



Europäische Union. Europäischer  
Fonds für regionale Entwicklung.  
Evropská unie. Evropský fond pro  
regionální rozvoj.



Ahoj sousede. Hallo Nachbar.  
Interreg V A / 2014 – 2020

# Deponieworkshop Zittau-Liberec 2017

## Deponiebau - EU-Wasserrahmenrichtlinie - Stoffströme und Deponierückbau

09.-10. November 2017



# Skládkový workshop Žitava-Liberec 2017

Výstavba skládek - Směrnice EU, kterou  
se stanoví rámec pro činnost Společenství  
v oblasti vodní politiky -  
látkové proudy a odtěžování skládek

9.-10. listopadu 2017



# Management mineralischer Stoffströme und Ersatzbaustoffe in Deutschland

## Management minerálních látkových proudů a sekundárních stavebních hmot v Německu

Petra Schneider<sup>1</sup>; Andreas Meyer<sup>2</sup>; Mario Müller<sup>3</sup>

### Kurzfassung

Kreislaufwirtschaftlich basiertes Management mineralischer Stoffströme hat in den letzten Jahren signifikant an Bedeutung gewonnen. Mineralische Stoffströme im Sinne einer nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung umfassen dabei sowohl Rohstoffe als auch Sekundärrohstoffe. Die nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung hat den Fokus auf der rationellen Bewirtschaftung basierend auf den naturwissenschaftlich-technischen-ökonomischen Grundlagen der Ressourcenschonung und der Verbesserung der Ressourceneffizienz. Übergeordnetes Ziel ist dabei die Verringerung der negativen ökologischen Folgen und der Belastungen durch die Ressourcennutzung. Stoffströme umfassen dabei alle Materialbewegungen durch Gewinnung, Verarbeitung, Produktion, Verbrauch und Verwertung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, Energie, Produkten und Abfällen. Der Beitrag stellt den aktuellen Stand des Umgangs mit Reststoffen, mineralischen Rückständen sowie Bodenmaterialien vor, und den Umgang mit bei auf Altlasten bzw. Industriebranchen anfallenden Abfälle und Rückstände.

Der Begriff des Stoffstrommanagements beschreibt dabei eine tiefgreifende Analyse und gezielte Optimierung von Material- und Energieströmen, die bei der Herstellung von Produkten und Dienstleistungen entstehen, zum Beispiel durch Werkzeuge wie die Ökobilanzierung und /oder Stoffstromanalysen. Die Ergebnisse einer Ökobilanzierung dienen in besonderer Art und Weise der Optimierung und somit der Implementierung eines angewandten Stoffstrommanagements, welches in integraler Weise die Möglichkeit eröffnet Ökonomie und Ökologie auf verschiedenen Ebenen zu verbinden, und dabei durch den Einbezug der Vorketten deutlich über die Vorgehensweise einer Umweltverträglichkeitsuntersuchung hinausgeht. Beispielhaft werden in dem Beitrag Ökobilanzen a) der Gewinnung mineralischer Rohstoffe, b) weiterverarbeiteter mineralischer Baustoffe, und c) von Sekundär- bzw. Ersatzbaustoffen vor- und gegenübergestellt.

### Abstrakt

Management minerálních látkových toků v rámci oběhového hospodářství získal v uplynulých letech signifikantně na významu. Minerální látkové toky zahrnují v duchu udržitelného využívání zdrojů jak suroviny, tak i sekundární látky. Udržitelné využívání surovin je zaměřeno na racionální přístup na základě přírodovědně-technicko-ekonomických zásad úsporného využívání zdrojů a zlepšování efektivity spotřeby zdrojů. Nadřazeným cílem je snížení negativních

<sup>1</sup>Hochschule Magdeburg-Stendal, Deutschland; Breitscheidstraße 2, 39114 Magdeburg;  
Tel.: +49 (0)391 886 4577, E-Mail: petra.schneider@hs-magdeburg.de

<sup>2</sup>Hochschule Magdeburg-Stendal; Breitscheidstr. 2, D-39114 Magdeburg;  
E-Mail: andreas.meyer@hs-magdeburg.de

<sup>3</sup>DBI-EWI GmbH; Halsbrücker Str. 34; D-09599 Freiberg;  
E-Mail: m.mueller@dbi-ewi.de

ekologických důsledků a zátěže v důsledku využívání zdrojů. Látkové toky přitom zahrnují veškerý pohyb materiálu v důsledku těžby, zpracování, výroby, spotřeby a zhodnocení surovin, pomocných a provozních látek, energií, produktů a odpadů. V tomto příspěvku bude představen aktuální stav přístupu k surovinám, minerálním reziduíům a půdnímu materiálu a přístup k odpadům a reziduíům z brownfields.

Pojem management látkových toků přitom popisuje hloubkovou analýzu a cílenou optimalizaci materiálových a energetických toků, vznikajících při výrobě produktů a služeb, například pomocí nástrojů a ekologické bilance a / nebo analýzy látkových toků. Výsledky ekologické bilance slouží optimalizaci a tím implementaci aplikovaného managementu látkových toků, který integrálním způsobem otevírá možnosti pro spojení ekonomie a ekologie na různých úrovních a přitom zapojením předcházejících řetězců jasně přesahuje postup posuzování vlivů na životní prostředí. Jako příklad je v příspěvku porovnávána ekologická bilance a) těžby minerálních surovin, b) dalšího zpracování minerálních stavebních hmot a c) druhotných surovin, případně sekundárních stavebních hmot.

## 1 Einleitung

Die nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung hat den Fokus auf der rationellen Bewirtschaftung von biotischen und abiotischen Ressourcen, basierend auf den naturwissenschaftlich-technischen-ökonomischen Grundlagen der Ressourcenschonung und der Verbesserung der Ressourceneffizienz. Übergeordnetes Ziel ist dabei die Verringerung der negativen ökologischen Folgen. Stoffströme umfassen dabei alle Materialbewegungen durch Gewinnung, Verarbeitung, Produktion, Verbrauch und Verwertung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, Energie, Produkten und Abfällen. Der Begriff des Stoffstrommanagements beschreibt die tiefgreifende Analyse und gezielte Optimierung von Material- und Energieströmen, die bei der Herstellung von Produkten und Dienstleistungen entstehen, zum Beispiel durch Werkzeuge wie die Stoffstromanalyse, Ökobilanzierung und/oder Ökoeffizienzanalyse. Die Ergebnisse einer Ökobilanzierung dienen in besonderer Art und Weise der Optimierung und somit der Implementierung eines angewandten Stoffstrommanagements, welches in integraler Weise die Möglichkeit eröffnet, Ökonomie und Ökologie auf verschiedenen Ebenen zu verbinden, und dabei durch den Einbezug der Vorketten deutlich über die Vorgehensweise einer Umweltverträglichkeitsuntersuchung hinausgeht.

Ökoeffizienz ist definiert als Verhältnis zwischen ökonomischen und ökologischen Größen, und stellt die sprachliche Verkürzung von „ökonomisch-ökologischer Effizienz“ dar [1]. Hierbei fließt die ökonomische Größe als Wertschöpfung, die ökologische Größe als Schadschöpfung in das Verhältnis ein, wobei die Schadschöpfung der Summe aller direkt und indirekt verursachten Umweltbelastungen entspricht [1]. Beispiele für Ökoeffizienzmaße sind Wertschöpfung [€]/emittiertes CO<sub>2</sub> [t], Wertschöpfung [€]/fester Abfall [t] oder Wertschöpfung [€]/verbrauchte Energie [kWh] [1]. Ein geeignetes Werkzeug für die Ermittlung der Umweltwirkungen entlang eines Produktlebensweges ist die Ökobilanzierung gemäß DIN ISO 14040:2006. Ökobilanzen sind Lebenszyklusanalysen. Daher sind bei der Erstellung von Ökobilanzen die zwei Grundsätze der medienübergreifenden und der stoffstromintegrierten Betrachtung zu berücksichtigen. Die stoffstromintegrierte Betrachtung geht davon aus, dass alle Stoffströme, die mit dem betrachteten System verbunden sind, in die Analyse einbezogen werden (Rohstoffeinsätze und Emissionen von der Exploration bis zur Entsorgung einschließlich des Transportes, aller Nebenprozesse und der Energieerzeugung und Bereitstellung)

Der Beitrag befasst sich mit dem Management mineralischer Stoffströme und Ersatzbaustoffe in Deutschland, und hat hierbei sowohl Primär- und Sekundärrohstoffe als auch Ersatzbaustoffe im Fokus. Primärrohstoffe sind natürliche Ressourcen, die bis auf die Lösung aus ihrer natürlichen Quelle noch keine Bearbeitung erfahren haben. Sekundärrohstoffe werden durch Recycling der Primärrohstoffe gewonnen. Bei mineralischen Ersatzbaustoffen (MEB)

handelt es sich gemäß der geplanten Ersatzbaustoffverordnung, als Artikel 1 der Mantelverordnung [2] um „anstelle von Primärrohstoffen verwendete Baustoffe aus industriellen Herstellungsprozessen oder aus Aufbereitungs-/ Behandlungsanlagen (Abfälle, Produkte) wie z. B. Recyclingbaustoffe (Bauschutt), Bodenmaterial, Schlacken, Aschen, Gleisschotter“. Wie aus der Auflistung ersichtlich ist wird ein Teil der Sekundärrohstoffe auch Ersatzbaustoffen zugeordnet (z.B. Bauschuttrecyclingmaterial).

Den jährlich etwa 520 Mio. t entnommenen Baumineralien stehen etwa 100 Mio. t nicht verwertete Rohstoffentnahme, d.h. Abraum, gegenüber (Quelle: Statistisches Bundesamt). Weitere signifikante mineralische Stoffströme in Deutschland sind Bergematerialien aus dem Abbau von Braunkohle oder sonstigen Energieträgern mit 1.640 Mio. t. Außerdem fallen in Deutschland jährlich etwa 240 Mio. t mineralische Abfälle und industrielle Nebenprodukte an ([3], Statistisches Bundesamt 2012), die zu mehr als 90 % verwertet werden. Von den mineralischen Abfällen sind ca. 140 Mio. t Boden und Steine, ca. 73 Mio. t Bauabfall und Straßenaufbruch, ca. 15 Mio. t Aschen und Schlacken aus Kraftwerken und anderen Verbrennungsprozessen, ca. 7 Mio. t Hochofenschlacke sowie ca. 6 Mio. t Stahlwerksschlacke [3]. Im Jahr 2014 betrug die Menge mineralischen Bauabfälle einschließlich Bodenaushubs 202,0 Mio. t (Quelle: Umweltbundesamt (UBA)), von denen 118,5 Mio. t auf Bodenaushub entfielen. Die beiden wichtigsten Verwertungswege für mineralische Abfälle sind das Recycling, sowie die Verfüllung von Abgrabungen und Tagebauen.

## **2 Übersicht über mineralische Stoffströme und Ersatzbaustoffe in Deutschland und in Sachsen**

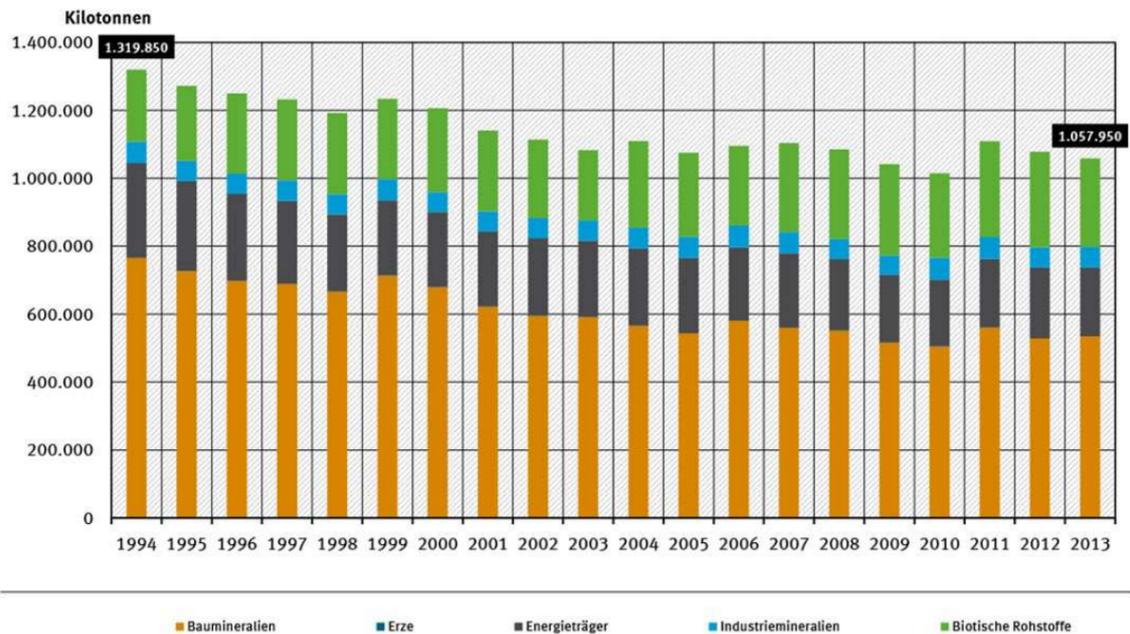
Die folgende Übersicht über mineralische Stoffströme in Deutschland bezieht sich auf Primärrohstoffe, mineralische Sekundärbaustoffe und Ersatzbaustoffe.

### **2.1 Mineralische Primärrohstoffe**

Abbildung 1 gibt eine Übersicht über die Entwicklung der Entnahme an Primärrohstoffen in Deutschland im Zeitraum 1994 bis 2013.

Der Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. (BBS) hat im Rahmen der aktuellen DIW/SST-Studie „Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine-und-Erden-Industrie bis 2035 in Deutschland“ [2] die Bedeutung der mineralischen Baustoffe untermauert. Die Prognosen besagen, dass die Nachfrage nach primären Steine-Erden-Rohstoffen bei geringer wirtschaftlicher Dynamik mit 523 Mio. t in 2035 nur leicht unter dem Stand von 2013 (544 Mio. t) liegen dürfte. Im Falle eines stärkeren Wachstums wird eine Nachfrage von 650 Mio. t/a prognostiziert. Mit einer Substitutionsquote von 15 % an Primärrohstoffen durch Sekundärrohstoffe ist die Branche ein Eckpfeiler der Kreislaufwirtschaft.

Im Jahr 2014 dominierten unter den Baumineralien Sand und Kies mit 238 Mio. t sowie gebrochene Natursteine mit 211 Mio. t, gefolgt von Kalkstein und Dolomit mit 64 Mio. t (Quelle: UBA). Gemäß den Angaben des Umweltbundesamtes nahm die Masse aller im Tagebau entnommenen Rohstoffe zwischen 1994 und 2014 im Mittel um 28,8 % ab, wobei der deutlichste Rückgang wegen der nachlassenden Bautätigkeit seit den 1990er Jahren bei den mineralischen Baustoffen mit 33,2 % zu verzeichnen war (Quelle: UBA). Der Abbau von Rohstoffen im Tagebau ist mit Flächeninanspruchnahme verbunden. Im Jahr 2014 war hiervon eine Fläche von 2.549 ha betroffen, was einer täglichen Flächeninanspruchnahme von 7,0 ha entspricht. Hierbei entfielen im Jahr 2014 pro Tag rund 3,6 ha auf den Abbau von Baumineralien (Quelle: UBA). Der Anteil an genehmigten und im Verfahren befindlichen Rohstoffabbauflächen der Steine und Erdenindustrie liegt im Bundesgebiet bei 0,05 % der Landesfläche. Aus geologischer Sicht besteht Deutschland aus einer bedeutenden Ressource an abbaubaren mineralischen



Quelle: Statistisches Bundesamt: Umweltnutzung und Wirtschaft - Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 2015, [www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltökonomischeGesamtrechnungen/Querschnitt/UmweltnutzungundWirtschaftTabellenband.htm](http://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltökonomischeGesamtrechnungen/Querschnitt/UmweltnutzungundWirtschaftTabellenband.htm)

Abbildung 1: Rohstoffentnahme in Deutschland (Quelle: Statistisches Bundesamt): orange Balkenabschnitte beschreiben Baumineralien.

Primärrohstoffen, welche jedoch zu einem großen Teil aufgrund konkurrierender Nutzungsansprüche praktisch nicht verfügbar.

In Sachsen stehen 330 operative Steine- und Erdenbetriebe unter Bergaufsicht. Das entspricht einer Gesamtfläche von 82,4 km<sup>2</sup>, wobei 22,3 km<sup>2</sup> auf die Nassgewinnung (34 Betriebe) entfallen. Die Jahresförderleistung (2014) der Gewinnungsbetriebe ist Tabelle 1 [4] zu entnehmen.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Rohförderung, unterteilt in Bodenschatzgruppe und die Anzahl der fördernde Betriebe 2014 im Bundesland Sachsen [4].

Bodenschatzgruppe	Rohförderung 2014 (Mio. t)	Anzahl fördernde Betriebe 2014
Festgestein	19,76	70
Kiese und Kiessande	14,11	101
Kaolin	1,60	11
Lehm, Ziegelton	1,03	12
Kalk und Dolomit	0,54	3
Quarz- und Formsande	0,044	1
Spezialton	0,32	8
<b>Gesamt</b>	<b>37.40</b>	<b>206</b>

Die Steine-Erden-Rohstoffe finden in der Bau- und Baustoffindustrie und als Grundstoff in anderen Industriezweigen Verwendung. Die Gewinnung findet überwiegend über Tage statt, d. h. aktuell in 221 Betrieben (Stand: 2015, eine zunehmende Anzahl im Vergleich zu 2014 mit 206 Betrieben), die unter Bergaufsicht stehen. Drei Betriebe gewinnen die Bodenschätze derzeit unter Tage. Daneben betreiben etwa 50 weitere Betriebe Rohstoffgewinnung außerhalb der Bergaufsicht, d.h. dass deren Aktivitäten unter dem Abtragungsgesetz geregelt sind.

## 2.2 Bau- und Abbruchabfälle / mineralische Sekundärbaustoffe

Mineralische Sekundärbaustoffe werden maßgeblich aus Bau- und Abbruchabfällen gewonnen, welche mit >500 Mio. t (25 – 30 % des gesamten Abfallaufkommens) nicht nur der bedeutendste mineralische Stoffstrom in der EU, sondern auch in Deutschland sind. Der Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. (BBS) ordnet Bau- und Abbruchabfälle den „praxisrelevanten Fraktionen“ Bauschutt, Straßenaufbruch, Boden und Steine, Bauabfälle auf Gipsbasis und Baustellenabfälle zu [4]. Mineralische Bau- und Abbruchabfälle stellen ein großes kreislaufwirtschaftliches Wertstoffreservoir dar. In den vergangenen Jahren wurde zwar ein Großteil der Bau- und Abbruchabfälle in Sachsen einer Verwertung zugeführt, jedoch wurde mehr als die Hälfte davon zur Verfüllung übertägiger Abbaustätten genutzt. Gemäß der abfallwirtschaftlichen Prioritätenfolge des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist die Verfüllung als „Sonstige Verwertung“ dem Recycling nachrangig.

Mineralische Sekundärbaustoffe, d.h. recycelte Baustoffe, werden maßgeblich als Gesteinskörnungen im Straßen-, Erd- und Deponiebau eingesetzt. Gemäß den Angaben des Umweltbundesamtes (UBA) betrug der Anfall mineralischer Abfälle aus den Fraktionen Bauschutt und Straßenaufbruch im Jahr 2014 deutschlandweit 68,2 Mio. t und diente der Erzeugung von 55,3 Mio. t Recycling-Baustoffen. Unter Einbezug der Recycling-Gesteinskörnungen aus Boden, Steinen und Baustellenabfällen ergab sich eine bereitgestellte Menge von 67,6 Mio. t an Recycling-Baustoffen. Die Recyclate wurden folgendermaßen eingesetzt: 14,0 Mio. t als Gesteinskörnung in der Asphalt- und Betonherstellung, 35,5 Mio. t im Straßenbau, 16,4 Mio. t im Erdbau und 1,7 Mio. t in sonstigen Anwendungen wie Deponiebau (Quelle: UBA). Die Recyclingprodukte deckten einen Anteil von 12,3 % des Gesamtbedarfs an Gesteinskörnungen (549 Mio. t im Jahr 2014). Aktuelle gesetzliche Entwicklungen sind im Zusammenhang mit der Wiederverwertung von Bau- und Abbruchabfällen zu berücksichtigen: der Beschluss des Kabinetts vom 03.05.2017 zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung (zusammengefasst unter der „Mantelverordnung“) [2], welche die Optionen zur Nutzung mineralischer Ersatzbaustoffe erweitert.

Die Bundesregierung weist in ihrer Begründung für die Mantelverordnung [2] auf Folgendes hin:

*„Die als Beurteilungsgrundlage in der Praxis häufig herangezogenen Regelwerke, die LAGA-Mitteilung 20 und die „Technische Regel Boden“, bilden weder eine bundeseinheitliche noch eine rechtsverbindliche Grundlage für die ordnungsgemäße und schadlose Verwertung mineralischer Abfälle. Auch aus fachlicher Sicht entsprechen diese Regelwerke nicht mehr in vollem Umfang dem gegenwärtigen Stand der Erkenntnisse.“*

Weiterhin wird in [2] bilanziert, dass neben einem einmaligen Umstellungsaufwand für die Wirtschaft Mehrkosten in Höhe von 150 bis 195 Mio. €/a auf Grund von zu erwartenden Stoffstromverschiebungen beim Bodenaushub und Bauschutt resultieren, die sich aus der Neufassung der BBodSchV ergeben.

Im Projekt MinRessource I [4] wurden die in Sachsen zukünftig anfallenden Stoffströme an Baurestmassen überschlägig ermittelt, um den zukünftigen Umgang mit diesem Stoffstrom bilanzieren zu können. Während 2012 die Fraktionen Bodenmaterial und Bauschutt zu nahezu gleichen Anteilen die Menge der Bau- und Abbruchabfälle bestimmten, wird sich deren Verhältnis bis 2060 auf etwa 40:60 verschieben [4] (vgl. Abbildung 2). Die langfristige absolute Menge wurde mit 9 bis 10 Mio. t/a prognostiziert. Gemäß den Ergebnissen in MinRessource I [4] wurden im Jahr 2010 in Sachsen ca. 9,8 Mio. t mineralischer Bau- und Abbruchabfälle entsorgt, wobei 92 % der Gesamtsumme auf die Fraktionen Boden und Steine sowie Bauschutt [4] entfielen. Gemäß den Angaben in [4] werden in Sachsen 99 % der betrachteten Abfälle einer Verwertung in übertägigen Abbaustätten (59 %) und in Aufbereitungsanlagen (35 %) zugeführt. Insgesamt war im Zeitraum 2006 – 2012 ein abnehmender Trend bei den Mengen an mineralischer Bau- und Abbruchabfällen zu verzeichnen (Bodenmaterial -36 %, Bauschutt

-17 % [4]).

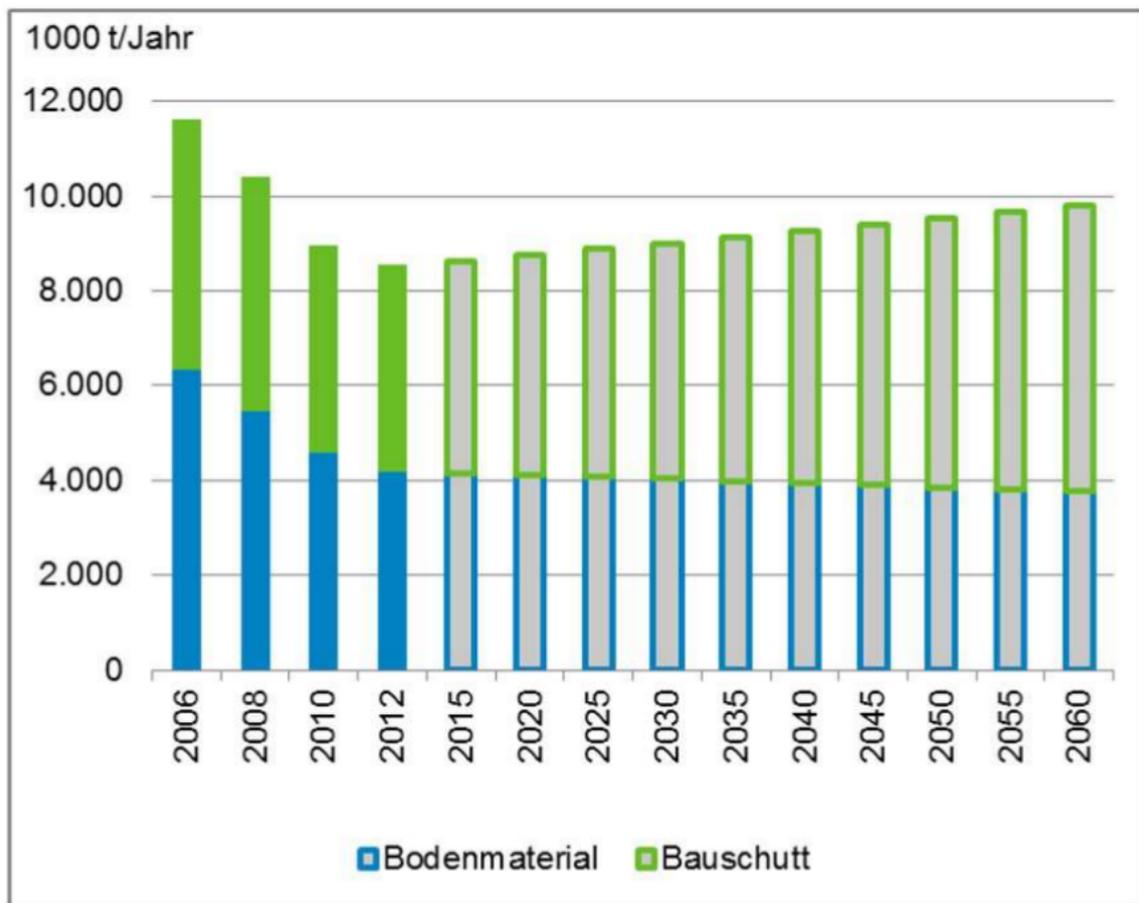


Abbildung 2: Prognostische Entwicklung der anfallenden Mengen an Bodenmaterial und Bauschutt in Sachsen [4].

### 2.3 Mineralische Ersatzbaustoffe (MEB)

Die Ersatzbaustoffverordnung wird erstmalig Regelungen zum Umgang mit mineralischen Ersatzbaustoffen (MEB) beinhalten. In der aktuellen Fassung berücksichtigt der Entwurf der Verordnung folgende Materialarten: Bodenmaterial, gem. § 2 Absatz 1 des BBodSchG und deren Ausgangssubstrate, aufbereitetes Baggertgut, Recycling-Baustoff, Ziegelmaterial, Hochofenstüchschlacke, Hüttensand, Stahlwerksschlacke, Edelstahlschlacke, Gießereirestsand, Gießerei-Kupolofenschlacke, Kupferhüttenmaterial, Schmelzkammergranulat, Steinkohlenkesselschlacke, Steinkohlenflugasche, Braunkohlenflugasche, Hausmüllverbrennungsgasche, Sonderabfallverbrennungsgasche und Gleisschotter.

Mit der Ersatzbaustoffverordnung soll eine bundeseinheitliche, rechtsverbindliche Vollzugspraxis für die Verwendung von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken geschaffen werden. Dies betrifft auch die Einsatzmöglichkeiten in Deponiebauwerken. Gemäß DepV sind als Deponieersatzbaustoff (DEBS), außer für die Rekultivierungsschicht des Oberflächenabdichtungssystems, ausschließlich mineralische Abfälle zugelassen. Die Zuordnungskriterien und Zuordnungswerte sind in der DepV, Anhang 3, geregelt. Um die grundsätzlichen Materialanforderungen sowie die Anforderungen an die Qualitätsmerkmale Abdichtungswirkung, mechanische Widerstandsfähigkeit, Beständigkeit, Herstellbarkeit sowie Art und Umfang von Eignungsnachweisen zu vereinheitlichen, wurden von der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ u. a. nachfolgende Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS) für den Einsatz von MEB

in Deutschland ausgearbeitet und durch die LAGA veröffentlicht:

- BQS 2-3 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen“ vom 04.12.2014 (in Verbindung mit BQS 2-0)
- BQS 3-2 „Mineralische Entwässerungsschichten in Basisabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen“ vom 04.12.2014
- BQS 4-1 „Trag- und Ausgleichschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“ vom 04.12.2014
- BQS 5-3 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen“ vom 04.12.2014 (in Verbindung mit BQS 5-0\_2010)
- BQS 6-2 „Mineralische Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen“ vom 04.12.2014.

Eine Übersicht über die MEB-Mengen wurde in [5] zusammengestellt, basierend auf den Daten aus [6] (siehe Abbildung 3). Aus der Darstellung wird deutlich, dass das Aufkommen an anderen MEB-Materialarten als Bodenmaterial und Recyclingbaustoff in Deutschland nur ein kleiner Stoffstrom ist.

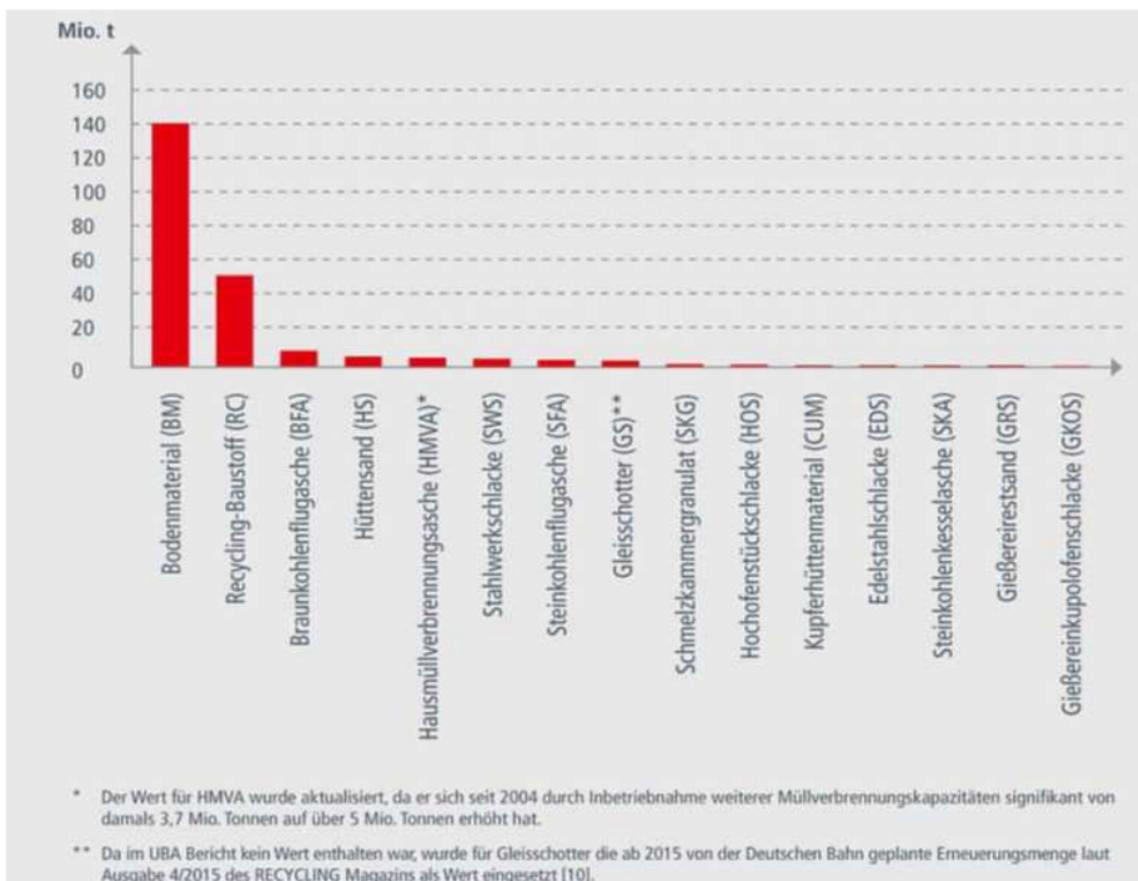


Abbildung 3: Aufkommen mineralischer Abfälle im Sinne der Ersatzbaustoffverordnung [5], [6].

### 3 Lebenszyklusanalyse für mineralische Baustoffe

#### 3.1 Methodik der Ökobilanzierung gemäß DIN ISO 14040:2006

Eine Ökobilanzierung ist eine über die klassische Umweltbewertung hinausgehende umweltbezogene Bewertung, die der Bewertung der Umweltwirkungen entlang des Produktlebensweges

dient. Die Erarbeitung erfolgt nach DIN ISO 14040 [7] schrittweise mit

1. Zieldefinition und Umfang (Untersuchungsrahmen).
2. Sachbilanz, d.h. die Stoffstromanalyse (Input-Output-Analyse) zur Herstellung des Produktes. Es werden alle in den Herstellungsprozess eingehenden Stoffströme (Material, Energie, Hilfsstoffe usw.) hinsichtlich ihrer Transformationsprozesse bzw. bzgl. ihres Verbleibs bilanziert.
3. Wirkungsabschätzung. Dies beinhaltet die Bewertung der Umweltauswirkungen entlang des Herstellungsprozesses einschließlich der quantitativen Unterersetzung, insbesondere im Hinblick auf den Verbrauch von Naturkapital.
4. Auswertung und Interpretation.

Die Bewertungskriterien umfassen sowohl Schädigungen der menschlichen Gesundheit (ausgedrückt z.B. über Toxizität) als auch Umwelteinflüsse (z.B. biotischer und abiotischer Ressourcenverbrauch, Treibhausgasemissionspotenzial, Bildungspotenzial für bodennahes Ozon, Versauerungspotenzial und Primärenergieverbrauch). Bilanz-Bezugsgröße ist die sogenannte funktionelle Einheit. Mittlerweile liegt auch eine Anzahl von Studien vor, die sich mit Ökobilanzierungen im Zusammenhang mit mineralischen Primär- und Sekundärrohstoffen beschäftigen.

### 3.2 Unbearbeitete und weiterverarbeitete mineralische Baustoffe

In der Schweiz stehen übersichtliche Datenzusammenstellungen von Ökobilanzdaten zur Herstellung von unbearbeiteten und weiterverarbeiteten mineralischen Baustoffen zur Verfügung, die auf Daten des Vereins eco-bau zur Nachhaltigkeit im öffentlichen Bau basieren [8]. In eco-bau haben sich Bauämter von Bund, Kantonen und Städten zusammengeschlossen mit dem Zweck, das ökologische und gesunde Bauen zu fördern. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen beispielhaft die in [8] dokumentierten vergleichenden Ergebnisse für das Treibhausgasemissionspotenzial und den Primärenergieverbrauch für ausgewählte mineralische Baustoffe.

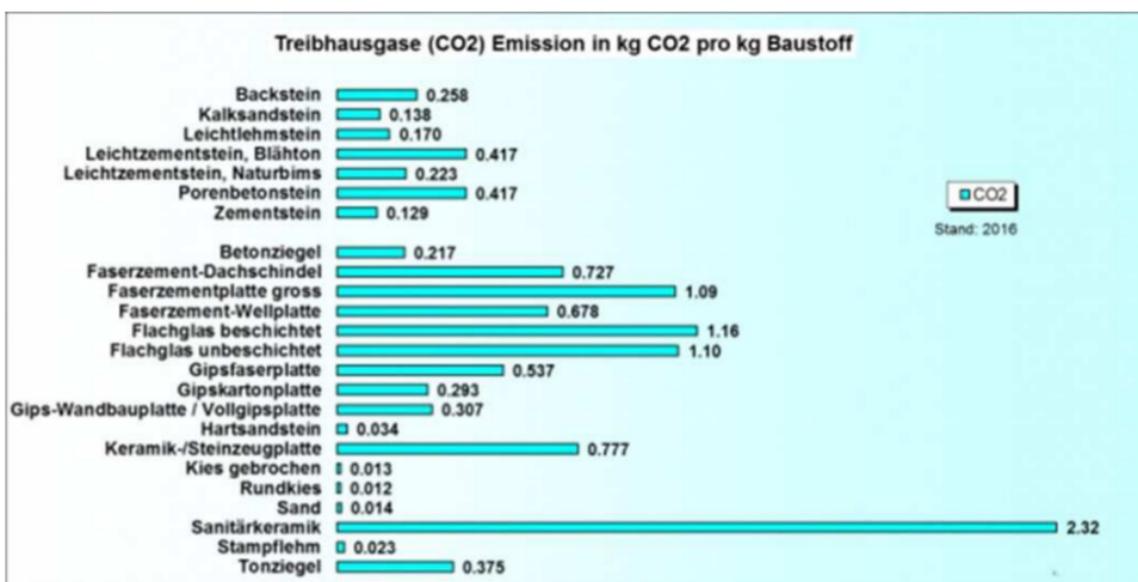


Abbildung 4: Übersicht über CO<sub>2</sub>-Emissionen in kg CO<sub>2</sub> pro kg Baustoff [8].

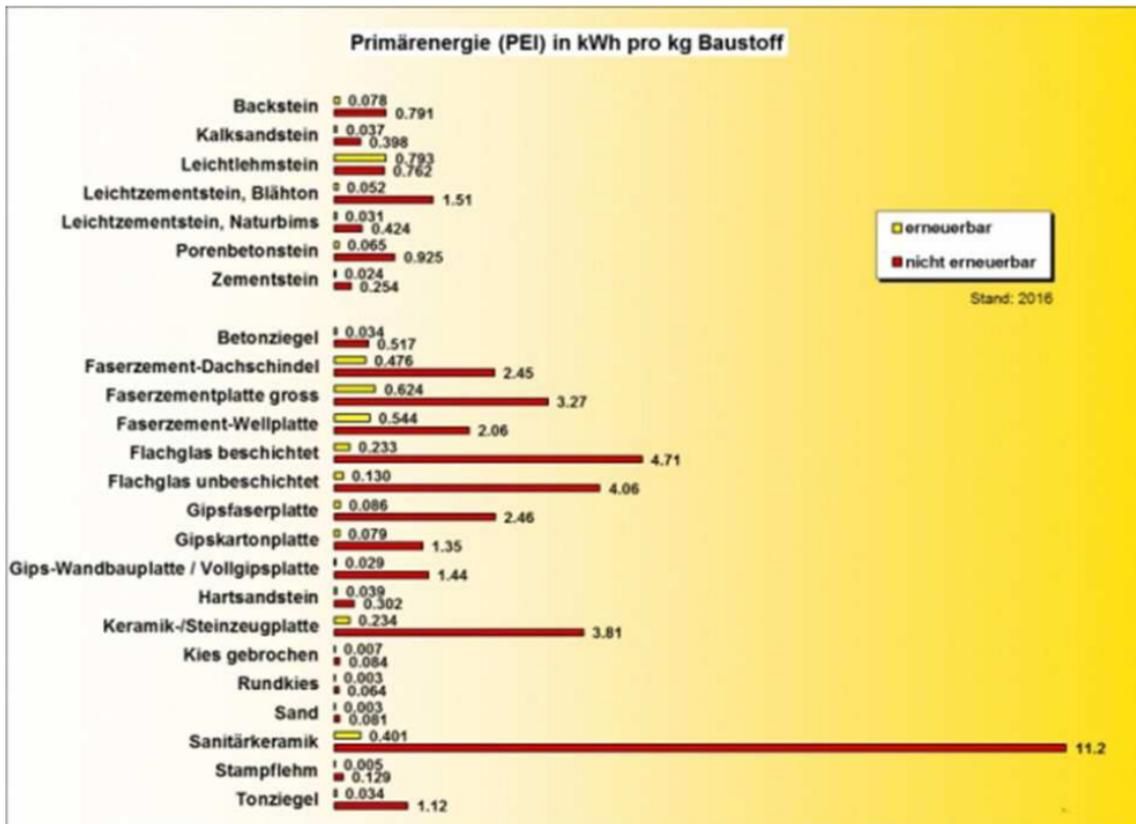


Abbildung 5: Übersicht über Primärenergie pro kg Baustoff [8].

Naturgemäß zeigen die Ergebnisse für die CO<sub>2</sub>-Emissionen, dass das Emissionspotenzial bei energieintensiven Verarbeitungsprozessen erheblich höher ist, wie dies bei nachfolgenden Verarbeitungsschritten des Rohstoffes zu Baustoffprodukten oder Bauelementen der Fall ist. Die Akkumulation der Umweltwirkungen zur Herstellung des Baustoffes bzw. Bauelementes entlang des Produktlebensweges werden durch die Ökobilanz nachvollziehbar visualisiert.

Beispielhaft kann dies an Hand der Ökobilanz für Kalksandstein illustriert werden, welche im Rahmen der Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 [9] des Bundesverbands Kalksandsteinindustrie e.V. mit dem von der Universität Stuttgart und PE International entwickelten Software-System zur Ganzheitlichen Bilanzierung GaBi 6 erarbeitet wurde [10]. Die Ökobilanz umfasst die Rohstoff- und Energiegewinnung, Rohstofftransporte und die eigentliche Herstellungsphase von Kalksandsteinen der Rohdichteklasse 1,8, basierend auf der funktionellen Einheit von 1 t Kalksandstein. Die Ergebnisse der Ökobilanz zeigen, dass die Umweltwirkungen durch den Verbrauch an (v.a. thermischer) Energie im Werk dominiert werden [10]. Die Vorketten der Kalkherstellung haben signifikanten Einfluss insbesondere auf die Ergebnisse des Treibhausgaspotenzials, welches bei 136 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Tonne liegt. Für die Herstellung von 1 t Kalksandstein werden knapp 1.000 MJ nicht erneuerbare Primärenergie benötigt. Zusätzlich werden 175 MJ an erneuerbarer Primärenergie eingesetzt. Der nicht erneuerbare Primärenergieeinsatz wird in relevantem Maß vom Einsatz thermischer Energie bestimmt.

### 3.3 Mineralische Ersatzbaustoffe (MEB)

Veröffentlichte Ökobilanzierungen zu MEB gibt es bisher in nur sehr geringem Umfang. Eine der verfügbaren Untersuchungen behandelt die Substitution von industriellen Nebenprodukten der Stahlerzeugung durch Primärrohstoffe beim Einsatz im Straßen- und Wegebau [11]. In der Studie wurde als Einsatzstoff beispielhaft Hochofenschlacke mittels einer Modellrech-

nung mit UMBERTO untersucht. Ziel der Untersuchung war die Bewertung welche Auswirkungen eine Nutzungseinschränkung (Moderate Case) oder ein Nutzungsverbot (Worst Case) von Schlacken im Straßenbau nach sich ziehen würde.

Im Ergebnis der Studie [11] wurde festgestellt, dass Nutzungseinschränkungen der schlacken-basierten Gesteinskörnungen im Straßenbau und deren einhergehende Deponierung dem Ziel der Reduzierung von zu deponierenden Stoffströmen entgegensteht. Als signifikant wird vor allem die Flächeninanspruchnahme bewertet, die durch Erschließung und Betrieb von neuen Tagebauen verursacht würde, ebenso wie durch das Errichten neuer Deponieflächen. Dabei ist mit einer Mehrinanspruchnahme von Flächen bei der Deponierung und dem zusätzlich Primärabbau von Gesteinen zwischen 385 ha und 985 ha pro Jahr zu rechnen. Die Bewertung des Treibhausgaspotenzials führte zum Ergebnis, dass bei Nutzungseinschränkungen der schlackenbasierten Gesteinskörnungen im Worst Case mit einer Zunahme von rund 44.000 t CO<sub>2</sub>-e/a zu rechnen ist, da in diesem Fall mehr Abbau von natürlichen Gesteinen und die Deponierung der Schlacken erforderlich wäre. Für den Moderate Case ist mit einem Anstieg von rund 17.000 t CO<sub>2</sub>-e/ a zu rechnen. Die Studie kommt zum Ergebnis, dass falls die Schlacke weiterhin zum Straßenbau verwendet werden kann statt durch Primärrohstoffe substituiert zu werden, könnten bei gleichbleibendem Treibhausgaspotenzial ca. 5.035 km Straße mehr gebaut werden.

#### **4 Schlussfolgerungen und Ausblick**

Die Beispiele zeigen, wie die Ökobilanzierung einen neuen Blickwinkel auf an sich bekannte Sachverhalte eröffnet und auf diese Weise zu einer ganzheitlichen Betrachtung der Prozessketten von der Erzeugung des mineralischen Baustoffes über die Nutzungs- bis hin zur Entsorgungsphase führt. Aus diesem Grund gewinnt das Werkzeug der Ökobilanzierung auch zunehmend an praktischer Bedeutung, wenn es darum geht, langzeitliche und komplexe Umweltwirkungen zu analysieren und zu bewerten.

Sekundärrohstoffe haben wegen ihres langen Produktlebensweges ein signifikant höheres Treibhausgaspotenzial als Primärrohstoffe, was aber nicht automatisch die Schlussfolgerung zulässt, mehr Primärrohstoffe zu nutzen, wie die Ergebnisse zur Flächeninanspruchnahme in der Studie zu Ersatzbaustoffen im Straßenbau [10] zeigt. Die Flächeninanspruchnahme zur Gewinnung abiotischer Ressourcen in Form mineralischer Primärrohstoffe führt zu einer geringen Ökoeffizienz des Primärrohstoffes, da die Schadschöpfung sehr groß ist. Da sich Ökoeffizienz über das Verhältnis von Wertschöpfung (ökonomische Größe) zu Schadschöpfung (ökologische Größe) definiert, kann ein einmal durch Inbetriebnahme einer Gewinnungsstätte mineralischer Baustoffe eingetretener Umweltschaden eigentlich nur durch die Weiternutzung des Standortes zur weiteren Generierung von Wertschöpfung kompensiert werden. Dieses ökonomische Merkmal unterscheidet die Ökoeffizienzanalyse auch von der Ökobilanz, in der ökonomische Aspekte keine Berücksichtigung finden. Bezogen auf das Management mineralischer Stoffströme in Deutschland ist daher die signifikante Erweiterung der Datenbasis zu Ökoeffizienz und Ökobilanzierung notwendig. Dies schließt die Untersuchung der Ökoeffizienz auflässiger Steinbrüche als Deponieraum ein, ein Ansatz, der auch im Zusammenhang mit Flächenkreislaufwirtschaft diskutiert wurde [12]. Darüber hinaus eignen sich Lebenszyklusuntersuchungen um fachlich begründete Abfallvermeidungskonzepte zu entwickeln.

# Literaturverzeichnis

- [1] SCHALTEGGER, S. ; HERZIG, C. ; KLEIBER, O. ; KLINKE, T. ; MÜLLER, J.: *achhaltigkeitsmanagement in Unternehmen - Von der Idee zur Praxis: Managementansätze zur Umsetzung von Corporate Social Responsibility und Corporate Sustainability*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, ISBN 978-3-935630-60-3., 2007
- [2] *Verordnung der Bundesregierung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung vom 03.05.2017.* <http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/bodenschutz-und-altlasten/wasser-bodenschutz-und-altlasten-download/artikel/mantelverordnung-ersatzbaustoffebodenschutz/>. – Abgefragt am 05.10.2017
- [3] WAGNER, R.: *Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen und an Verfüllungen*. Beitrag zum 11. Baustoff-Recycling-Tag am. 08.10.2008e, 2008
- [4] SCHILLER, G. ; BRÄUER, A. ; WESTPHAL, M. ; ZINKLER, S. ; FRIEDERICH, I. ; KRAMER-HEINKE, K.: *MinResource - Nachhaltiges Ressourcenmanagement von mineralischen Primär- und Sekundärbaustoffen*. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13598>. Version:2016
- [5] ONKELBACH, A.: *Mineralische Ersatzbaustoffe – Herausforderungen der Wiederverwertung und Strategien zur Verbesserung der Marktsituation*. Thomé-Kozmiensky, K.J. (Hrsg.): Mineralische Nebenprodukte und Abfälle, Band 2, vivis TK Verlag, ISBN: 978-3-944310-21-3, 2015
- [6] DEHOUST, G. ; KÜPPERS, P. ; GEHARDT, P. ; RHEINBERGER, U. ; HERMANN, A.: *Aufkommen, Qualität und Verbleib mineralischer Abfälle*. Endbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Öko-Institut e.V. (Hrsg.): Darmstadt., 2008
- [7] *ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*
- [8] *Ratgeber Ökobilanz – Baustoffe*. <http://www.gesundes-haus.ch/baumeister/oekobilanz-baustoffe.html>. – Abgefragt am 13.10.2017
- [9] *ISO 14025:2006 Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures*
- [10] BUNDESVERBAND KALKSANDSTEININDUSTRIE E.V.: *Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804, Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU)*. 2016
- [11] GMBH, Clausthaler Umwelttechnik-Institut: *Bewertung der Substitution von industriellen Nebenprodukten der Stahlerzeugung durch Primärrohstoffe beim Einsatz im Straßen- und Wegebau*. Abschlussbericht im Auftrag des FEhS – Institut für

Baustoff-Forschung e.V. [http://www.fehs.de/pressebereich/?jumpurl=fileadmin%2F\\_media%2Fdownloads%2FPressebereich%2F1\\_Studie\\_Bewertung\\_der\\_Substitution\\_von\\_industriellen\\_Ne.pdf&juSecure=1&locationData=234%3Att\\_content%3A628&juHash=302dcfacfd594ca0f2201e50e5d4240564d2d82e](http://www.fehs.de/pressebereich/?jumpurl=fileadmin%2F_media%2Fdownloads%2FPressebereich%2F1_Studie_Bewertung_der_Substitution_von_industriellen_Ne.pdf&juSecure=1&locationData=234%3Att_content%3A628&juHash=302dcfacfd594ca0f2201e50e5d4240564d2d82e). Version:2017. – Abgefragt am 13.10.2017

- [12] SCHNEIDER, P. ; OSWALD, K.-D.: *Potenzial der Flächenkreislaufwirtschaft in der Altlasten- und Deponietechnik*. Tagungsband zum Deponieworkshop Liberec-Zittau 2015 „Nachhaltige Deponiesicherung, Flächen- und Ressourcennutzung“, 05.-06. 11. 2015, pp. 67 - 77, 2015
- [13] BUNDESVERBAND BAUSTOFFE – STEINE UND ERDEN E. V.: *Die Nachfrage nach Primär- und Sekundär-rohstoffen der Steine-und-Erden-Industrie bis 2035 in Deutschland, Aktualisierung einer Studie von 2013*. 2016. – Die Langfassung der Vorgängerstudie ist auf der Homepage des Bundesverbandes Baustoffe – Steine und Erden e. V. ([www.baustoffindustrie.de](http://www.baustoffindustrie.de) ; Downloads) erhältlich. <http://www.baustoffindustrie.de/downloads/>; Abgefragt am 05.07.2017
- [14] CRAMER, B.: *Steine- und Erden-Bergbau in Sachsen*. MAREX-Workshop/Conference „Management of Mineral Resource Extraction in Hoa Binh Province. A Contribution to Sustainable Development in Vietnam“, 27.06. – 04.07.2016, am Institut für Ökologische Raumentwicklung Dresden., 2016