

Anlage 2

**Begrünungskonzept für Kalirückstandshalden im
Werra-Gebiet**

-

**Stellungnahme zu aktuellen bzw. zukünftigen
Mengenströmen von Reststoffen aus
Verbrennungsanlagen für eine
Dünnschichtabdeckung**

Begrünungskonzept für Kalirückstandshalden im Werra-Gebiet

Stellungnahme zu aktuellen bzw. zukünftigen Mengenströmen von Reststoffen aus Verbrennungsanlagen für eine Dünnschichtabdeckung

Prof. Dr. Helge Schmeisky
MSc. Greta Papke

Witzenhausen, Januar 2016

UMWELTSICHERUNG
Prof. Dr. Helge Schmeisky





Inhalt

1. Einleitung.....	2
2. HMV-Schlacken.....	7
a. Aktuelles Aufkommen.....	7
b. Verwertung.....	10
c. Prognose.....	11
d. Qualität und Aufbereitung.....	12
3. Kraftwerksnebenprodukte.....	14
a. Braunkohle.....	16
b. Steinkohle.....	17
c. SAV-Produkte und REA-Gips (aus Kohlekraftwerken).....	18
d. Papierschlamm (-aschen).....	20
4. Weiterführende Überlegungen und Einschätzungen zu den zukünftigen Entwicklungen.....	21
5. Zukünftige Haldenabdeckung für die Kalirückstandshalden im Werra-Gebiet	23
6. Zusammenfassung.....	25
7. Quellen	27



1. Einleitung

Eine Überdeckung von Rückstandshalden der Kaliindustrie mit natürlichen Böden ist aus verschiedenen Gründen nicht möglich. Schon wegen ihrer Flächengrößen, enormen Höhen und der Steilheit der Böschungen wären Bodenmengen in zweistelliger Millionenhöhe pro Großhalde notwendig. Da natürliche Böden nicht den Böschungswinkel der Halden annehmen würden, erhöht sich die benötigte Menge – im Vergleich zu einer gleichmäßigen Schicht – beträchtlich, weil sich wesentlich flachere Winkel einstellen, bei denen keine Erosion bzw. ein Abrutschen mehr erfolgt. Dies würde zudem einen großen zusätzlichen Flächenbedarf um die Halden erfordern, der teilweise nicht vorhanden ist. Hinzu kommt, dass an den Boden für eine Ummantelung große Ansprüche an den Wasserhaushalt zu stellen wären, um eine hohe Wasserhaltefähigkeit zu gewährleisten.

Selbst wenn Böden mit sich verfestigenden Materialien (puzzolanischen Eigenschaften) gemischt würden, und sich damit steilere Böschungen einstellen könnten, wäre ein unübersehbarer Zeitraum für die Ummantelung notwendig, weil Boden nicht in größeren Mengen zur Verfügung stünde.

Aus diesem Grund wird bereits seit 1993 (Schmeisky und Mitarbeiter, 1993) nach neuen Möglichkeiten ressourcen- und flächenschonenden Ummantelungs- und Begrünungsmöglichkeiten derartiger Halden gesucht und geforscht. Ein Ansatzpunkt ergab sich im Kaliwerk Sigmundshall (bei Wunstorf/Niedersachsen) nach dem Bau einer Recyclinganlage für die Restminerale aus der Aluminiumaufbereitung. Dabei wird aus den Schmelzsalzen für das Alkalium Kalium und zusätzlich Aluminium gewonnen. Aus dieser sogenannten REKAL-Anlage fällt jedoch auch ein Massenstrom aus salzhaltigem, überwiegend feinverteiltem Aluminium und einigen weiteren Metallen an.

Bei zahlreichen Vor- und Gefäßversuchen in der Universität Kassel mit Standort Witzenhausen kristallisierte sich eine Mischung aus puzzolanischen Aschen eines Kraftwerkes mit Steinkohlefeuerung und der mineralischen Restfraktion aus der REKAL-Anlage im Verhältnis 30:70% heraus, die sich für eine Ummantelung von wenigen Metern Schichtstärke eignete (Scheer, 2001). Nach erfolgreichen, kleineren Feldversuchen an der Südflanke der Halde des Werkes Sigmundshall (Niessing, 2005) werden seit 2002 großtechnische Begrünungsmaßnahmen in jährlichen Abschnitten durchgeführt. Für die Begrünung wurden im Laufe der Jahre spezielle Techniken und Verfahren entwickelt. Obwohl nur noch eine herkömmliche Grasmischung mit vier Arten eingesät wird, hat sich



eine artenreiche und geschlossene Vegetation mit über 160 krautigen Pflanzen und Gehölzen eingestellt (Papke und Schmeisky, 2013).

Ausdrücklich muss hervorgehoben werden, dass es sich bei dieser Rekultivierungsmaßnahme um einen Sonderfall handelt, der nicht auf die anderen Halden übertragen werden kann. Die Besonderheit ist dabei das Material aus der REKAL-Anlage, das an anderen Standorten nicht zur Verfügung steht.

Von Nachteil ist weiterhin der hohe Salzgehalt (überwiegend NaCl), der in den ersten Jahren nach der Schüttung keine Begrünung zulässt. Nach erfolgter Auswaschung der Salze weist die Materialmischung jedoch eine außerordentlich hohe Wasserhaltefähigkeit und ein gutes Porenvolumen auf, das den Pflanzen bzw. Pflanzenwurzeln entsprechende Wuchsmöglichkeiten bietet.

Die positive Entwicklung auf der Rückstandshalde Sigmundshall führte zur Suche nach Ersatzmaterialien für die Restmineralik aus der REKAL-Anlage. Über Jahre wurden, abermals in Gefäßversuchen, Reststoffe aus der thermischen Abfallbehandlung als Mono- oder Mischmaterialien im Hinblick auf ihre Begrünungsfähigkeit geprüft.

Bei den Untersuchungen konnten erhebliche Spannbreiten im Hinblick auf das Körnungsspektrum, die Wasserhaltefähigkeit, das puzzolanische Verhalten, die chemischen Reaktionen und letztendlich auf die Begrünbarkeit festgestellt werden.

Aus den zahlreichen Gefäßversuchsvarianten konnten vier Materialmischungen identifiziert werden, die für einen Feldversuch geeignet erschienen. Dieser Feldversuch wurde 2013 auf der Halde IV des Werkes Werra in Heringen angelegt. Das Interesse bei den Untersuchungen richtete sich neben der Begrünbarkeit und Lagerstabilität der Mischungen insbesondere auf die Wasserrückhaltefähigkeit bzw. die Bildung von Sickerwässern und deren Inhaltsstoffen. Der Versuch hält bis heute mit wöchentlichen Probennahmen an. Neben Zwischenberichten (Schmeisky et al., 2014; Hensel et al., 2015) wird es noch eine Abschlussbewertung geben.

Schon jetzt lässt sich feststellen, dass das über 500 m² große Lysimeter-Versuchsfeld seine Stabilität bis heute erhalten hat, dass die Begrünung – trotz extremer Trockenphasen – gelungen ist und die Schwermetallfrachten erheblich abgenommen haben, bzw. bei einzelnen Elementen keine Auswaschung mehr erfolgt.

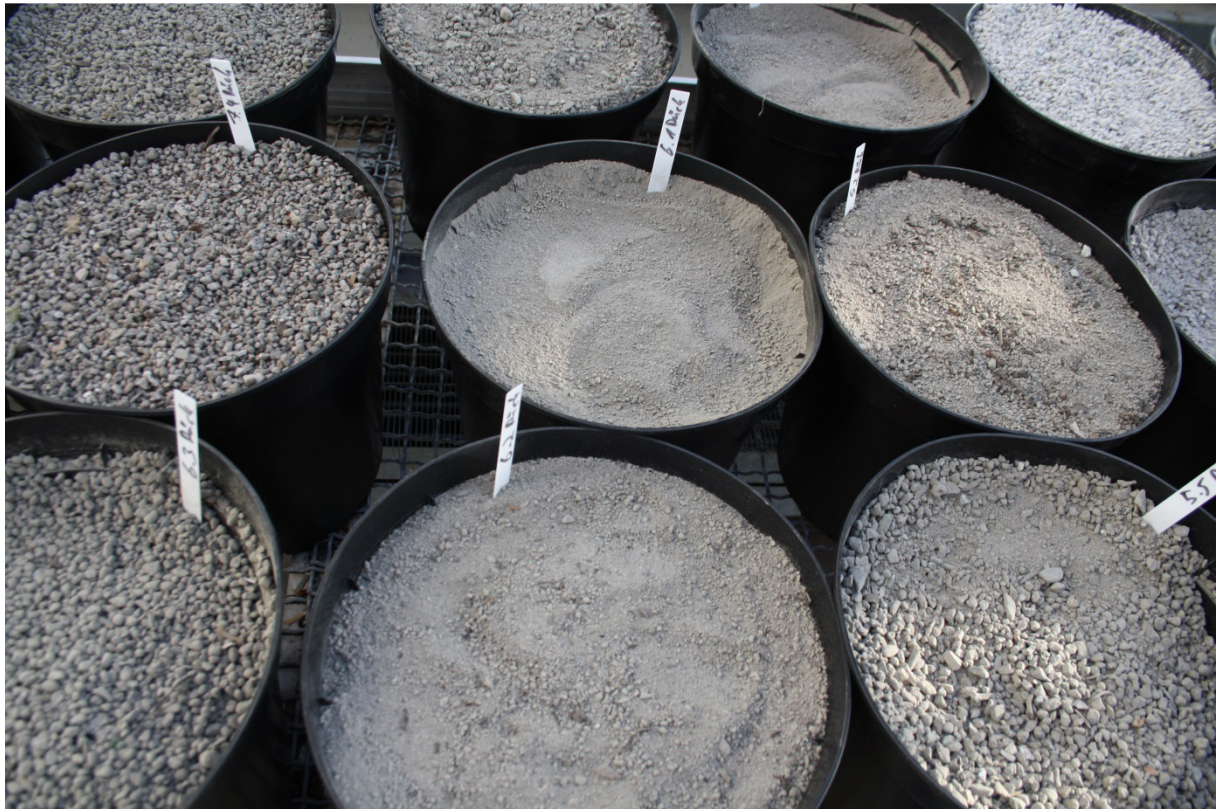


Abbildung 1: Verschiedene Materialmischungen im aktuellen Gefäßversuch



Abbildung 2: Oberfläche Lysimeterfeld (Halde IV, Heringen) im Herbst 2015



Durch die ungewöhnlichen klimatischen Ereignisse – 2014 und 2015 waren mit die wärmsten Jahre seit der Wetteraufzeichnung, 2015 war außerdem besonders trocken – konnte sich zwar eine geschlossene Vegetationsdecke ausbilden, die Produktivität und das Höhenwachstum entwickelte sich wegen der Trockenheit jedoch nicht wie erwartet. Das gilt auch für die Tiefenentwicklung der Wurzeln. Dadurch konnte im Laufe der Versuchsperiode durch die Wurzeln nicht genügend Wasser aus den tieferen Schichten geschöpft werden. Die erwartete Steigerung der Evapotranspirationsrate von ca. 75% im Jahr 2014 trat aus den genannten Gründen nicht ein. Dass sich die Rate bei normalen Niederschlagsverhältnissen erhöhen wird, steht jedoch außer Frage. Die vollständige Vegetationsentwicklung, auch im Boden, muss abgewartet werden.

Da sich die Aufbereitungstechniken, Mitverbrennungsmaßnahmen, Verwertungswege sowie ökonomischen und politischen Bedingungen in den letzten Jahren stark verändert haben und zukünftig verändern werden, werden auch augenblicklich umfangreiche Gefäßversuche im Gewächshaus der Universität Kassel, Standort Witzenhausen durchgeführt. Dabei werden neue Materialienqualitäten aus thermischen Anlagen und verschiedene Mischungen daraus geprüft.

Das Ziel ist die Identifikation einiger weniger Mischungen für den Feldversuch auf der Halde des Standortes Hattorf. Diese Mischungen müssen eine Reihe von Kriterien wie statische Haltbarkeit auf den steilen Flanken, Wasseraufnahmefähigkeit, Wasserhaltefähigkeit, Erosionsstabilität gegenüber Wasser und Wind, Begrünbarkeit und letztendlich Wirtschaftlichkeit aufweisen.

Bei einer großtechnischen Ummantelungslösung mehrerer Großhalden ist die Betrachtung der Verfügbarkeit von geeigneten Materialien über einen längeren Zeitraum unabdingbar. Materialströme müssen sich nicht zwangsläufig kontinuierlich zunehmend oder abnehmend entwickeln. Politische Entwicklungen (wie z.B. Wiedervereinigung Deutschlands 1990) und Vorgaben (z.B. Weltklimagipfel Paris 2015) haben zu einer Verringerung der Kohleverbrennung und damit verminderten Ascheanfall geführt bzw. werden dazu führen. Die flächendeckende Einführung einer Bio-(Kompost-)Tonne und einer Wertstofftonne, mögliche Einschränkungen von Plastikverpackungen u.a. kann das Müllaufkommen und damit den Anfall von Müllverbrennungsschlacken verändern.

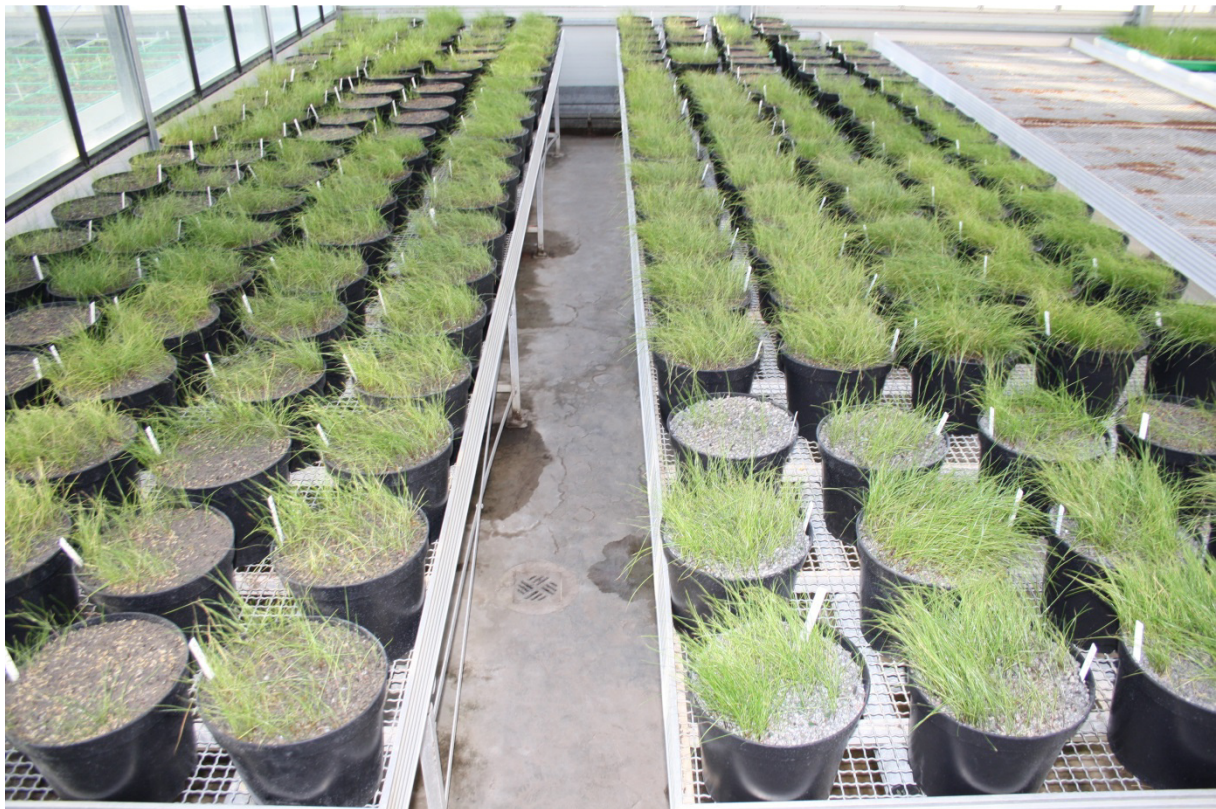


Abbildung 3: Laufender Gefäßversuch im Gewächshaus der Universität Kassel, Witzenhausen im Januar 2016

Zur Beurteilung zukünftiger Entwicklungen ist es notwendig sich einen Überblick über die aktuellen entstehenden Mengenströme in der thermischen Verwertung und deren Verwendungsmöglichkeiten zu verschaffen. Aus diesem Grund werden nachfolgend die Aschen und Schlacken aus der thermischen Verwertung auf Basis von Daten aus der Literatur näher betrachtet.

Viele der für eine Dünnschichtummantelung in Frage kommenden Materialien finden sich innerhalb der Gruppe der industriellen Nebenprodukte, die als Nebenstoffstrom in großtechnischen Prozessen entstehen. Hierbei handelt es sich einerseits um die Aschen bzw. Schlacken, die bei der thermischen Verwertung z.B. von Hausmüll oder hausmüllähnlichem Abfall anfallen. Andererseits geht es um Kraftwerksnebenprodukte aus der Energieerzeugung (Verbrennung von Braunkohle, Steinkohle oder Papierschlamm) und aus der dort betriebenen Abgasbehandlung, wie z.B. REA-Gips aus den Rauchentschwefelungsanlagen oder Sprühabsorptionsprodukte (SAV-Produkte) (BBS, 2013 S.22).



2. HMV-Schlacken

Bei der thermischen Verwertung von Hausmüll bleiben inerte Reststoffe zurück. Abhängig von der Feuerungstechnik und der Zusammensetzung des Materialinputs können diese in feinkörnigem Zustand (Asche) oder nach dem Abkühlen versintert (Schlacke) vorliegen.

Die gängigste Feuerungstechnik ist die Rostfeuerung, bei der der Müll unsortiert in (Haus-) Müllverbrennungsanlagen ((H)MVA) verbrannt wird. Hier wird dann der übriggebliebene Reststoff vom Boden der Brennkammer entfernt (z.B. durch Nass- oder Trockenentschlackung) und fällt als Rohschlacke¹ an. Diese Rohschlacke wird anschließend einem Aufbereitungsprozess unterzogen. Für die Entfernung von Eisen- und Nichteisenmetallen werden die Versinterungen aufgebrochen. Die bei dem Verbrennungsprozess ebenfalls anfallenden Filteraschen werden nicht weiter betrachtet, da es sich aufgrund ihrer Zusammensetzung überwiegend um gefährliche Abfälle gemäß AVV (Abfall-Verzeichnis-Verordnung) handelt, die entsorgt werden müssen.

Zum anderen gibt es die Wirbelschichtfeuerung. Dabei wird das Material in einem Wirbelstrom aus Luft und Sand verbrannt. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine Vorsortierung des Materialinputs, bei der die Störstoffe (z.B. Metalle) vor dem Verbrennungsprozess entfernt werden. Das dabei entstehende Material wird als Ersatzbrennstoff (EBS) bezeichnet. Die entstehenden inerten Reststofffraktionen gliedern sich hauptsächlich in Kesselsand (gröbere Fraktion) und Feinasche (feinere Fraktion). Da es kaum zu Versinterungen kommt spricht man in diesem Zusammenhang von Aschen. Generell ist die Zusammensetzung der Aschen und Schlacken abhängig von den Inputqualitäten des Abfalls. Laut einer Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA, 2010 S.9) „unterliegt der Abfall sowohl saisonalen Veränderungen als auch lokalen abfallwirtschaftlichen Gegebenheiten und ist je nach Region in Deutschland recht unterschiedlich.“

a. Aktuelles Aufkommen

Laut UBA (2010 S. 5, Stand 2009) betrug die Anzahl von MVA (69) und EBS-Kraftwerken (23) mit Rostfeuerung deutschlandweit insgesamt 92, diese besaßen eine Gesamtkapazität

¹ Zu den Begriffen Schlacke und Asche gibt es unterschiedliche Definitionen bzw. Bezeichnungen. Einige Autoren sprechen statt Rohschlacke von „Schlacke“ und bezeichnen dann das aufgebrochene, aufbereitete (tlw. abgelagerte) Material - Schlacke - als „Asche“.



von über 21 Mio. t/a. Zusätzlich seien zu diesem Zeitpunkt weitere 13 EBS-Anlagen mit Rostfeuerung in Planung bzw. teilweise im Bau gewesen.

In 2010 gab es – unabhängig von der Verbrennungstechnik - 68 Müllverbrennungsanlagen (MVA) mit einer Gesamtkapazität von 20,1 Mio. t pro Jahr. Des Weiteren befanden sich 2010 37 EBS-Kraftwerke in Deutschland, sie hatten zusammen eine genehmigte Kapazität von 5,7 Mio. t. Davon seien 34 relevant für den Schlacken- und Aschenmarkt (Briese et al., 2014 S.124). Im Oktober 2011 waren 70 MVA mit einer Gesamtkapazität von etwa 19,5 Mio. t in Betrieb (Briese et al., 2012 S.812).

Bei den MVAs fallen pro 1.000 t Abfall etwa 200-300 kg Rohschlacke an (Briese et al., 2014 S.124; Briese et al., 2012 S.812f). Bei einer Gesamtkapazität von 19,5 Mio. t ergibt dies einen jährlichen Anfall von 5,1 Mio. t Rohschlacke in den MVAs (Rechnerische Grundlage: 260 kg Schlacke pro 1.000 kg Input = Briese et al., 2014 S.124). Weiterhin entstanden 2009 in den EBS-Kraftwerken 502.000 t Aschen und Schlacken aus der energetischen Verwertung von Abfall (Briese et al., 2012 S. 812f).

Dies deckt sich mit den Zahlen aus einer Studie im Auftrag des Bundesverbandes Baustoffe – Steine und Erden (BBS, 2013 S.25f), bei der die Produktionsmenge für 2010 bei rund 5 Mio. t lag, während von 2001 bis 2010 durchschnittlich eine Menge von 4,4 Mio. t anfiel. Siehe dazu auch Abbildung 4. Die Werte der jährlichen Produktionsmenge des Statistischen Bundesamtes (2013, in Briese et al., 2014 S. 124) liegen etwas höher (Abbildung 5). Es wird eine Menge von etwa 5,8 Mio. t für 2010 und etwa 6,2 Mio. t für 2011 angegeben. Laut Briese et al. (2014 S.124) sei die stete Steigerung seit 2007 auf eine Erhöhung der verbrannten Abfälle zurückzuführen.

Kersting (2015 S.277) weist daraufhin, dass neben den Aschen und Schlacken die in Deutschland (37 EBS und 68 MVA mit Rostfeuerung laut UBA, 2014) anfallen auch die Reststoffe (HMV-Schlacken) aus 3 Anlagen aus dem Ausland in den Massenfluss eingerechnet werden müssten, da sie importiert werden. Er geht von der prognostizierten Zahl von 5,7 Mio. t Aschen und Schlacken der UBA Studie von 2010 aus.

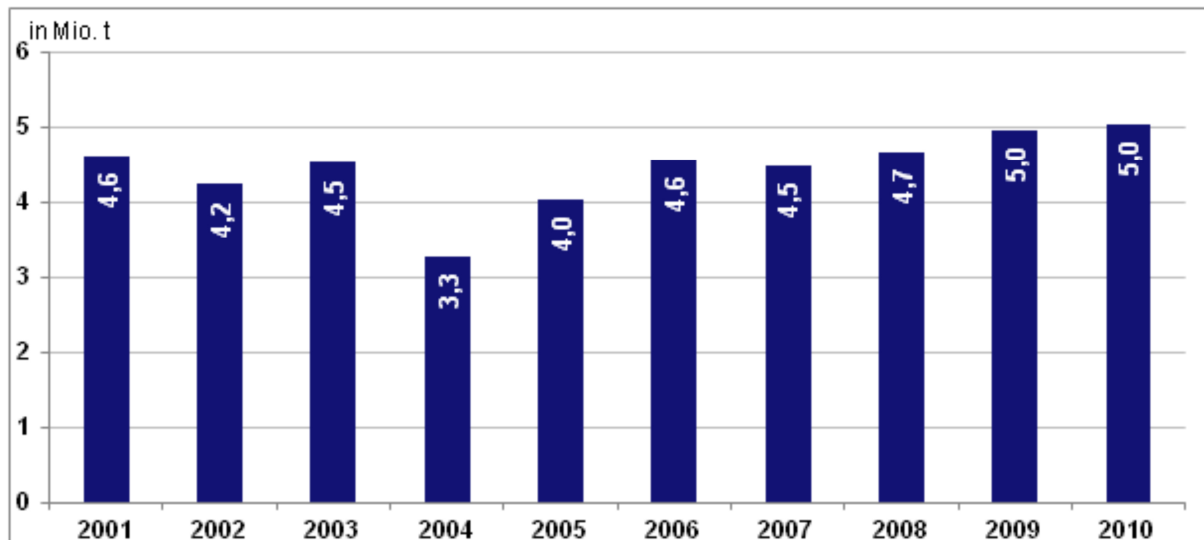


Abbildung 4: Produktionsmenge von sonstigen Aschen aus der Müllverbrennung sowie der Verfeuerung von EBS 2010 (aus BBS, 2013 S.27 Abb. 28: Quelle = Verbandsangaben, Berechnungen SST)



Abbildung 5: Aufkommen von Rost- und Kesselaschen sowie Schlacke (190112) aus der thermischen Behandlung und der energetischen Verwertung von Abfällen 2007 – 2011 (aus Briesche et al. 2014 S.124 Bild 4: Quelle = Statistisches Bundesamt, 2013)



b. Verwertung

Die Verwertungsquote der als nicht gefährlich eingestuften Rost- und Kesselaschen (AVV 190112) lag von 2007 bis 2011 bei 87-92% (siehe auch Abbildung 2). In 2011 wurden beispielsweise 89% der anfallenden Menge der Verwertung zugeführt und 9% beseitigt. Die aufbereitete Schlacke wird zu 34% im Straßenbau, zu 49% im Deponiebau und zu 10% für den Versatz unter Tage verwendet (Briese et al., 2014 S.124f).

Das UBA (2010 S. 20f) schätzte das Aufkommen von Aschen und Schlacken aus Rostfeuerungsanlagen (MVA und EBS) für 2009 auf rund 5,2 Mio. t. Hier wird der Verwertungsgrad mit rund 90% angegeben. Davon gingen insgesamt 75%, also 3,95 Mio. t in Baumaßnahmen (Deponiebau ca. 44% = 2,324 Mio. t; Straßenbau ca. 31% = 1,612 Mio. t). Unter Tage wurden 0,295 Mio. t (ca. 6%) verwertet und 0,051 Mio. t einer sonstigen Verwertung zugeführt. Die Ausschleusung von NE- und FE-Metallen lag mit insgesamt ca. 0,4 Mio. t bei 8%. Etwa 10% (0,501 Mio. t) des Gesamtaufkommens wurde auf Deponien beseitigt.

Die Interessengemeinschaft der Aufbereiter und Verwerter von Müllverbrennungsschlacken (IGAM, Duisburg in Fischer, 2014 S.218) gab bei einer Mitgliederbefragung folgende Ergebnisse von Aufbereitungsprozessen von Rohschlacke an: ca. 85% HMVA (Bauzwecke und Untertageversatz), ca. 6,5 bis 9,5% FE-Metalle, ca. 0,6-1,1% NE-Metalle und ca. 1,5-3% Unverbranntes. Im Regelfall käme es nicht zu einer Beseitigung bzw. Deponierung. Diese Zahlen stimmen mit den in früheren Untersuchungen ermittelten Daten (LUE, 2004/Fau, 1996 in Fischer, 2014 S. 217) von 85-90 Gew% mineralische Fraktion (grobstückiges und feinstückiges Material), 1-5 Gew% Unverbranntes und Teilverbranntes sowie 7-10 Gew% Fe-/Ne-Metall überein.

Nach einer Schätzung der IGAM in 2011 wird die HMV-Asche, nach der Aufbereitung ca. 4,5 Mio. t, in vier baulichen Verwendungsbereichen eingesetzt. Auf den öffentlichen Straßen- und Erdbau und den Deponiebau entfallen jeweils ca. 40-45%. Der Anteil sowohl von privaten Baumaßnahmen als auch von untätigem Versatz liegt jeweils bei ca. 5-10% (in Fischer, 2014 S. 227f).

Laut BBS (2013, S.26) werden „die anfallenden Aschen aus der Hausmüllverbrennung fast vollständig im Baubereich – insbesondere im Tiefbau für den Unterbau von Straßen, Wegen



und Plätzen sowie privaten Gewerbeflächen – verwertet.“ Hierbei entfielen für 2010 50% auf den Tiefbau, 40% auf sonstige Baubereiche und 10% auf sonstige Sektoren.

c. Prognose

Die Studie im Auftrag des UBA's (2010 S. 7f) prognostizierte auf Basis der Daten (nur Rostfeuerungsanlagen) von 2009 für das Jahr 2013 ein Aufkommen von rund 5,4 bis 5,8 Mio. t Aschen- und Schlacken aus MVA und EBS-Kraftwerken. In dem „realistischen Szenario“, das von 3 zusätzlichen aktiven EBS-Anlagen ausgeht, lag dabei der Anteil der MVAs bei 4,77 Mio. und der der EBS-Kraftwerke bei 0,65 Mio. t t. Diese Werte stiegen bei 13 zusätzlichen EBS-Kraftwerken in 2013, dem „optimistischen Szenario“, dann auf 4,81 Mio. t bzw. 1,0 Mio. t.

Laut BBS (2013, S.76) sei das Aufkommen an Aschen aus der Hausmüllverbrennung sowie der Verfeuerung von Ersatzbrennstoffen bis 2030 nur schwer einzuschätzen. Tendenziell dürfte das Aufkommen aufgrund der demografischen Entwicklung [...] und der Anstrengungen um die Abfallvermeidung bzw. -verminderung ab ca. 2015 leicht rückläufig sein. Der Rückgang dürfte jedoch im gesamten Zeitraum nicht mehr als 10-20% betragen, so dass sich das Gesamtaufkommen 2030 immer noch auf über 4 Mio. t belaufen würde.

Laut Briese et al. (2012 S.813) wird sich „das Aufkommen an Schlacken und Aschen in den Jahren bis 2020 kontinuierlich erhöhen und 2020 jährlich zwischen 6,5 Millionen und 8,5 Millionen Tonnen liegen. Abhängig ist die Stoffmenge an Schlacken vor allem von der Einführung der Wertstofftonne, weniger von der stärkeren Erfassung von Bioabfällen, wie sie für die Zukunft auch zu erwarten ist. Wird – wie im Referenzszenario – von der Einführung der Wertstofftonne ausgegangen, ist das Aufkommen geringer.“

Briese et al. (2014 S.125) kommen zu dem Schluss, dass „bis 2020 das Restabfallaufkommen u.a. durch die flächendeckende Einführung der Biotonne und der Getrenntsammlung von Wertstoffen (Wertstofftonne) – jeweils ab 2015 verpflichtend – sinken und damit auch die zu verbrennenden Mengen in MVA und EBS-Kraftwerken sowie die Erzeugung von Reststoffen zurückgehen wird.“ Die Autoren gehen davon aus, dass sich auf Nachfragerseite keine großen Verschiebungen der Entsorgungswege für MVA-Schlacken ergeben. Dies gelte auch für den Versatz von Reststoffen. Abhängig von der zukünftigen Entwicklung der politischen Normen könne sich regional eine Verlagerung von Mengenströmen aus dem Deponie- in den Straßenbau ergeben (Briese et al., 2014 S.127).



d. Qualität und Aufbereitung

In den letzten 15 Jahren wurden einige Tendenzen (Kersting, 2015 S.279) in der Zusammensetzung der HMV-Schlacke abhängig vom Abfallinput beobachtet. Der Anteil der feineren Korngrößen in der Schlacke steige an (weniger Glas, Keramik, Bauschutt), während sich generell aber auch besonders saisonal die Chloridfrachten erhöhten (weniger Verdünnung durch vorherige Abscheidung chloridarmer Mengenströme wie EBS-Brennstoff bzw. Straßenkehrriecht im Winter). Eine ausreichende Verweildauer im Verbrennungsraum führe zu verringerten Anteilen von Teil- bzw. Nichtverbranntem. Ein großer Einflussfaktor für die Qualität der Schlacken seien die Einschränkungen der Entsorgung/Verwertung von Spezialbaustoffen wie z.B. Gipskartonplatten, künstlichen Mineralfasern oder neuen Werkstoffen, die dann verstärkt in MVAs anfallen würden sowie die Mitverbrennung von z.B. Klärschlamm oder Rückständen aus der Elektronikaufbereitung. In diesem Zusammenhang wird auch wieder auf den direkten Einfluss von Änderungen bezüglich Verordnungen (z.B. Wertstofftonne) und politischer Normen (z.B. Grenzwerte) auf die Qualität von Aschen und Schlacken hingewiesen.

Die Betreiber von Abfallverbrennungsanlagen sind verpflichtet die Schlacken der Beseitigung oder Verwertung zuzuführen. Die Preisgestaltung für die Aufbereitung bzw. Beseitigung und Verwertung ist abhängig von den anfallenden Mengen und den (meist) regionalen – da Transportkosten ein hoher Kostenfaktor sind - Nutzungsmöglichkeiten. Der Markt für die Schlacken als Baustoff – und damit der Erlös für die Aufbereiter - wird durch steigende Mengen an Schlacken, das regionale Vorkommen von Primärbaustoffen und durch die Baukonjunktur beeinflusst. Es wird von Preisen für Ersatzbaustoffe aus Schlacken, die er Aufbereiter erhält, von einer langsamen aber stetigen Zunahme von durchschnittlich 3,50 €/t (2011) auf über 6 €/t (2020) ausgegangen (Briese et al., 2014 S.125). Briese et al. (2012 S.813f) sehen außerdem steigenden Kosten für den Versatz und die Deponierung bis 2020 auf ca. 90 - 120 €/t (ohne Berücksichtigung von Inflationseffekten).

Laut Fischer (2014 S. 217) erfolge die Produktion des Baustoffs Hausmüllverbrennungsasche (HMVA) – bezüglich bautechnischen und umweltbezogenen Anforderungen – regelmäßig ausgerichtet an dem wahrscheinlich späteren Verwendungszweck. Somit ginge die Aufbereitung von Rohschlacke gleichermaßen in die Rückgewinnung von FE/NE- Metalle und die Produktion des Baustoffs HMV-Asche.



Offensichtlich gibt es bezüglich der Qualität (umwelttechnische Standards) Probleme mit der Akzeptanz des Baustoffes HMV-Aschen (Fischer, 2014 S.226; Kersting, 2015 S.287f; Briesse et al., 2014 S.125; Briesse et al., 2012 S.815). Dies führe zu überquellenden Lagerplätzen, Probleme bei der Annahme von Hausmüll und Rohschlacke und damit zu wirtschaftlichen Problemen der Aufbereitungsunternehmen (Fischer, 2014 S. 226). Deswegen erfolge eine Verwertung zu größeren Anteilen als Deponieersatzbaustoff oder ein Export in ausländische Baumaßnahmen, was mit erheblich größerem logistischem und finanziellem Aufwand behaftet sei (Kersting, 2015 S.287).

Daher besteht laut Briesse et al. (2012 S.815) auch ein Wettbewerb bei den Qualitäten der aufbereiteten Schlacke. Bei den Aufbereitern ist die Metallausschleusung neben einem qualitativen Faktor auch ein wirtschaftlicher Faktor, abhängig von den Weltmarktpreisen für Metallrohstoffe. Briesse et al. (2012 S.814f) gehen davon aus, dass die Rohstoffpreise für FE-Metalle bis 2020 sich im Vergleich zu 2009 mindestens verdoppeln werden, auch die NE-Metalle zeigen steigende Tendenzen, allerdings weniger konstant. Daher ist eine tiefere Aufarbeitung – sprich eine weitere Zerkleinerung der Grobfraction – für die Aufbereiter von wirtschaftlichem Interesse. Diese Zerkleinerung führe zwar zu einer besseren Abscheidung der Metalle, aber „es entstehen dabei nicht vernachlässigbare Mengen an mineralischem Feinkorn, die die bauphysikalischen Eigenschaften der aufbereiteten Schlacken negativ beeinflussen und/oder zusätzliche Stoffströme erzeugen, die nicht verwertet werden können. Energetisch und im Sinne des Ressourcenschutzes ist eine solche noch weitergehende Rückgewinnung von insbesondere NE-Metallen in jedem Fall sinnvoll und muss gegen die oben genannten Nachteile abgewogen werden“ (UBA, 2010 S.70). Inzwischen wird vielerorts an einer Ausschleusung von Wertstoffen aus immer kleineren Schlacke-Korngrößen gearbeitet. Verschiedene aktuelle Verfahrensansätze und Verfahren sind z.B. bei Kersting (2015) aufgeführt.

Diese Entwicklung hin zu einer tieferen Aufarbeitung – die bei immer mehr Aufbereitern bereits gängige Technik ist – wird teilweise kritisiert. „Man fokussiert sich auf die Metallressourcen und lässt die Notwendigkeit der ordnungsgemäßen und kostenadäquaten Verwertung der aufbereiteten MV-Schlacke völlig außer Acht“ (Kersting, 2015 S. 288).



3. Kraftwerksnebenprodukte

Kohle hat traditionell den größten Anteil der Energieträger für die Stromerzeugung in Deutschland (DEBRIV, 2013 S.2, 2015 S.32; Briese et al., 2014 S.119). Laut Briese et al. (2014 S.119) wurden in 2013 45,5% des inländischen Bedarfs durch Stein- und Braunkohle gedeckt. Auch im Zuge des Ausbaus der erneuerbaren Energien würde der Kohle auch in den kommenden Jahren noch eine bedeutende Stellung als Energielieferant für die Verstromung zukommen. Allerdings gehen die Autoren wegen des Auslaufens der Subventionen für den Steinkohlebergbau von dessen Einstellung in 2018 aus (Briese et al., 2014 S.119).

Laut dem Bundesverband Braunkohle (DEBRIV, 2013 S. 2) wurden im Jahr 2013 182,7 Mio. t Braunkohle in Deutschland gefördert. Davon sind 166,3 Mio. t direkt für die Strom- und Fernwärmeerzeugung genutzt worden. Vorläufige Zahlen für 2012 bestätigen die Deckung des deutschen Braunkohlebedarfes zu 100% aus inländischer Förderung. Die inländische Steinkohle konnte nur zu 18% die Nachfrage des Primärenergiebedarfes decken. Für 2014 lagen die (vorläufigen) Zahlen bei 178,2 Mio. t Gesamtfördermenge an Braunkohle in Deutschland, davon wurden 159,1 Mio. t für die Energiegewinnung (Kraft, Heizkraft- und Fernheizwerke) genutzt (DEBRIV, 2015).

Für 2005 entsprach der Anteil der Braunkohle an der Bruttostromerzeugung aller Energieträger (Summe 622,6 TWh) ca. 24,8% (154,1 TWh). Die Steinkohle wird hier mit einem Anteil von 21,5% (134,1 TWh) angegeben (DEBRIV, 2013 S.2, 2015 S.32). Für 2013 bzw. 2014 wurden vorläufige Anteile von 25,8% (162/629 TWh) bzw. 25,4% (155,8/614 TWh) für Braunkohle sowie 19,7% (124/629 TWh) bzw. 17,7% (109,0/614 TWh) für Steinkohle veröffentlicht. Eine Prognose aus dem Jahr 2013 für das Jahr 2030 (u.a. Wegfall der Kernenergie) sah die Bruttostromerzeugung bei insgesamt 621 TWh mit einem Anteil von 23,0% (142,8 TWh) für Braunkohle und 15% (93,2 TWh) für Steinkohle (DEBRIV, 2013 S.2). In 2015 wurde diese Prognose auf 23% (141/612 TWh) bzw. 18% (110,2/612 TWh) leicht verändert (DEBRIV, 2015 S. 32). Damit geht der Bundesverband Braunkohle wohl kurz- bis mittelfristig von einer nur leicht verringerten Steinkohlenutzung aus, während die Braunkohlenutzung vergleichsweise stabil bleibt.

Der BBS (2013 S.72 und 75) bezieht sich auf die „Leitstudie 2011, Szenario 2011 A“ des BMU's, bei der von einer Reduzierung der Bruttostromerzeugung durch Steinkohle von 2010 (134 TWh/a) bis 2030 (47 TWh/a) um 64,9% ausgegangen wird. Für die Braunkohle liegt die



Verringerung sogar bei 76% d.h. von 145 TWh/a in 2010 auf 35 TWh/a in 2030 (BBS, 2013 S. 72).

Die Kraftwerksnebenprodukte sind in zwei größere Gruppen unterteilt. Einerseits werden die Reststoffe aus der Abgasreinigung (v.a. Flugasche, Filterasche² und Gips) und die Verbrennungsrückstände bzw. Aschen zusammengefasst. Bei einigen älteren Kraftwerken findet aus technischen Gründen auch keine getrennte Ausschleusung der Flugaschen und des Rauchgasentschwefelungsproduktes statt. Diese Technik wird jedoch im Laufe der nächsten ca. 20 Jahre auslaufen. In die Kategorie Verbrennungsrückstände fallen Nassasche/Kesselasche, Wirbelschichtasche und Schmelzkammergranulat. 2010 sind bei der Verbrennung von Kohle Gesamtmengen von ca. 12 Mio. t Filter- und Flugasche bzw. ca. 3,6 Mio t Verbrennungsrückstände angefallen (Briese et al., 2014 S.121f). Diese Mengen resultierten aus Inputmengen von 54 Mio. t Steinkohle und 165 Mio. t Braunkohle (Summe 219 Mio. t); in den darauffolgenden Jahren werde aber von einer rückläufigen Menge aufgrund der Umstellung auf erneuerbare Energien ausgegangen (Briese et al., 2014 S. 120).

Generell besitzen die Reststoffe der Braunkohle weniger homogene Eigenschaften als die der Steinkohle, deswegen ist - wie nachfolgend im Detail aufgeführt - der Einsatz, auch im Rahmen des Chemikalienrechts (Stichwort: REACH³), als Ersatzbaustoff stärker eingeschränkt (Briese et al., 2014 S.122). Die Zusammensetzung der Braunkohle ist abhängig von der Herkunft und schwankt beispielsweise zwischen den vier deutschen Revieren. Die Extremwerte der Aschen- und Schwefelgehalte werden mit durchschnittlich 2,5 bis 20% bzw. 0,15 bis 3,5% angegeben (DEBRIV, 2013 S.1). Ein weiterer ausschlaggebender Faktor für eine mögliche weiterreichende Verwendung in der Baustoffindustrie – als Sekundärrohstoff – ist die sich ändernde Rechtslage (Stichwort:

² Leider werden die Mengen von Filter- und Flugasche in der Literatur nicht immer aufgeschlüsselt. Die Qualitäten können jedoch extrem unterschiedlich sein, teilweise fallen sie unter gefährliche Abfälle (AVV*), die entsorgt werden müssen.

³ REACH = **R**egistration, **E**valuation, **A**uthorisation and **R**estriction of **C**hemicals = Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung)
Informationsportal des Umweltbundesamtes: www.reach-info.de/einfuehrung.htm vom 25.01.2016



Mantelverordnung⁴ Grundwasser, Ersatzbaustoffe, Bodenschutz) (Briese et al., 2014 S. 122).

Briese et al. (2014 S. 127) gehen in den kommenden Jahren bei den Kraftwerksnebenprodukten nicht von Verschiebungen der Entsorgungswege auf Nachfragerseite bzw. von Änderungen der Versatzmengen aus.

a. Braunkohle

Bei der Verbrennung von Braunkohle entstanden im Jahr 2010 ca. 8 Mio. t Filter- und Flugasche. Die Fraktionen der Verbrennungsrückstände aus dem Brennraum (Nassasche/Kesselasche, Wirbelschichtasche, Schmelzkammergranulat) beliefen sich auf ca. 1,8 Mio. t. Die Rückstände (95% der Filter- und Flugasche und 97% der Verbrennungsrückstände) werden nahezu vollständig in der Verfüllung in Braunkohletagebauen verwendet. Nur 3% der Filter- und Flugaschen wurden 2010 im Erd- und Straßenbau eingesetzt, da die schwankenden Qualitäten eine Nutzung z.B. als Ersatzbaustoff stark einschränkt (Briese et al., 2014 S.121f).

Die VGB Power Tech e.V. (VGB, 2016) als europäisch technischer Fachverband für die Strom- und Wärmezeugung gibt für 2011 eine Inputmenge von 163 Mio. t. Braunkohle an. Dabei wurden 16,29 Mio. t Reststoffe produziert, die zu 67% im Tagebau verwendet wurden. Weitere Details über die Mengen der einzelnen Reststofffraktionen und deren Verwendung sind Tabelle 1 (S.17) zu entnehmen.

Die Kohlenstatistik (2014) gibt für die letzten Jahre folgende Werte für den Einsatz von Braunkohle in den Kraftwerken der Allgemeinen Versorgung an: 151,9 Mio. t (2010), 157, 4 Mio. t (2011), 166, 3 Mio. t (2012), 164,0 Mio. t (2013) und 159,1 Mio. t (2014, vorläufig). Der

⁴ MantelVO = soll zukünftig die Änderung der VO zum Schutz der Gewässer (09.November 2010), die Neufassung der Bundes-Bodenschutz und Altlasten VO (12.Juli 1999), die Neufassung der ErsatzbaustoffVO, sowie die Änderung der DeponieVO beinhalten.

Aktuell: 3. Arbeitsentwurf (23.07.2015) Mantelverordnung vom Grundwasser/Ersatzbaustoffe/Bodenschutz auf [http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/bodenschutz-und-altlasten/wasser-bodenschutz-und-altlasten-download/artikel/entwurf-der-mantelverordnung-mantelv/?tx_ttnews\[backPid\]=668](http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/bodenschutz-und-altlasten/wasser-bodenschutz-und-altlasten-download/artikel/entwurf-der-mantelverordnung-mantelv/?tx_ttnews[backPid]=668) vom 25.01.2016



Anteil der Braunkohle an der Bruttostromerzeugung liegt für diese Jahre zwischen 23 und 25,5% (146-161 TWh/a).

Da laut Briesse et al. (2014, S.122) “der Anteil der Filteraschen, der an die Baustoffindustrie geliefert wird, zukünftig leicht ansteigt, bleibt die Nutzung von Braunkohleflugasche jedoch aus qualitätstechnischen Gründen begrenzt. Somit wird Filterasche aus Braunkohlekraftwerken auch weiterhin verstärkt zur Verfüllung von Tagebauen eingesetzt werden.“

In der Veröffentlichung des BBS (2013) wird in den prognostischen Betrachtungen nicht auf die Entwicklung der Braunkohlenreststoffe eingegangen.

Tabelle 1: Produktion und Verwendung von Kraftwerksnebenprodukten aus Kohlekraftwerken in Deutschland im Jahr 2011 (VGB, 2016)

Produktion und Verwendung von Kraftwerksnebenprodukten aus Kohlekraftwerken in Deutschland im Jahr 2011					
	Steinkohle		Braunkohle		
Kapazität in MW _{th}	69.406		68.900		
verfeuerte Kohle, Mill. t	44		163		
Nebenprodukt	Erzeugung	Ver- wendung	Erzeugung	Verwendung	
	Mill. t	%	Mill. t	Tagebau	sonstige
	Mill. t	%	Mill. t	%	%
Schmelzkammergranulat	0,86	99	---	---	---
Kesselasche/Kesselsand	0,41	99	1,83	98	2
Flugasche	3,23	100	8,81	97	3
Wirbelschichtasche	0,29	84	0,31	100	0
REA-Gips	1,46	100	5,34	4	96 ¹⁾
SAV-Produkt	0,24	100	---	---	---
Gesamt	6,49	99	16,29	67	33

¹⁾ davon 11 % auf Rohstoffdepot

b. Steinkohle

Die Steinkohlenkraftwerke produzierten laut Briesse et al. (2014 S.122) im Jahr 2010 ca. 1,8 Mio. t Verbrennungsrückstände (Nass-/Kesselasche, Wirbelschichtasche, Schmelzkammergranulat) und ca. 4 Mio. t Filter- und Flugaschen. Die Nass-/Kesselaschen wurden zu 96% verwertet. Dabei entfielen auf den Erd- und Straßenbau knapp 50%, auf die Baustoffindustrie (z.B. Zuschlagstoff, Beton, Mörtel) ca. 37% und auf den Deponiebau ca. 6%. Das Schmelzkammergranulat wird ebenfalls zu großen Teilen (ca. 58%) im Erd- und Straßenbau verwertet, aber auch in der Bauindustrie (16%), im Deponiebau (13%) und als Strahlmittel (12%) (Briesse et al., 2014 S. 122). Die Filter- und Flugaschen werden sogar zu



99% verwertet, in der Baustoffindustrie (z.B. Herstellung von Beton, Estrich, Putz, Mörtel, Zement), im Bergbau (z.B. Bergbaumörtel, Verpressmörtel, Verfüllung), im Erd- und Straßenbau (z.B. Asphaltfüller, Tragschichtmaterial, Bodenverfestigung) sowie als Ersatzbaustoff auf Deponien (Briese et al., 2014 S.121f).

Der BBS (2013 S.25f) spricht von einem Aufkommen von 3,2 Mio. t Steinkohlenflugaschen in 2010. Hier findet eine nahezu vollständige Verwendung (72% Betonherstellung, 9,8% Zementherstellung, 2,9% Mörtel- und Estrichherstellung, sowie 4,2% Tiefbau und 11% übrige Sektoren) statt. Eingesetzt werden sie in der Produktion verschiedener Industriebereiche, als Zusatzstoff im Betonbau, als Hauptbestandteil in der Zementherstellung und als Zusatzstoff für Baustoffe wie Estriche, Mörtel, Pflaster- und Betonsteine. Weiterhin kommen sie z.B. für Bodenverfestigung, Beton, Asphalt und hydraulisch gebundene Tragschichten im Straßen-, Erd- und Wegebau zum Einsatz. Auch für die Schlammkonditionierung und Abfallverfestigung in der Abfallwirtschaft finden sie eine Verwendung. Die Mengen lagen von 2001 bis 2007 zwischen 4,1 und 4,5 Mio. t, in 2008 (3,9 Mio. t) und 2009 (3,5 Mio. t) sanken diese bereits unter 4 Mio. t.

Im Jahr 2011 wurden bei einer Inputmenge von 44 Mio. t Steinkohle ebenfalls 3,2 Mio. t Flugasche produziert. Die Summe aus Schmelzkammergranulat, Wirbelschichtaschen und Kesselsand/-asche betrug 1,56 Mio. t. Detaillierte Daten, auch zur Verwendung sind ebenfalls Tabelle 1 auf S. 17 zu entnehmen (VGB, 2016).

Eine Prognose bis 2030, basierend auf der „Leitstudie 2011“ des BMU's, geht von einer schrittweisen Verringerung der Steinkohlenflugasche von 2,5 Mio. t (2015) über 1,7 Mio. t (2020/25) auf 1,1 Mio. t (2030) aus. Dies führe vor dem Hintergrund der hohen verwerteten Mengen insbesondere in der Betonproduktion zu einer erhöhten Nachfrage für vergleichbare Primärprodukte (BBS, 2013 S. 75).

c. SAV-Produkte und REA-Gips (aus Kohlekraftwerken)

In der Abgasbehandlung von Kohlekraftwerken fallen abhängig von der Technik unterschiedliche Reststoffe an. In Rauchgasentschwefelungsanlagen (REA) handelt es sich um REA-Gips und beim Sprühabsorptionsverfahren (SAV) um SAV-Produkte.



REA-Gips

Im Jahr 2010 sind in deutschen Kohlekraftwerken ca. 6,3 Mio. t REA-Gips angefallen, dieser ist oft qualitativ vergleichbar mit dem Naturstoff Gips und daher ein begehrter Sekundärbaustoff (Briese et al., 2014 S.121f; BBS, 2013 S. 27f). Von 2001 bis 2010 wurden durchschnittlich rund 7,1 Mio. t produziert (BBS, 2013 S 28). Durch die Rauchgasreinigung bei der Verbrennung von Braunkohle entstanden ca. 4,8 Mio. t, bei der der Steinkohle ca. 1,5 Mio. t REA-Gips (Briese et al., 2014 S.121f). Der Steinkohle-REA-Gips wird zu 99% direkt verwertet, nur 1% wurde auf der Deponie entsorgt. Ähnlich wie bei anderen Steinkohle-Nebenprodukten wird hier der Großteil (97%) in der Baustoffindustrie z.B. als Gipsplatten oder Gipsputz verwendet. Die sonstige Verwertung (ca. 2%) umfasst u.a. einen Einsatz als Bodenverbesserer oder als Füllstoff in der Farbenindustrie. Beim Braunkohle-REA-Gips werden 85% direkt verwendet und 15% zwischengelagert. Innerhalb der direkten Verwendung geht der Großteil von 80% auch in die Gips- und Zementindustrie, die zusätzlichen 5% gelangen mit anderen Reststoffen der Braunkohle in die Verfüllung von Tagebauen (Briese et al., 2014 S.120f).

Laut BBS (2013 S.27f) lag die Inlandsnachfrage für REA-Gips 2010 bei 4,7 Mio. t. Auch hier wird die Produktionsmenge mit 6,3 Mio. t angegeben. Die Verwendung erfolgte zu 73,5% für Gipserzeugnisse für den Bau, zu 5,7% für Zementherstellung, zu 5% in übrigen Sektoren und zu 15,8% für den Export. Auch hier käme es durch eine Reduzierung der Kohleverstromung zu weniger Anfall von REA-Gips, von 5,1 Mio. t (2015) über 3,3 und 3,2 Mio. t (2020/25) zu 1,7 Mio. t in 2030, basierend auf der Prognose der „Leitstudie 2011“ des BMU's (BBS, 2013 S.76f).

2011 wurden in Kohlekraftwerken beim Einsatz von 207 Mio. t Kohle (davon 163 Mio. t Braunkohle und 44 Mio. t Steinkohle) insgesamt 6,81 Mio. t REA-Gips produziert. Die 1,46 Mio. t, die aus der Steinkohle stammen, wurden zu 100% verwertet. Die größere Menge von 5,35 Mio. t aus der Braunkohlenverbrennung ging zu 4% in den Tagebau, damit entfielen 96% auf Sonstiges. Siehe dazu auch Tabelle 1 auf Seite 17 (VGB, 2016).

In Zukunft würde die Nachfrage für Sekundär-Gips steigen, da Naturgips nur begrenzt vorhanden ist. Dies wird wohl auch zur Verwendung der noch zwischengelagerten Mengen führen. Zusätzlich sei die Technik des Gips-Recycling aktuell noch nicht genug fortgeschritten, um größere Teile der Nachfrage zu decken. Dies sollte sich bis 2020 ändern, da dann die REA-Gipsmenge aufgrund des niedrigeren Anteils von Kohle am Energiemix sinken werde (Briese et al., 2014 S.120f). Eine sinkende Produktionsmenge von REA-Gips



bei gleichbleibender Inlandsnachfrage hätte eine Steigerung der Naturgipsförderung zur Folge (BBS, 2013 S.27).

SAV-Produkte

Die SAV-Produkte enthalten v.a. Kalkhydrat, Calciumsulfid und Flugasche und weisen z.T. starke Verfestigungseigenschaften auf. Daher werden sie vielfältig eingesetzt, z.B. im Bergbau, im Landschafts- und Deponiebau und zur Schlammverfestigung. Ohne Flugaschenanteile werden sie auch als Düngemittel verwendet. In geringem Maße (abhängig von der Zusammensetzung) fungieren sie als Substitut für Kalk und Zement. 2010 lag die Menge von SAV-Produkten aus Kohlekraftwerken bei etwa 250.000 t (BBS, 2013 S.28). Die von der VGB (2016) angegebene Menge von 240.000 t aus Steinkohleverstromung für das Jahr 2011 liegt in der gleichen Größenordnung (siehe Tabelle 1 auf S. 17).

Mit abnehmendem Anteil der Kohleverstromung am Energiemix (Bezug: „Leitstudie 2011“ BMU) dürfte sich die Produktionsmenge schrittweise auf 90.000 t in 2030 verringern (BBS, 2013 S. 77).

d. Papierschlamm (-aschen)

Im Altpapierrecycling fallen als Reststoffe Papierschlämme und Rejecte/Spuckstoffe an. Die Papierschlämme bestehen zu etwa 25% aus Fasern, 25% Füllstoff (Klei oder Kalk) und 50% Wasser. Sie werden in unterschiedlichen Industrien (keramische Industrie, zweckbestimmte Anlagen und Kraftwerke) recycelt. Das Reject enthält die Verunreinigungen des Altpapiers, vor allem Kunststoffe, und setzt sich aus je etwa 25% grobe Faser und Kunststoff sowie 50% Wasser zusammen. Es kann zu hochwertigem Brennstoff (EBS, SRF⁵) aufbereitet werden, oder direkt als Brennstoff eingesetzt werden. Die genauen Zusammensetzungen sind jeweils abhängig sowohl vom Inputmaterial als auch vom Outputprodukt. In vielen Papierfabriken gibt es angeschlossene Kraftwerke, die die Restströme direkt als Brennstoff verwerten. Die daraus entstehende „spezielle“ Asche hat einen hohen Kalkanteil und wird z.B. in der Zementherstellung - hier insbesondere die Flugaschen (Terranova, 2016) - , als Bodenverbesserer und in der keramischen Industrie eingesetzt (N+P, 2016). Abhängig von der eingesetzten Technik können die Reststoffe auch weiter in De-inking-Schlämme (AVV 030305), Spuckstoffe (AVV 030307), Fangstoffe (AVV 030310) und Bioschlämme (AVV

⁵ SRF = Solid Recovered Fuel



030311) unterteilt werden. Alle vier Fraktionen können energetisch als Sekundärbrennstoff genutzt werden, meist nach weiteren Aufbereitungsschritten. Fangstoffe und De-Inking-Schlämme werden auch entweder direkt als Porosierungshilfe- und -ersatzstoffe für die Backsteinproduktion oder in veraschter Form als Produktionsmittel von Klinker verwendet (Terranova, 2016).

In einigen Ländern der EU ist die Lagerung und die Verwendung als Düngemittel nicht (länger) erlaubt (N+P, 2016). In 2003 fielen deutschlandweit ca. 2,5 Mio. t Papierschlamm an (Strom-Magazin, 2003). Aktuelle Mengen für Europa aus den letzten Jahren liegen zwischen ca. 11 Mio. t (Ingenieur.de, 2013) und 14 Mio. t (Recyclingmagazin, 2012). Eine Verbringung auf die Deponie ist seit 2005 nicht mehr erlaubt, daher kommt es z.B. auch zur Mitverbrennung in Kohlekraftwerken, wie im Braunkohlekraftwerk Frimmersdorf. Geplant war hier eine Inputmenge von 180.000 t pro Jahr (Strom-Magazin, 2003).

Es gibt aber auch Forschungsprojekte mit den unterschiedlichsten Zielrichtungen für die Nutzung und Verwertung von Papierschlämmen oder deren Aschen. Beispielsweise wird in einem EU-Forschungsprojekt an der Herstellung isolierender Schäume aus Papierfasern gearbeitet (Fraunhofer, 2013). Eine andere Zielrichtung ist die Entwicklung eines Stoffes gegen die Ölverschmutzung (Recyclingmagazin, 2012). Die Firma Voith Paper wendet seit 2011 eine Technik an, die CTC Technologie, die in einem Dehydrationsprozess aus Papierschlamm thermische Energie und reaktive Mineralien (v.a. Metakaolin mit hoher Puzzolanität) produziert. Bei der konventionellen thermischen Verwertung von Papierschlämmen fallen ca. 25% Asche an (Papier+Technik, 2012). Dies ergäbe theoretisch bei einer Menge von 2,5 Mio. t/a Papierschlamm (s.o.) – bei einer vollständigen Verbrennung und ohne Vermischung mit anderen Brennstoffen – einen rechnerischen Anfall von 625.000 t/a Asche.

4. Weiterführende Überlegungen und Einschätzungen zu den zukünftigen Entwicklungen

Abgeleitet von den in den vorigen Kapiteln genannten Prognosen – bis 2020 (Briese et al., 2014) bzw. 2030 (BBS, 2013) – bezüglich der Produktion von HMV-Schlacken wird von keiner weiteren Erhöhung der HMVA-Inputmengen ausgegangen, eher von einer Verringerung durch bspw. die weiterführende Getrennsammlung. Damit erscheint ein jährliches Aufkommen von 4 bis 5 Mio. t Aschen und Schlacken aus der thermischen Verwertung von Hausmüll/hausmüllähnlichem Müll zukünftig wahrscheinlich. Nach



Betrachtung der Verwertungsquoten in Höhe von ca. 90% liegen augenscheinlich nur geringe freie Mengen auf dem aktuellen Markt vor. Hier ist allerdings auch die Verpflichtung der Aufbereiter die Aschen und Schlacken zu verwerten oder zu entsorgen ausschlaggebend. Dies ist die Motivation die anfallenden Mengen in Qualitäten zu liefern, die vom bestehenden Markt aufgenommen werden können. Zudem gibt es überwiegend längerfristige Lieferverträge, um den Absatz zu gewährleisten. Bei einer genauen Betrachtung der Verwertungswege entfiel in den beschriebenen Jahren der größte Anteil von grob 40-50% auf den Deponiebau.

In den kommenden Jahren wird es allerdings, nach der Beendigung der aktuellen Ausgleichs- und Rekultivierungsmaßnahmen, zu einer drastischen Abnahme des dortigen Bedarfes kommen. Die zukünftig deutlich verringerten Deponiekapazitäten führen dann auch zu steigenden Deponierungskosten, einerseits durch verlängerte Transportwege und andererseits durch wertvoller werdenden Deponieraum.

Die tiefere Aufarbeitung bzw. die Weiterentwicklung von technischen Prozessen bei den HMV-Schlacken wird sich vor dem Hintergrund einer steigenden Rohstoffpreisentwicklung bei den Metallen sicher fortsetzen. Bis zu welchen Partikelgrößen aufbereitet werden wird und welche Mengenströme dann entstehen – die in der Bauindustrie nicht oder nur schlecht verwertet werden könnten – ist wiederum direkt mit den zukünftigen Inputqualitäten und dem Marktgeschehen verknüpft.

Unter Berücksichtigung dieser beiden Entwicklungsrichtungen entsteht in naher Zukunft ein großer Anreiz zur Erschließung neuer Verwertungswege. Aktuell ist diese Entwicklung ja bereits durch den Export durch Teilmengen dokumentiert. Bisher wurde eine Abdeckung (Dünnschichtummantelung) von Kalirückstandshalden auf dem Markt (evtl. sogar regionaler Nachfrager) gar nicht berücksichtigt, hier ergeben sich Möglichkeiten neue Verwertungswege zu erschließen. Dies würde dann natürlich auch die Marktsituation ändern. Gerade die in immer größeren Mengen bzw. zusätzlich entstehenden Fein/Feinstfraktionen aus der tieferen Aufarbeitung sind aus Sicht der Abdeckung zu begrüßen, da sie sich günstig auf den Wasserhaushalt (siehe Einleitung) und die die Qualität (höhere Ausschleusung von Metallen) auswirken können.

Die in den vorherigen Kapiteln diskutierten Prognosen bezüglich der Entwicklung des Aufkommens von Kraftwerksnebenprodukten aus der Kohleverbrennung gehen maximal bis zum Jahr 2030. Hier geben die beiden Quellen (BBS, 2013 und Briese et al., 2014) jedoch unterschiedliche Szenarien an. Es kann längerfristig nur von einer starken Abnahme der Kohleverbrennung insgesamt ausgegangen werden, auch falls sich eine flächendeckendere



Nutzung von verbesserter Verbrennungs- bzw. Abgasreinigungstechnik einstellen sollte. Gründe hierfür sind die erwartete Steigerung des Ausbaus von regenerativen Energien, höhere zukünftige Stromeinsparungen und die ausstehende Verbesserung von Energiespeicherlösungen.

Bei allen diesen Überlegungen wurden mögliche Importe der diskutierten Materialien aus dem (nahen) europäischen Ausland nicht berücksichtigt.

5. Zukünftige Haldenabdeckung für die Kalirückstandshalden im Werra-Gebiet

Bei der Haldenabdeckung der beiden Großhalden in Hattorf und Wintershall wird von einem Schüttungszeitraum von 2025 bis 2075 ausgegangen. Für die Halde in Hattorf (Philippsthal) mit einer geplanten Haldengröße von ca. 230 ha Grundfläche (extrapoliert auf das Jahr 2060) liegt eine Betrachtung möglicher Plateau- und Böschungsflächen vor. Es wird von einer Plateaufläche von ca. 80 ha und einer Flankenfläche von ca. 175 ha ausgegangen. Unter der Annahme einer durchschnittlich 3 m mächtigen Abdeckung des Plateaus und einer durchschnittlich 5 m mächtigen Flankenabdeckung entsteht ein jährlicher Materialbedarf von ca. 320.000 t/a.

Für die Halde IV des Standortes Wintershall (Heringen) wird von ähnlichen Flächengrößen ausgegangen, so dass mit einem Gesamtbedarf von ca. 650.000 t/a kalkuliert wird. Diese Materialmenge kann jährlich aufgebracht werden, wenn ein tägliches Transportaufkommen von ca. 4 - 5 LKWs pro h über einen 10 h Arbeitstag (6 Tage Woche) zugrunde gelegt wird.

Aktuell wird für die Dünnschichtummantelung von einer Materialmischung aus ca. 5% (hoch-)puzzolanischem Feinmaterial (z. B. Kohleverbrennungsprodukt) und ca. 95% HMV-Schlacken ausgegangen. Die benötigten Mengen des puzzolanischen Feinmaterials werden stark von den tatsächlichen Verfestigungseigenschaften beeinflusst. Bei einem Anteil von ca. 5% wird ein hohes Verfestigungsvermögen vorausgesetzt. Bei geringerem Verfestigungsvermögen würde sich der Anteil des puzzolanischen Feinmaterials an der Materialmischung erhöhen. Solange entsprechende Kohleverbrennungskapazitäten – die ja den Großteil dieser Materialien produzieren – bestehen, kann der Anteil der dort anfallenden Aschen in der Materialmischung höher liegen. Somit handelt es sich bei der Angabe von ca. 5% puzzolanisches Feinmaterial um eine Minimumvariante.



Ausgehend von einem gerundeten Gesamtbedarf von 650.000 t Materialmischung ergeben sich damit pro Jahr benötigte Mengen von ca. 32.500 t an (hoch-) puzzolanischem Feinmaterial und ca. 617.500 t an HMV-Schlacken.

Auf Basis der erwarteten jährlichen 4 bis 5 Mio. t Schlacken und Aschen aus der HMV-Verbrennung, läge der benötigte Anteil für die Abdeckung der beiden Kalirückstandshalden zwischen 12 und 15%. Wir gehen davon aus, dass diese Materialmengen aus Aufbereitungsanlagen in einer wirtschaftlichen Entfernung zum Einsatzort langfristig zu requirieren sind. Da die technischen, wirtschaftlichen und politischen Entwicklungen in der Aufbereitung und Verwertung noch nicht weiter abzusehen sind, könnten eventuell fehlende Feinanteile auch durch andere Materialien, wie z.B. aus der Steine-und-Erden-Industrie gedeckt werden.

Da der puzzolanische Feinanteil nur zu geringen Anteilen (ca. 5%, dies entspricht 32.500 t/a) in der Materialmischung vorgesehen ist, sollte eine ausreichende Verfügbarkeit der Reststoffmengen bzw. -qualitäten in den nächsten Jahrzehnten trotz zunehmender Stilllegung von Kohlekraftwerken möglich sein. Geht man von einer benötigten Größenordnung von 50.000 t/a aus, so liegt der Anteil an den anfallenden Kraftwerksnebenprodukten – bezogen auf das Aufkommen von 2011 (Braunkohle + Steinkohle = 22,78 Mio. t siehe Tabelle 1 S.17) bei unter 0,5%. Bei Berechnungen auf Basis des Aufkommens von 2011, die eine 50%ige bzw. 70%ige Reduktion der anfallenden Mengen beinhalten, läge der Anteil theoretisch immer noch unter 1%. Sollten dann in fernerer Zukunft tatsächlich keine Reststoffe mit verfestigenden Eigenschaften aus der Kohleverbrennung zur Verfügung stehen, müssten diese Eigenschaften in der Materialmischung durch Zugabe von alternativen Materialien, z.B. Branntkalk hergestellt werden.

Die Haldenabdeckung ist damit bezüglich des Materialbedarfes und des -aufkommens auch langfristig bis 2075 realisierungsfähig.

Unter den zuvor dargelegten Annahmen, dass eine tiefergehende Aufbereitung der HMV-Schlacken stattfindet und dadurch größere Mengen feinkörniger Fraktionen anfallen, die nicht oder schlechter in den jetzigen Verwertungswegen eingesetzt werden können und die Deponiekapazitäten sich stark verringern werden, kann sich ein sehr breites Kostenspektrum für das HMV-Material ergeben. Bei einer Erhöhung der Deponiekosten kann sich unter Umständen eine Zuzahlung für den Abnehmer ergeben oder ein Teil der Transportkosten abgefangen werden. Ansonsten ergeben sich in den meisten Fällen Transportkosten, die je nach Entfernung vom Aufbereiter zu den Halden variieren.



6. Zusammenfassung

- Einleitend wird der Stand der Dünnschichtummantelung auf der Rückstandshalde des Werkes Sigmundshall bei Wunstorf und ein laufender Lysimeter – Feldversuch auf der Halde IV (Wintershall) des Werkes Werra in Heringen vorgestellt.
- Nachfolgend werden Schlacken und Aschen aus der Hausmüll-, Braunkohle-, Steinkohle- und Papier- (Papierschlamm-) -verbrennung, sowie Kraftwerksnebenprodukte beschrieben.
- In den Kapiteln über die Materialien sind Aussagen über Mengen und Verwertungen enthalten.
- In weiterführenden Überlegungen werden die zukünftigen Entwicklungen und sich ändernden Mengenströme diskutiert.
- Abschließend findet eine Berechnung der jährlich notwendigen Materialmengen bei einem Abdeckzeitraum von 50 Jahren für die beiden Großhalden (Hattorf, Heringen IV) an der Werra statt.
- Als Ergebnis der Studie wird festgestellt, dass zur Abdeckung der beiden Großhalden an der Werra bis mindestens 2040 mehr als genügend Materialmengen zur Verfügung stehen. Bis zum Ende des Schüttungszeitraums (2075) werden auch keine gravierenden Schwierigkeiten in der Materialbeschaffung gesehen.



UMWELTSICHERUNG

Prof. Dr. Helge Schmeisky

Steinstraße 21

D- 37213 Witzenhausen

Tel.: +49 (0)5542/3037893

Fax: +49 (0)5542/3038531

umweltsicherung@schmeisky.de

www.schmeisky.de

**Begrünungskonzept für Kalirückstandshalden
im Werra-Gebiet**

**Stellungnahme zu aktuellen bzw. zukünftigen
Mengenströmen von Reststoffen aus
Verbrennungsanlagen für eine Dünnschichtabdeckung**

Witzenhausen, den 29.01.2016

Prof. Dr. H. Schmeisky



1. Quellen

BBS, 2013

Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden (BBS) e.V. (Hrsg.) [Schwarzkopp, F.; Drescher, J.; Gornig, M. und Blazejczak, J.]: *Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine-und-Erden-Industrie bis 2030 in Deutschland*. Überarbeitete Fassung August 2013

<http://www.bvbaustoffe.de/cms/website.php?id=/de/downloads.htm>

Briese et al., 2012

Briese, D.; Duill, B. und Westholm, H.: *Der Markt für MVA-Schlacken*. In: Thomé-Komiensky, K. (Hrsg.): *Recycling und Reststoffe*, 2012 Bd. 5: 811-813

Briese et al., 2014

Briese, D.; Herden, A. und Esper, A.: *Markt für Sekundärrohstoffe in der Bauindustrie bis 2020 – Kraftwerksnebenprodukte, MVA-Schlacke und Recycling-Baustoffe*-. In: Thomé-Komiensky, K. (Hrsg.): *Mineralische Nebenprodukte und Abfälle – Aschen, Schlacken, Stäube, Baureststoffe*, 2014: 117-128

Fischer, 2014

Fischer, R.: *Verwendung von Hausmüllverbrennungsschlacke nach gegenwärtigen und zukünftigen Regelwerken - als ein Beispiel für die Ersatzbaustoffe* -. In: Thomé-Komiensky, K. (Hrsg.): *Mineralische Nebenprodukte und Abfälle – Aschen, Schlacken, Stäube, Baureststoffe*, 2014: 209-242

Fraunhofer, 2013

Fraunhofer Energie: Presseinformation 31.10.2013: *EU-Projekt BRIMEE gestartet – 131031_FraunhoferUMSICHT: Papierfasern - Rohmaterial zur Herstellung isolierender Schäume*.

https://www.energie.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen-1/pressemitteilungen_dateien/fraunhofer-umsicht-herstellung-von-nachhaltigen-daemmplatten-aus-nanocellulose vom 26.01.2016

Hensel et al., 2015

Hensel, O.; Retz, S.; Schellert, C. und Bilibio, C.: *Begrünungskonzept für Kalirückstandshalden im Werra-Gebiet. Stufe II, Feldversuch auf der Halde IV Heringen, Zwischenbericht - Teilbericht B*. Universität Kassel, Fachgebiet Agrartechnik, 2015 unveröffentlicht



Ingenieur.de, 2013

ingenieur.de: 31.10.2013: *Industriereste sinnvoll verwerten – Aus Papierfasern werden nanokristalline Dämmplatten.*

<http://www.ingenieur.de/Fachbereiche/Verfahrenstechnik/Aus-Papierfaserschlamm-nanokristalline-Daemmplatten> vom 26.01.2016

Kersting, 2015

Kersting, D.: *Situation der Hausmüllverbrennungsaschen Industrie – Technik – Kosten und Markt.* In: Thomé-Komiensky, K. (Hrsg.): Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 2 – Aschen, Schlacken, Stäube, Baureststoffe, 2015: 273-290

Kohlenstatistik, 2014

Statistik der Kohlenwirtschaft e.V.: *Braunkohle im Überblick 1989-2014* (Stand September 2014)

http://www.kohlenstatistik.de/files/bk-ueberblick_2.pdf vom 20.01.2016

N+P, 2016

N+P Group BV – N+P International BV, Nieuw Bergen, Niederlande: *Papierschlämme, Rejecte und Papieraschen*

<http://www.np-recycling.nl/de/projekte/papierindustrie.html> vom 22.01.2016

<http://www.np-recycling.nl/de/industrielle-reststoffe/papierasche.html> vom 25.01.2016

<http://www.np-recycling.nl/de/industrielle-reststoffe/papierschlamm.html> vom 25.01.2016

Niessing, 2005

Niessing, S.: *Rekultivierung von Rückstandshalden der Kaliindustrie -6- Begrünungsmaßnahmen auf der Rückstandshalde des Kaliwerkes Sigmundshall in Bokeloh. Ökologie und Umweltsicherung 25/2005.* Universität Kassel, Fachgebiet Landschaftsökologie und Naturschutz

Papier+Technik, 2012

papierundtechnik.de: 06.02.2012 *Ausgabe Papier + Technik 01/2012: Umwandlung von Schlamm in wertvolle Mineralien und Energie – Erhöhte Wertschöpfung.*

<http://www.papierundtechnik.de/pt/live/fachartikel/detail/1/72.html> vom 22.01.2016



Papke und Schmeisky, 2013

Papke, G. und Schmeisky, H.: *Rekultivierung von Rückstandshalden der Kaliindustrie -8- Ergebnisse aus langjährigen wissenschaftlichen Begleituntersuchungen der Begrünungsflächen auf der Kalirückstandshalde Sigmundshall in Bokeloh.* Ökologie und Umweltsicherung 35/2013. Universität Kassel-Witzenhausen

Recyclingmagazin, 2012

recyclingmagazin.de: News 06.12.2012: Technik: Forscher entwickeln aus Papierschlamm Stoff gegen Ölverschmutzung.

http://www.recyclingmagazin.de/rm/news_detail.asp?ID=17889&NS=1 vom 22.01.2016

Scheer, 2001

Scheer, T.: *Rekultivierung von Rückstandshalden der Kaliindustrie -4- Untersuchungen zur Nutzbarkeit aufbereiteter Salzschlacke der Sekundäraluminium-Industrie als Rekultivierungsmaterial einer Kali-Rückstandshalde.* Ökologie und Umweltsicherung 20/2001. Universität Kassel, Fachgebiet Landschaftsökologie und Naturschutz

Schmeisky und Mitarbeiter, 1993

Schmeisky, H. und Mitarbeiter: *Stellungnahme zur Aufhaldung von Rückständen aus dem REKAL-Verfahren (Aufbereitung von Salzschlacken aus der Sekundär-Aluminium-Industrie).* Gesamthochschule Universität Kassel, Fachgebiet Ökologie und Naturschutz, April 1993 im Auftrag von K+S, unveröffentlicht

Schmeisky et al., 2014

Schmeisky, H; Schmeisky, A. und Brenner, C. : *Begrünungskonzept für Kalirückstandshalden im Werra-Gebiet. Stufe II, Feldversuch auf der Halde IV Heringen, Zwischenbericht - Teilbericht A.* Umweltsicherung Schmeisky, Dezember 2014, unveröffentlicht

Strom-Magazin, 2003

strom-magazin.de: Strom-News 27.08.2003: Recycling: Papierschlamm wird in Kraftwerken entsorgt.

http://www.strom-magazin.de/strommarkt/papierschlamm-wird-in-braunkohlekraftwerken-entsorgt_9857.html vom 22.01.2016



Terranova, 2016

Terranova GmbH, 4226 Breitenbach, Schweiz: *Entsorgung Papierindustrie – Reststoffe, Entsorgungswege*

<http://terranova-gmbh.ch/de/Handel/Entsorgung/Papierindustrie/Papierindustrie.html>

<http://terranova-gmbh.ch/de/Handel/Entsorgung/Papierindustrie/Reststoffe/Reststoffe.html>

<http://terranova-gmbh.ch/de/Handel/Entsorgung/Papierindustrie/Entsorgungswege/Entsorgungswege.html>

alle vom 22.01.2016

UBA, 2010

Umweltbundesamt (Hrsg.) [Alwast, H. und Riemann, A.]: *Verbesserung der umweltrelevanten Qualitäten von Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen*. Texte 50/2010

<http://www.uba.de/uba-info-medien/4025.html>

UBA, 2012

Umweltbundesamt (Hrsg.) [Knappe, F.; Dehoust, G.; Petschow, U. und Jakuboski, G.]: *Steigerung von Akzeptanz und Einsatz mineralischer Sekundärrohstoffe unter Berücksichtigung schutzgutbezogener und anwendungsbezogener Anforderungen des potenziellen, volkswirtschaftlichen Nutzens sowie branchenbezogener, ökonomischer Anreizinstrumente*. Texte 28/2012

<http://www.uba.de/uba-info-medien/4305.html>

VGB, 2016

VGB Power Tech e.V. (© 2016): *Produktion und Verwendung von Kraftwerksnebenprodukten aus Kohlekraftwerken in Deutschland im Jahr 2011*

https://www.vgb.org/kwnebenprodukte.html?highlight=Kraftwerksnebenprodukte+2011#Statistik_D vom 20.01.2016