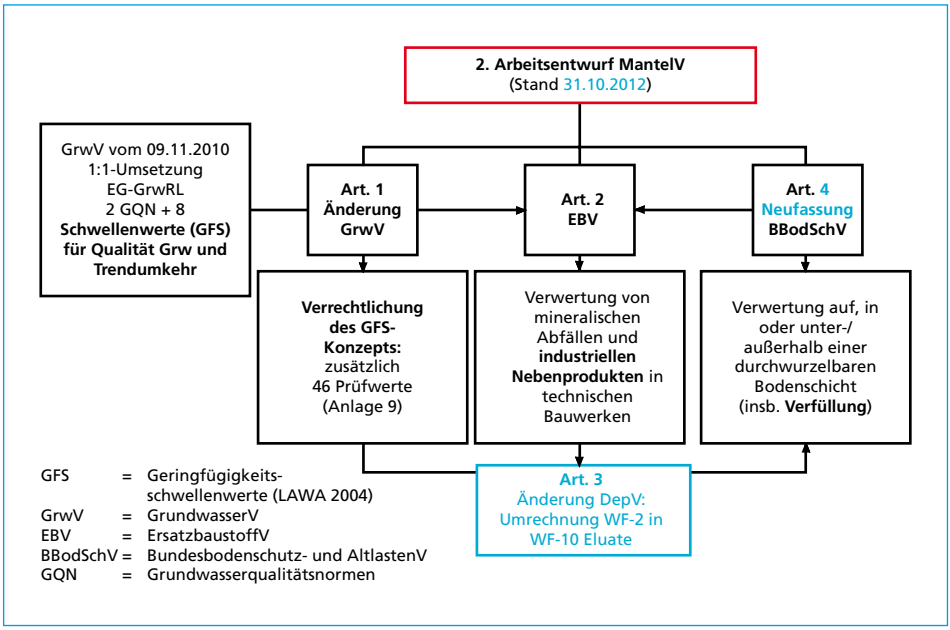


Bild 2: Regelungsbereiche zur Verwertung mineralischer Abfälle und Nebenprodukte (blau: Änderungen im Vergleich zum 1. Arbeitsentwurf vom 06.01.2011)

3.1. Regelungskonzept der GrwV

Mit der novellierten GrwV vom 09.11.2010 [11] wurde die EG-Grundwasserrichtlinie weitgehend 1:1 umgesetzt. Insbesondere wurden im Hinblick auf die Bewertung der Grundwasserqualität 10 Schwellenwerte festgelegt – Einhaltung der Schwellenwerte **im Grundwasser** – entweder aufgrund öko- bzw. humantoxikologischer Wirkungen (2 Grundwasserqualitätsnormen für Nitrat und Pflanzenschutzmittel sowie 5 Schwellenwerte für Arsen, Cadmium, Blei, Quecksilber und Summe aus Tri- und Tetrachlorethen) oder aufgrund der Trinkwasserverordnung (Indikatorparameter für Ammonium, Chlorid und Sulfat). Darüber hinaus wurde in § 10 eine *Trendregelung* dahin gehend festgelegt, dass bei Erreichen von 75 % eines Schwellenwertes im Grundwasser die Behörde Maßnahmen zur Trendumkehr anordnet.

Obwohl diese GrwV erst am 15.11.2010 im BGBl veröffentlicht wurde, legte das BMU nun mit dem 1. und 2. Arbeitsentwurf der MantelV bereits eine weitere Änderung dieser GrwV vor, in der in einem neuen § 13 a insbesondere **die Begrenzung der Schadstoffeinträge in das Grundwasser geregelt** wird. Hierzu wird der Ort der Beurteilung zur Einhaltung neu definierter Prüfwerte wie folgt definiert: *beim Eintritt der Stoffe in das Grundwasser*. Darüber hinaus werden einige in der GrwV vom 09.11.2010 aufgeführte Schwellenwerte nochmals unter Einbeziehung der Umweltqualitätsnormen für Oberflächenwasser verschärft (Blei von 10 auf 7 µg/L, Cadmium von 0,5 µg/L auf 0,25 µg/L und Quecksilber von 0,2 auf 0,05 µg/L), und es werden die von der LAWA

abgeleiteten GFS-Werte [13] als 46 (!) Prüfwerte in Anlage 9 bis auf wenige Ausnahmen verrechtlicht. Von 22 Prüfwerten für anorganische Parameter liegen 15 unterhalb der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung [14] oder sind dort wegen mangelnder Relevanz nicht geregelt. Dasselbe gilt für 15 der 24 Prüfwerte für organische Parameter. Darüber hinaus enthält der vorgelegte Entwurf eine Hintergrundwerteregelung sowie eine Sonderregelung bei Verwendung von Bauprodukten im Grundwasser.

Wenngleich sich der Entwurf der GrwV auf das **Einbringen und Einleiten von Stoffen in das Grundwasser** (*echte Benutzung*) bezieht, werden diese Prüfwerte auch auf die Regelungen der EBV und der BBodSchV übertragen (*unechte Benutzung* – kein (direktes) Einbringen oder Einleiten von Stoffen). Es ist somit fragwürdig, ob und inwieweit die vorgeschlagenen Regelungen in Artikel 1 auch Rahmenbedingungen für die Ableitung von Materialwerten und Einbauweisen gemäß EBV bzw. Prüfwerten für die Verfüllung gemäß BBodSchV (siehe unten) sein können. Positiv zu bewerten ist, dass bei Einhaltung der Prüfwerte eine wasserrechtliche Erlaubnis nicht erforderlich ist.

3.2. Wesentliche Regelungen der EBV

Die Anforderungen der EBV gelten für die Verwendung von mineralischen Abfällen und Nebenprodukten in technischen Bauwerken. Hierzu gehören insbesondere Straßen, Schienenverkehrswege, Ober- und Unterbau von Industrie- und Gewerbeflächen, Baugruben und Erdbaumaßnahmen, wie Lärm- und Sichtschutzwälle sowie Deiche. Der 2. Arbeitsentwurf wurde neu strukturiert:

- Abschnitt 1: Allgemeine Bestimmungen (u.a. Begriffsdefinitionen, EBV gilt auch für Inverkehrbringer und Beförderer)
- Abschnitt 2: Herstellen (Materialwerte) und Inverkehrbringen (u.a. Eignungsnachweis Anlage und Güteüberwachung) mit Unterabschnitt 3: Regelungen zu **Nebenprodukten und Ende der Abfalleigenschaft** mit Bezug auf § 4 Abs. 1 und § 5 Abs. 1 KrWG und Festlegung bestimmter Stoffklassen 0 und 1.
- Abschnitt 3: Einbau (Einbautabellen)
- Abschnitt 4: Gemeinsame Bestimmungen (u.a. Lieferschein).

Die vorgesehenen Regelungen in der EBV, bei deren Einhaltung die wasserrechtliche Erlaubnis entfällt, unterscheiden sich zu den bisherigen Regelungen der LAGA-Mitteilung 20 (1997) [12] insbesondere in folgenden Punkten:

- Stoffspezifische Materialwerte (nur Eluat) für diverse Typen von mineralischen Abfällen und Nebenprodukten, wie Recycling(RC)-Baustoffe, HMV-Aschen (Schlacken), Aschen aus Kohlekraftwerken, Gießereirückstände und Rückstände aus der Eisenhüttenindustrie (wesentliche Erweiterung der Stoffpalette). Eine Reihe der Stoffe wird abhängig von ihrem Schadstoffinventar nochmals in einzelne Unterklassen eingeteilt, wie z. B. bei den RC-Baustoffen: RC-1, RC-2 und RC-3.

- Für Bodenmaterial wurden darüber hinaus auch Materialwerte für Feststoffkonzentrationen festgelegt.
- Einführung eines neuen Elutionsverfahrens: Statt der bisher in der LAGA Mitteilung 20 und auch im Deponierecht verwendeten Schüttelelution (DEV S 4 = DIN EN 12457-4) mit einem Wasser-/Feststoff-Verhältnis von 10:1 soll ein Säulen-Elutionsverfahren (DIN 19528) oder alternativ ein Schüttel-Elutionsverfahren (DIN 19529) mit einem jeweiligen Wasser-/Feststoff-Verhältnis von 2:1 angewendet werden.

  Die Ableitung der stoffspezifischen Materialwerte beruht auf diesen neuen Elutionsverfahren. Daher sind bisher gewonnene langjährige Erfahrungen des Elutionsverhaltens von mineralischen Abfällen, die mit dem S4-Verfahren gewonnen wurden, nicht mehr nutzbar.
- In zahlreichen Einbautabellen werden unterschiedliche Verwertungsmöglichkeiten (Einbauweisen) für die diversen Typen von mineralischen Abfällen und Nebenprodukten festgelegt (24 bzw. 26 Einbauweisen für 44 Stoffklassen).

Eine Übersicht über die vorgesehenen Materialwerte für ausgewählte Stoffe enthält Tabelle 1.

Ausgenommen von den vorgesehenen Regelungen der Verordnungsentwürfe sind insbesondere deponie- und bergrechtliche Anwendungsfälle, wie die Wiedernutzbarmachung von Halden des Kali- und Steinkohlebergbaus.

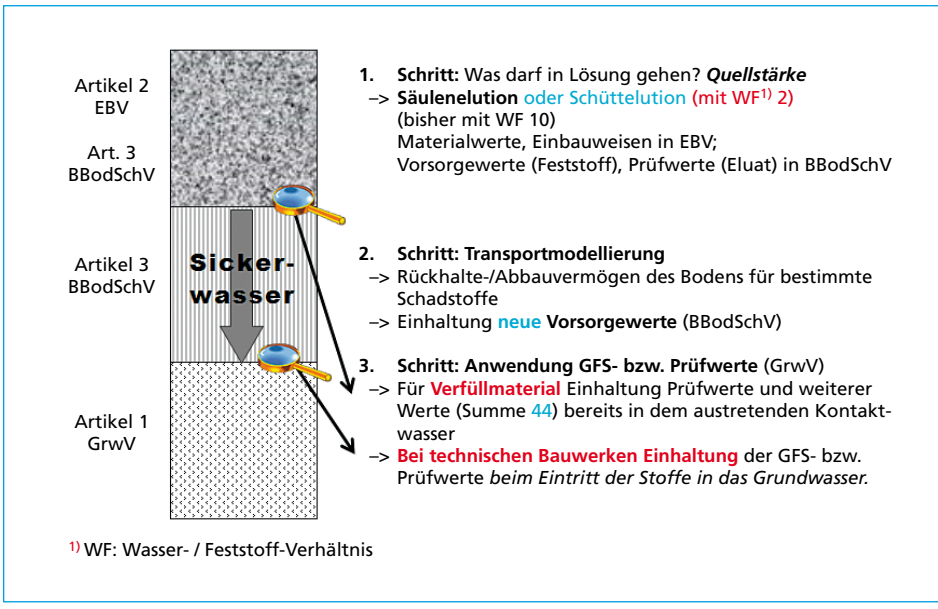


Bild 3: Rahmenbedingungen für die Verwertung von mineralischen Abfällen und Nebenprodukten (2. Arbeitsentwurf der MantelV vom 31.10.2012, blau: Vergleich mit 1. Arbeitsentwurf)

Wie Bild 3 zu entnehmen ist, steht im Mittelpunkt bei der Ableitung der Materialwerte und der Einsatzmöglichkeiten der mineralischen Ersatzbaustoffe in technischen Bauwerken sowie der Verfüllung nach Bodenschutzrecht (s.u.) der Boden- und Grundwasserschutz. Hinsichtlich des Bodenschutzes ist bei der Ableitung der Rahmenbedingungen für die EBV zu beachten, dass durch den teilweisen Schadstoffrückhalt im Boden bei Durchdringung des Sickerwassers die Vorsorgewerte des Bodens mit einem hinreichenden Sicherheitsabstand nicht überschritten werden dürfen. Im Hinblick auf den Grundwasserschutz ist als wesentliche Bedingung zu beachten, dass die insbesondere auf den von der LAWA in 2004 abgeleiteten Geringfügigkeitsschwellenwerten (GFS) [13] beruhenden Prüfwerte des Entwurfs der GrwV beim Eintritt des Sickerwassers in das Grundwasser nicht überschritten werden.

Tabelle 1: Materialwerte (EBV) für ausgewählte Stoffe (schwarz gemäß 1. Arbeitsentwurf, rote Änderungen gemäß 2. Arbeitsentwurf)

Ersatzbaustoff Parameter	Dim.	HOS-1	HOS-2	HS	SWS-1	SWS-2	SWS-3	HMVA-1	HMVA-2
pH-Wert		9-12	9-12	9-12	9-13	9-13	9-13	7-13	7-13
el. Leitfähigk.	µS/cm	5.000	7.000	4.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Chlorid	mg/l	–	–	–	–	–	–	3.000	3.000
Sulfat	mg/l	1.250 [1)] 1.300	3.750 [1)] 3.800	250 350	–	–	–	– 2.000	– 2.000
Fluorid	mg/l	–	–	–	1,1	2	4	–	–
DOC	mg/l	–	–	–	–	–	–	–	–
PAK15	µg/l	–	–	–	–	–	–	–	–
PAK16	mg/kg	–	–	–	–	–	–	–	–
Phenolindex	µg/l	–	–	–	–	–	–	–	–
Antimon	µg/l	–	–	–	–	–	–	55 57	150 –
Arsen	µg/l	–	–	–	–	–	–	–	–
Blei	µg/l	–	–	–	–	–	–	–	–
Cadmium	µg/l	–	–	–	–	–	–	–	–
Chrom, ges.	µg/l	–	–	–	115 110	175 140	250	460	600
Kupfer	µg/l	–	–	–	–	–	–	850 1.000	2.000
Molybdän	µg/l	–	–	–	55	220	1.000	400	1.000
Nickel	µg/l	–	–	–	–	–	–	–	–
Vanadium	µg/l	–	–	65	130 180	355 300	1.000	150	200
Zink	µg/l	–	–	–	–	–	–	–	–

HOS = Hochofenschlacke; HS = Hüttensand; SWS = Stahlwerksschlacke; HMVA = Hausmüllverbrennungsasche

[1)] Summe aus Sulfat- und Thiosulfatschwefel; bestimmt als Gesamtschwefel, umgerechnet in Sulfat.

Quellen:

BMU: 1. Arbeitsentwurf (Stand 06.01.2011) Verordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen und das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzbaustoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material – Mantelverordnung

BMU: 2. Arbeitsentwurf (Stand 31.10.2012) Verordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen und das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzbaustoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material – Mantelverordnung (rot)

Wie in Tabelle 1 zu sehen ist, sind die vorgenommenen Änderungen im 2. Arbeitsentwurf im Vergleich zum 1. Arbeitsentwurf nur marginal.

3.3. Änderung der Deponieverordnung (DepV)

Neu im Vergleich zum 1. Arbeitsentwurf ist der Artikel 3 mit einer *Überleitungsregelung* für Materialien, die gemäß EBV oder BBodSchV untersucht wurden und deren Eigenschaften eine Verwertung im Rahmen der MantelV nicht zulassen. Für diese Fälle werden Umrechnungsfaktoren vom Wasser-/Feststoffverhältnis WF2 in WF10 gemäß DepV festgelegt, um neue Untersuchungen nach den Vorgaben der DepV zu vermeiden.

3.4. Regelungskonzept der BBodSchV

Da die in Artikel 4 vorgesehene Neufassung der BBodSchV äußerst umfassend ist, werden nachfolgend nur die Änderungen im Hinblick auf die Verwertung von mineralischen Abfällen und industriellen Nebenprodukten im Rahmen der Rekultivierung von Tagebauen und Abgrabungen (Verfüllung) erläutert und kommentiert.

Die Neufassung der BBodSchV bezieht sich in Artikel 4 u. a. wie die GrwV auf § 48 Abs. 1 Satz 2 WHG, d.h. die Begrenzung des Schadstoffeintrages bei der *echten Benutzung*. Diesbezüglich wird auf die Anmerkungen in Abschnitt 3.1 verwiesen. Die Verwertung von mineralischen Abfällen im Rahmen der BBodSchV wird nicht nur begrenzt auf Bodenmaterial, sondern erweitert auf Ersatzbaustoffe gemäß EBV. Als Ort der Beurteilung zur Einhaltung der spezifischen Prüfwerte wird für den Pfad *Boden/Grundwasser* der *Übergangsbereich von der wasserungesättigten zur wassergesättigten Zone* definiert. Dieser Ort der Beurteilung unterscheidet sich allerdings zumindest verbal zu dem in der GrwV definierten Ort.

Wesentliche Regelungen zur Verwertung von mineralischen Abfällen sind im Abschnitt 2 *Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen* aufgeführt. Wie in der bisher gültigen Fassung der BBodSchV von 1999 ist einer der Schwerpunkte die Besorgnis schädlicher Bodenveränderungen und Vorsorgeanforderungen (§§ 3 und 4 i. V. m. Anlage 1 Tab. 1a, 1b und 2). Neu hinzugekommen sind darüber hinaus allgemeine Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden gemäß § 6 sowie detaillierte Regelungen zur Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht und zur Verfüllung von Tagebauen und anderen Abgrabungen (§§ 7 und 8 i. V. m. Anlage 1, Tabelle 4 und 5).

3.4.1. Vorsorgeanforderungen

Der Parameterkatalog für die Vorsorgewerte gemäß Tab. 1a, 1b und 2 der Anlage 1 wurde von 7 auf 14 verdoppelt. Folgende Vorsorgeparameter wurden zusätzlich aufgenommen: Antimon, Arsen, Cobalt, Molybdän, Selen, Thallium und Vanadium. Die aufgeführten Vorsorgewerte werden wie bisher differenziert nach den Bodenarten Sand, Lehm/Schluff, Ton und als Feststoffwerte in mg/kg Trockenmasse angegeben.

Bisherige Vorsorgewerte wurden mit Ausnahme von Quecksilber (Hg) nicht verändert. Für Hg wurden die Werte für Lehm/Schluff und Ton von 0,5 bzw. 1,0 mg/kg auf jeweils 0,3 mg/kg reduziert.

3.4.2. Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden

Wie bereits erwähnt, enthält die Neufassung der BBodSchV umfassende neue Anforderungen zu diesem Themenkomplex. In § 6 (Allgemeine Anforderungen) wird die Zulässigkeit des Auf- und Einbringens von Materialien auf oder in den Boden beschrieben. Diese trifft zu, wenn u. a. bestimmte Bodenfunktionen gemäß § 2 BBodSchG nachhaltig gesichert oder wieder hergestellt werden. Darüber hinaus enthält § 6 erhebliche Restriktionen für bestimmte Flächen (Natura 2000, Naturparke, Biosphärenreservate usw.). Ausnahmen müssen ausdrücklich behördlich genehmigt werden.

Die in **§ 7** aufgeführten zusätzlichen Anforderungen an das Auf- oder Einbringen **auf oder in eine durchwurzelbare Bodenschicht** schränken die Verwendung mineralischer Abfälle auf Bodenmaterial, Gemische von Bodenmaterial und bestimmten Abfällen gemäß § 11 KrWG und Baggergut ein. Demnach ist das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen nicht zu besorgen, wenn die Vorsorgewerte eingehalten werden und das Material keine mineralischen Fremdbestandteile enthält. Bei der landwirtschaftlichen Folgenutzung dürfen die Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser und 70 % der Vorsorgewerte nicht überschritten werden.

Spezifische Anforderungen an die **Verfüllung** im Rahmen von Rekultivierungen für Tagebaue und sonstige Abgrabungen enthält **§ 8** *Zusätzliche Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Material* ***unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht***. Besondere Bedeutung erlangen diese Regelungen vor dem Hintergrund, dass bisher ein Großteil mineralischer Abfälle, insbesondere Boden und Steine, als Verfüllmaterial verwertet wurde.

Bei Überschreiten einer Mächtigkeit der Verfüllung von zwei (1. Arbeitsentwurf: drei) Metern Höhe ist eine vorherige Genehmigung durch die zuständige Behörde erforderlich. Einzuhalten sind darüber hinaus:

- der TOC von 1 Ma.-% (mit spezieller Ausnahmeregelung bis maximal 6 Ma.-%),
- die doppelten Vorsorgewerte gemäß Anlage 1, Tabellen 1a, 1b und 2,
- die Prüfwerte (Eluatwerte) Boden-Grundwasser gemäß Anlage 1, Tabellen 4 u. 5.

Die Gegenüberstellung der vorgesehenen Prüfwerte für Verfüllmaterial gemäß 2. Arbeitsentwurf mit dem Entwurf GrwV zeigt zunächst, dass einige Prüfwerte für Verfüllmaterialien (rot) gegenüber den Prüfwerten der GrwV-E erhöht wurden. Diese Korrektur beruht auf der Tatsache, dass die BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [16] Anfang 2010 einen Untersuchungsbericht veröffentlichte, in dem als wesentliches Ergebnis festgehalten wurde, dass selbst anthropogen unbeeinflusste natürliche Böden die Geringfügigkeitsschwellenwerte bzw. vorgesehenen Prüfwerte der GrwV nicht einhalten. Aus diesem Grund wurden die entsprechenden 95 Perzentil-

Werte aus dieser BGR-Veröffentlichung für die entsprechenden Parameter übernommen. Ansonsten bedeutet dies jedoch, dass das aus dem Verfüllmaterial austretende Kontaktwasser die Prüfwerte der GrwV-E bzw. deren Korrekturen einhalten muss und somit die zwischen der *Unterkante* des Verfüllmaterials und dem Grundwasserleiter befindliche Bodenschicht mit ihrem Rückhaltevermögen für Schadstoffe abhängig von der Bodenart unberücksichtigt bleibt. Somit gelten diese vorgesehenen Regelungen streng genommen eigentlich nur für die Verfüllung von Nassabgrabungen.

Ein weiterer Vergleich mit den Prüfwerten der BBodSchV von 1999 zeigt eine zum Teil massive Verschärfung (z. B. Quecksilber um den Faktor 20), wobei teilweise die Prüfwerte unter den Grenzwerten der TrinkwV liegen bzw. dort wegen mangelnder Relevanz gar nicht geregelt sind.

Als Elutionsverfahren werden die Säulen- bzw. Schüttelelution gemäß DIN 19528 bzw. 19529 zugrunde gelegt, jeweils mit einem Wasser-/Feststoffverhältnis von 2:1. Eine Eluatuntersuchung ist nicht erforderlich, wenn Bodenmaterial die Vorsorgewerte einhält und keine mineralischen Fremdbestandteile enthält.

Tabelle 2: Prüfwerte Boden – Grundwasser für anorganische Stoffe in Eluaten und Perkolaten zur Beurteilung von Materialien zur Verfüllung

Anorganische Stoffe	Prüfwert µg/l			Grenz- bzw. Indikatorwert Trinkwasser-verordnung[1)]
	Humusgehalt < 1 %	GrwV-E	BBodSchV 1999	
Antimon	5	5	10	5
Arsen	10	10	10	10
Barium	340	340	–	–
Blei	23	7	25	10
Bor	740	740	–	1.000
Cadmium	2,0	0,25	5	3
Chrom (III)	10	7	50	50
Kobalt	26	8	50	–
Kupfer	20	14	50	(2.000)
Molybdän	35	35	50	–
Nickel	20	20	50	20
Quecksilber	0,05	0,05	1	1
Selen	7	7	10	10
Thallium	0,8	0,8	–	–
Vanadium	20	[4]	–	–
Zink	100	58	500	–
Cyanid, gesamt	50	50	50	50
Cyanid, leicht freisetzbar	5	5	10	–
Fluorid	750	750	750	1.500
Chlorid	250.000	250.000	–	250.000
Sulfat	250.000	250.000	–	240.000

[1)] Quelle: Trinkwasserverordnung i.d.F. vom 03.05.2011, BGBl. Jahrgang 2011, Teil I Nr. 21

Schlagwortverzeichnis

A

Abfallanalysendatenbank ABANDA 66
Abfallbehandlung
  thermische 423
Abfälle
  mineralische 3, 44
Abfall oder Nebenprodukt 23
Abfallverbrennung
  Rückstände 33
Abfallverbrennungsschlacken-
    aufbereitung 344
Abfallverwertung
  vollständige 175
Abfallzusammensetzung 287
Abgasreinigungsrückstände 377, 678
Abgasrückführung
    in den Feuerraum 180
Abrasionsschutz 329
Abschlämmung
    der nassen Abgasreinigung 126
Alinitzement 170
AlSAG-Novelle 22
Alterung der Schlacke 121
Alterungsvorgänge 106
Aluminium
  Reststoffentstehung beim Recycling 617
Aluminiumkrätzen 621
Aluminiumproduktion 616
Aluminium-Sekundärindustrie 615
ARS Schmelzbalkenverfahren 244
Asche 90
Aschealterung 444
Ascheinertisierungsverfahren 441
Aschepellets 195
Ascheverglasung 189
ASH DEC-Verfahren 189
Aufbereitung 98
  nass-chemische 349
  nass-mechanische 348
  trocken-mechanische 346
  von MVA-Rostasche 300
    weitergehende 113
Aufschluss 297
Ausbrand 330
Auslaugungsverhalten 195

B

Babcock-Brennschmelzverfahren 246
Bamberger Schlackewäsche 141
Bandtrockner 192
Bauabfälle 44
Bauprodukt 665
Bauproduktenrecht 661
Baustoffe
  aus Stahlwerksschlacken 541
Berggesetz 95
Bergrecht 95
Beton 412
Betonzusatzstoff 673
Betriebsplanpflicht 95
Big-Bag-Versatz 684
Bilanzierungsmodell 288
Bindemittel 147, 445
Biolaugung 305
Bioleaching
  von Schwermetallen 555
Bodenschutz 3
Brand- und Temperaturüberwachung 328
Brennbetttemperatur 180, 425
  Bestimmung 426
Bundes-Bodenschutz- und
    Altlastenverordnung 6

C

Carbstone-Prozess 549
Chrom
  humantoxikologische Relevanz 528
  Umweltrelevanz 528
Chrom VI 536
Cladding 177
Cormin-Schmelzzyklonverfahren 252

D

Decarbonisierung 286
Deglor-Schmelzverfahren 240
Deponierung 535
Deponieschlacke
  Rückgewinnung von Kobalt 608
Deutsches Einheitsverfahren S4
    (DEV S4) 95

Dichtesortierung 304, 454
Dickstoffversatz 685
Dioxine und Furane 177
Dioxinzerstörung 134, 177
Direktversatz 684
Drehrohrofen 193
Druckwechseladsorptions-
Luftzerlegungsanlage 183
Durchschlagsfestigkeit
elektrische 355

E

Edelstahlschlacke 459, 541, 548
Aufbereitung 565
Effizienz
stoffliche 496
Einbindemechanismen 147
Einblasanlagen
metallurgische 507
Eindampfrückstand 91
Eisenbadreaktor 60
Eisenhüttenschlacken
Recycling 465
technisch-ökonomische Analyse 467
Electric Arc Furnace 593
Elektrofilterstaub 166
Elektrofilterstaubwäsche 122
Elektrolichtbogenofen 491
Elektrolichtbogenofenstaub 589
Elektroofenschlacke 23, 31, 49, 451, 499
Aufbereitung 501
Elektrostahl 495
Elektrostahlwerk 485
Elektrostriktion 355
EloMelt-Verfahren 231
Eluatgrenzwerte 178
Eluatverhalten 131, 176
Elutionstest 154
Ende der Abfalleigenschaft 8
Energiebedarf 488
Energieeffizienz 488
am Elektrolichtbogenofen 490
Energiemanagement 487
Entladung
elektrische 356
Entschlackungskanal 325
Ersatzbaustoffe 65
Einsatz in Bayern 43
Ersatzbaustoff-Verordnung 6, 43, 65, 68
Ersatzbrennstoff 437
Extraktion der Flugstäube 125

F

Fernwärmeauskopplung 183
Feuerfestausbruch
beim Recycling von Aluminium 634
Feuerungsregelung
infrarotkamerageführte 175
Filteraschen 90
Metallrückgewinnung 377
Filterstäube 36, 90, 632, 678
aus Stahlwerken 31
Einblasen in den Lichtbogenofen 519
Extraktion 384
Metallrückgewinnung 377
Recycling 507, 516
Rückführung in den Elektroofen 516
Filterstaub-Reaktionsprodukt-Gemisch 91
Flammofenschlacke 609
Flotation 302
Flugasche 90, 187
Behandlung 132
Flugaschemenge 180
Flugaschenwäsche 129
saure 123, 384
Flugascherückführung 177, 181, 187
sensorgesteuerte 180
Flugstäube 90, 129
Extraktion 125
Flugstaubbehandlung 124
Flugstaubentsorgung
Integration in den
Verbrennungsprozess 175
Flugstaubrückführung 181
Flugstaubwäsche
integrierte 129
saure 123, 384
Flug- und Filterasche
Kontamination 440
FLUREC-Verfahren 377
FosMelt-Verfahren 251
Fragmentierung
elektrodynamische 353
Frühfestigkeit 174
Füllerprodukt 547

G

Gefährlichkeit
abfallrechtliche Bewertung 72
Geländemodell
digitales 644
Gesundheitsschutz-Bergverordnung 679
Glasindustrie 371
Glasphasen
amorphe 102
globaler Materialaufwand
(GMA) 302
Glühverlust 177
Granulat 175
Granulatqualität 177
Granulierung 445
Grundwasser- und Bodenschutz 3
Grundwasserverordnung 6

H

Haldenanalyse
optische Fernerkundungsmethoden 651
Haldendetektion 648
Handsortierstation 406
Hausmüllverbrennungsaschen und
-schlacken 49
Heißlufttrockner 192
Hochintensitäts-Magnettrommeln 408
Hochofenschlacke 22, 451, 542
Hochtemperaturbehandlung
von Verbrennungsrückständen 197
Hohlelektrode-Schmelz-System (HES) 232
HSR-Verfahren 242
Hüttenhalden 639
Hydrothermalverfahren 306
Hydroxidfällung 125
Hydroxidschlamm 125

I

Immobilisierung 146
der Schwermetalle 121
Induktionsofen 593
Industrieschlacken 613
Industriestrompreise 505
Inertisierung
von Aschen/Schlacken
aus der Rostfeuerung 423
Inertstoffqualität 197
Intensivmischung 443

K

Kalzinierung 446
Kavernen 681
Kehrichtschlacke
Aufbereitung 312
Kerzenfilter 125
Kesselanlagen 437
Kesselasche 187
Kesselascherückführung 187
Kippdrehtrommelofen 608
Klärschlammverbrennung
Rückstände 39
Kobalt 599
Rückgewinnung aus Schlacke 610
Kohleflugasche 40
Kohlenstoff
unverbrannter 177
Konverterschlacke 542
Kraftwerke
Rückstände 40
Krätzen 620
Krätzenaufbereitung 621
Krätzenstaub 624
Krupp MAK Plasmaschmelzverfahren 218
Kupfer 599
Kupferrückgewinnung
aus Schlacken 601
Kupferschlacke 612
KVA Emmenspitz 125
Massenbilanz 129
KVA KEZO in Hinwil 36
KVA Monthey 325
KVA-Schlacke 33, 311

L

Langzeitbeständigkeit 160
Laugung 351, 625
LD-Schlacken 23, 523
LD-Stahlwerksschlacken 542
Liquidusfläche 591
Luftsetzmaschine 457
Luftstrom-Walzenschüsselmühle
vertikale 546
Luftzerlegungsanlage 183

M

Magnetit 289
Magnettrommelscheider 408
Mantelverordnung 3, 50
Marktstrukturen 284
Matrix
  silikatische 190
  vitrokristalline 91
Metallausbeute
  aus Rostaschen 302
Metallbad 590
  reduzierendes 587
Metalle
  Potenzial in Stäuben 55
  Potenzial in Rückständen
    aus der Abfallverbrennung 281
Metallrückgewinnung
  aus Rückständen 297
  aus Filterstäuben 377
  aus Flugstäuben 123
  aus MVA-Schlacken 311, 345
  aus trocken ausgetragenen
    MVA-Schlacken 323
Metallsensor-Sortiermaschinen 407
Metallurgie
  Verwertung von Rückständen 30
metallurgische Industrie
  in der Schweiz 30
Mietenlaugung 562
Mobilitätsverhalten 154
MVA
  Arnoldstein 180, 183
  Bamberg 141, 167
  Bielefeld-Herford 135
  Emmenspitz
    Massenbilanz 129
MVA-Schlacken 289, 419
  Aufbereitung 399
    nass-mechanische 180
  Kupferrückgewinnung 341
  Zerlegung 353
  Zusammensetzung 298

N

Nachzerkleinerungsstufe 584
Nassaustrag 403
Nassentschlacker 176, 184, 403
Nassentschlackung 424, 434
Natriumbicarbonat 367
Nebenprodukt 8, 22, 665
Nichteisenmetallurgie 599
Nichteisenmetalle
  Abtrennung 301
  Rückgewinnung 399
Noventax-Verfahren 220

O

Oxidationsprozess
  des Eisens 289

P

Pelletieraggregat 191
Pellets 144
Pflugscharmischer 150, 166
Phosphat
  Rückgewinnung 555
    aus Klärschlamm 40
Phosphatanreicherung
  biologische 556
pH-Stat-Test 154
Plasmox-Verfahren 220
Prallbrecher 574, 577
Prallmühlen 301
Primärabfälle 89
Primär-Verbrennungsluft
  sauerstoffangereicherte 175, 180
Prozessdampfauskopplung 183

Q

Qualitätskriterien für Inertstoffe 177
Quecksilber 130
  selektive Abscheidung 125
  Senke 134

R

RC-Leitfaden 45
Reaktionsprodukt 91
Recycling-Baustoffe 8, 45
Recyclingbaustoffverordnung
  österreichische 21
Recyclingplanung
  für Eisenhüttenschlacken 475
  operative 467
Recyclingraten 282
RedMelt-Verfahren 228

Reduktion
auf einem Metallbad 590
Reflexionsspektrometrie 652
Ressourceneffizienz 5, 411
Ressourcenkataster
für Hüttenhalden 639
multiskalares 640
Ressourcenmanagement 485
Reststoffbehandlung
integrierte 128
Rohstahlerzeugung 499
Rohstoffreserven 283
Rostdurchfall 90
Rostfeuerungsanlagen 424
Rotorprallmühle 576
Rotorschleuderbrecher 575
Rotorshredder 572
Rückführung
der Filterstäube 188
unvollständig gesinterter
Rostaschefraktionen 180
Rückschubrost 180
Rührkesselkaskade 125
Rührreaktortechnologie 607

S

Salze
leicht wasserlösliche 132
Salzschlacken 626
Aufarbeitung 629
Satellitenfernerkundung
multispektrale 652
Sauerstoffanreicherung der Primärluft 176
Schadstoffeinbindung 198
Schlacken 8, 90
metallurgische 451
aus der Eisen- und
Stahlerzeugung 22, 451
Bewertung 68
Schlacken
-Alterung 115
-Analysen 65
-Aufbereitung 335, 452, 542
nass-mechanische 177, 180, 186
-Deponie 609
-Feinfraktion 187
Rückführung 176
-Granulat 112, 188
-Inertisierung 424
-Qualität 65, 427, 434
-Verwertung 178
-Volumen
Reduzierung 354
-Wäsche
integrierte 142
nachgeschaltete 142
-Zusammensetzung 101
Schlacken-Novelle zum AlSAG 24
Schlacke-Reststoff-Additiv-Verfahren 167
Schmelze 112, 197
Schmelzen in reduzierender Atmosphäre 201
Schmelzverfahren 98
Beurteilung 254
Schnellkarbonatisierung 161
Schüttelelution 68
Schüttgutversatz 684
Schweizerische Technische Verordnung
über Abfälle (TVA) 29
Schwermetallelution 180
Schwermetallverbindungen 299
Sekundärabfallbehandlungsverfahren 96
Sekundärabfälle 89
aus der Abfallverbrennung
Entsorgung 79
Quantität und Qualität 91
Sekundäraluminium 617
Sekundärbaustoffe 113
Sekundärmetallurgie 371
Sekundärrohstoffe
Eisatzmöglichkeiten 412
mineralische 411
Selektiv-Ionentauscher 125
Setzmaschine 305
Sieb-Waschtrommel 182
Sinterung 98, 180
Sinterungsprozesse 426
Sinterungsverhalten
von Rostschlacken 425
Solventextraktion 387
Sorptionsschlamm 166
Sortieruntersuchungen 287
Speicherminerale 106
Sprühtrockner 91
Spülversatz 685
Stahlindustrie
Energie-Effizienzindikator 494
Stahlwerksschlacken 23, 523
Bedeutung als Rohstoffreserve 26
Qualitätsoptimierung 507
trockene Aufbereitung 546

Stahlwerksstäube
in Österreich 588
Rückgewinnung von Wertmetallen 587
Stapelversatz 684
Starkfeldmagnetscheidung 454
Stäube
aus der Abfallverbrennung 58
aus der Eisen- und Stahlerzeugung 57
aus der Nichteisenmetallurgie 58
aus dem Aluminiumrecycling 631
Steinkohlenflugasche
zertifizierte 661
Stranggießmaschine 487
Sturzversatz 686
Syncom-Plus-Granulat 178
Syncom-Plus-Verfahren 176, 430
Massenbilanz 181, 188
Syncom-Verfahren 180, 428

T

Tauchlanzenverfahren 507
TBA Arnoldstein 183
Tertiärabfälle 89
Tonerdeschmelz-Zement 121
Top Blown Rotary Converter 592
Trockenentschlackung 324, 403, 424, 434
mit integrierter Entstaubung 327
Trockenverfahren zur Abgasreinigung 367
Trommelcoater 192

U

Umweltverträglichkeit 27
Untertagedeponien 681
Untertageversatz 677
Urban Mining 293

V

Vakuumbandfilter 125
Verbrennungsregelung
infrarot-kamerageführte 180
Verdampfungspunkt 190
Verfestigung
karbonatisierende 552
mit Zement 121
Verfestigungsverfahren 98, 147
Verfügbarkeitstest 154
Verfüllung 17
Vergasung 417
Verglasung 112
Versatzbergwerke 681
Versatzverordnung 679
Versinterung 293
Vertikalmühle 546

W

Wäscherabschlämmung 125
Waschverfahren 98
Wasserlagerungstest 160
Wertmetallverschlackung 601
Wertschöpfung 336
Wertstoffrückgewinnung
aus Hüttenhalden 639
aus Stäuben 61
Windsichter 326
Wirbelschicht
zirkulierende 417, 438
Wirbelschichtsortierer 458
Wirbelstromscheider 405, 408
Wirbelstromtechnik 301
Wirkungsgrad
energetischer 175

Z

Zement
-herstellungsprozess 414
-industrie 411
-klinker 415
-matrix 148
Zementierung 386
Zementwerk Rüdersdorf 417
Zerkleinerungstechnik 571
Zink 125
mit hoher Reinheit 379
Zinkelektrolyse 390
Zinkgewinnung 125
Zinkoxidqualitäten 595
Zwischenlagerung 535