

TEXTE 33/2017

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3715 343200
UBA-FB 002501

Ökobilanzielle Betrachtung des Recyclings von Gipskartonplatten

von

Dr. Matthias Buchert, Jürgen Sutter
Öko-Institut e.V., Darmstadt

Holger Alwast, Nadja Schütz
Prognos AG, Berlin

Dr. Karin Weimann
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Öko-Institut e.V.(Projektkoordination)
Rheinstraße 95
64295 Darmstadt

Prognos AG
Goethestraße 85
10623 Berlin

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Unter den Eichen 87
12205 Berlin

Abschlussdatum:

März 2017

Redaktion:

Fachgebiet III 2.2 Ressourcenschonung, Stoffkreisläufe, Mineral- und
Metallindustrie
Mirco Baronick

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, April 2017

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3715 343200 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Gips ist ein Baustoff, der in den letzten Jahrzehnten in Deutschland mit steigender Tendenz nachgefragt wurde. Diese Nachfrage wird derzeit zum überwiegenden Teil (gut 60%) durch Rauchgasentschwefelungsgips (REA-Gips) als Nebenprodukt aus der Kohleverstromung gedeckt. Der weitere Gipsbedarf wird durch die Gewinnung von Naturgipsvorkommen in Deutschland befriedigt. In Konsequenz aus den nationalen Klimaschutzzielen und der Energiewende wird die Versorgung der Gipsindustrie mit REA-Gips mittel- und langfristig sehr stark zurückgehen. Das Recycling von Gips wird als ein Beitrag zur Dämpfung von möglichen zukünftigen Versorgungsproblemen gesehen. Das wichtige Verbrauchsegment Gipskartonplatten ist gleichzeitig die wichtigste potentielle Versorgungsquelle für das Gipsrecycling. Ziel des Ufoplan-Vorhabens „Ökobilanzielle Betrachtung des Recyclings von Gipskartonplatten“ war es, den aktuellen Stand des Gipsrecyclings in Deutschland und in ausgewählten anderen europäischen Staaten zu fassen. Die Szenarienergebnisse zum Ufoplanprojekt ergeben ein eindeutig wachsendes Potenzial für die Gewinnung von RC-Gips aus rückgebauten Gipskartonplatten in Deutschland. Die Ökobilanzergebnisse, die im Rahmen des Projekts gewonnen wurden, zeigen bei fast allen Wirkungskategorien eine ökologische Vorteilhaftigkeit der Recyclingroute gegenüber der Versorgung mit REA-Gips. Im Falle des Vergleichs zwischen der RC-Gips-Route und der Route aus heimischem Naturgips ergeben sich differenzierte Ökobilanzergebnisse. Der Einstieg der deutschen Gipsindustrie in den RC-Gips-Markt ist zumindest für die Herstellung von Gipskartonplatten zunächst gelungen. Nun gilt es in den nächsten Jahren die Mengen an RC-Gips in Deutschland zu erhöhen. Für die Etablierung weiterer Gipsrecyclinganlagen in Deutschland ist deren Wirtschaftlichkeit durch Vermeidung von zu niedrigen Deponiepreisen für Gipsabfälle zu unterstützen. Perspektivisch ist für eine möglichst gute Umweltbilanz des Gipsrecyclings in Deutschland die Etablierung einer höheren Zahl von Recyclinganlagen (ausgehend von den 2 Anlagen im Jahr 2016) für Gipskartonplatten sehr wichtig.

Abstract

The demand in Germany for the construction material gypsum developed increasingly over the previous decades. Currently, this demand is mainly fulfilled (at least 60%) by gypsum as a side product of the flue gas desulphurization in the electricity production process at coal power plants. Germany's natural gypsum deposits fulfil the remaining gypsum demand. As a consequence of the national climate protection goals and the "Energiewende", the gypsum supply from coal power plants will decrease significantly over the mid to long term. Gypsum recycling is seen as one contributing factor to dampen possible future demand problems. Using recycled gypsum in gypsum plaster boards, the most important application for gypsum, is currently also the most significant recycling application. The project "Life cycle assessment of the recycling from gypsum plaster boards", commissioned by the German Federal Environment Agency (UBA), sought to assess the state of the art of gypsum recycling in Germany and selected other European countries. The scenarios for the Ufoplan project result in a clearly growing potential for the production of RC gypsum from recycled plaster boards in Germany. The life cycle assessment (LCA) results obtained during the project show an ecological advantage of the recycling route compared to the supply of REA gypsum for almost all environmental impact categories. When comparing the RC gypsum option with using native natural gypsum, differentiated LCA results were obtained. The entry of the German plaster industry into the RC gypsum market has so far been successful for the production of gypsum plaster boards. In the next few years, the amount of RC gypsum in Germany must increase. To establish further gypsum recycling plants in Germany, their economy must be supported by avoiding too low landfill prices for gypsum waste. In view of the best possible environmental performance of gypsum recycling in Germany, establishing a higher number of recycling plants (starting from the two plants in 2016) is very important for gypsum plaster boards.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	10
Abkürzungsverzeichnis	11
Zusammenfassung.....	12
Summary.....	17
1 Einleitung	22
2 Stand des Gipsrecyclings in Deutschland und in ausgewählten europäischen Ländern	25
2.1 Rechtlicher Rahmen.....	25
2.2 Recycling von Gipskartonplatten in ausgewählten EU-Ländern.....	28
2.2.1 Inlandsverbrauch.....	28
2.2.2 Abfallaufkommen.....	29
2.2.3 Recycling in ausgewählten EU-Ländern	30
2.2.3.1 Dänemark	30
2.2.3.2 Vereinigtes Königreich	31
2.2.3.3 Frankreich	32
2.2.3.4 Niederlande	33
2.2.3.5 Schweden	34
2.3 Recycling von Gipskartonplatten in Deutschland	35
2.3.1 Modell zur Ermittlung des Inlandsverbrauchs und Abfallaufkommen an Gipskartonplatten.....	35
2.3.2 Theoretischer Inlandsverbrauch	39
2.3.3 Abfallaufkommen.....	40
2.3.4 Recycling in Deutschland.....	42
2.4 Aufbereitungstechnologien für das Gipskartonplattenrecycling	46
2.4.1 Erfassung und Transport	46
2.4.2 Aufbereitung	47
2.5 Qualitätsanforderungen an den Recyclinggips.....	51
2.6 Wirtschaftliche Aspekte des Recyclings von Gipskartonplatten	57
2.6.1 Recycling.....	57
2.6.2 Deponierung.....	58
2.6.3 Absatzmärkte für RC-Gips	59
2.7 Zusammenfassung zum Stand des Gipsrecyclings.....	60
3 Ökobilanzielle Betrachtung.....	61
3.1 Vorhandene Ökobilanzen zum Thema Gipsrecycling	61

3.2	Ziele und Anwendungen der Studie	62
3.3	Festlegung des Untersuchungsrahmens.....	62
3.3.1	Funktion und funktionelle Einheit.....	62
3.3.2	Festlegung der Systemgrenzen	63
3.3.3	Datenerhebung, Anforderung an die Daten und die Datenqualität	66
3.3.4	Allokation	66
3.3.5	End-of-Life Allokation.....	67
3.3.6	Berücksichtigte Wirkungskategorien	67
3.3.7	Methoden der Auswertung.....	70
3.3.8	Einschränkungen und Verwendung	70
3.3.9	Art und Aufbau des für die Studie vorgesehenen Berichts.....	70
3.4	Prozess	70
3.5	Datengrundlage	70
3.5.1	Modellierung der Transporte	71
3.6	Einschätzung der Datenqualität.....	72
3.7	Ergebnisse der Wirkungsabschätzung	72
3.7.1	Treibhauspotenzial (GWP)	73
3.7.2	Versauerungspotenzial (AP).....	74
3.7.3	Eutrophierungspotenzial (EP)	75
3.7.4	Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (POCP).....	76
3.7.5	Elementarer Ressourcenverbrauch (ADP elem.).....	77
3.7.6	Ecological damage potential (EDP): Land use transformation.....	78
3.7.7	Ecological damage potential (EDP): Land use total.....	79
3.8	Auswertung der Ökobilanz	79
3.9	Identifizierung der signifikanten Parameter.....	79
3.10	Beurteilung	80
3.10.1	Vollständigkeitsprüfung	80
3.10.2	Sensitivitätsprüfung	80
3.10.2.1	Naturgipsgewinnung in Spanien.....	80
3.10.2.2	Alternative Transportdistanzen.....	83
3.10.2.3	Strommix 2030	84
3.10.3	Konsistenzprüfungen	86
3.11	Schlussfolgerungen und Einschränkungen	86
4	Exkurs zu Uranschlammteichen in Tschechien.....	89
4.1	Hintergrund.....	89

4.2	Fakten zu den Uranschlammteichen in Mydlovary (Südböhmen)	89
4.3	Langzeitverwahrung/Sanierung von Urantailings in den USA	90
4.4	Schlußfolgerung zur Verwendung von Gipskartonplatten zur Rekultivierung der Uranschlammteiche von Mydlovary	94
5	Handlungsempfehlungen /Ausblick /Forcierung	95
5.1	Rahmenbedingungen für das Gipskartonplattenrecycling	95
5.2	Empfehlungen für Sammel- und Aufbereitungssysteme	96
5.3	Mögliche Maßnahmen zur Förderung des Gipskartonplattenrecyclings	97
6	Literaturverzeichnis	99
7	Anlagen	104
7.1	Fragenkatalog Recyclingunternehmen	104
7.2	Beteiligte Unternehmen im Gypsum to Gypsum -Projekt	106
7.3	Annahmen für die Ermittlung des theoretischen Inlandsverbrauchs an Gipskartonplatten in Deutschland für den Zeitraum 1970 bis 2030	108

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1	Abgrenzung der untersuchten Länder (Fokus Deutschland und Kurzanalysen in den Ländern FR, UK, DK, SE und NL).....	23
Abbildung 1-2	Übersicht der verwendeten Datenquellen im Vorhaben	24
Abbildung 2-1	Übersicht der relevantesten Regelungen	25
Abbildung 2-2	Inlandsverbrauch an Gipskartonplatten in Mio. m ²	28
Abbildung 2-3	Abfallaufkommen an Gipskartonplatten aus Neubau-, Sanierungs- und Rückbau-/ Abrissmaßnahmen (in Tonnen) zwischen den Jahren 2000 und 2005 sowie im Jahr 2012	29
Abbildung 2-4	Modell zur Ermittlung des Abfallaufkommens an Gipskartonplatten in Deutschland	36
Abbildung 2-5	Theoretischer Inlandsverbrauch an Gipskartonplatten in Deutschland von 1970 bis 2030 in 1.000 Tonnen.....	40
Abbildung 2-6	Potenzielles Aufkommen an Gipskartonplattenabfällen in Deutschland im Szenario 1 (Status quo mit erhöhter Rücklaufquote, inkl. Verschnitt).....	41
Abbildung 2-7	Ergebnisse der Szenarien 1 bis 4 zum Abfallaufkommen und zum recyclingfähigen Anteil von Gipskartonplatten in Deutschland bis zum Jahr 2030 (in 1.000 Tonnen, inkl. Verschnitt).....	42
Abbildung 2-8	Vereinfachtes Ablaufschema für die Gipsaufbereitung	48
Abbildung 3-1	Ökobilanzieller Vergleich der Produktion von Primärgips und Recyclinggips.....	61
Abbildung 3-2:	Systemgrenze des Gipskartonplattenrecyclings, Funktionelle Einheit: Gewinnung von 1000 kg Recyclinggips.....	63
Abbildung 3-3:	Systemgrenze der Naturgipsproduktion, Funktionelle Einheit: Gewinnung von 1000 kg Naturgips.....	64
Abbildung 3-4:	Systemgrenze der REA-Gips-Produktion, Funktionelle Einheit: Gewinnung von 1000 kg REA-Gips.....	65
Abbildung 3-5:	Treibhauspotenzial (GWP).....	73
Abbildung 3-6:	Versauerungspotenzial (AP)	74
Abbildung 3-7:	Eutrophierungspotenzial (EP)	75
Abbildung 3-8:	Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (POCP)	76
Abbildung 3-9:	Elementarer Ressourcenverbrauch (ADPelem.)	77
Abbildung 3-10:	Land use transformation	78
Abbildung 3-11:	Land use total	79
Abbildung 3-12:	GWP: Naturgips D und RC-Gips 200 vs. Naturgips Spanien.....	81
Abbildung 3-13:	AP: Naturgips D und RC-Gips 200 vs. Naturgips Spanien	81
Abbildung 3-14:	EP: Naturgips D und RC-Gips 200 vs. Naturgips Spanien.....	82

Abbildung 3-15:	POCP: Naturgips D und RC-Gips 200 vs. Naturgips Spanien	82
Abbildung 3-16:	GWP: Naturgips D, Naturgips Sensitivität und RC-Gips 100	83
Abbildung 3-17:	GWP: REA-Gips und REA-Gips Sensitivität.....	84
Abbildung 3-18:	GWP: Strommix 2030	85
Abbildung 3-19:	EP: Strommix 2030.....	86
Abbildung 4-1:	South-North Cross Section of Canonsburg Disposal Cell	91

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1	Annahmen für die szenarischen Betrachtungen	39
Tabelle 2-2:	Übersicht des Gipskartonplattenrecyclings in Deutschland und ausgewählten EU-Ländern.....	44
Tabelle 2-3	Entsorgungswege für Gipsabfälle in Europa.....	46
Tabelle 2-4	Erfassungssysteme von Gipskartonplatten in Europa	47
Tabelle 2-5	Kurzsteckbrief zu den in Betrieb befindlichen Recyclinganlagen für Gipskartonplatten in Deutschland.....	50
Tabelle 2-6	Qualitätskriterien (technische Parameter) für RC-Gips und REA-Gips	52
Tabelle 2-7	Qualitätskriterien (Gesundheits-/Umweltparameter) für RC-Gipse aus der Eingangskontrolle von gipsverarbeitenden Werken	54
Tabelle 2-8	Qualitätskriterien (Eluatgehalte) für RC-Gipse	55
Tabelle 2-9	Spezifikationen für RC-Gips der Annahmestellen in den Niederlanden und Großbritannien	57
Tabelle 2-10	Durchschnittskosten für das Recycling von gipshaltigen Abfällen (insbesondere Gipskartonplatten).....	58
Tabelle 2-11	Deponierungskosten für Gipsabfälle in ausgewählten Ländern (exkl. Logistik).....	58
Tabelle 3-1	Strommarkt Deutschland 2015.....	71
Tabelle 3-2	Strommarktmodelle 2015 und 2030	84
Tabelle 3-3	Vergleich RC-Gips / Naturgips	87
Tabelle 3-4	Vergleich RC-Gips / REA-Gips.....	88
Tabelle 4-1	Kostenübersicht sanierter Urantailings (öffentliche Mittel) in den USA.....	94

Abkürzungsverzeichnis

a	anno
ADP_{elem}	Verbrauch an abiotischen Ressourcen mineralischen Typs (abiotic depletion)
AP	Versauerungspotenzial (acidification potential)
CML	Centre of Environmental Science (CML), Leiden University
DE	Deutschland
EBS	Ersatzbrennstoff
EP	Eutrophierungspotenzial
EPA	Environmental Protection Agency
EPS	Environmental Priority Strategies
FR	Frankreich
GewAbf-VO	Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (Gewerbeabfallverordnung - GewAbfV -hier Referentenentwurf 28.07.2016)
GRI	Gypsum Recycling International
GWP	Treibhauspotenzial (global warming potential)
k.A.	keine Angabe
k.A.	keine Angabe
NL	Niederlande
POCP	Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (photochemical ozone creation)
ProdCom	PRODUCTION COMMUNAUTAIRE (Gemeinschaftliche Produktion)
PSP	Plasterboard Sustainability Partnership
RC-Gips	Recycling-Gips
REA	Rauchgas-Entschwefelungs-Anlage
SE	Schweden
TOC	gesamter organischer Kohlenstoff (total organic carbon)
UK	Vereinigtes Königreich
US DOE	US Department of Energy
VVA	Europäische Verordnung über die Verbringung von Abfällen
WRAP	Waste & Resources Action Programme

Zusammenfassung

Gips ist ein Baustoff, der in den letzten Jahrzehnten in Deutschland mit steigender Tendenz nachgefragt wurde. Diese Nachfrage wird derzeit zum überwiegenden Teil (gut 60 %) durch Rauchgasentschwefelungsgips (REA-Gips) als Nebenprodukt aus der Kohleverstromung gedeckt. Der weitere Gipsbedarf wird durch die Gewinnung von Naturgipsvorkommen in Deutschland befriedigt. In Konsequenz aus den nationalen Klimaschutzzielen und der Energiewende wird die Versorgung der Gipsindustrie mit REA-Gips mittel- und langfristig sehr stark zurückgehen. Damit erhöht sich tendenziell der Nachfragedruck auf die natürlichen Gipsvorkommen in Deutschland. Vielfach sind jedoch geplante Erweiterungen bzw. Neuausweisungen beim Gipsabbau in Deutschland mit starken Nutzungskonkurrenzen (Naturschutz, Tourismus etc.) verbunden. Das Recycling von Gips wird als ein Beitrag zur Dämpfung von möglichen zukünftigen Versorgungsproblemen gesehen. Das wichtige Verbrauchsegment Gipskartonplatten ist gleichzeitig die wichtigste potentielle Versorgungsquelle für das Gipsrecycling. Zusätzlich ist das Separieren und die Ausschleusung von Gipskartonplatten von den übrigen mineralischen Bauabfallströmen ein wichtiges Ziel, um auch die Qualitäten dieser Verwertungsströme zu verbessern (der Sulfatgehalt von Gipsverunreinigungen ist hier ein relevantes Problem).

Ziel des Ufoplan-Vorhabens „Ökobilanzielle Betrachtung des Recyclings von Gipskartonplatten“ ist es, den aktuellen Stand des Gipsrecyclings in Deutschland und in ausgewählten anderen europäischen Staaten zu fassen und insbesondere folgende Frage zu beantworten: Welche Maßnahmen und Möglichkeiten müssen realisiert werden, um das Recycling von Gipskartonplatten in Deutschland im industriellen Maßstab auf den Weg zu bringen? Hierzu haben die beauftragten Projektpartner Öko-Institut e.V., Prognos AG und die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) die rechtlichen, technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für das Gipsrecycling aus Gipskartonplatten in Deutschland und fünf weiteren EU-Staaten untersucht. Szenarien wurden aufgestellt, um das zukünftige Potenzial für das Gipsrecycling aus rückgebauten Gipskartonplatten in Deutschland abschätzen zu können. Weiterhin wurden für das Gipsrecycling in Deutschland umfassende Ökobilanzen durchgeführt, um Schlussfolgerungen zur ökologischen Vorteilhaftigkeit des Gipsrecyclings gegenüber der Verwendung von REA-Gips sowie Naturgips ziehen zu können. Die Projektpartner werteten für die Analysen einschlägige Fachquellen aus dem In- und Ausland aus und führten Interviews und Anlagenbesuche mit dem BV Gips sowie den Betreibern der beiden bestehenden Recyclinganlagen in Deutschland durch. Die vorläufigen Projektergebnisse wurden im Oktober 2016 im BMUB auf einem Fachgespräch ausgewählten Akteuren aus Bundes- und Landesministerien bzw. -behörden, Vertretern der Wissenschaft, der Gipsverarbeitungs- und Gipsrecyclingindustrie und des Abbruchgewerbes vorgestellt. Die weiteren Erkenntnisse aus diesem Fachgespräch sind im vorliegenden Schlussbericht eingeflossen.

In Deutschland werden Ende 2016 erst zwei Recyclinganlagen für Gips aus Gipskartonplatten betrieben. Diese Anlagen sind erst in jüngster Vergangenheit (2014 bzw. 2015) in Betrieb gegangen. In den weiteren, untersuchten EU-Ländern Frankreich, Niederlande, UK, Dänemark und Schweden bestehen schon einige Jahre länger Erfahrungen mit dem Gipsrecycling im industriellen Maßstab. Dies hängt zweifellos mit dem im Vergleich zu Deutschland deutlich geringeren Angebot an REA-Gips sowie an heimischen Naturgipsvorkommen zusammen. Das Gipsrecycling aus Gipskartonplatten steht im Einklang mit den Zielen der Abfallhierarchie der Europäischen Union und findet entsprechende Unterstützung durch die Behörden in allen untersuchten EU-Staaten inkl. Deutschland. Aufgrund des Erfahrungsvorsprungs im europäischen Ausland sind in Ländern wie Frankreich und UK die recycelten Gipsmengen aktuell noch höher als in Deutschland. Hervorzuheben sind beispielsweise in diesen beiden EU-Staaten die erfolgreichen Sammel- und Recyclingsysteme sowie die ambitionierten Ziele für die nahe Zukunft. So hat sich die französische Gipsindustrie zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2020 70 % der recyclingfähigen Gipsabfälle zu recyceln.

In Deutschland bestanden und bestehen für die beiden Gipsrecyclinganlagen Anlaufschwierigkeiten hinsichtlich einer ausreichenden Materialakquisition von End-of-Life-Gipskartonplatten um die Kapazitäten der Recyclinganlagen auszulasten. Der Betreiber der Anlage nahe Leipzig meldete jedoch im Laufe des Jahres 2016 eine gewisse Verbesserung bzgl. der Materialakquisition. Hierbei spielen auffällige Vollzugsbehörden, die für einen ordnungsgemäßen Rückbau an der Baustelle, eine separate Erfassung und eine Kanalisierung des Materials zu den Gipsrecyclinganlagen im Sinne der Europäischen Abfallhierarchie Sorge tragen, eine wichtige Rolle. Defizite wurden vom Anlagenbetreiber in Baden-Württemberg gemeldet, der aus dem nahen Großraum Stuttgart nur wenig Material erhält (hingegen nennenswerte Mengen aus der Schweiz). Alle Marktbeteiligten sowie Vertreter von Landesbehörden nannten vielfach negative Einflüsse von Abfallmaklern, die Material für Dumpingpreise annehmen und teilweise in zweifelhafte Entsorgungskanäle leiten. In diesen Kontext sind als größte Abflussquelle für Gipskartonplatten die Uranschlammteiche in Mydlovary (Südböhmen, Tschechien) zu nennen. Obgleich Gipskartonplatten für die Stabilisierung der Tailings der ehemaligen Uranerzaufbereitung der (früheren) Tschechoslowakei physikalisch-technisch völlig ungeeignet und dadurch gar zusätzliche Gesundheitsgefährdungen zu besorgen sind, gehen Schätzungen (MUEG) von einem Materialabfluss an Gipskartonplatten aus Deutschland von derzeit rund 100.000 t pro Jahr aus.

Ungeachtet der Anlaufschwierigkeiten für das Gipsrecycling in Deutschland wurden auf dem Fachgespräch im Oktober 2016 der Bau und Betrieb zwei weiterer Gipsrecyclinganlagen in Deutschland - Zweibrücken (MUEG) und Pulheim bei Köln (LANUV 2016, KR 2016) - für 2017 angekündigt. Die Untersuchungen der Projektpartner bei den beiden laufenden Recyclinganlagen haben eine hohe technische Reife der Aufbereitungstechnologie (Trennung des Gipses von Papier und anderen Störstoffen) inkl. kontinuierlicher Lernkurven der Betreiber festgestellt. Der RC-Gips beider Recyclinganlagen hat Produktstatus erlangt. Der RC-Gips wird vor allem als Zumischung für die Herstellung neuer Gipskartonplatten verwendet. Der BV Gips nennt derzeit als technische Grenze 30 % Zumischung von RC-Gips, die allerdings aufgrund des derzeit noch relativ geringen Volumens an RC-Gips (im Jahr 2015 < 20.000 t in Deutschland) bei weitem nicht ausgeschöpft ist. Unterstützt werden die Produktion und der Einsatz von RC-Gips durch klare und strenge Qualitätskriterien, die der BV Gips bereitstellt bzw. von der Gipsindustrie für die Herstellung von Gipskartonplatten gefordert wird.

Die Szenarienergebnisse zum Ufoplanprojekt ergeben ein eindeutig wachsendes Potenzial für die Gewinnung von RC-Gips aus rückgebauten Gipskartonplatten in Deutschland. So ist selbst im defensivsten Szenario von einem Anstieg des Abfallaufkommens an Gipskartonplatten in Deutschland von rund 280.000 t (2015) auf 670.000 t im Jahr 2030 auszugehen. Der recyclingfähige Anteil wächst nach diesem Szenario von 210.000 t (2015) auf 550.000 t (2030). In den übrigen drei Szenarien sind die Zahlen für 2030 moderat bis deutlich höher im Vergleich zu den hier genannten Werten. Die Ankündigung der Errichtung weiterer Gipsrecyclinganlagen in Deutschland macht vor diesem Hintergrund entsprechend Sinn.

Die Ökobilanzergebnisse, die im Rahmen des Projekts gewonnen wurden, zeigen bei fast allen Wirkungskategorien eine ökologische Vorteilhaftigkeit der Recyclingroute gegenüber der Versorgung mit REA-Gips. Dies ist stark auf den Feuchtegehalt des REA-Gipses (8-10 %) gegenüber dem RC-Gips (3-5 %) zurückzuführen. Die aufwendige notwendige Trocknung des Materials lässt die Bilanz für den REA-Gips hier ungünstig ausgehen. Im Falle des Vergleichs zwischen der RC-Gips-Route und der Route aus heimischem Naturgips ergeben sich differenzierte Ökobilanzergebnisse. Im Falle von kurzen Transportdistanzen für die RC-Gipsroute (insgesamt 100 km) schneidet die RC-Gips-Route in allen Wirkungskategorien besser ab als die Route über heimischen Naturgips: die Ausnahme bildet das Eutrophierungspotenzial, das über die Stromvorkette (die Gipsrecyclinganlagen fragen in erster Linie elektrische Energie nach) maßgeblich beeinflusst wird. Werden für die RC-Gips-Route allerdings längere Transportdistanzen unterstellt (insgesamt 200 km) sind die Belastungen beim RC-Gips zusätzlich bei den Treibhausgasemissionen höher im Vergleich zur Naturgipsroute. Eine Sensitivitätsrechnung,

die einen zu erwartenden Strommix für 2030 (mit geringerem Anteil an CO₂-intensiven fossilen Kraftwerken) ansetzt, ergeben erwartungsgemäß etwas geringere Belastungen für den RC-Gips beim Eutrophierungs- und Treibhausgaspotenzial. In der weiteren Perspektive (über 2030 hinaus in Richtung eines noch emissionsärmeren Strommixes in Deutschland) sind für die RC-Gips-Route noch weitere Reduzierungen dieser Umweltbelastungen zu erwarten.

Ein klares Ergebnis der Ökobilanzen und wirtschaftlichen Betrachtungen im Rahmen des Projektes ist, dass eine Verkürzung der Transportdistanzen für die RC-Gips-Route sehr wesentlich ist; d. h. in den nächsten 10 – 15 Jahren sollten noch eine ganze Reihe von weiteren Standorten für Recyclinganlagen in Deutschland hinzukommen, um die Bilanzen für RC-Gips weiter zu verbessern.

Die Untersuchungen von Öko-Institut, Prognos AG und BAM im Rahmen dieses Ufoplan-Vorhabens haben eindeutig gezeigt, dass auch in Deutschland bereits gute Ansätze in Richtung eines erfolgreichen Gipskartonplattenrecyclings zu erkennen sind. Geeignete Aufbereitungstechniken für Gipskartonplatten stehen zur Verfügung und werden durch die Lernkurven der Betreiber ständig verbessert.

Der selektive Rückbau und die entsprechend getrennte Erfassung werden bereits vielfach praktiziert, entsprechende Informationsflüsse zwischen den Abbruchunternehmen und den Gipsrecyclern sind etabliert und werden ausgeweitet. Diese Aktivitäten sollten unterstützt und weiter ausgebaut werden, da die Sicherstellung von möglichst reinen Fraktionen an Gipskartonplatten ein entscheidender Schlüssel für hohe Rückgewinnungsraten von Gips sowie für eine gute Wirtschaftlichkeit und Umweltbilanz des Gipsrecycling ist.

Der Einstieg der deutschen Gipsindustrie in den RC-Gips-Markt ist zumindest für die Herstellung von Gipskartonplatten zunächst gelungen. Nun gilt es in den nächsten Jahren die Mengen an RC-Gips in Deutschland zu erhöhen. Wichtig ist hierbei, auch den technisch möglichen Anteil an RC-Gips in den produzierten Gipskartonplatten weiter zu erhöhen. Hier können Erfahrungen z. B. aus skandinavischen Ländern, die über bereits umfassendere Recyclingstrukturen für Gips verfügen, wertvoll sein. In diesem Zusammenhang ist hervorzuheben, dass die Qualitätsanforderungen für den RC-Gips etabliert sind und die Recycler in Deutschland die Einhaltung der Parameter mit ihrer Aufbereitungstechnik realisieren können. Ein entsprechendes Qualitätsmanagement der Anlagen ist hierfür verantwortlich.

In den Recherchen und Gesprächen im Rahmen des Vorhabens wurde jedoch ebenfalls deutlich, dass noch eine Reihe von gravierenden Hemmnissen bestehen, die einer schnelleren Ausweitung des Recyclings von Gips aus Gipskartonplatten in Deutschland im Wege stehen. So muss neben der Abbruchwirtschaft insbesondere auch die Entsorgungswirtschaft, die Logistik und Transport der Gipskartonplatten von den Baustellen übernimmt, noch viel stärker in das Verwertungssystem eingebunden werden, um die Vermischung der Gipskartonplatten mit anderen Bauabfällen soweit als möglich zu minimieren. Sowohl Vertreter von Behörden als auch Betreiber von Recyclinganlagen nennen als relevantes Hemmnis für das Gipsrecycling die in vielen Regionen bzw. Bundesländern zu niedrigen Deponiepreise für Bauabfälle. Damit sind Investitionen in ein hochwertiges Gipsrecycling starken Risiken ausgesetzt. Umgekehrt zeigen Erfahrungen aus anderen Ländern, dass höhere Annahmepreise seitens der Deponien bei den involvierten Wirtschaftsakteuren die Trenndisziplin bzgl. Gipskartonplatten erhöht. Angemessen hohe Deponiepreise sind folglich eine wichtige Rahmenbedingung für ein erfolgreiches Recycling von Gipskartonplatten.

Für die Erfassungs- und Aufbereitungssysteme lassen sich aus den Ergebnissen des Ufoplan-Vorhabens folgende Empfehlungen ableiten:

- Die Aufbereitungstechnik für Gipskartonplatten ist vorhanden und sollte durch kontinuierliche Forschung und Entwicklung weiter verbessert, sowie angesichts der zu erwartenden Mengen kontinuierlich ausgeweitet werden. Hier sind entsprechende Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu empfehlen, die auf eine Erhöhung des technisch möglichen RC-Gipsanteils in Gipskartonplatten zielen.

- ▶ Entscheidend sind „trockene“ Sammlung und Transport der Materialien: dies führt zu geringeren Kosten und Umweltwirkungen bei der Trocknung und dem Transport des Materials. Die entsprechenden Systeme sind vorhanden. Den Akteuren der Erfassungs-, Transport- und Aufbereitungssysteme wird daher dringend empfohlen, dass bei allen Schritten wie Lagerung, Transport usw. alle praktisch möglichen Vorkehrungen zum Schutz des Gipskartonplattenmaterials vor Niederschlägen getroffen werden: dies umfasst geeignete Containerabdeckungen, überdachte Sammel- und Lagerplätze usw.
- ▶ Wichtig für eine möglichst gute Ökobilanz und auch für Kostenreduzierungen ist die Vermeidung von längeren Transportstrecken. Hier können dezentrale Sammelstellen für Gipskartonplatten auf kommunalen Wertstoffhöfen oder ähnlichen Stellen für die Annahme von Kleinmengen eine wichtige Rolle spielen. Daher wird den Kommunen empfohlen, entsprechende Annahmestellen für Kleinmengen (wichtig: Schutz vor Niederschlägen) auf ihren Wertstoffhöfen einzurichten.
- ▶ Das Recycling von Gipskartonplatten sollte unbedingt durch Ausschreibungen der öffentlichen Hand unterstützt werden, die die Förderung des selektiven Rückbaus sowie die Verwendung von RC-Gipsprodukten bei Bauvorhaben unterstützen. Bereits bei der Planung von Rückbaumaßnahmen sollte auf die Erfassung von Gipskartonplatten geachtet werden, damit die Ausschreibung zum selektiven Rückbau entsprechend zielgerecht erfolgen kann. Es wird zudem empfohlen, dass die Kompetenzstelle für nachhaltige Beschaffung des Bundes für Gipskartonplatten eine Leitlinie für eine diskriminierungsfreie Ausschreibung von der öffentlichen Hand nach VOB, die nur nach bauphysikalischen Anforderungen, nicht aber auf der Herkunft des Materials abhebt, entwickelt. Ein wichtiges Beispiel und Vorbild hierfür ist das bereits veröffentlichte Leistungsblatt mit Mindestanforderungen u. a. zum Einsatz von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen (RC) im Hochbau. Es wird empfohlen, dass die Allianz für Nachhaltigkeit, die sich aus Vertretern der Bundesressorts, der Länder und der kommunalen Spitzenverbände zusammensetzt, einen diesbezüglichen Auftrag an die Kompetenzstelle für nachhaltige Beschaffung (beim Beschaffungssamt des Bundesministeriums des Innern) erteilt um entsprechende Leitlinien für Gipskartonplatten zu entwickeln.
- ▶ Die Novelle der Gewerbeabfallverordnung mit Ihrer Forderung nach einem selektiven Rückbau und einer Getrennterfassung gipshaltiger Abbruchmaterialien stellt eine gute Chance für die Unterstützung der Separierung und Getrennthaltung sortenreiner Fraktionen von Gipskartonabfällen dar. Nach den Rückmeldungen aus dem Fachgespräch wurde deutlich, dass die Problematik stärker in der nachträglichen Vermischung liegt, d. h. oft wird selektiv rückgebaut, die Fraktionen werden danach jedoch wieder vermischt. Es wird daher empfohlen, hierbei vor allem das Verbot einer nachträglichen Vermischung, also das Gebot einer Getrennthaltung der schon getrennt erfassten Materialströme offensiv zu formulieren und entsprechend im Vollzug umzusetzen.
- ▶ Die Unterbindung von preiswerten Scheinverwertungen auf technisch und ökologisch zweifelhaften Wegen, z. B. bei der Stabilisierung von Uranschlamnteichen in Tschechien oder der Verfüllung von Steinbrüchen mit Gipskartonmaterial durch die Politik und/oder Vollzugsbehörden ist eine entscheidende Stellschraube. Hier ist ebenfalls die Unterstützung der Gipsindustrie sowie des Bau- und Abbruchgewerbes von hoher Bedeutung. Es gilt letztlich, die europäische Abfallhierarchie zur Geltung zu bringen und Investitionen von Unternehmen zur hochwertigen Verwertung von Gipskartonplatten zu schützen. Es wird empfohlen, bei der Abfallverbringung ökologische Kriterien stärker zu berücksichtigen, als auf dem Fachgespräch von Behördenseite gefordert. Kriterien wie „keine Schwefelwasserstoffemissionen“, „keine Sickerwasserbelastung“ usw. als Auflagen zur Verwertung sind hierfür dienlich für die Vollzugsbehörden. Weiterhin werden eine verstärkte Vernetzung und ein intensiver Austausch der Vollzugsbehörden der Bundesländer etc. empfohlen, um vor allem auf die Abfallmakler, die Scheinverwer-

tungen zu Dumpingpreisen anbieten, Hinweise zu geben und entsprechende ökologisch schädliche Praktiken zu unterbinden.

- Für die Etablierung weiterer Gipsrecyclinganlagen in Deutschland ist deren Wirtschaftlichkeit durch Vermeidung von zu niedrigen Deponiepreisen für Gipsabfälle zu unterstützen. Hier sind einerseits Bundesländer und Kommunen bzw. deren Unternehmen in Deutschland gefordert, die vorwiegend Eigentümer/Betreiber entsprechender Deponien sind. Auf dem Fachgespräch wurde die Erwartung geäußert, dass aufgrund von Deponieraumverknappungen die Deponiepreise in Zukunft steigen werden und damit die Wettbewerbsfähigkeit der Gipsrecyclinganlagen verbessert wird. Falls diese Erwartungen sich in den nächsten Jahren nicht erfüllen sollten und mittelfristig keine entsprechenden Veränderungen der Deponiepreise in den entsprechenden Regionen feststellbar sind, sollte über die Einführung einer angemessenen Deponiesteuer in Deutschland nachgedacht werden. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass von den untersuchten Ländern in dieser Studie vier von sechs Staaten entsprechende Deponiesteuern in unterschiedlicher Höhe erheben und entsprechende positive Wirkungen für das hochwertige Recycling von Gips festgestellt werden können.
- Perspektivisch ist für eine möglichst gute Umweltbilanz des Gipsrecyclings in Deutschland die Etablierung einer höheren Zahl von Recyclinganlagen (ausgehend von den 2 Anlagen im Jahr 2016) für Gipskartonplatten sehr wichtig. Die Ergebnisse der Ökobilanz unterstreichen die Vorteilhaftigkeit möglichst kurzer Gesamtdistanzen für das Recyclingsystem (ab Baustelle zur Recyclinganlage, ab Recyclinganlage zum gipsverarbeitenden Werk und ab gipsverarbeitendes Werk zu Baustelle). Die entsprechenden Recyclinganlagen müssen mit der Zielstellung möglichst kurzer Gesamttransportdistanzen errichtet werden. Hier spielen Ballungsräume als potenziell große Sekundärrohstoffquelle und als potenziell großer Nachfrageraum für Gipskartonplatten eine sehr wichtige Rolle.

Summary

The demand in Germany for the construction material gypsum developed increasingly over the previous decades. Currently, this demand is mainly fulfilled (at least 60 %) by gypsum as a side product of the flue gas desulphurization in the electricity production process at coal power plants. Germany's natural gypsum deposits fulfil the remaining gypsum demand. As a consequence of the national climate protection goals and the "Energiewende", the gypsum supply from coal power plants will decrease significantly over the mid to long term, which will increase pressure on production from the German natural gypsum deposits. Despite this tendency, planned extensions or new projects for exploiting natural gypsum in Germany often face tough competition with other land uses like nature protection or tourism. Gypsum recycling is seen as one contributing factor to dampen possible future demand problems. Using recycled gypsum in gypsum plaster boards, the most important application for gypsum, is currently also the most significant recycling application. Separating gypsum plaster boards from other mineral flows of demolition waste is a critical goal for enhancing the quality of these secondary material flows, where treating the sulphur content of gypsum impurities is a relevant problem.

The project "Life cycle assessment of the recycling from gypsum plaster boards", commissioned by the German Federal Environment Agency (UBA), seeks to assess the state of the art of gypsum recycling in Germany and selected other European countries and to answer the following question: which measures and frameworks have to be realized to pave the road for recycling gypsum plaster boards on an industrial scale in Germany? The commissioned consortium – Oeko-Institut e.V. and Prognos AG and Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) – assessed the legal, technical and economic framework for gypsum recycling in Germany and five other European countries. The project team developed scenarios to estimate the future potential for gypsum recycling from dismantled gypsum plaster boards in Germany. Comprehensive life cycle assessments for gypsum recycling in Germany were carried out to determine the ecological advantage of recycled gypsum compared with the usage of natural gypsum and gypsum as a side product of coal power plants. The project partners investigated professional references from Germany and abroad and conducted interviews and site visits with Bundesverband Gips e.V (German Gypsum Association) as well as with experts of the two running gypsum recycling plants in Germany. The preliminary project results were presented to representatives from German federal and state ministries and authorities, academia and gypsum, gypsum recycling and demolition companies at a workshop in the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety in October 2016. The additional information from this workshop was considered for the final project report.

In Germany, just two recycling plants for gypsum from gypsum plaster boards were operating at the end of 2016. These plants started operation in 2014 and 2015. The other investigated European countries France, Netherlands, UK, Denmark and Sweden reported longer experience with gypsum recycling on an industrial scale. This extended experience is linked with the countries' significantly smaller supplies of gypsum from coal power plants and natural deposits compared with Germany. Nevertheless gypsum recycling from gypsum plaster boards is in full compliance with the goals of the European Union's waste hierarchy and is backed by the authorities in all investigated Member States including Germany. Due to the longer experience in countries like France and UK, the amount of recycled gypsum is larger compared to Germany. It should be noted that in these two European countries successful collection and recycling schemes are in place as well as ambitious targets for the near future. For instance, the French gypsum industry is committed to recycle 70 % of the recyclable gypsum waste up to the year 2020.

In Germany, the two gypsum recycling plants have faced challenges to begin operations because of insufficient material supplies of end-of-life gypsum plaster boards; recycling plants have struggled to reach full load capacities needed to offset costs. In 2016, the operator of the plant close to Leipzig de-

tected an increasing material supply. The activities of ambitious authorities from the waste management sector, in particular law enforcement agencies, played a major role in this development by securing state of the art dismantling at construction sites and careful separation and transport of the material to the gypsum recycling plants – all in full compliance with the European waste hierarchy. Shortcomings were noticed by the plant operators in Baden-Württemberg, which receives just small amounts of material from the greater Stuttgart region; a significant amount of material comes from Switzerland. All market players as well as representatives from state authorities often refer to negative impacts by waste agents who receive material for dumping prices and transfer it to dubious disposal routes. In this context, the main drain of discarded gypsum plaster boards is into the uranium tailings in Mydlovary (South Bohemia, Czech Republic). Although gypsum plaster boards are completely useless based on physical and technical criteria and can have critical health effects, estimates from MUEG mention an amount of 100,000 tonnes per year of gypsum plaster boards moving from Germany to the uranium tailings in Mydlovary.

Despite the start-up difficulties for gypsum recycling in Germany, the construction and operation of two other gypsum recycling plants in Germany – in Zweibrücken (MUEG) and Pulheim near Cologne (LANUV 2016, KR 2016) – were announced for 2017. The investigations of the two recycling plants have led to a high technical maturity of the processing technology (separation of the gypsum from paper and other interfering substances) and include continuous learning curves of the operators. The recycled gypsum (RC gypsum) of both recycling plants has acquired a product status. The RC gypsum is mainly used as an admixture for the production of new plaster boards. BV Gips currently cites as a technical limit 30 % admixture of RC gypsum, but this is by no means exhausted due to the currently still relatively small volume of RC gypsum (in 2015 <20,000 tonnes in Germany). The production and use of RC gypsum is supported by clear and strict quality criteria, which the BV gypsum supplies to the gypsum industry for the production of gypsum plaster boards.

The scenarios for the Ufoplan project result in a clearly growing potential for the production of RC gypsum from recycled plaster boards in Germany. Thus, even in the most restrictive scenario, an increase in waste volume of gypsum plaster boards in Germany, from about 280,000 tonnes (2015) to 670,000 tonnes in 2030, is to be expected. According to this scenario, the recyclable portion is growing from 210,000 tonnes (2015) to 550,000 tonnes (2030). In the other three scenarios, the figures for 2030 are moderately to significantly higher compare to the values given here. The announcement of the construction of further gypsum recycling plants in Germany accordingly makes sense against this background.

The life cycle assessment (LCA) results obtained during the project show an ecological advantage of the recycling route compared to the supply of REA gypsum for almost all environmental impact categories. This is strongly attributable to the moisture content of the REA gypsum (8 %-10 %) compared to the RC gypsum (3 %-5 %). The expensive yet necessary drying of the material makes the balance for the REA gypsum inconvenient. When comparing the RC gypsum option with using native natural gypsum, differentiated LCA results were obtained. If short transport distances (up to 100km) are used for the RC gypsum option, the RC gypsum option in all categories of effects proves better than native natural gypsum plaster, with the exception of the eutrophication potential, which is decisively influenced by the process route of electrical energy (gypsum recycling plants need electrical energy mainly). However, if the RC gypsum option assumes longer transport distances (a total of 200 km), the stresses on the RC gypsum also generate higher greenhouse gas emissions compared to the natural gypsum option. A sensitivity calculation, which assumes an expected mix for electrical energy for 2030 (with a smaller proportion of CO₂-intensive fossil fuels), results in somewhat lower stresses for RC gypsum in eutrophication and greenhouse gas potential. In the further perspective (beyond 2030 in the direction of an even less emission-intensive electrical energy mix in Germany) further reductions of these environmental impacts are to be expected for the RC gypsum option.

A clear result of the life cycle assessments and economic considerations within the project is that a shortening of transport distances is very important for the RC gypsum option; thus in the next 10 to 15 years, a whole series of additional locations for recycling plants in Germany should be added in order to further improve the performance for RC gypsum.

The investigations conducted by Öko-Institut, Prognos AG and BAM within the framework of this Ufoplan project have clearly shown that there are already good approaches for successfully recycling gypsum plaster board in Germany. Suitable processing techniques for gypsum plaster boards are available and are constantly improved by the learning curves of the operators.

Selective dismantling and the corresponding separate listing are already practiced in many cases; corresponding information flows between the demolition companies and the gypsum recyclers are established and are being expanded. These activities should be supported and further developed since ensuring that fractions of gypsum plaster boards are as pure as possible is crucial for high recovery rates of gypsum as well as good economic viability and environmental balance of gypsum recycling.

The entry of the German plaster industry into the RC gypsum market has so far been successful for the production of gypsum plaster boards. In the next few years, the amount of RC gypsum in Germany must increase. It is also important to further increase the technically possible proportion of RC gypsum in the gypsum plaster boards produced. Here, experience from, for example, Scandinavian countries, which already have more comprehensive recycling structures for gypsum, can provide clear examples. In this context it should be emphasized that the quality requirements for the RC gypsum are already established and recycling companies in Germany are able to fulfil the parameters with their processing technology. Corresponding quality management of the plants is responsible for this.

Research and discussions within the project, however, also showed that there are still a number of serious obstacles to the rapid expansion of the recycling of gypsum plaster boards in Germany. Thus, in addition to the demolition industry, waste management, logistics and transport of the gypsum plaster boards from construction sites must also be integrated much more into the recycling system in order to reduce the frequency of mixing gypsum boards with other construction waste as much as possible. Representatives of both authorities and operators of recycling plants point to low landfill prices for construction waste in many regions and / or federal states as a relevant obstacle to gypsum recycling. These challenges make investments in high-quality gypsum recycling subject to strong risks. Conversely, experience from other countries shows that higher acceptance prices on the part of economic stakeholders involved in landfilling enhances separation of gypsum plaster boards. Adequately high landfill prices are therefore an important framework for successfully recycling gypsum boards.

The following recommendations can be derived from the results of the Ufoplan project for collection and treatment systems:

- ▶ Processing technology for gypsum plaster boards is available and should be further improved through continuous research and development as well as continuously expanded, in view of the expected quantities. Appropriate research and development projects are recommended, which are aimed at increasing the portion of RC gypsum technically possible in gypsum plaster boards.
- ▶ The "dry" collection and transport of materials are deciding factors that lead to lower costs and reduced environmental effects during the drying and transportation of the material. The corresponding systems are available. It is therefore urgently recommended for actors in the collection, transport and recovery systems to make all practical arrangements to protect of the gypsum board material against rainfall during all steps in the process, including storage and transport, by using container covers, warehouses, etc.
- ▶ Avoiding longer transport distances is important to achieve the best possible ecological balance and to reduce costs. Decentralized collection points for gypsum plaster boards at municipi-

pal recycling centres or similar sites can play an important role by accepting small quantities. Municipalities are therefore recommended to set up appropriate acceptance points for small quantities of gypsum at their recycling centres, while taking care to protect against rainfall.

- ▶ Recycling gypsum plaster boards should be supported by public procurement, which supports the promotion of selective dismantling and using RC gypsum products for construction projects. Already when planning dismantling measures, attention should be paid to the collection of gypsum plaster boards so that the tender for selective demolition can be carried out appropriately. It is also recommended that the Federal Competence Center for Sustainable Procurement develop for gypsum plaster boards a guideline for a non-discriminatory tendering procedure by the public authorities according to VOB, which is based on building physics requirements but not on the origin of the material. An important example for this is the already published brochure that has minimum requirements for the use of concrete with recycled aggregates (RC) in building construction.¹ It is recommended that the Alliance for Sustainability, made up of representatives from the federal ministries, the states and the municipal top-level associations, issue a corresponding order for gypsum plaster boards to the Competence Center for Sustainable Procurement (at the procurement office of the Federal Ministry of the Interior).
- ▶ The Amendment to the Commercial Waste Ordinance, demanding selective dismantling and separation of gypsum-containing demolition materials, represents a good opportunity to support separating fine fractions of gypsum plaster board waste. According to feedback from expert discussions, it became clear that problems with separation are more pronounced in post-mixing: fractions are often selectively separated, but then are mixed again. It is therefore recommended to prohibit subsequent mixing, require isolation of the material streams that have already been separately captured, and to implement them accordingly.
- ▶ Preventing low-priced recycling in technically and ecologically doubtful ways (e.g. for stabilizing uranium tailings like in the Czech Republic or for filling quarries with gypsum plaster board material) by policy and / or law enforcement authorities, is an important step to promote recycling. Support from the gypsum industry and construction and demolition trade is also of great importance. Ultimately, the European waste hierarchy must be implemented and corporate investment has to be protected for high-quality recycling of gypsum plaster boards. It is recommended to take more ecological criteria into account when applying waste disposal as required by the expert consultation of the authorities. Criteria such as "no hydrogen sulphide emissions" or "leachate water pollution" as conditions for recycling are useful for the enforcement authorities. Furthermore, an intensified network and an intensified exchange of the enforcement authorities of the federal states are recommended, in particular to provide information on the waste brokers, which offer dummy prices, and to prevent the corresponding ecologically harmful practices.
- ▶ To establish further gypsum recycling plants in Germany, their economy must be supported by avoiding too low landfill prices for gypsum waste. Here, on the one hand, Germans and municipalities or their companies are in charge in Germany, which are predominantly owners of corresponding landfill sites. The consulted experts discussed the expectation that the landfill prices will increase in the future due to landfill space constraints, thus improving the competitiveness of the gypsum recycling facilities. If these expectations are not met in the coming years and no corresponding changes in landfill prices can be observed in the corresponding regions in the mid-term, the introduction of an appropriate landfill tax in Germany should be considered. It should be noted that four of the six countries investigated in this study levied landfill

¹ Manual "Resource-efficient procurement" Annex with minimum standards, part 1 recycled construction materials

taxes at different levels with corresponding positive effects for the high-quality recycling of gypsum.

- In view of the best possible environmental performance of gypsum recycling in Germany, establishing a higher number of recycling plants (starting from the two plants in 2016) is very important for gypsum plaster boards. The life cycle assessment results highlight the advantages of the shortest possible distances for the recycling system (from the construction site to the recycling facility, from the recycling plant to the plaster-processing plant and from the plaster-processing plant to the construction site). The corresponding recycling plants must be erected with the aim of achieving the shortest overall transport distances. Conurbations play a very important role as a potentially high secondary raw material source and as a potentially large demand space for gypsum plaster boards.

1 Einleitung

Das Umweltbundesamt hat im Herbst 2015 ein Team, bestehend aus dem Öko-Institut, der Prognos AG sowie der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) mit der Bearbeitung des Ufoplan-Vorhabens „Ökobilanzielle Betrachtung des Recyclings von Gipskartonplatten“ beauftragt. Ziel des Vorhabens ist, durch die Bereitstellung von Fakten zum Recycling von Gipskartonplatten den ökobilanziellen Vergleich mit der Produktion von Naturgips sowie von REA-Gips und durch das Aufzeigen von Potenzialen zur Steigerung des Recyclinganteils bei Gipskartonplatten die Aufmerksamkeit in Öffentlichkeit, Verwaltung und Wirtschaft auf dieses Thema zu lenken und die betroffene Wirtschaft bei der Umsetzung von Recyclingkonzepten zu unterstützen.

Insbesondere sollen dazu:

- ▶ Der aktuelle Stand des Gipsrecyclings in Deutschland und in anderen europäischen Ländern sowie
- ▶ Maßnahmen und Möglichkeiten (Verfahren zur Gipsaufbereitung, Erfassungs- und Transportsysteme etc.) zur Förderung des Gipsrecyclings in Deutschland

aufgezeigt werden.

Dem Vorhaben kommt vor dem Hintergrund steigender Gipsnachfrage im deutschen Bausektor, dem vielfach von Kontroversen begleiteten Abbau von Naturgips und nicht zuletzt durch den mittel- und langfristig zu erwartenden deutlichen Rückgang von REA-Gips (Ausstieg aus der Kohleverstromung) eine hohe strategische Bedeutung zu. Die strategische Bedeutung eines hochwertigen Recyclings von Gipskartonplatten liegt zusätzlich in der intendierten Reduzierung der Sulfatbelastung von anderen mineralischen Bauabfällen, um deren Eignung für den Verwertungskreislauf ebenfalls sicherzustellen.

Der jährliche Gipsverbrauch in Deutschland ist ausgehend von den 70ern und 80er Jahren von rund 4 Mio. t auf rund 9 Mio. t in den letzten Jahren angestiegen.² Nach Angaben des BV Gips wird diese Gipsnachfrage zurzeit in Deutschland zu 60 % durch REA-Gips (aus den Rauchgasentschwefelungsanlagen der Kohlekraftwerke) und zu 40 % durch Naturgips abgedeckt (BV Gips_00). Die durch die Energiewende in Deutschland mittel- und langfristig stark zurückgehende Kohlverstromung wird entsprechend einen stark zurückgehenden Anfall von REA-Gips zur Folge haben, d. h. die derzeit wichtigste Versorgungsquelle für den deutschen Gipsmarkt wird nach und nach schwächer und langfristig vollständig versiegen. Die zweite Rohstoffquelle, heimischer Naturgips, hat aufgrund vielfältiger Nutzungskonflikte (Naturschutz, Tourismus etc.) nur begrenzte bzw. erschwerte Möglichkeiten, die auftretenden Lücken zu schließen.³ Naturgips ist ein wertvoller nicht erneuerbarer Rohstoff, daher kommt für die Zukunft dem Recycling von Gips eine steigende Bedeutung für die zumindest teilweise Schließung dieser sich abzeichnenden Lücke zu.

Gipskartonplatten (Bauverschnitt und aus dem End-of-Life-Bereich bei Rückbau, Sanierung etc.) stellen die potentiell interessantesten Quellen für Recyclinggips dar; dies aufgrund der technischen Eigenschaften dieser Baumaterialien und aufgrund der Tatsache, dass von den erwähnten rund 9 Mio. t Gips jährlich rund 3 Mio. t jährlich für Gipskartonplatten benötigt werden. Daher konzentriert sich dieses Ufoplan-Vorhaben ausschließlich auf die Untersuchung des Recyclings von Gips aus Gipskartonplatten.

Die Ziele des Vorhabens können wie folgt zusammengefasst werden:

² Quellen: bis 1997 Bundesverband Baustoffe und Erden e.V., ab 2003 Statistisches Bundesamt (StaBu 2003ff)

³ Siehe z. B.: „Rohstoffabbau in Thüringen - Gips doch gar nicht!“ auf [spiegel-online](http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/thueringen-gips-abbau-im-suedharz-sorgt-fuer-zoff-a-1081600.html), 19.6.2016, <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/thueringen-gips-abbau-im-suedharz-sorgt-fuer-zoff-a-1081600.html>

- ▶ Eruiierung des aktuellen Standes des Gipsrecyclings in Deutschland und in ausgewählten anderen europäischen Ländern.
- ▶ Konzeption und Durchführung einer Ökobilanzierung zum Gipsrecycling in Deutschland.
- ▶ Übersichtlicher Vergleich der Qualitäten des Recyclinggipses im Vergleich zu REA-Gips sowie Naturgips.
- ▶ Identifizierung der Maßnahmen und Möglichkeiten (Verfahren zur Gipsaufbereitung, Erfassungs- und Transportsysteme, etc.) die notwendig sind, um das Gipsrecycling in Deutschland in industriellem Maßstab auf den Weg zu bringen.
- ▶ Formulierung von konkreten Empfehlungen zur Förderung des Gipsrecyclings in Deutschland.

Der Fokus der Untersuchungen in diesem Vorhaben liegt auf Deutschland. Da in einigen Ländern der EU schon weitergehende Erfahrungen zum Gipsrecycling vorliegen, wurden in Abstimmung mit dem Umweltbundesamt zusätzlich Kurzanalysen zur Situation in Frankreich (FR), dem Vereinigten Königreich (UK), in Dänemark (DK), Schweden (SE) und in den Niederlanden (NL) durchgeführt (siehe Abbildung).

Abbildung 1-1 Abgrenzung der untersuchten Länder (Fokus Deutschland und Kurzanalysen in den Ländern FR, UK, DK, SE und NL)



Quelle: Prognos AG

Der vorliegende Bericht dokumentiert in Kapitel 2 ausführlich den Stand des Gipsrecyclings in Deutschland und in den weiteren – bereits erwähnten – europäischen Ländern. Die Untersuchungen umfassten Analysen zum rechtlichen Rahmen, zu aktuellen und zukünftigen (Szenarien) Mengenströ-

men, zu den Aufbereitungstechnologien, zu den Qualitätsanforderungen an den Recyclinggips sowie zu wirtschaftlichen Aspekten des Recyclings von Gipskartonplatten.

Kapitel 3 umfasst die Ökobilanzen zum Gipsrecycling in Deutschland. Neben der umfassenden methodischen Beschreibung werden die Ergebnisse der Ökobilanzen ausführlich dokumentiert und interpretiert. Weiterhin wird auf wichtige Sensitivitätsanalysen und deren Ergebnisse eingegangen. In Kapitel 4 erfolgt aufgrund der großen Bedeutung für den deutschen Gipsrecyclingbereich ein kurzer Exkurs zu den Uranschlammteichen in Tschechien und deren Sanierungsanforderungen. Kapitel 5 schließt den Bericht mit Handlungsempfehlungen für unterschiedliche Akteure zur Unterstützung und Forcierung des Recyclings von Gipskartonplatten in Deutschland.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden umfassende externe, öffentlich zugängliche Datenquellen (u. a. von Statistischem Bundesamt usw.) ausgewertet und Interviews mit dem BV Gips und den Betreibern von Recyclinganlagen in Deutschland (MUEG, Strabag) geführt. Die Projektpartner danken allen Akteuren für die Unterstützung der Studie und die Überlassung von wichtigen Informationen. Für die Erstellung von Szenarien und Ökobilanzen haben die Prognos AG und das Öko-Institut entsprechend geeignete Modelle verwendet. Auf Details zu den Datenquellen und Modellen wird in den jeweiligen Kapiteln des Berichts eingegangen.

Abbildung 1-2 Übersicht der verwendeten Datenquellen im Vorhaben



Quelle: Prognos AG

2 Stand des Gipsrecyclings in Deutschland und in ausgewählten europäischen Ländern

In diesem Kapitel werden die Grundlagen zum Stand des Recyclings von Gipskartonplatten (rechtlicher Rahmen, Abfallaufkommen, Recyclingsysteme, Aufbereitungstechnologien, wirtschaftliche Aspekte) in den Ländern Deutschland, Frankreich, Dänemark, Schweden, Niederlande und dem Vereinigten Königreich dargestellt. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf Deutschland, für das u. a. ein Modell zur Ermittlung des Aufkommens an Gipskartonabfällen von 1970 bis 2030, sowie der Menge des potenziell zur Verfügung stehenden Recyclinggipses entwickelt wurde. Es wird die aktuelle Situation der Aufbereitung und Anlagenverfügbarkeit, der Hemmnisse für das Recycling in Deutschland aufgezeigt, sowie ein Vergleich von Naturgips und Recyclinggips anhand vorhandener Analysen und Studien in Bezug auf Qualitätskriterien durchgeführt.

2.1 Rechtlicher Rahmen

Neben den EU-weiten Regelungen, u. a. Abfallrahmenrichtlinie und deren Umsetzung in den einzelnen EU-Mitgliedstaaten, gibt es Vorgaben, Leitlinien bzw. Initiativen in den jeweiligen EU-Ländern, die neben wirtschaftlichen Aspekten einen wesentlichen Einfluss auf die Umsetzung des Recyclings von Gipskartonplatten haben.

Um diesen Rahmen kurz abzubilden, wird im Folgenden auf die relevantesten europäischen Regelungen übergeordnet für die sechs untersuchten Länder eingegangen (siehe Abbildung 2-1). Es folgt ein Exkurs über die Situation in Deutschland. Auf die Besonderheiten in den anderen fünf betrachteten EU-Ländern wird im Rahmen der Kurzprofile in Kapitel 2.2.3 eingegangen.

Abbildung 2-1 Übersicht der relevantesten Regelungen



Quelle: Analysen Prognos AG

Europäischer Rahmen

EU Abfallrahmenrichtlinie

Die EU-Abfallrahmenrichtlinie (Directive 2008/98/EC) schreibt die fünf-stufige Abfallhierarchie (Vermeidung vor Wiederverwendung vor Recycling vor Verwertung und Beseitigung) sowie Recyclingquoten u. a. für nicht gefährliche Bau- und Abbruchabfälle vor. So müssen die Mitgliedsstaaten bis zum 1.1.2020 für nicht gefährliche Bau- und Abbruchabfälle eine Recyclingquote von mindestens 70 % erfüllen. Dies gilt auch für gipshaltige Abfälle und somit für Gipskartonplatten.

EU Deponieverordnung

Die Deponierung von gipshaltigen Abfällen ist auf Deponien für nicht gefährliche Abfälle erlaubt. Im Jahr 2002 veröffentlichte die EU-Kommission Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien gemäß Artikel 16 und Anhang II der Richtlinie 1999/31/EG (2003/33/EG). Der Paragraph 2.2.3 regelt dabei den Umgang mit gipshaltigen Abfällen:

„Nicht gefährliche gipshaltige Materialien sollten auf Deponien für nicht gefährliche Abfälle nur in solchen Abschnitten abgelagert werden, in denen keine biologisch abbaubaren Abfälle angenommen werden. Die Grenzwerte für TOC und für DOC gemäß Kapitel 2.3.2 und Kapitel 2.3.1 gelten für Abfälle, die gemeinsam mit gipshaltigen Materialien abgelagert werden.“ (Paragraph 2.2.3 2003/33/EG)

Der Grund liegt in dem hohen Sulfatgehalt von Gipsabfällen, der bei Kontakt mit biologisch abbaubaren Abfällen Schwefelwasserstoff (H_2S) ausbildet, das in geringen Konzentrationen zu Geruchsbeeinträchtigungen führt, in hohen Konzentrationen allerdings tödlich ist. Die Ablagerung auf Monodeponien ist erlaubt.

Deutschland

Kreislaufwirtschaftsgesetz

Die EU-Abfallrahmenrichtlinie wurde mit dem Inkrafttreten des Kreislaufwirtschaftsgesetzes im Jahr 2012 ins deutsche Recht umgesetzt, das neben der fünfstufigen Abfallhierarchie die Vorgaben der EU für das Recycling von nicht gefährlichen Bau- und Abbruchabfällen bis zum Jahr 2020 übernimmt. Im § 5 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes wird das Ende der Abfalleigenschaft geregelt. So endet die Abfalleigenschaft eines Stoffes, wenn dieser ein Verwertungsverfahren durchlaufen hat und so beschaffen ist, dass

1. „er üblicherweise für bestimmte Zwecke verwendet wird,
2. ein Markt für ihn oder eine Nachfrage nach ihm besteht,
3. er alle für seine jeweilige Zweckbestimmung geltenden technischen Anforderungen sowie alle Rechtsvorschriften und anwendbaren Normen für Erzeugnisse erfüllt, sowie
4. seine Verwendung insgesamt nicht zu schädlichen Auswirkungen auf Mensch oder Umwelt führt.“ (§ 5 KrWG)

Weitere Sonderregelungen wie bspw. bei Metallen gibt es für die Abfallende-Eigenschaft von gipshaltigen Abfällen in Deutschland aktuell nicht.

Novelle Gewerbeabfall-Verordnung (ressortabgestimmter Entwurf 28.07.2016)

Der aktuelle Entwurf der Gewerbeabfallverordnung⁴ schreibt u. a. die Getrenntsammlungspflicht der beim Rückbau anfallenden Bau- und Abbruchabfälle vor. Insbesondere benannt werden Baustoffe auf Gipsbasis (Abfallschlüssel 17 08 02). Diese sind getrennt zu sammeln, zu befördern und nach Maßgabe des § 8 Absatz 1 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes vorrangig der Vorbereitung zur Wiederverwendung oder dem Recycling zuzuführen. Für Vorbehandlungsanlagen werden eine Sortierquote von 85 % und eine Recyclingquote von 30 % vorgeschrieben. (GewAbf-VO)

Die Novelle der Gewerbeabfallverordnung ist von der EU-Kommission noch zu notifizieren. Ein Kabinettsbeschluss der Bundesregierung muss noch erfolgen.

Ersatzbaustoffverordnung/Mantelverordnung (Referentenentwurf: MantelV vom 06.02.2017)

Die Ersatzbaustoffverordnung soll künftig als ein wesentlicher Teil (Artikel 1) der Mantelverordnung die Anforderungen an den Einbau von mineralischen Abfällen in technischen Bauwerken des Tiefbaus regeln. Hierzu zählen auch Recycling-Baustoffe (RC1- bis RC3-Baustoffe), die aus Bau- und Abbruchabfällen gewonnen werden und nur definierte maximale Gehalte an Sulfat für deren Verwendung, z. B. im Straßenbau, enthalten dürfen. Somit ergibt sich auch aus diesen künftigen Regelungen ein möglichst weitgehender Getrennthaltungsanspruch für gipshaltige Abfälle aus dem Hochbau, v. a. für die als Abfall anfallenden Gipskartonplatten oder Gipsfaserplatten.

Vorgaben für den Abriss und Abbruch von Gebäuden

Neben den beschriebenen Vorgaben für das Recycling von Bau- und Abbruchabfällen und die Getrennthaltung von gipshaltigen Abfällen in Deutschland gibt es aktuell keine EU-weiten Regelungen für den Abbruch oder Abriss von Gebäuden. Auf Länderebene gibt es vereinzelt Initiativen der Bauindustrie, wie u. a. Frankreich, den Niederlanden und dem Vereinigten Königreich, die Anleitungen für den Abbruch/Abriss von Gebäuden größer als 1.000 m² ausweisen.

In Österreich trat am 01. Januar 2016 die Recycling-Baustoffverordnung in Kraft. Diese hat das Ziel, eine hohe Qualität der bei Bau- und Abbruchtätigkeiten anfallenden Abfälle sicher zu stellen und somit das Recycling der Abfälle zu fördern. Bestandteil der Verordnung sind Anforderungen an den Abbruch von Bauwerken, u. a. die Durchführung einer Schadstoff- und Störstofferkundung sowie ein geordneter und verwertungsorientierter Rückbau von Bauwerken. Weiterhin enthält die Verordnung „Bestimmungen für die weitere Behandlung von Bau- und Abbruchabfällen, Qualitätsvorgaben für die herzustellenden Recycling-Baustoffe und vorgegebene Einsatzbereiche für Recycling-Baustoffe“ (BMLFUW, Recycling-Baustoffverordnung). Zusätzlich wurde die ÖNORM B3135 zum „Rückbau von Bauwerken als Standardabbruchmethode“ eingeführt. Ziel ist es, sortenreine Abfallfraktionen zu erhalten. Dafür beinhaltet die ÖNORM B3151 die erforderlichen Maßnahmen für den Rückbau von Bauwerken sowie Grundsätze für die Trennung der einzelnen Materialien im Hinblick auf die Verwertung oder Beseitigung. (ÖNORM B3151)

In allen anderen EU-Ländern werden Gebäude aktuell aufgrund der Kosten eher abgerissen als schrittweise zurückgebaut (GtoG_03). Eine getrennte Erfassung von gipshaltigen Abfällen, insbesondere Gipskartonplatten, wird durch diese Praxis erschwert.

⁴ Der ressortabgestimmte Entwurf wurde am 29.07.2016 zur Notifizierung an die EU-Kommission übermittelt.

2.2 Recycling von Gipskartonplatten in ausgewählten EU-Ländern

Das Recycling von Gipskartonplatten ist in den sechs untersuchten EU-Ländern sehr unterschiedlich ausgeprägt. Die folgenden Seiten geben einen Überblick über das Inlandsaufkommen an Gipskartonplatten, das Abfallaufkommen und den Stand des Recyclings in Dänemark, den Niederlanden, Frankreich, dem Vereinigten Königreich und Schweden.

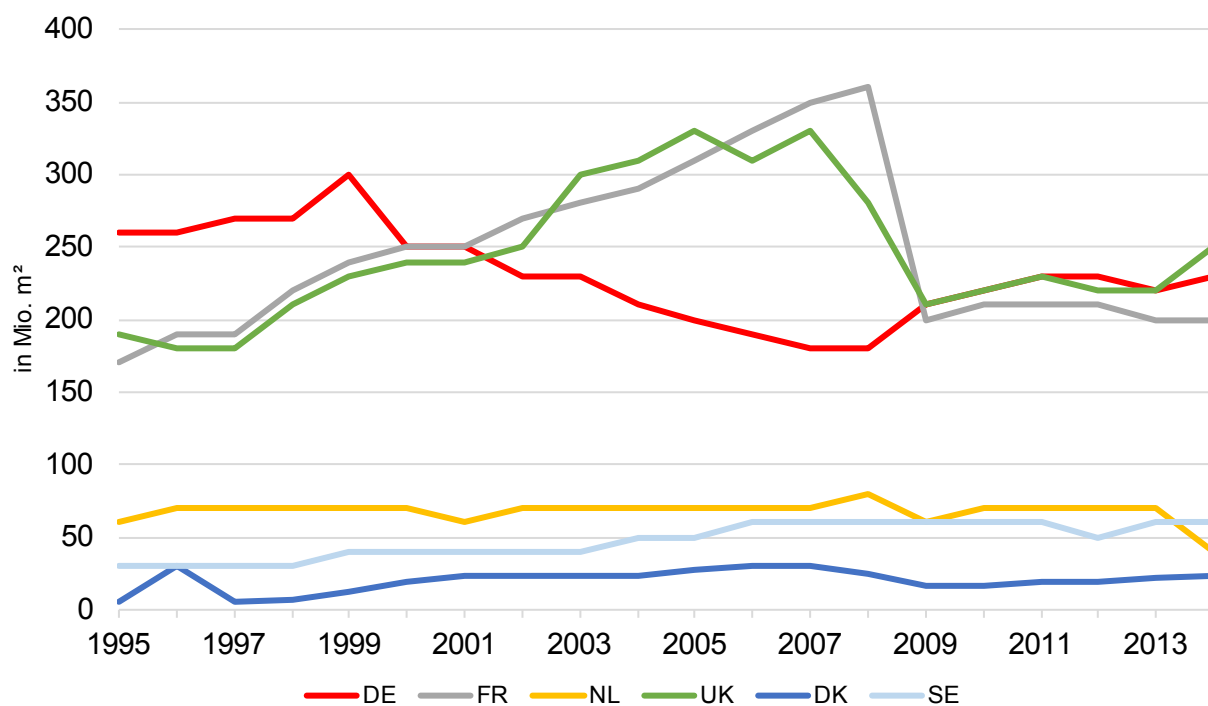
Anschließend wird in Kapitel 2.3 detailliert auf den aktuellen Stand des Recyclings sowie das zukünftige Aufkommen an Gipskartonplatten in Deutschland eingegangen.

2.2.1 Inlandsverbrauch

Im Rahmen des Ufoplan-Vorhabens wurden neben Deutschland fünf weitere Länder (Frankreich, Vereinigtes Königreich, Niederlande, Schweden, Dänemark), die für das Gipsrecycling aufgrund des hohen Aufkommens an Gipsabfällen bzw. den bereits durchgeführten Recyclingaktivitäten als besonders relevant einzustufen sind, für Detailbetrachtungen ausgewählt.

In diesen sechs ausgewählten Ländern werden jährlich ca. 800 Mio. m² Gipskartonplatten verbaut. Davon weisen Deutschland (ca. 220 Mio. m²), Frankreich (200 Mio. m²) und das Vereinigte Königreich (250 Mio. m²) den größten Inlandsverbrauch an Gipskartonplatten auf (siehe Abbildung 2-2).

Abbildung 2-2 Inlandsverbrauch⁵ an Gipskartonplatten in Mio. m²



Quelle: ProdCom6 (ausschließlich Code 236210507)

⁵ Produktion bereinigt um Im- und Exporte

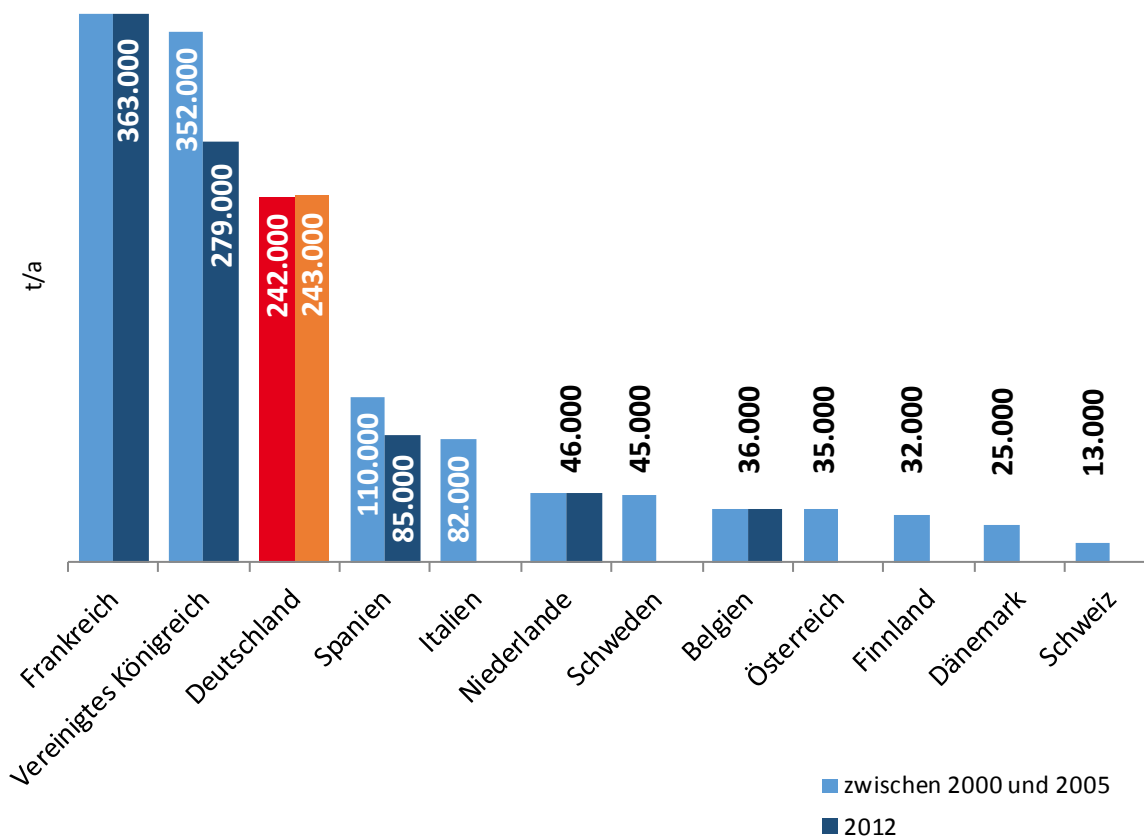
⁶ Prodcom ist ein System zur Sammlung und Verbreitung von Statistiken über die Produktion von Gütern. Es wird von Eurostat zur Verfügung gestellt. Weitere Informationen: <http://ec.europa.eu/eurostat/de/web/prodcom>

⁷ Güterkategorie der ProdCom-Statistik: Platten, Tafeln, Dielen, Fliesen und ähnliche Waren aus Gips oder aus Mischungen auf der Grundlage von Gips die mit Papier oder Pappe überzogen oder verstärkt sind (dazu gehören, Gipskartonplatten, Gipsfaserplatten und Gipswandbauplatten)

2.2.2 Abfallaufkommen

Das Abfallaufkommen an Gipskartonplatten wird im Life+-Projekt „From production to recycling: a circular economy for the European gypsum Industry with the demolition and recycling Industry“ (GtoG Life+-Projekt) in den Jahren 2000 und 2005 auf 1,38 Mio. t für die in Abbildung 2-3 dargestellten EU-Länder geschätzt. Diese Berechnung basiert auf einem von New West Gypsum Recycling entwickelten Modell auf Basis der Einwohnerzahl und des durchschnittlich geschätzten Verbrauchs an Gipskartonplatten pro Kopf und Land. Eine Aktualisierung dieser Schätzung erfolgte für das Jahr 2012 nur für ausgewählte Länder wie Frankreich, dem Vereinigten Königreich, Deutschland, Spanien sowie den Benelux-Ländern (siehe Abbildung 2-3). Für diese wird das Aufkommen auf insgesamt 1,05 Mio. t geschätzt.

Abbildung 2-3 Abfallaufkommen an Gipskartonplatten aus Neubau-, Sanierungs- und Rückbau-/ Ab-rissmaßnahmen (in Tonnen) zwischen den Jahren 2000 und 2005 sowie im Jahr 2012



Quelle: Jean-Yves Burgy (2013); GtoG_02

2.2.3 Recycling in ausgewählten EU-Ländern

2.2.3.1 Dänemark

Initiativen/Vorgaben

Neben der Umsetzung der EU-Regelungen wurde im Jahr 2013 erstmals die Initiative „Denmark without waste“ veröffentlicht. Eine Aktualisierung erfolgte mit „Denmark without waste II“ im Jahr 2015. In beiden Dokumenten wird auch auf Bau- und Abbruchabfälle eingegangen, die mehr als ein Drittel des Abfalls in Dänemark ausmachen. Ziel der Initiative der dänischen Environment Protection Agency (EPA) ist es, die Recyclingrate von Bau- und Abbruchabfällen langfristig zu steigern. (DK_2015)

Regelungen für gipshaltige Abfälle sind nicht bekannt.

Aufkommen

Das Aufkommen an gipshaltigen Abfällen aus Bau und Abbruchtätigkeiten betrug im Jahr 2013 in Dänemark 58.000 t (Jahr 2011: 44.000 t) (DK_2013). Der Großteil dieser Abfälle sind Gipskartonplatten (vgl. WRAP_DK).

Recyclingsystem

Im Jahr 2001 wurde von Gypsum Recycling International (GRI) ein Recyclingsystem für Gipsabfälle in Dänemark eingeführt (GPI_01). GRI bietet ein Komplettsystem an, von der Sammlung bis zum Transport und Recycling von Gipsabfällen sowie der Lieferung/Vermarktung an den Endverbraucher. Die speziell entwickelten Container, in denen sowohl Gipskartonplatten als auch andere Gipsabfälle aus dem Bau- und Abbruch getrennt gesammelt werden, stehen auf Baustellen (Neubau, Sanierung Abbruch und Abriss), Umladestationen sowie kommunalen Recyclinghöfen. Durch eine gezielte Tourenplanung („Crap truck route“) werden die einzelnen Standorte durch LKW's angefahren. Die so erfassten Gipsabfälle werden zu einer der vorhandenen Lagerhallen von GRI transportiert. Diese Hallen befinden sich zur Reduzierung von Transportkosten in der unmittelbaren Nähe von Gipsplattenwerken. Ist eine Sammelmenge von 2.000 t/Lager erreicht wird eine mobile Aufbereitungsanlage aufgebaut. Die maximale Laufzeit pro Lager sind 10 Tage. Dann wird laut Aussage von GRI die Recyclinganlage abgebaut und zur nächsten Lagerhalle transportiert. Der so gewonnene Recyclinggips weist laut GRI eine hohe Reinheit (unter 0,5 % Papieranteil im RC-Gips absolut) auf und wird zu einem Anteil von maximal 30 % in der Produktion von neuen Gipskartonplatten von der Gipsindustrie in Dänemark eingesetzt. (GRI_01, WRAP_DK)

Die mobile Recyclinganlage von GRI verfügt über eine Jahreskapazität von 100.000 t und ist neben dem Recycling von Gipskartonplatten auch für Gipsblöcke, u. a. aus Bau- und Abbruchtätigkeiten, geeignet. (GRI_01)

Laut Angaben von GRI konnte für die bisher nicht stofflich verwertbare Papierfraktion (max. 10 % der Gesamtmenge an Gipsabfälle) ein Verfahren entwickelt werden, dass es ermöglicht sowohl Gips, als auch eine für die Papierfabriken verwertbare Papierfraktion zu erhalten. Das Projekt wurde durch das EU-Förderprogramm Eco-Innovation unterstützt. (GRI_02)

2.2.3.2 Vereinigtes Königreich

Initiativen/Vorgaben

Im Vereinigten Königreich gibt es seit April 2007 eine freiwillige Vereinbarung (Ashdown Agreement) zwischen der Gypsum Products Development Association (GPDA)⁸ und der Waste & Resources Action Programm (WRAP)⁹ zur Reduzierung der gipshaltigen Abfälle, die auf Deponien abgelagert werden. Diese Vereinbarung wurde bis 2015 verlängert und beinhaltet drei Ziele, die jährlich geprüft und aktualisiert werden:

- ▶ Ziel 1: Deponierung von Gipskartonplatten insgesamt bis zum Jahr 2025 auf Null senken
- ▶ Ziel 2: Deponierung von Gipskartonplattenabfällen aus der Produktion bis 2015 auf Null senken
- ▶ Ziel 3: Steigerung des Anteils des verwerteten RC-Gips aus Bautätigkeiten (Herstellung von Gipskartonplatten, Einsatz in Zementwerken und in der Landwirtschaft) auf 50 % bis zum Jahr 2015 (bezogen auf Basis Produktionsmenge von 210.000 t)

Im Jahr 2012 wurde das Ziel 2 erreicht und keine Gipskartonplatten mehr aus der Produktion deponiert. Ziel 3 wurde mit einer Quote von 45,4 % bezogen auf eine Produktionsmenge von 210.000 t (RC-Gips für die Herstellung von Gipskartonplatten Anteil 32,9 %, Zementwerk Anteil 3 %, Landwirtschaftliche Nutzung Anteil 9,5 %) im Jahr 2012 knapp nicht erreicht. (UK_2013, GtoG_02). Im Jahr 2015 konnte der Anteil, der für die Herstellung von Gipskartonplatten verwendet wird, auf 42 % gesteigert werden¹⁰. (GPDA_01)

Eine Verlängerung des Ashdown Agreement ist nicht geplant. Allerdings haben sich die Teilnehmer darauf verständigt, dass die bisher erreichten Ziele im Rahmen des übergeordneten „Plasterboard Sustainability Partnership“ (PSP) und dem gleichnamigen Aktionsplan („PSP Action Plan“) weiterverfolgt werden. Das PSP wurde 2009 gegründet und ist ein Gremium aus Interessengruppen der Industrie (Hersteller, Vertrieb, Verwendung/Einbau, Abfallmanagement) und relevanter Institutionen der Regierung, die sich u. a. mit den Thema Nachhaltigkeit und Umgang mit Gipskartonplatten beschäftigen.

Übergeordnet regelt das Environment Agency Quality Protocol die Abfallende-Kriterien für ausgewählte Abfälle. Im Jahr 2008 wurde das Quality Protocol of Recycled Gypsum from Waste Plasterboard von der Environment Agency¹¹ verabschiedet. Es gilt in England, Wales und Nordirland und regelt Kriterien für die Herstellung und den Einsatz von RC-Gips aus Gipskartonplatten. Es wurde im Jahr 2013 überarbeitet.

Aufkommen

Das Aufkommen an Gipskartonplattenabfällen wird im GtoG Life+-Projekt auf 279.000 t für 2012 geschätzt. (GtoG_02)

Dies deckt sich mit Angaben aus dem finalen Bericht zum Ashdown Agreement. Dort liegt das Aufkommen bei 294.000 t in 2015. (GPDA_01)

⁸ Repräsentiert die vier großen gipsverarbeitenden Unternehmen im Vereinigten Königreich: British Gypsum, Lafarge Plasterboard, Knauf Drywall und Gypsum Industries

⁹ Eingetragene gemeinnützige Interessenvertretung, beschäftigt sich thematisch mit der Abfallwirtschaft im Vereinigten Königreich: <http://www.wrap.org.uk/>

¹⁰ nkl. Produktionsabfälle

¹¹ http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Gypsum_Quality_Protocol_0.pdf

Recyclingsystem

Aufbauend auf den Vorgaben haben sich in England Rücknahmesysteme für gebrauchte Gipskartonplatten etabliert.

So bietet beispielsweise British Gypsum seinen Kunden die Rücknahme von gebrauchten Gipskartonplatten an. Diese werden auf der Baustelle separat in Abfallsäcken gesammelt und von einem beauftragten Dritten abgeholt und ggf. vorsortiert. Anschließend werden die Gipskartonplattenabfälle an British Gypsum zum Recycling geliefert und der RC-Gips zurückgewonnen. Anschließend wird der so gewonnene RC-Gips mit Naturgips vermischt und in der Produktion bei British Gypsum zur Herstellung von diversen Produkten eingesetzt. (British Gypsum_01). Nach Angaben von British Gypsum verfügt das Unternehmen über eigene stationäre Recyclinganlagen in der Nähe der Gipskartonplattenwerke (British Gypsum_02).

Ähnliche Rücknahmesysteme bieten auch die Hersteller Knauf und Siniat an. Darüber hinaus gibt es zahlreiche unabhängige Recyclingunternehmen, die Rücknahmesysteme für Gipskartonplatten mittels Abfallsäcke, Container oder Behälter anbieten. (PSP_01)

2.2.3.3 Frankreich

Initiativen/Vorgaben

Im Jahr 2008 unterzeichneten die französischen Gipsproduzenten die freiwillige Vereinbarung „La Charte sur la Gestion des Déchets de Plâtre“ um den Umgang mit gipshaltigen Bau- und Abbruchabfällen zu verbessern. Es beinhaltet die folgenden Punkte:

- ▶ Verbesserung des Produktdesigns, um die bei der Produktion, dem Transport und dem Produktende anfallenden Abfälle zu verringern.
- ▶ Weitere Reduzierung des Aufkommens an Abfällen bei der Herstellung von Gipsprodukten.
- ▶ Sensibilisierung und Information der verschiedenen Akteure, u. a. der Bauunternehmen, in Bezug auf Reduzierung des Abfallanfalls beim Einbau.
- ▶ Entwicklung bzw. Erweiterung des Recyclingsystems von Gipsabfällen und Weiterentwicklung von Recyclingtechnologien.
- ▶ Verringerung der auf Deponien abgelagerten Mengen. (Industrie plâtre_02)

Weitere Regelungen zu gipshaltigen Abfällen sind nicht bekannt.

Aufkommen

In Frankreich fielen 2012 laut Berechnungen im Rahmen des GtoG Life+-Projektes rund 363.000 t Gipskartonplatten als Abfall an. (GtoG_02)

Im Jahr 2008 konnten nach Angaben der Gipsindustrie in Frankreich 10.000 t und in 2012 bereits 50.000 t an gipshaltigen Abfällen recycelt werden. Bis zum Jahr 2020 hat sich die französische Gipsindustrie das Ziel gesetzt, 70 % der recyclingfähigen gipshaltigen Abfälle zu recyceln. Dies entspräche einer Menge von 245.000 t recycelter gipshaltiger Abfälle. (Industrie plâtre_01)

Recyclingsystem

Um die Ziele zu erreichen, haben alle Gipskartonplattenhersteller in Frankreich eigene Recyclinganlagen errichtet oder Verträge mit Recyclern in unmittelbare Nähe der Produktionsstandorte geschlossen. Alle Recyclinganlagen nehmen Gipskartonplatten und Gipsblöcke an. Zwei Anlagen in Frankreich recyceln auch Gipsverbundplatten (u. a. Gipsfaserplatten). Für den Aufbau eines Rücknahmesystems haben die Hersteller von Gipskartonplatten (u. a. Siniat, Knauf, Placoplâtre) Verträge mit Entsorgungsunternehmen geschlossen (regional, national), die die Sammlung der gipshaltigen Bau- und Abbruchabfälle übernehmen und zu den Recyclinganlagen bzw. Gipskartonplattenwerken transportieren. Darüber hinaus werden gipshaltige Abfälle auch auf den öffentlich zugänglichen Wertstoffhöfen gesammelt. Der in den Recyclinganlagen gewonnene RC-Gips wird anschließend zu 10 bis 15 % direkt in der Produktion neuer Gipskartonplatten eingesetzt. In 2014 wurden insgesamt 66.000 t Gipsabfälle in Gipskartonplattenwerken recycelt. (GtoG_02, GtoG_03).

2.2.3.4 Niederlande

Initiativen/Vorgaben

2008 unterzeichneten mehrere Industrieunternehmen (u. a. Hersteller, Entsorgungsunternehmen, Recyclingunternehmen, Bau- und Abbruchunternehmen) zusammen mit dem Ministerium für Wohnungswesen, Raumordnung und Umweltschutz (VROM) eine Vereinbarung mit den Zielen:

- ▶ Die Niederlande zum Spitzenreiter beim Gipsrecycling zu machen.
- ▶ Die Verdopplung des Recyclinganteils von gipshaltigen Bau- und Abbruchabfällen von 20 % (in 2008) auf 40 % bis 2010.

Aufgrund der kostengünstigeren Entsorgung gipshaltiger Abfälle außerhalb von den Niederlanden wurde ein Großteil dieser Abfälle exportiert. Die Initiative war damit nicht so erfolgreich wie gewünscht.

Die Vereinbarung lief Ende 2014 aus und wurde nicht verlängert. (GtoG_02)

In den Niederlanden gibt es einen Sektorplan (Nr. 31) für gipshaltige Abfälle, dazu zählen u. a. Gipskartonplatten und Gipsblöcke. In dem Sektorplan sind u. a. folgende Dinge festgehalten:

- ▶ Hinweise zur grenzüberschreitenden Abfallverbringung von Gips
- ▶ Einordnung relevanter Abfallschlüssel nach AVV
- ▶ Minimumstandard für die Verarbeitung von Gips
- ▶ Hinweise für das Recycling
- ▶ Hinweise zu relevanten Verordnungen und Richtlinien. (vgl. Sector 31_2014)

Aufkommen

Im Sektorplan 31 wird ein Abfallaufkommen von 38.000 t bis zu 200.000 t ausgewiesen.

Im GtoG Life+-Projekt ist für Belgien und die Niederlande zusammen ein Aufkommen von 82.000 t für das Jahr 2012 ermittelt worden.

Recyclingsystem

Gypsum Recycling International (GRI) aus Dänemark ist seit 2004 auch in den Niederlanden aktiv und bietet dort das gleiche Rücknahmesystem an (siehe Kapitel 2.2.3.1). Das Recycling von Gipsabfällen erfolgt in den Niederlanden in zwei Standorten Delfzijl und Werkendam (GRI_03) und mit der Technik der mobilen Recyclinganlage.

2.2.3.5 Schweden

Initiativen/Vereinbarungen

In Schweden gibt es seit 2013 ein Abfallvermeidungsprogramm (Swedish Waste Prevention Programme - WPP) für die Jahre 2014 bis 2017.

Für den Bereich Bau- und Abbruchabfälle liegt der Fokus auf Vermeidung bzw. Reduzierung von Abfällen und insbesondere von gefährlichen Abfällen. Um dies zu erreichen werden folgende Strategien/Initiativen aufgeführt:

- ▶ Ersatz von gefährlichen Materialien in Baustoffen durch weniger gefährliche
- ▶ Dokumentation der verwendeten Baumaterialien
- ▶ Steigerung der Verantwortung der Abrissunternehmen
- ▶ Erhöhung der Überwachung im Bausektor
- ▶ Steigerung der Wiederverwendung von Baumaterialien
- ▶ Steigerung des Wissens zum Thema Abfallvermeidung und Umgang mit Abfällen
- ▶ Eine Aktualisierung des Programms ist für 2018 geplant. (Deloitte_01)

Der schwedische Bauverband (Swedish Construction Federation – SCF) hat im Jahr 2015 seine Richtlinien für das Ressourcen- und Abfallmanagement im Bau- und Abbruchsektor (Resource and waste guidelines during construction and demolition) aktualisiert. Sie soll die Bauindustrie bei der Umsetzung der allgemeinen rechtlichen Vorschriften (u. a. Building Code – SFS 2010:900) unterstützen und beinhaltet u. a. Richtlinien und Hinweise

- ▶ zur Erfassung, dem Handling und der Sortierung von Abfällen
- ▶ sowie dem Abfallmanagement und Controlling bei den verschiedenen Bautätigkeiten.

In der Richtlinie wird auch auf den Umgang mit ausgewählten Abfallströmen, wie Gipskartonplatten, eingegangen (siehe auch SCF_01):

- ▶ Gipskartonplatten können recycelt und für die Herstellung von neuen Gipskartonplatten verwendet werden.
- ▶ Sie müssen trocken und frei von Verunreinigungen, u. a. Kleber, sein.
- ▶ Empfohlen wird die getrennte Erfassung bzw. Aussortierung an der Baustelle im Rahmen von Neu- und Bautätigkeiten. Für den Abbruch und Abriss von Gebäuden wird diese Empfehlung nur für saubere Gipskartonplatten optional empfohlen, sofern eine Recyclinganlage in direkter Nähe liegt.

Regelungen zum Abfallende liegen in Schweden nicht vor. (Deloitte_01)

Aufkommen

Im Jahr 2015 fielen insgesamt 23.490 t (2012: 17.520 t) Gipsabfälle bei der Sammlung aus Haushalten für das Recycling an (AS_01, AS_02). Eine Angabe zum Aufkommen an gipshaltigen Abfällen aus Bau- und Abbruchtätigkeiten bzw. Gipskartonplattenabfällen wird statistisch nicht ausgewiesen.

Nach Schätzungen im GtoG Life+-Projekt wird mit einem Potenzial von ca. 45.000 t Gipskartonplattenabfällen jährlich gerechnet (GtoG_02).

Recyclingsystem

In Schweden wird Gips aus Bau- und Abbruchtätigkeiten recycelt und zur Herstellung von Gipskartonplatten eingesetzt.

Im Jahr 2003 nahm GRI aus Dänemark seine Aktivitäten in Schweden auf. Aktuell verfügt GRI in Schweden über zwei Standorte, Halmstadt und Balsta. (GRI_04) Auch in Schweden setzt GRI die mobile Anlagentechnik ein, die nach Bedarf an die jeweiligen Standorte zum Gipsrecycling gebracht werden.

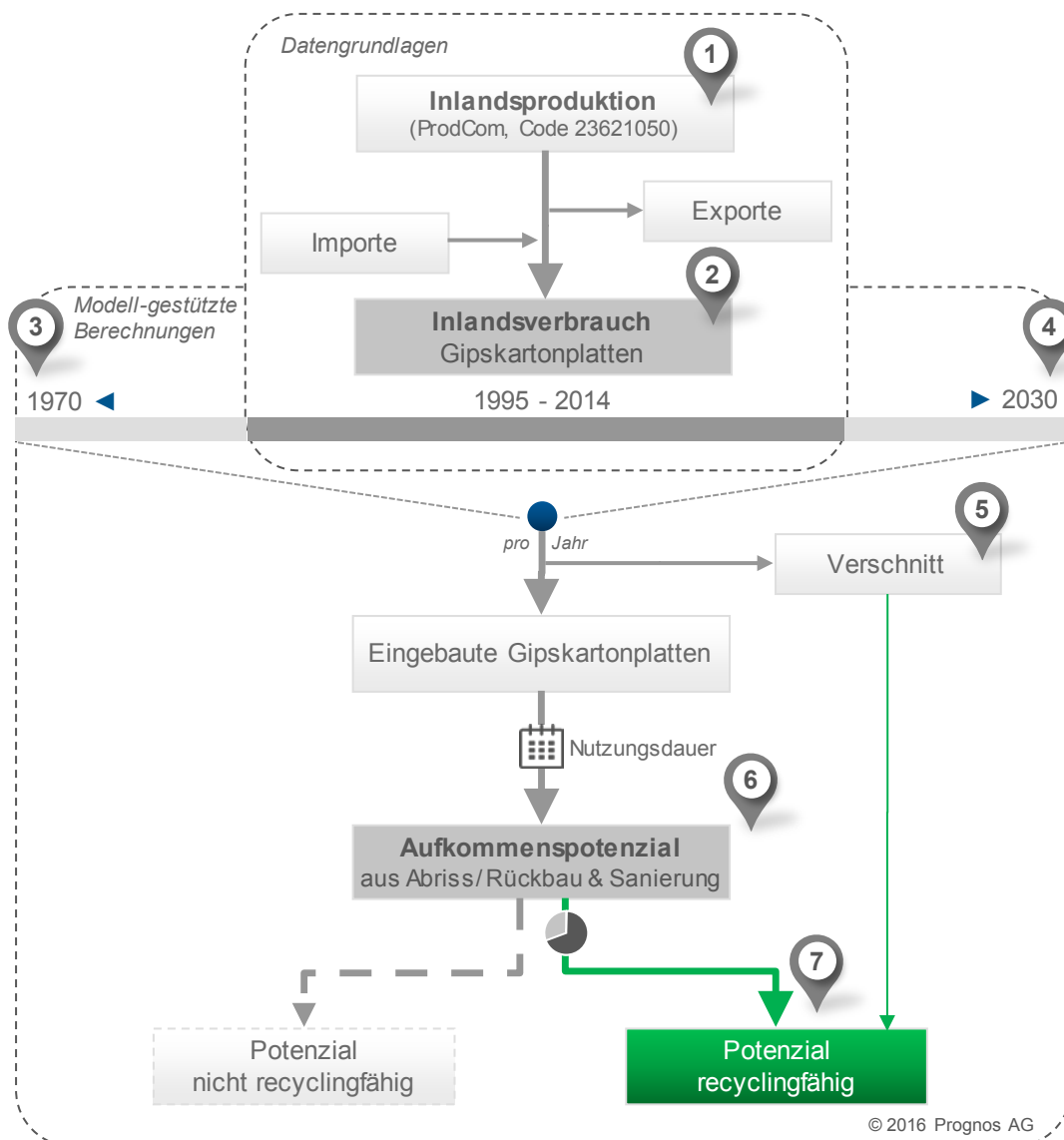
2.3 Recycling von Gipskartonplatten in Deutschland

2.3.1 Modell zur Ermittlung des Inlandsverbrauchs und Abfallaufkommen an Gipskartonplatten

Im Rahmen der Untersuchung wurde ein besonderer Fokus auf den Stand des Gipskartonplattenrecyclings in Deutschland und dem zukünftig zu erwartenden Abfallaufkommen gelegt.

Die Abfallstatistik in Deutschland weist Gipskartonplatten nicht separat aus. Um hier eine Aussage zu treffen und das bis zum Jahr 2030 anfallende Aufkommen hochzurechnen, wurde von der Prognos AG ein Modell zur Ermittlung des Abfallaufkommens an Gipskartonplatten in Deutschland aufgebaut. Dieses Modell ist in Abbildung 2-4 schematisch dargestellt und wird im Folgenden kurz erläutert. Im Anschluss werden die Ergebnisse dargestellt.

Abbildung 2-4 Modell zur Ermittlung des Abfallaufkommens an Gipskartonplatten in Deutschland



Quelle: Prognos AG

Grundlagen

Für die Berechnung des Abfallaufkommens ist im Rahmen dieser Studie die Entwicklung des Inlandsverbrauchs an Gipskartonplatten relevant.

Nicht betrachtet werden produktionsbedingte Abfälle, die in Deutschland mit einem Anteil von 2 % eine untergeordnete Rolle spielen und in den Gipskartonplatten-Werken selbst recycelt werden und somit dem Abfallmarkt nicht zur Verfügung stehen.

Der theoretische Inlandsverbrauch (2) ergibt sich aus der Inlandsproduktion (1), zuzüglich der Importe und abzüglich der Exporte (siehe Abbildung 2-4). Lagerbestände wurden nicht berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass die im Jahr produzierten Gipskartonplatten im gleichen Jahr verwendet wurden.

Basis für die theoretische Inlandsproduktion sind die in der Produktionsstatistik (ProdCom-Statistik¹²) von Eurostat zur Verfügung stehenden Produktionszahlen sowie Importe und Exporte für die Güterkategorie-Nummer 23621050¹³. Diese Güterkategorie beinhaltet zu einem Anteil von mehr als 98 % Gipskartonplatten gemäß DIN 18180 (Anteil > 98 %). Der Rest verteilt sich auf Gipsfaserplatten, Gipswandbauplatten sowie Gipsbauplatten. Auf eine Differenzierung in die Unterkategorien wurde aufgrund der Dominanz der Gipskartonplatten verzichtet. Im Folgenden wird von der Güterkategorie im Allgemeinen von Gipskartonplatten gesprochen.

Die ProdCom-Statistik weist die Inlandsproduktion (1) sowie deren Importe und Exporte für den Zeitraum 1995 bis 2014 in Mio. m² aus. Für die Ermittlung des Abfallaufkommens war eine Umrechnung in Tonnen notwendig. Dafür wurde das Durchschnittsgewicht von 8,5 kg/m² für eine Gipskartonplatte aus dem GtoG Life+-Projekt genutzt.

Der Einbau von Gipskartonplatten erfolgte seit den 70er Jahren. Aufgrund der langen Nutzungsdauer dieser Platten und dem somit verzögerten Anfall von Gipskartonplattenabfällen reicht eine Betrachtung ab 1995 für die Abschätzung des künftigen Abfallaufkommens nicht aus. Daher wurde die Menge der vor 1995 verbauten Gipskartonplatten mittels einer modellhaften Rückrechnung bis 1970 auf Basis des theoretischen Inlandsverbrauches der Jahre 1995 bis 2014 (2) sowie der historischen Entwicklung der Bautätigkeit (Neubau sowie Renovierungs- und Sanierungstrends in Wohn- und Nichtwohngebäuden) und Annahmen der Prognos AG ergänzt (3) (Details siehe Anhang). Neben der Betrachtung der Vergangenheit erfolgte im Rahmen des Projektes die Hochrechnung des zukünftig anfallenden Abfallaufkommens an Gipskartonplatten bis zum Jahr 2030. Diese zukunftsgerichtete Entwicklung basiert auf der Fortschreibung des theoretischen Inlandsverbrauchs der Jahre 1995 bis 2014 (2). Die Fortschreibung des theoretischen Inlandsverbrauchs bis zum Jahr 2030 basiert auf der zukünftig zu erwartenden Bautätigkeit (Neubau, Renovierung und Sanierung in Wohn- und Nichtwohngebäuden) und Einschätzungen der Prognos AG und wurde in Fünf-Jahresschritten hochgerechnet (4). (Details siehe Anhang)

Beim Einbau von Gipskartonplatten (Neubau, Renovierung bzw. Sanierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden) fallen Schnittreste an, die seit Einführung der Gewerbeabfallverordnung im Jahr 2003 auf der Baustelle getrennt erfasst und dem Recycling zugeführt werden. Vor 2003 erfolgte keine separate Erfassung und kein Recycling. Für den Betrachtungszeitraum 1970 bis 2030 wird angenommen, dass 5 % des Inlandsverbrauches als Verschnitt anfallen (5) (vgl. Arendt 2001) und im Anfalljahr recycelt (ab 2003) bzw. entsorgt werden (vor 2003). Somit ergibt sich der Anteil an Gipskartonplatten der jährlich potenziell in Wohn- und Nichtwohngebäuden eingebaut wird aus dem Inlandsverbrauch (2) abzüglich des Verschnitts (5).

Die eingebauten Gipskartonplatten fallen zum Großteil bei Rückbau- und Abrisstätigkeiten und nur zum kleineren Teil bei Sanierungen an. Sie sind mit anderen Stoffen (u. a. Anstriche, Tapeten) vermischt und verweilen zum Teil Jahrzehnte in den Gebäuden. Daten zum Abfallaufkommen liegen nicht vor. Es erfolgte daher eine modellbasierte Abschätzung des potenziell jährlich anfallenden Abfallaufkommens aus Sanierung-, Rückbau- und Abrisstätigkeiten auf Basis der jährlich anfallenden eingebauten Gipskartonplatten ((1) bis (5)) und der Weibull-Verteilung (6). Die Weibull-Verteilung ist eine stetige Wahrscheinlichkeitsverteilung über einer Menge positiver reeller Zahlen. Diese kann je nach Wahl der Parameter einer Normalverteilung, einer Exponentialverteilung oder anderen asymmetrischen Verteilungen ähneln. Besonders genutzt wird die Verteilung zur Beschreibung der Lebensdauer und Ausfallhäufigkeit von beispielsweise elektronischen Bauelementen oder Werkstoffen.

¹² Begriff leitet sich aus dem französischen „PRODuction COMMunautaire“ (Gemeinschaftliche Produktion) ab

¹³ Platten, Tafeln, Dielen, Fliesen und ähnliche Waren aus Gips oder aus Mischungen auf der Grundlage von Gips die mit Papier oder Pappe überzogen oder verstärkt sind

Wichtige Parameter der Weibull-Verteilung in diesem Modell sind

- ▶ die durchschnittliche Nutzungsdauer von Gipskartonplatten¹⁴,
- ▶ der Weibullfaktor
- ▶ die Mindestverweildauer¹⁵
- ▶ und der theoretische Rücklauf¹⁶.

Der Weibullfaktor bildet die Schwankung in der Weibull-Verteilung ab. D. h. er beschreibt, wann es um den geschätzten Mittelwert herum zu einem fast sprunghaften Anstieg der Ausfallwahrscheinlichkeit (= auszutauschende Gipskartonplatten) kommt, während diese zu Anfang noch klein ist. Ein Weibullfaktor 1 bedeutet eine exponentielle Verteilung mit konstanter Ausfallrate. Bei einem Faktor zwischen 1 und 2 zeigt sich eine monoton steigende Funktion mit abnehmenden Zuwachsraten. Ist der Faktor größer 2 steigen die Zuwachsraten der Ausfallrate mit der Zeit stärker an. Im Modell und bei Arendt wird mit dem Faktor 2 gerechnet, dies führt zu einer linear ansteigenden Ausfallrate. (vgl. Arendt 2001)

Ergebnis der Modellierung ist das potenzielle Abfallaufkommen an Gipskartonplatten aus Sanierungs-, Rückbau- und Abrisstätigkeiten (6).

Anschließend wird das potenziell recyclingfähige Abfallaufkommen abgeschätzt (7). Der Anteil des nicht-recyclingfähigen Materials (exkl. Verschnitt) liegt laut Angaben der Gipsrecycler aktuell zwischen 35 bis 50 % und ist zum einen von der Erfassung an der Baustelle und im Weiteren vom Ausschuss bei der Aufbereitung abhängig. Im Modell wird davon ausgegangen, dass dieser Anteil im Jahr 2015 bei 35 % (vgl. auch GtoG_02) liegt. Unter der Annahme einer sich aus den Vorgaben der Gewerbeabfallverordnung ergebenden verbesserten getrennten Erfassung und Getrennthaltung der Abfälle bis zum Jahr 2030 könnte dieser Wert auf 20 % gesenkt werden. Die so ermittelte Recyclingmenge aus Sanierungs-, Rückbau- und Abrisstätigkeiten wird anschließend dem seit 2003 jährlich anfallenden und getrennt erfassten Verschnitt zugerechnet. Es wird modellhaft davon ausgegangen, dass anschließend der seit 2003 getrennt erfasste Verschnitt zu 100 % recycelt wird.

Szenarische Betrachtungen

Um die Varianz der möglichen Entwicklungen im Baubereich (Konjunkturschwankungen) abzubilden, sowie die Flexibilisierung der Lebensgewohnheiten und sich verkürzende Sanierungszyklen (Nichtwohngebäude, Wohngebäude) im Modell zu berücksichtigen, erfolgte die Betrachtung von vier Szenarien.

- ▶ **Szenario 1: Status Quo mit erhöhter Rücklaufquote**
Das Status Quo - Szenario geht von einer Fortschreibung des aktuellen Standes aus, d. h. es gibt keine Veränderungen bei den Bau- und Abrisstätigkeiten und die Nutzungsdauer der Gipskartonwände bleibt unverändert. Es wird bereits in diesem Szenario davon ausgegangen, dass eine intensivierete Rücklaufquote im Sinne der Abfallhierarchie von 70 % erreicht wird.
- ▶ **Szenario 2: Verkürzung der Nutzungsdauer**
In diesem Szenario wird unterstellt, dass sich aufgrund von sich ändernden Lebensbedingungen und Bauformen die Flexibilität im Bauen verändert.

¹⁴ Bezeichnet die Zeit, die eine Gipskartonplatte durchschnittlich verbaut ist ohne dass ein Abbruch/Rückbau erfolgt.

¹⁵ Beschreibt die Einbauzeit die mindestens vergeht bevor bspw. ein neuer Sanierungszyklus eintritt und die Gipskartonplatten ausgebaut werden. Dieser Wert liegt unter der durchschnittlichen Nutzungsdauer.

¹⁶ Beschreibt den Anteil an Gipskartonplatten, der als Abfall anfällt und die für eine Aufbereitung in einer Recyclinganlage notwendige Qualität aufweist.

Die aktuell viel verbauten Fußbodenheizungen fördern bspw. die Verkürzung von Sanierungszeiträumen. So sollte ein auf Trittschalldämmung 'schwimmend' verlegter Estrich nach 30 Jahren erneuert werden. Da Trockenwände i.d.R. auf dem verlegten Estrich aufgebaut werden, müssen diese ebenfalls teilweise saniert werden. (EBS_2006)

Durch diese und ähnliche Entwicklungen verkürzt sich die durchschnittliche Nutzungsdauer der Gipskartonwände gegenüber dem Status quo.

► Szenario 3: Steigerung der Rücklaufquote

Durch eine strikte Umsetzung der anstehenden Novelle der Gewerbeabfall-Verordnung und der damit verbundenen Getrennterfassung ist mit einer erhöhten getrennten Erfassung der Gipskartonabfälle zu rechnen. Die Rücklaufquote steigt gegenüber dem Status quo an.

► Szenario 4: Optimales Szenario

Szenario vier ist ein optimales Szenario. Hier wird angenommen, dass neben der Verkürzung der Sanierungszyklen auch die Gewerbeabfall-Verordnung konsequent umgesetzt wird und es somit neben der Verkürzung der durchschnittlichen Nutzungsdauer auch zu einer Erhöhung der Rücklaufquote kommt.

Ein Überblick der getroffenen Annahmen zu den einzelnen Szenarien befindet sich in Tabelle 2-1.

Tabelle 2-1 Annahmen für die szenarischen Betrachtungen

	Szenario 1 Status quo mit erhöhter Rück- laufquote	Szenario 2 Verkürzung der Nutzungsdauer	Szenario 3 Steigerung der Rücklaufquote	Szenario 4 Optimales Szenario
Durchschnittliche Nutzungsdauer	40 Jahre	25 Jahre	40 Jahre	25 Jahre
Mindestverweilzeit	20 Jahre	20 Jahre	20 Jahre	20 Jahre
Weibullfaktor	2			
Rücklaufquote	70 %	70 %	90 %	90 %
Anteil recyclingfähiges Material aus Verschnitt	Vor 2003: 0 %, da keine getrennte Erfassung des Verschnittes Ab 2003: 100 % des getrennt erfassten Materials			
Anteil recyclingfähiges Material aus Abriss- und Abbruch Tätigkeiten	2015: 65 % 2020: 70 % 2025: 75 % 2030: 80 %			
Anteil Verschnitt am Inlandsverbrauch	5 %			

Quelle: Arendt 2001, UFOPLAN_01, Gipsrecycling-Unternehmen, Annahmen Prognos AG

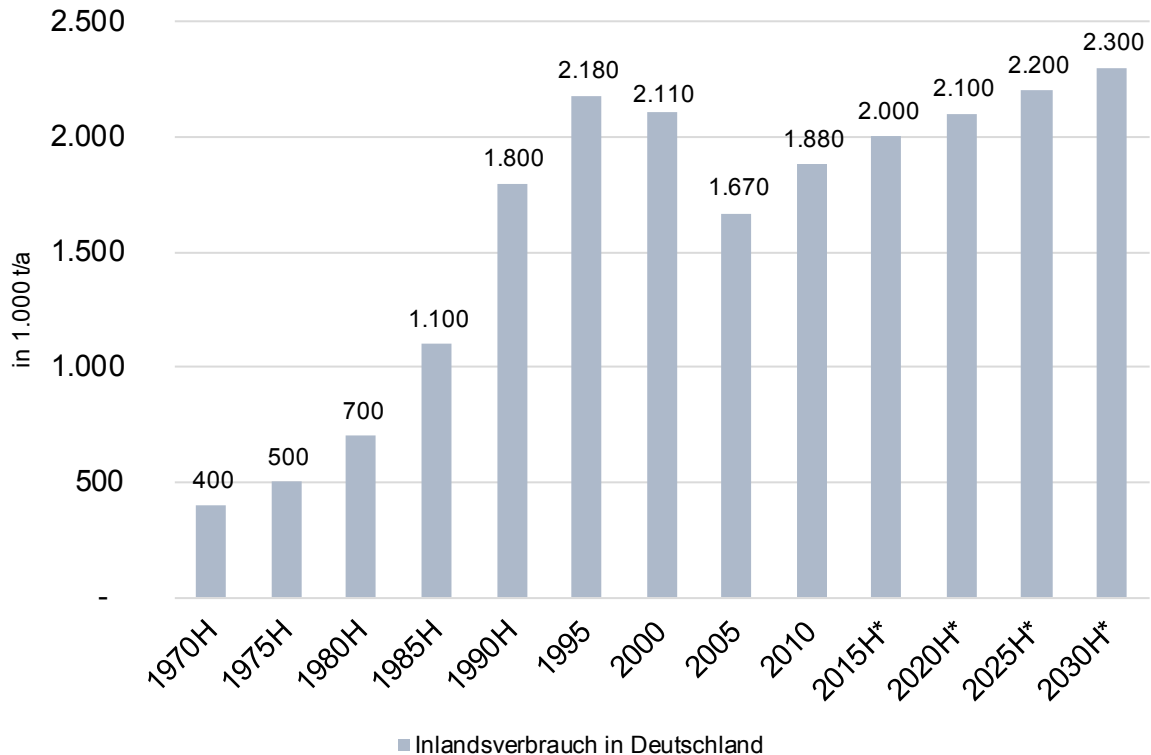
Die Ergebnisse der Berechnungen für den Inlandsverbrauch von 1970 bis 2030 sowie der szenari-schen Betrachtungen des potenziellen Abfallaufkommens an Gipskartonplatten werden im Folgenden dargestellt. Sie basieren auf den oben beschriebenen Annahmen und Daten.

2.3.2 Theoretischer Inlandsverbrauch

Im Jahr 2014 sind in Deutschland rund 220 Mio. m² (entspricht 1,9 Mio. t) Gipskartonplatten verbraucht worden. Darin enthalten ist der jährlich beim Neubau und Sanierungen von Wohn- und

Nichtwohngebäuden anfallende Verschnitt von Gipskartonplatten. Bis zum Jahr 2030 steigt der theoretische Inlandsverbrauch von Gipskartonplatten auf 2,3 Mio. t an (siehe Abbildung 2-5).

Abbildung 2-5 Theoretischer Inlandsverbrauch an Gipskartonplatten in Deutschland von 1970 bis 2030 in 1.000 Tonnen



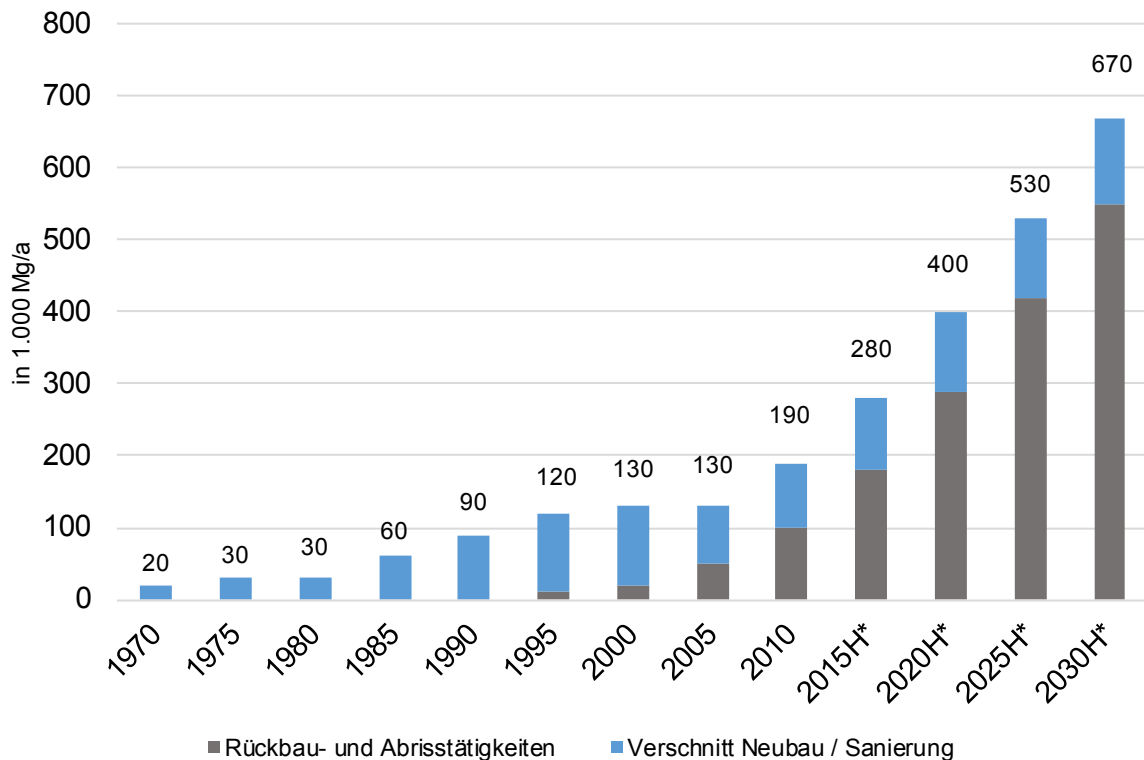
* H – Annahmen/Hochrechnung

Quelle: ProdCom, Berechnungen Prognos AG

2.3.3 Abfallaufkommen

Die Ergebnisse für das Szenario 1 (Status quo mit erhöhter Rücklaufquote, siehe Abbildung 2-6) ergeben unter den beschriebenen Annahmen für das Jahr 2015 ein Potenzial an Gipskartonplattenabfällen von rund 180.000 t/a. Wird der beim Einbau anfallende Verschnitt dazu gerechnet, ergibt sich ein Potenzial von 277.000 t/a. Unter Berücksichtigung der in Tabelle 2-1 dargestellten Anteile der recyclingfähigen Abfälle ergibt sich ein Potenzial an recyclingfähigen Gipskartonplattenabfällen in Höhe von 214.000 t für das Jahr 2015. Der hohe Anstieg ab 2000 ist damit zu begründen, dass die ab dem Jahr 1970 verbauten Gipskartonplatten langsam abgerissen werden und somit als Abfall anfallen. Zusätzlich fördernd auf das Abfallaufkommen aus Verschnitt sowie Rückbau- und Abrisstätigkeiten in den Folgejahren und bis 2030, wirkt sich der starke Anstieg beim Inlandsverbrauch von Gipskartonplatten ab den 90er-Jahren (siehe Abbildung 2-6) aus.

Abbildung 2-6 Potenzielles Aufkommen an Gipskartonplattenabfällen in Deutschland im Szenario 1
(Status quo mit erhöhter Rücklaufquote, inkl. Verschnitt)



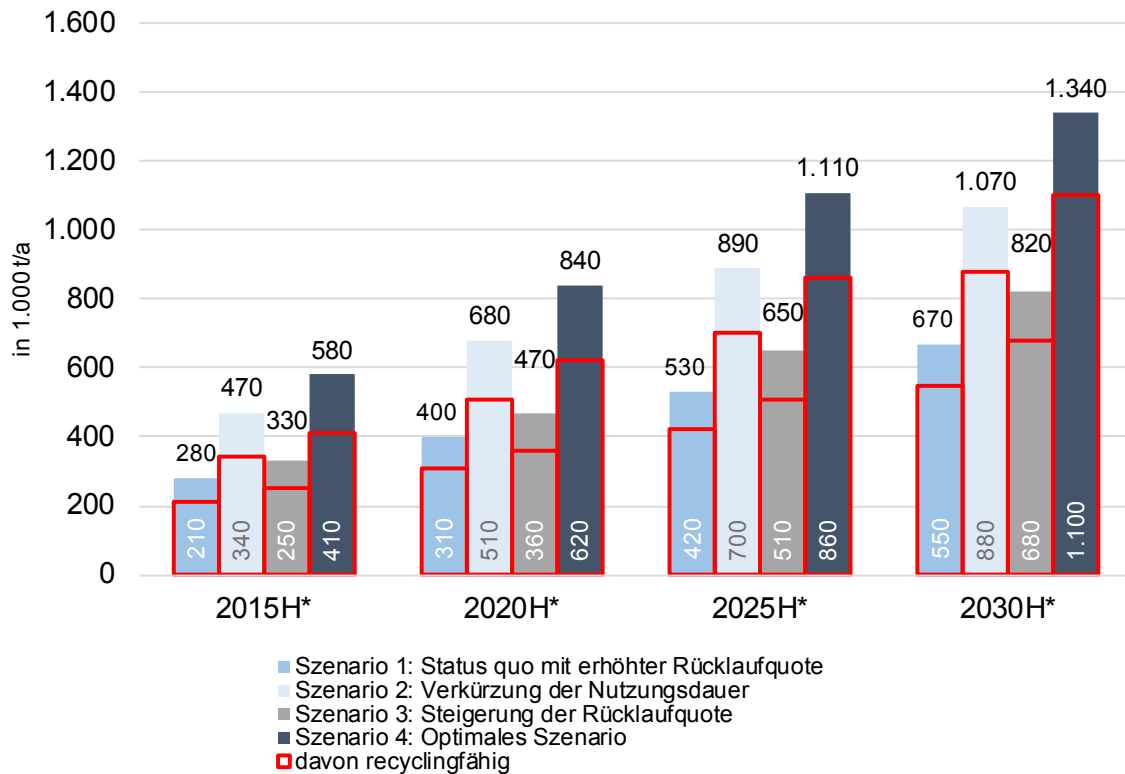
* H – Hochrechnung

Quelle: Berechnungen Prognos AG

Die Betrachtung der Ergebnisse der weiteren Szenarien (siehe Abbildung 2-7) zeigt, dass die Erhöhung der Rücklaufquote (von 70 % auf 90 %) einen weniger hohen Einfluss auf die anfallende Abfallmenge als die Verkürzung der durchschnittlichen Nutzungsdauer von Gipskartonplatten hat. So ergibt sich im Szenario 3 eine Steigerung des Abfallaufkommens von 670.000 t (Status quo) auf 820.000 Mio. t für das Jahr 2030. Dies entspricht einem Anstieg von 18 %. Demgegenüber wird durch eine Verkürzung der durchschnittlichen Nutzungsdauer von 40 auf 25 Jahre im Szenario 2 eine Erhöhung des Abfallaufkommens von 37 % gegenüber dem Status quo ermittelt.

Im optimalen Szenario 4 (Erhöhung der Rücklaufquote auf 90 %, Verkürzung der durchschnittlichen Nutzungsdauer auf 25 Jahre), welches das maximal mögliche Potential abbildet, ergibt sich für das Jahr 2030 das größte potenzielle Abfallaufkommen an Gipskartonplatten mit einem Anstieg von 50 % gegenüber Szenario 1. Es wird aktuell davon ausgegangen, dass das tatsächliche Potenzial zwischen Szenario 1 und 3 liegen wird.

Abbildung 2-7 Ergebnisse der Szenarien 1 bis 4 zum Abfallaufkommen und zum recyclingfähigen Anteil von Gipskartonplatten in Deutschland bis zum Jahr 2030 (in 1.000 Tonnen, inkl. Verschnitt)



* H – Hochrechnung

Quelle: Prognos AG

2.3.4 Recycling in Deutschland

In Deutschland wurden gipshaltige Bau- und Abbruchabfälle bis zum Jahr 2010 zum Großteil zur Kalihalden-Rekultivierung nach Thüringen verbracht. Mit dem Erlass des Thüringer Umweltministeriums vom 26. November 2010 dürfen Baustoffe auf Gipsbasis (AVV 17 08 02) nicht mehr auf Kalihalden eingebracht werden. Aktuell wird der Großteil der auf Baustellen anfallenden Gipskartonplatten nach Tschechien exportiert und als Stabilisierungsmaterial bei uranhaltigen Schlammteichen eingesetzt (siehe Kapitel 2.6.1).

Der Einsatz von Gipskartonplatten als Deponieersatzbaustoff ist aufgrund der bauphysikalischen Eigenschaften (wasserlöslich, gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)-Gehalt) in Deutschland nicht erlaubt.

Die Beseitigung in Deponien der Klassen I und II ist zulässig, aber mit hohen Kosten (z. B. Transportkosten, Annahmepreise der Deponien) verbunden.

Bestrebungen, ein Recycling von Gipsabfällen in Deutschland zu etablieren und erste Pilotversuche für das Recycling zu initiieren, gibt es von Seiten der gipsverarbeitenden Industrie seit 2006. Ende 2013 wurde ein Konzept des BV Gips für das Recycling von Gipskartonplatten veröffentlicht. Ziel ist die beim Abriss oder der Sanierung und den Neubau von Gebäuden anfallenden gipsgebundenen Platten zu verwerten oder zu entsorgen. Durch Gespräche mit der Entsorgungswirtschaft soll ein System zur Sammlung, Zwischenlagerung und Aufbereitung der Platten entwickelt werden, das es ermöglicht den Gips zurückzugewinnen und der gipsverarbeitenden Industrie zur Verfügung stellt. (BV Gips_01)

Teil des Konzeptes des BV Gips sind u. a. die folgenden Punkte:

- ▶ Festlegung einer einheitlichen Spezifikation mit technischen Parametern und Parametern für Spurenelemente (insbesondere Schwermetalle)
- ▶ Festlegung von gipsverarbeitenden Werken, die spezifikationsgerechten RC-Gips annehmen und verarbeiten können
- ▶ Festlegung einer Gesamtannahmekapazität für RC-Gips für die festgelegten gipsverarbeitenden Werke von zunächst ca. 150.000 t/a
- ▶ Erreichung des Endes der Abfalleigenschaften für RC-Gips¹⁷. (BV Gips_03)

Seit 2014 werden in zwei Anlagen in Deutschland (siehe Kapitel 2.4.2) kleinere Mengen (insgesamt <20.000 t/a aus beiden Anlagen im Jahr 2015) an Gipskartonplatten recycelt und der gewonnene RC-Gips Gipsplattenherstellern sowie der sonstigen gipsverarbeitenden Industriezweige (u. a. Gipsputzhersteller, Pharmaindustrie) zur Verfügung gestellt. Für das Jahr 2016 zeichnet sich eine Steigerung beim Aufkommen ab. Nach Aussagen der gipsverarbeitenden Industrie liegt der Einsatz von RC-Gipsen in der Produktion in Deutschland aktuell bei 1 %. Vorstellbar ist eine schrittweise Erhöhung dieses Anteils auf maximal bis zu 20 % RC-Gips Einsatz in der Produktion über alle gipsverarbeitenden Industriezweige (BV Gips_02).

Ein deutschlandweites Rücknahmesystem für Gipskartonplatten bzw. gipshaltige Abfälle aus Bau- und Abbruchabfällen ist nicht etabliert. Die getrennte Erfassung dieser Abfälle an der Baustelle erfolgt bei Verschnittresten im Rahmen des Neubaus oder der Sanierung. Der Rückbau von Gipskartonplatten ist Stand der Technik. Im Rahmen von Rückbau- und Abrisstätigkeiten werden, wenn es Platzverhältnisse und Zeitrahmen zulassen, diese daher in vielen Fällen bereits selektiv zurückgebaut. Eine Umfrage in Zusammenarbeit mit dem deutschen Abbruchverband unter Abbruchunternehmen unterschiedlicher Größe im Jahr 2010 ergab, dass über 90 % der befragten Abbruchunternehmen Techniken zum separaten Rückbau von gipshaltigen Bereichen einsetzen (UFOPLAN_01). Problematisch kann die Getrennthaltung der Gipsabfälle aus Platzgründen bereits auf der Baustelle sein. Auch beim anschließenden Abtransport und der weiteren Behandlung kann es zu Vermischungen unterschiedlicher Bauabfallfraktionen kommen. Es gibt allerdings Initiativen von Gipsrecyclern, der gipsverarbeitenden Industrie und Industrieverbänden zur Sensibilisierung auf den Baustellen (u. a. Knauf, MUEG und Strabag). Die Überarbeitung der Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) legt für Gipsabfälle ein Getrennterfassungsgebot vor und soll hier zukünftig eine gesetzliche Grundlage für die getrennte Erfassung am Anfallsort legen. Kritisiert wird teilweise von verschiedenen Seiten der Wirtschaft, dass kein Vermischungsverbot für gipshaltige Abfälle vorgesehen ist und somit Gipsabfälle nach der Erfassung mit Fremdstoffen, wie Beton oder Ziegel, vermischt werden können.

¹⁷ Beide Anlagen in Deutschland erreichen mit ihrem RC-Gips Produktstatus.

Tabelle 2-2: Übersicht des Gipskartonplattenrecyclings in Deutschland und ausgewählten EU-Ländern¹⁸

	Deutschland	Frankreich	Niederlande*****	Vereinigtes Königreich	Dänemark	Schweden
Gipskartonplatten-abfälle aus Abriss und Rückbau (Schätzung)	280.000 (2015) (inkl. Verschnitt)* -	363.000 (2012)	82.000 t (2012)	279.000 t (2012) 294.000 t (2015)	Gipshaltige Abfälle gesamt: 44.000 t (2011), 58.000 t (2013) Davon ca. 20.000 bis 30.000 t Gipskartonplatten ¹⁹	45.000 t
davon recycelt	<20.000 t (2015)**	55.000 t (2012)	33.000 t (2012)	60.500 t (2012) 123.000 t (2015)*****	k.A.	k.A.
Recyclingquote Gipskartonplatten (berechnet)	5 %	15,2 % (2012)	40,4 % (2012)	21,7 % (2012) 42 % (2015) *****	Ca. 60% ²⁰	k.A.
Herkunft der recyclingfähigen Gipskartonplattenabfälle ²¹ Produktion ²² Bau- und Abbruch	2 %*** 98 %***	21 % 79 %	28 % 72 %	47 % 53 %	k.A.	k.A.

¹⁸ Die in der Tabelle angegebenen Zahlen stammen i.d.R. aus dem GtoG Life+-Projekt und wurden durch länderspezifische Angaben ergänzt

¹⁹ Annahme auf Basis der Ergebnisse des GtoG Life+-Projektes

²⁰ Angabe vom Copenhagen Clean Tech Cluster

²¹ Angaben stammen aus einer Befragung der europäischen Gipshersteller im Rahmen des GtoG Life+-Projektes im Jahre 2013

²² Unter Produktion wird außerhalb von Deutschland neben reinen Produktionsabfällen auch die Lagerung von Abfällen aus anderen Anlagen und Recyclern zusammengefasst. Dadurch ergeben sich tlw. hohe Prozentwerte aus dem Produktionsbereich (vgl. GtoG_02)

	Deutschland	Frankreich	Niederlande	Vereinigtes Königreich	Dänemark	Schweden
RC-Gips Gewinnung aus	Gipskartonplatten (aus Bau- und Abbruch), tlw. Gussformen aus Gips	Gipskartonplatten (Produktionsabfälle, Bau- und Abbruch), Gipsblöcke, Gipsverbundplatten, Gussformen aus Gips	Gipskartonplatten (Produktionsabfälle, Bau- und Abbruch), Gipsblöcke	Gipskartonplatten (Produktionsabfälle, Neubau), Gemischte Bau- und Abbruchabfälle	Gipskartonplatten (Produktionsabfälle, Bau- und Abbruch)	Gipskartonplatten (Produktionsabfälle, Bau- und Abbruch)
Rücknahmesystem	Nein	Etabliert von SINI-AT, KNAUF, Placoplâtre	gefördert durch freiwillige Vereinbarung zur Verdopplung des Recyclings bis 2010	Ja u. a. Rücknahmesystem inkl. Recycling von British Gypsum	Ja, bspw. von GRI	Ja, bspw. von GRI
Close-Loop-Recycling ²³ für Gips aus Bau- und Abbruchabfällen	Teilweise, nur Kleinstmengen	Ja	Ja	Teilweise, da RC-Gips auch als Dünger in Landwirtschaft verwertet	Ja	Ja
Produktstatus für RC-Gips	ja****	nein	nein	Ja	Nein	Nein

* Ergebnis aus den Modellrechnungen Prognos AG (siehe Kapitel 2.3.3)

** Berechnung auf Basis der Angaben der MUEG und STRABAG

*** Inkl. Österreich

**** RC-Gips der MUEG und STRABAG hat mittlerweile in Deutschland Produktstatus

***** Zahlen für Belgien und Biederlande zusammen

***** eingesetzte recycelte Gipskartonplatten zur Herstellung neuer Gipskartonplatten (inkl. Produktionsabfälle)

Quelle: GtoG_02; MUEG; STRABAG; La industries du plâtre (Frankreich), GDPA (UK 2015), DK_2013, GRI_04, CCTC_01

²³ Prozess bei dem u. a. Abfälle durch verschiedene Verfahren wieder zu Rohstoffen werden und zur Herstellung neuer Produkte eingesetzt werden können (Kreislaufführung)

2.4 Aufbereitungstechnologien für das Gipskartonplattenrecycling

Für die Entsorgung von Gipskartonabfällen aus Bau- und Abbruchtätigkeiten stehen in Europa aktuell zwei unterschiedliche Wege, die jeweils eine getrennte Erfassung der Gipsabfälle am Anfallort voraussetzen (siehe folgende Tabelle 2-3), zur Verfügung.

Tabelle 2-3 Entsorgungswege für Gipsabfälle in Europa

	Route 1	Route 2
Erfassung	Getrennte Erfassung an der Baustelle	
Transport des Abfalls	Durch beauftragten Dritten (i.d.R. ein Entsorgungsunternehmen) zum Gipsrecycler	Transport direkt zum Gipskartonplattenwerk
Aufbereitung	Recyclingunternehmen	Gipshersteller
Einsatzgebiet RC-Gips	Gipskartonplattenherstellung sonstige Anwendungsgebiete (u. a. Herstellung von Gipsputzen, Pharmaindustrie)	Direkter Einsatz bei der Gipskartonplattenherstellung
Länder	Restliches Europa (inkl. Deutschland)	Belgien, Frankreich, Niederlande, Vereinigtes Königreich, Skandinavien

Quelle: GtoG_02

2.4.1 Erfassung und Transport

Die getrennte Erfassung der Gipskartonabfälle an der Baustelle ist Voraussetzung für ein erfolgreiches Recycling der Abfälle. Als problematisch beim Recycling zeigen sich in der Praxis vor allem Abfälle, die farblich nicht von Gipsabfällen wie Gipskartonplatten etc. zu unterscheiden sind, nur geringe Gipsanteile aufweisen (z. B. Gasbetonsteine) und bei der Vorsortierung mit den derzeit eingesetzten Verfahren (Kapitel 2.4.2) nur schwer erkannt werden können. Daher ist eine Getrennthaltung dieser Abfälle bereits beim Abriss/Rückbau durch die direkt beteiligten Unternehmen notwendig. (MUEG, STRABAG)

Im Rahmen des GtoG Life+-Projektes wurden die verschiedenen Möglichkeiten zur Erfassung und zum Transport von Gipskartonplatten betrachtet (siehe folgende Tabelle 2-4):

Tabelle 2-4 Erfassungssysteme von Gipskartonplatten in Europa

Erfassungsart	Beschreibung
Abfallsäcke (Bulky bags)	Sortenreine Erfassung von Kleinstmengen u. a. Knauf
Container (diverse Größen)	wird von Recyclingunternehmen und/oder Abfallhändlern genutzt sortenrein & gemischte Erfassung
Mosquito Fleet system	System ist in Nordamerika im Einsatz kleine LKW's (1-1,5 Tonnen) sammeln getrennt erfasste Gips-kartonplatten ein Transport zum nächstgelegenen Recycler oder Umschlagstation Anschl. Verladung auf Container für den Transport
Wertstoffhof (waste collection centre)	u. a. 150 Standorte in Frankreich Abgabe von Gipskartonplatten Ausschließlich für Privathaushalte, KMU's und Handwerker
Rücknahmesystem	Beispiel 1: Ernest J Berry & Son Ltd. (EJB) in Südengland und Wales Zusammen mit SINIAT und New West Gypsum Recycling bietet EJB ein Rück- nahmesystem für Gipskartonplattenabfälle bei der Auslieferung neuer Gipskar- tonplatten an Erfassung erfolgt mit Hilfe von speziellen Abfallsäcken Transport erfolgt in einem LKW (Hinweg: neue Platten, Rückweg: Abfälle) Anschließend Umschlag im EJB Distributionscenter Bei der Abholung neuer Gipskartonplatten durch EJB bei SINIAT werden Abfälle bei New West Gypsum Recycling abgegeben Vorteil: Vermeidung von Leerfahrten Beispiel 2: Gypsum Recycling International in Dänemark (siehe Kapitel 2.2.3.1)

Quelle: GtoG_02

Die Transportentfernungen sind sehr unterschiedlich und variieren von Land zu Land zwischen 80 bis 300 km (GtoG_02, S. 285). In Deutschland wird die durchschnittliche Entfernung auf einen Radius von 50 bis 100 km (maximal 200 km) geschätzt. Aktuell werden Gipskartonabfälle in Deutschland nicht direkt von Bauunternehmen entsorgt, sondern durch Entsorgungsunternehmen mit Containern bei den Recyclinganlagen angeliefert bzw. deponiert.

2.4.2 Aufbereitung

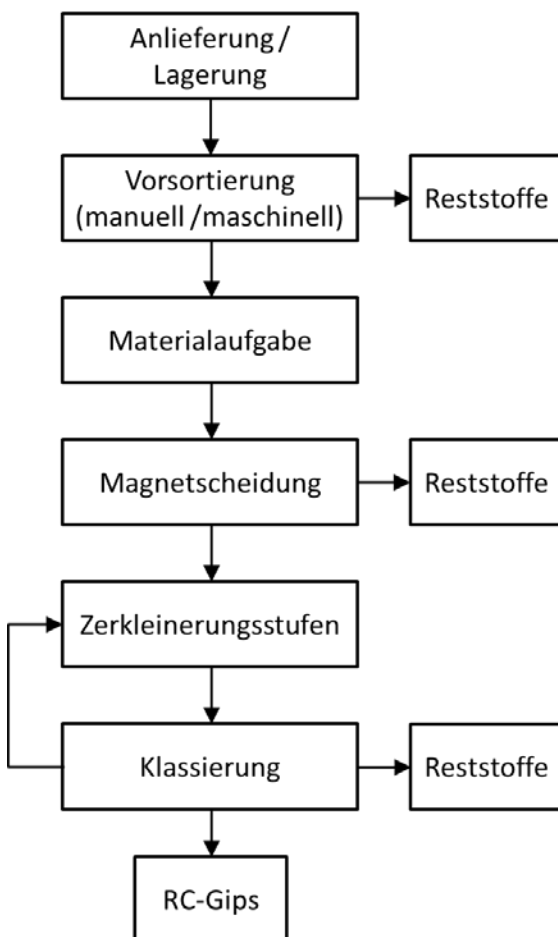
Für die Aufbereitung der anfallenden Gipskartonplatten stehen aktuell in Europa mobile und stationäre Anlagentechniken zur Verfügung, die alle ein ähnliches Grundprinzip zur Gewinnung von RC-Gips nutzen. In den Anlagen werden ausschließlich mechanische Verfahrensschritte zur Aufbereitung von Gipskartonplatten eingesetzt. Neben der Entfernung von Fremd- und Störstoffen ist das Hauptziel der Aufbereitung die Abtrennung der Gipsanteile vom Karton bzw. Papier.

In Deutschland werden zurzeit zwei stationäre Gipsrecyclinganlagen betrieben. Nach Anlieferung der gipshaltigen Reststoffe (Gipskartonplatten, aber auch Gipsformteile aus der Keramikindustrie usw.) werden diese vor der Materialaufgabe mit Hilfe eines Baggers oder händisch vorsortiert. Unerwünschte Fraktionen wie größere Metallteile, beschichtete Gipskartonplatten und Bauschutt können so grob aussortiert werden. Diese Aussortierung von Fremd- oder Störstoffen wird in den Anlagen nach optischen Kriterien durchgeführt. Anschließend erfolgen die Aufgabe des Materials und die Abtrennung von Fe-Metallen über einen Magnetabscheider.

In mehreren anschließenden Zerkleinerungsschritten erfolgt neben der Erzeugung bestimmter Korngrößen von RC-Gips die Abtrennung der Papierfraktion und weiterer Störstoffe wie Aluminium und Kunststoffe. Bei der Zerkleinerung werden Techniken eingesetzt, die vor allem durch die Nutzung von Scherkräften eine Trennung von Papier und Gips ermöglichen. Die Trennung der Papierfraktion vom RC-Gips ist aufgrund der für RC-Gips zu erreichende TOC-Obergrenzen (siehe Tabelle 2-3) von besonderer Bedeutung.

RC-Gips wird üblicherweise in Korngrößen ≤ 1 mm produziert, in Abhängigkeit von der Anlagenauslegung können im Bedarfsfall jedoch auch größere Körnungen erzeugt werden. Beim Betrieb der Anlage kommt es zu Staubentwicklungen, die durch die Kapselung und gegebenenfalls Absaugung einzelner Aggregate und anschließende Staubabscheidung, z. B. über Filter, entfernt werden können. Da sich die beiden in Deutschland betriebenen Gipsrecyclinganlagen innerhalb von Hallen in Gewerbegebieten befinden, gibt es keine weitergehenden Maßnahmen zur Verringerung von Lärmemissionen. Die nachfolgende Abbildung 2-8 zeigt ein vereinfachtes Ablaufschema für die Technik der stationären Gipsaufbereitung.

Abbildung 2-8 Vereinfachtes Ablaufschema für die Gipsaufbereitung



Quelle: Prognos AG, BAM

Zwischen 8 und 18 % des Materialinputs werden während der Aufbereitung als Papierfraktion, bestehend aus Altkarton bzw. Papier, separiert (Bunzel_2016, Vogt_2016, GRI_01). Das abgetrennte Papier ist mit Gipsstaub verunreinigt und hat entsprechend einen hohen Sulfat- bzw. Schwefelgehalt. Eine Verwertung der Papierfraktion im Papierrecycling ist - nach einer Vorbehandlung zur Reduzierung des Sulfatgehalts - prinzipiell möglich (MUEG, Vogt_2016). Wenn das Recycling der Papierfraktion

aufgrund zu hoher Sulfatgehalte oder weiterer mit dieser Fraktion ausgetragener Störstoffe (z. B. Holz, Dübel, Kabelreste etc.) nicht praktikabel ist, kann eine energetische Verwertung in Betracht kommen. Allerdings ist das Material in deutschen EBS-Verbrennungsanlagen oder Zementwerken aufgrund des hohen TOC-Gehaltes und Gipsanteils nicht erwünscht. Einen möglichen Entsorgungsweg bietet der Einsatz als Konditionierungsmittel in der Herstellung von Mischbrennstoffen (Bunzel_2016).

Das Problem der Papierentsorgung ist auch in anderen europäischen Gips-Recyclinganlagen (z. B. Frankreich, Vereinigtes Königreich) bekannt. Erste Lösungsansätze gibt es aus Dänemark. Hier hat Gypsum Recycling International (GRI) ein Verfahren entwickelt, dass es ermöglicht aus der bisher nicht verwertbaren Papierfraktion Gips und verwertbares Papier zurückzugewinnen. (GRI_02) (siehe Kapitel 2.2.3.1)

Neben der Papierfraktion fallen auch andere nicht erwünschte Reststoffe im Verlauf der Aufbereitung an. Hierzu gehören neben Holz, Kabelresten, mineralischen Abfällen wie Gas- oder Porenbetonsteine auch Keramik, Fliesen, Kunststofffolien oder Verbundstoffe. Die Menge dieser Reststoffe ist stark abhängig von der Sortierung des Anlagen-Inputs und richtet sich auch nach den Annahmebedingungen der Gipsaufbereitungsanlagen, die in Abhängigkeit von Einzelfallregelungen auch für einzelne angelieferte Chargen unterschiedlich ausfallen können. Bei gut sortiertem Anlagen-Input liegt dieser Anteil an Reststoffen in einer Größenordnung zwischen 2 und 3 %.

Das Verfahrensprinzip für den Betrieb von mobilen Gipsaufbereitungsanlagen besteht ähnlich wie das der stationären Anlagen aus den Hauptverfahrensschritten Zerkleinerung und Klassierung des Materials mit vorgelagerten, ergänzenden Sortierschritten. Die mobile Anlagentechnik ist vor allem in den nördlichen Ländern, wie Dänemark und Schweden sowie Frankreich verbreitet. Sie bringt neben der Flexibilität vor allem Vorteile im Hinblick auf die Nähe zum Verwertungsort des RC-Gipses. In der Regel werden in der Nähe des Gipskartonplattenwerkes Lagerhallen für die Sammlung der anfallenden Abfälle gebaut oder genutzt. Nach Erreichen einer Mindestabfallmenge wird die mobile Recyclinganlage angefordert. (GRI_01) Stationäre Anlagen hingegen befinden sich meist in direkter Nähe des Abnahmeortes (z. B. Gipskartonplattenwerk) und können somit weitere Entfernungen zum Anfallort der Gipskartonabfälle aufweisen.

In Deutschland werden zurzeit keine mobilen Anlagen betrieben, jedoch werden Gipsabfälle aus Nord-Westdeutschland in zwei Anlagen, die in den Niederlanden betrieben werden, recycelt. Da der Betrieb dieser beiden mobilen Anlagen ebenfalls mit Staub- und Lärmemissionen verbunden ist, werden diese Anlagen dort ebenfalls in geschlossenen Hallen betrieben.

Die beiden Anlagen in den Niederlanden stehen jeweils neben den Anlagen von Herstellern von Gipsprodukten. Der Durchsatz der Anlagen ist niedriger als der Durchsatz der stationären Anlagen in Deutschland, jedoch können die Anlagen bei Bedarf auf nur zwei Sattelschleppern weitertransportiert werden. Da die genutzte Anlagentechnik aus Platzgründen vergleichsweise limitiert ist, gilt für die Annahme von Gipsabfällen (aus Deutschland) eine Obergrenze von 2 % Stör- und Fremdstoffen, während in den stationären Anlagen höhere Obergrenzen, von z. B. 10 %, gelten. Der erzeugte RC-Gips hält die Annahmekriterien der Hersteller von Gipsprodukten ein (vgl. Kapitel 2.5).

Mit Stand April 2016 werden zwei stationäre Recyclinganlagen für Gipskartonplatten in Deutschland betrieben:

- Sachsen: Anlage der MUEG Mitteldeutsche Umwelt und Entsorgung GmbH in Großpösna (Kapazität von 50.000 t/a) (MUEG)
- Baden-Württemberg: Anlage der STRABAG in Deißlingen/ Lauffen (max. Kapazität 50.000 t/a) (STRABAG_03).

Mit beiden Anlagenbetreibern wurden Interviews u. a. zum Verfahren und den Eigenschaften des RC-Gipses durchgeführt (Fragenkatalog siehe Anlagen).

Beide Anlagen weisen derzeit eine deutliche Unterauslastung aufgrund der geringen Verfügbarkeit von Gipskartonplatten auf.

Die Annahme von imprägnierten Gipskartonplatten für Spezialanwendungen, wie u. a. Brandschutz oder feuchte Räume ist in beiden Anlagen ausgeschlossen, da die Silikonanhaftungen von silikonhydrophobierten Platten beispielsweise nicht im Recyclingverfahren abgetrennt werden können.

Nach Aussage der MUEG wäre das Recycling von Gipsfaserplatten in der Anlage grundsätzlich möglich. Allerdings gibt es für das RC-Material zurzeit keine Abnehmer in der Gipsfaserplattenproduktion. Für den Einsatz bei der Herstellung von Gipskartonplatten ist der aus den Fasern stammende organische Anteil, der als TOC gemessen wird, zu hoch. Daher werden auch keine Gipsfaserplatten in der Recyclinganlage aufbereitet.

Beide Anlagen stellen RC-Gips für die Gipsindustrie her. Der Einsatz von RC-Gips in der Zementindustrie ist prinzipiell möglich, wird aber derzeit nicht oder in nicht relevanten Mengen umgesetzt. Aktuell werden Gips, Halbhydrat oder Anhydrit aus natürlichen Vorkommen sowie REA-Gips als Nebenbestandteile von Zement verwendet (vdz_2015, DIN EN 197-1).

Mit Stand September 2016 sind neben den beiden in folgender Tabelle 2-5 dargestellten, in Betrieb befindlichen Anlagen zwei weitere Planungen in Zweibrücken und Pulheim bei Köln bekannt. Nähere Details zu den Anlagenstandorten, Ausstattung und Kapazitäten sind nicht bekannt.

Tabelle 2-5 Kurzsteckbrief zu den in Betrieb befindlichen Recyclinganlagen für Gipskartonplatten in Deutschland

	Anlage MUEG	Anlage STRABAG
Status	In Betrieb	In Betrieb
Kapazität (t/a)	50.000 (Zweischichtbetrieb) (Genehmigung bis 75.000)	26.000 (Anfangsleistung) (Genehmigung bis 50.000)
Standort	Großpösna (Sachsen)	Deißlingen / Lauften (Baden-Württemberg)
Verfahren	Stationäre Anlage Mit Metallabscheider und mehreren Zerkleinerungsstufen	Stationäre Anlage Mit Metallabscheider und mehreren Zerkleinerungsstufen
Eingesetzte Abfallarten	Gipskartonplatten	Gipskartonplatten Gipsschalen aus der Keramikindustrie
Ausgeschlossene Abfallarten	Imprägnierte Gipsplatten für Spezialanwendungen Gasbeton	Imprägnierte Gipsplatten für Spezialanwendungen Gasbeton
Korngröße des gewonnenen RC-Gipses	pulverförmiger Gips (<1 mm) (0-2 mm) grobkörnigerer Gips (< 4 mm) (2-8 mm)	pulverförmiger Gips (<1 mm)
Kunden	Gipsindustrie	Gipsindustrie

Quelle: MUEG, STRABAG, STRABAG_02, STRABAG_03, Bunzel_2016

2.5 Qualitätsanforderungen an den Recyclinggips

Recyclinggipse werden als Rohstoffe für die gipsverarbeitende Industrie verwendet. Entsprechend richten sich die Qualitätsanforderungen an RC-Gipse nach den Materialeigenschaften, die für die Gipsproduktion von der Gipsindustrie benötigt werden. Da RC-Gipse als Sekundärrohstoff Naturgips bzw. REA-Gips in der Produktion substituieren sollen, werden von der gipsverarbeitenden Industrie entsprechend ähnliche Qualitätsanforderungen gestellt, um den gleichwertigen Ersatz dieser Gipse zu ermöglichen.

Wie bei allen rezyklierten²⁴ Baustoffen steht dabei die Sortenreinheit des rezyklierten Materials im Vordergrund. Dabei ist ein Mindestgehalt von Calciumsulfat-Dihydrat ($\text{CaSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$) von mindestens 85 Ma.-% einzuhalten. Dies stellt entsprechend hohe Anforderungen an Rückbau, Sammlung und Aufbereitung der Materialien. Technische und baustofftechnische Eigenschaften, die sich z. B. auf die Verarbeitbarkeit der RC-Gipse innerhalb der Gipsproduktion beziehen, sind ebenfalls Bestandteil dieser technischen Spezifikationen. Entscheidend kann auch der TOC-Gehalt sein, der erfahrungsgemäß von anhaftenden Papierresten oder Resten von Gipskartonplatten stammt. Da Papierfasern in der Gipskartonplattenproduktion stören, wird auf die Einhaltung dieses Grenzwertes in der Qualitätskontrolle besonders geachtet. Die Aufbereitung von Gipsfaserplatten, deren Stabilität durch die in der Gipsfaserplatte als Armierung enthaltenen Papierfasern erreicht wird (bei den Gipskartonplatten sorgt die Kartonommantelung für Stabilität), wäre als Rezyklat für die Gipsfaserplattenproduktion theoretisch möglich, wird derzeit aber nicht praktiziert (vgl. Kapitel 2.4.2.).

Die nachfolgende Tabelle 2-6 gibt einen Überblick über die technischen Parameter, die im Rahmen der Qualitätssicherung für RC-Gipse (BV Gips_04) und im Vergleich für REA-Gipse eingehalten werden müssen (REA-Gips_01, Eurogypsum_01). Dabei können die Anforderungen an RC-Gipse in Abhängigkeit von den jeweiligen Liefervereinbarungen zwischen Lieferanten und Gipsproduzenten auch in dem angegebenen Toleranzbereich liegen (Angaben in Klammern).

²⁴ rezykliert bedeutet aufbereitet für eine Nutzung als Sekundärrohstoff

Tabelle 2-6 Qualitätskriterien (technische Parameter) für RC-Gips und REA-Gips

Qualitätskriterien	bestimmt als	Einheit	Qualitätskriterien RC-Gips	Qualitätskriterien REA-Gips
freie Feuchte	H ₂ O	Ma.-%	≤ 5 (≤ 10)	< 10
Gipsanteil	CaSO ₄ x H ₂ O	Ma.-%	≥ 85 (≥ 80)	> 95
Magnesiumsalze	MgO	Ma.-%	< 0,02 (< 0,1)	< 0,10
Natriumsalze	Na ₂ O	Ma.-%	< 0,02 (< 0,04)	< 0,06
Kaliumsalze	K ₂ O	Ma.-%	< 0,02 (< 0,06)	
Chloride	Cl	Ma.-%	< 0,01 (< 0,02)	< 0,01
pH			5-9	5-9
org. Kohlenstoff	TOC	Ma.-%	≤ 1,0 (≤ 1,5)	< 1,0
Calciumsulfit-Halbhydrat	CaSO ₃ x 0,5 H ₂ O	%		Weiß
Geruch				Neutral
toxische Bestandteile				Schadlos

Quellen: BV Gips_04, Eurogypsum_01, REA-Gips_01

Die technischen Parameter für RC-Gipse richten sich nach den Anforderungen der Gipsproduktion und basieren demgegenüber auf den schon lange bekannten und etablierten Spezifikationen für diese Ausgangsmaterialien (BV Gips_04, Eurogypsum_01, REA-Gips_01).

Während die in Natur- und REA-Gipsen neben Calciumsulfat-Dihydrat enthaltenen Spurenelemente bzw. Schadstoffe aufgrund der definierten Herkunft dieser Gipse in bekannten, sich wenig verändernden Größenordnungen auftreten (Beckert), kann es aufgrund der in der Regel heterogenen Herkunft der Gipsabfälle aus Abbruch- bzw. Rückbauvorhaben nicht nur zu Schwankungen der Materialeigenschaften sondern auch zu Querkontaminationen mit Schwermetallen und anderen Schadstoffen kommen. Entsprechend sind Umwelt- bzw. Gesundheitsparameter ebenfalls Bestandteil der Qualitätsanforderungen an RC-Gipse und damit Voraussetzung für den Einsatz in der Herstellung von Gipsprodukten.

In die im Jahr 2013 vom Bundesverband der Gipsindustrie veröffentlichten Qualitätsanforderungen für gesundheitliche Parameter an RC-Gips, flossen Informationen aus unterschiedlichen Quellen. Die veröffentlichten Werte orientierten sich dabei sowohl an bekannten Gehalten von z. B. Spurenelementen in REA- und Naturgipsen (Beckert) als auch an Grenzwerten, die für Baustoffe in anderen Zusammenhängen als für den Menschen unbedenklich angesehen wurden.

Diese Anforderungen an gesundheitliche Parameter wurden auf der Basis einer neuen Studie (Envigo_2016) überarbeitet und im Mai 2016 vom Bundesverband der Gipsindustrie veröffentlicht. In der Studie, die von europäischer Kraftwerks- und Gipsindustrie beauftragt wurde, werden die auf Basis

der Beckert-Studie genannten Werte für Spurenelemente unter Berücksichtigung neuer Erkenntnisse human-toxikologisch überprüft.

Dabei wurden Spurenelemente in REA-Gipsen aus ganz Europa gemessen, die Liste der untersuchten Elemente wurde auf 20 Spurenelemente etwas erweitert. Als Expositionsszenarien wurde der Inhalationsweg sowohl für Arbeiter als auch für Verbraucher gewählt. Die in der Studie berechneten Werte sollen beim Verbrauch von Gips oder Gipsprodukten keine Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit erwarten. Die Ergebnisse der Studie sollen in Europa sowohl für REA-Gips als auch für RC-Gips angewandt werden.

In der nachfolgenden Tabelle 2-7 sind die entsprechenden Spurenelemente sowie die in der Studie für sie ermittelten Zielwerte aufgelistet. Weiterhin sind noch weitere für RC-Gips potentiell relevante Parameter aufgeführt, die schon in der vorherigen Fassung der Qualitätsanforderungen für RC-Gipse enthalten waren. Neben möglicher Radioaktivität des Materials und organischer Belastung durch PAK sind auch die zurzeit in der Diskussion befindlichen möglichen Verunreinigungen der Gipsabfälle mit asbesthaltigen Spachtelmassen berücksichtigt. Das Vorhandensein von Asbest (ab einer an die Gefahrstoffverordnung angelehnten Größenordnung) kann dabei zum Ausschluss des Materials aus der Gipsaufbereitung führen.

Als gewünschtes Korngrößenspektrum wird für RC-Gipse zudem in der Regel eine Körnung < 1 mm gefordert. Bei der MUEG werden für spezielle Anwendungsfälle beim Hersteller Casea auch Körnungen 2-8 mm hergestellt.

Tabelle 2-7 Qualitätskriterien (Gesundheits-/Umweltparameter) für RC-Gipse aus der Eingangskontrolle von gipsverarbeitenden Werken

Qualitätskriterien	bestimmt als	Einheit	Qualitätskriterien RC-Gips
Fluorid	F ⁻	mg/kg	< 70
Radioaktivität	gemäß RP112*	Index	< 0,5
Asbestfreiheit	(gemäß GefStoffV Anhang 2)	Ma.-%	Asbestfasergehalt aus 3 Proben kein Nachweis $\geq 0,1$
Schwefel (elementar)	Geruchsprüfung		
PAK	(EPA)**	mg/kg	< 0,2
Arsen		mg/kg	< 5,1
Barium		mg/kg	< 58
Antimon		mg/kg	< 5
Beryllium		mg/kg	< 2
Blei		mg/kg	< 56
Cadmium		mg/kg	< 1,6
Chrom		mg/kg	< 15
Cobalt		mg/kg	< 4
Kupfer		mg/kg	< 16
Mangan		mg/kg	< 76
Molybdän		mg/kg	< 5
Nickel		mg/kg	< 20
Quecksilber		mg/kg	< 1,4
Selen		mg/kg	< 46
Zinn		mg/kg	< 3
Tellur		mg/kg	< 2
Thallium		mg/kg	< 3
Vanadium		mg/kg	< 15
Zink		mg/kg	< 47

Quelle: BV Gips_04

* RP 112: in Deutschland und Europa etablierter Modellraum zur Abschätzung der äußeren Strahlenexposition (EC_2000)

** EPA: Environmental Protection Agency (EPA), die Vorgaben der US-Umweltbehörde für PAK umfasst eine Liste mit 16 PAK Einzelsubstanzen, die als prioritäre Umweltschadstoffe einzustufen sind.

Ergänzend zu den in Tabelle 2-7 aufgeführten Werten, kann für RC-Gipse in Hinblick auf mögliche Umwelt- oder Gesundheitsgefährdungen zusätzlich noch die Bestimmung von einigen Schwermetallgehalten und Phenolen aus dem Eluat erforderlich werden. Dies ist dann der Fall, wenn nicht auszuschließen ist, dass das Material z. B. durch eine Lagerung im Freien, direkt oder indirekt mit Boden oder Grundwasser in Kontakt kommen kann. Aufgrund weiterer Qualitätsanforderungen, die an den RC-Gips gestellt werden und möglichst trockene und sortenreine Sammlung, Transporte und Lagerung erfordern, wird die zusätzliche Bestimmung von einigen Schwermetallen und Phenolen vermutlich von untergeordneter Bedeutung sein.

Die entsprechenden Grenzwerte finden sich in der nachfolgenden Tabelle 2-8. Diese Grenzwerte entsprechen den Werten zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial der Klasse Z1.1 in Baden-Württemberg (gelten aber in Hinblick auf RC-Gipse bundesweit).

Tabelle 2-8 Qualitätskriterien (Eluatgehalte) für RC-Gipse

Qualitätskriterien (Eluatgehalte)	bestimmt als	Einheit	Qualitätskriterien RC-Gips
Arsen		µg/l	< 15
Blei		µg/l	< 40
Cadmium		µg/l	< 2
Chrom		µg/l	< 30
Kupfer		µg/l	< 50
Nickel		µg/l	< 50
Zink		µg/l	< 150
Quecksilber		µg/l	< 0,5
Phenole		µg/l	< 20

Quelle: BV Gips_04

Die in Tabelle 2-7 und Tabelle 2-8 aufgeführten Qualitätskriterien spiegeln den aktuellen Kenntnisstand in Bezug auf mögliche Gesundheits- oder Umweltgefährdungen durch RC-Gipse wider und können demgemäß auf der Basis neuer humantoxikologischer oder umweltrelevanter Erkenntnisse unter Umständen neu angepasst werden (BV Gips_04). Aufgrund der Ähnlichkeit der in Hinblick auf die menschliche Gesundheit möglichen Expositionspfade von in Boden oder in Gipsen bzw. RC-Gipsen befindlichen Schadstoffen für die menschliche Gesundheit (Beckert) orientieren sich die angegebenen Grenzwerte an den für Böden geltenden Qualitätskriterien.

Für die Annahme von RC-Gipsen aus stationären Recyclinganlagen in der Gipsverarbeitung müssen die Qualitätskriterien in Tabelle 2-6 (technische Spezifikationen) sowie die Korngröße des Materials für

jede Charge nachgewiesen werden. Bei RC-Gipsen aus Rückbau und/oder Abbruchmaßnahmen müssen zusätzlich die Qualitätsanforderungen aus Tabelle 2-7 und gegebenenfalls Tabelle 2-8 mindestens viermal jährlich nachgewiesen werden.

Für mobile Anlagen sind die Qualitätskriterien zusätzlich nach Inbetriebnahme infolge eines Standortwechsels nachzuweisen. Die Einhaltung der genannten Parameter muss in allen Fällen durch akkreditierte Laboratorien nachgewiesen werden.

Diese Nachweise sowohl der technischen Eignung als auch der Unbedenklichkeit in Hinblick auf gesundheitliche bzw. Umweltgesichtspunkte sind Bestandteile eines Qualitätsmanagementsystems für die Überwachung der RC-Gipsqualität innerhalb von Gips-Recyclinganlagen. Hinzu kommen genehmigungsrechtliche Nachweise wie z. B. Annahmeerlaubnis und BImSchG-Genehmigung. Wenn diese Vorgaben eingehalten werden, kann der produzierte RC-Gips Produktstatus erhalten werden. Die Entscheidung obliegt der zuständigen Genehmigungsbehörde. Mit dem Ende der Abfalleigenschaft ist entsprechend die Verwertung und Vermarktung des RC-Gipses in der Gipsproduktion in Deutschland genehmigungsrechtlich möglich, da die Anlagen der gipsverarbeitenden Industrie keine Abfälle annehmen. Den Produkten der beiden Gipsrecyclinganlagen in Deutschland (siehe Tabelle 2-3) wurde von den zuständigen Genehmigungsbehörden das Ende der Abfalleigenschaft bescheinigt (MUEG, STRABAG).

Zusätzlich werden in beiden Gips-Recyclinganlagen neben der Eingangskontrolle der angelieferten Gipsabfälle auch weitere innerbetriebliche Schritte zur Qualitätssicherung durchgeführt. Dies dient sowohl der Steuerung des Aufbereitungsprozesses als auch der vorsorgenden Kontrolle des Output-Materials. Dafür sind in den Betrieben entsprechende Einrichtungen und Ausstattungen für die Durchführung von Analysen vorhanden. Dazu gehören freie Feuchte, Gipsanteil, Chloridgehalt und Korngrößen, die zeitnah aus Tagesmischproben analysiert werden. Die Einhaltung der technischen Parameter (Tabelle 2-6) sind für jede Charge nachzuweisen, die Gesundheits-/ Umweltparameter (Tabelle 2-7) sowie die Eluatgehalte (Tabelle 2-8) sind mindestens viermal jährlich zu dokumentieren (BV Gips_04).

Während die Verbände der europäischen Gipsindustrie bereits einheitliche Qualitätskriterien für REA-Gips festgelegt haben (Eurogypsum_01), gelten für RC-Gipse zurzeit noch unterschiedliche Annahmekriterien in den Ländern. Die RC-Gipse, die in den niederländischen Anlagen hergestellt werden, haben die in Tabelle 2-9 aufgeführten Spezifikationen einzuhalten (GRI_05). Zum Vergleich sind in dieser Tabelle ebenfalls die Qualitätsanforderungen für RC-Gipse der britischen Gipsindustrie aufgeführt. Die Unterschiede zwischen den Anforderungen der landesspezifischen Gipshersteller werden anhand der aufgeführten Tabellen deutlich. Obwohl es Übereinstimmungen in Hinblick auf einzelne Parameter gibt, sind – im Vergleich zu den beiden ausgewählten Ländern – die in Deutschland einzuhaltenden Qualitätskriterien deutlich umfangreicher und technisch anspruchsvoller.

Tabelle 2-9 Spezifikationen für RC-Gips der Annahmestellen in den Niederlanden und Großbritannien

Qualitäts-kriterien	bestimmt als	Einheit	Qualitätskriterien RC-Gips NL	Qualitätskriterien RC-Gips GB
freie Feuchte	H ₂ O	Ma.-%	< 10	
Gipsanteil	CaSO ₄ x H ₂ O	Ma.-%	max. 5% weniger als der durchschnittliche Gipsanteil in Gipsen auf dem Markt während der letzten 20 Jahre	> 85
Magnesium-salze	MgO	Ma.-%	< 0,1	< 0,2
Natriumsalze	Na ₂ O	Ma.-%	< 0,06	< 0,06
Chloride	Cl	Ma.-%	< 0,02	< 0,02
Papierfaserreste (max. 10 mm)		Ma.-%	--	< 1
Stoffliche Verunreinigungen < 2 mm		Ma.-%	--	< 0,25 < 0,12 (Plastik)
pH			7 - 9	--
Partikelgröße		mm	≤ 13	Spektrum der Korngrößenverteilung vorgegeben
Geruch			neutral	neutral

Quelle: GRI_051, PAS 109:2013

2.6 Wirtschaftliche Aspekte des Recyclings von Gipskartonplatten

2.6.1 Recycling

Im Rahmen des GtoG Life+ Projektes wurden in ausgewählten Ländern die wirtschaftlichen Aspekte näher untersucht.

Hierzu wurden Gespräche mit den am GtoG-Projekt beteiligten Unternehmen (u. a. Gipsrecyclern)²⁵ geführt, sowie auf Studien und andere öffentlich verfügbare Informationen zurückgegriffen. Die in Tabelle 2-10 aufgeführten Kosten stellen Durchschnittswerte dar und basieren auf Daten aus den Ländern Belgien, Niederlande, Frankreich und dem Vereinigten Königreich. Sie beinhalten u. a. Energieverbrauch, Personalkosten sowie Kosten für Qualitätsuntersuchungen.

²⁵ Liste befindet sich im Anhang

Tabelle 2-10 Durchschnittskosten für das Recycling von gipshaltigen Abfällen (insbesondere Gipskartonplatten)²⁶

Durchschnittskosten	in €/t
Transportkosten (Baustelle zur Recyclinganlage/Deponie)	43
Durchschnittlicher Annahmepreis Recyclinganlage	50
Durchschnittlicher Erlös RC-Gips*	0
Transport RC-Gips**	1

* teilweise werden nur sehr geringe Preise bzw. negative Erlöse erzielt

** Annahme: Gipskartonplattenwerk in unmittelbarer Nähe (zw. 0 bis 8 km)

Quelle: GtoG_02

Untersuchungen aus dem GtoG Life+-Projekt zeigen, dass es zwischen dem Rückbau und dem Abriss in den dort berücksichtigten Ländern keine Kostenunterschiede bestehen (GtoG_02, S. 289). Gleiches gilt für den Transport der Materialien zur Recyclinganlage oder zur Deponie. Bei dem Annahmepreis der Recyclinganlage und den Deponierungskosten gibt es deutliche Unterschiede in den einzelnen untersuchten europäischen Ländern. Aus dem GtoG Life+-Projekt geht hervor, dass bei Deponierungskosten für Gipskartonplatten, die deutlich unter 50 Euro liegen das Recycling von Gipskartonplatten teurer ist als die Deponierung und das Recycling somit teilweise deutlich an Attraktivität verliert.

Dies zeigt sich aktuell auch in der Praxis in Deutschland. Ein Großteil der anfallenden Gipskartonplatten aus Deutschland geht seit einiger Zeit den wirtschaftlich attraktiven Weg nach Tschechien (Einsatz als Stabilisierungsmaterial bei uranhaltigen Schlammteichen). Aktuelle Schätzungen gehen von der Verbringung von mehr als 100.000 t/a gipshaltiger Abfälle nach Tschechien aus. Genaue Zahlen sind nicht bekannt, da diese Abfälle nach der „grünen“ Liste (nach Artikel 18 der europäischen Verordnung über die Verbringung von Abfällen (VVA)) nur den allgemeinen Informationspflichten unterliegen. Damit verbunden ist neben dem Mengenabgang ins benachbarte Ausland ein Preisverfall der Entsorgung um 50 % in Deutschland, d. h. die Deponierungspreise sinken. Darüber hinaus sind die gipshaltigen Abfälle heute aufgrund der geringen Entsorgungskosten deutlich schlechter vorsortiert als vor dem Preisverfall. Mit den starken Verunreinigungen (z. B. Bauschutt) wird das Recycling aufwendiger und somit kostenintensiver (MUEG).

2.6.2 Deponierung

In Tabelle 2-11 sind die Kosten für die Deponierung von Gipsabfällen dargestellt.

Tabelle 2-11 Deponierungskosten für Gipsabfälle in ausgewählten Ländern (exkl. Logistik)

Land	Kosten pro Tonne (2013)*	Annahmepreise Deponie pro Tonne (2013)	Deponiesteuern pro Tonne (2013)
Deutschland	20-150 €	20-150 €	0 €
Frankreich	80 €	40 – 95 €	17 – 30 €
Niederlande	90 €	90 €	0 € ab dem 01.01.2013 ²⁷

²⁶ Die Zahlen sind Durchschnittswerte und stammen aus der Befragung der am GtoG Life+-Projekt beteiligten Gipsrecyclern aus Belgien, Frankreich, den Niederlanden und den Vereinigten Königreich sowie der im Rahmen des Projektes durchgeführten Fallstudie und Literaturrecherchen.

Land	Kosten pro Tonne (2013)*	Annahmepreise Deponie pro Tonne (2013)	Deponiesteuern pro Tonne (2013)
Vereinigtes Königreich	110 €	13 - 50 €	85 € (72 Pfund)
Schweden	120 €	65 € (650 Skr/t)	54 € (500 Skr/t)
Dänemark	112 €	49 €	63 € (470 DKK/t)**

* Summe aus Annahmepreis der Deponie und Steuern

** für alle Abfälle einheitlich

Quelle: GtoG_02; GtoG_03, Deloitte_01, OECD_2014, LCS DK_2014, DK_2014

Neben den Deponierungskosten fallen in vier der sechs untersuchten Ländern Steuern auf die Deponierung von Abfällen an. Ausnahmen sind hier Deutschland und die Niederlande.

Im Vereinigten Königreich sind die Steuern aktuell am höchsten und werden aufgrund einer Richtlinie bis zum Jahr 2020 weiter steigen (ab 2014 80 Pfund). In Frankreich liegen die Steuern auf Deponierung in den untersuchten Ländern am niedrigsten.

Die Ablagerung von gipshaltigen Abfällen, die aufgrund von Verunreinigungen und Kontaminationen nicht recyclingfähig sind, erfolgt aktuell in Belgien, Frankreich und dem Vereinigten Königreich auf Monodeponien, während in anderen Ländern eine Ablagerung auf Mischdeponien erlaubt ist. Die Kosten für die Monodeponierung sind deutlich höher (Vereinigtes Königreich zwischen 132 bis 198 €/t, Frankreich 85 - 90 €/t). (vgl. GtoG_02, GtoG_03). Vorteil der Monodeponierung ist, dass die mit hohen Sulfatgehalten belasteten Gipskartonplatten nicht mit anderen Stoffen in Kontakt kommen und so unerwünschte chemische Reaktionen wie beispielsweise die Bildung von Schwefelwasserstoff vermieden werden.

2.6.3 Absatzmärkte für RC-Gips

Für den Absatz des RC-Gips kommen in erster Linie die gipsverarbeitende Industrie (Gipsplatten- und Gipsfaserplattenwerke, weniger häufig auch die Gipsputz- und Gipsestrichherstellung), die Zementindustrie sowie Produzenten anderer, z. B. technischer Gipsprodukte in Betracht.

Im Rahmen der Gipskartonplattenherstellung kann RC-Gips die ansonsten verwendeten Rohstoffquellen Naturgips und/ oder den vorwiegend eingesetzten REA-Gips anteilig oder in der Zukunft ggf. auch vollständig ersetzen. Dies hängt – ohne Betrachtung der wirtschaftlichen Marktverhältnisse, auf die in den beiden vorangegangenen Unterkapiteln schon eingegangen worden ist – letztlich von den Erfassungsstrukturen bzw. -möglichkeiten für Gipskartonabfälle, der Qualität des Aufbereitungsprozesses für die Gipskartonplatten und somit letztlich direkt von der Qualität des erzeugten RC-Gipses, sowie den spezifischen Anforderungen der Abnehmerbranchen an dem zu verwendenden Gipsrohstoff ab. Dies stellt in der Zukunft potenziell den bedeutendsten Absatzmarkt für RC-Gipse dar.

Für die potentiellen Abnehmer von RC-Gips ist hierbei aber auch die regionale Verfügbarkeit unterschiedlicher Gipsrohstoffe am Markt von erheblicher Bedeutung. So stehen der REA-Gips der Braun- und Steinkohlekraftwerke, Naturgips und RC-Gips auch in einem regionalen Konkurrenzverhältnis

²⁷ Verbot der Deponierung von Recyclinggips

zueinander, wenn deren Zusammensetzung mit Begleitelementen bzw. Störstoffen den Anforderungen der Abnehmerbranchen grundsätzlich entsprechen.

Für die Abnehmerwerke sind somit die Transportentfernungen der zu beziehenden Gipsrohstoffe wirtschaftlich von großer Bedeutung. Diese liegen für Natur- und REA-Gips in einer häufig anzutreffenden Bandbreite zwischen etwa 20 bis 50 km (ohne Berücksichtigung der teilweise vorkommenden deutlich günstigeren (0 km, Abnehmer direkt am Bruch / Kraftwerk) bzw. ungünstigeren Bedingungen (Naturgips aus Spanien)). Für RC-Gipse ergeben sich bisher aufgrund der nur geringen Anlagenanzahl der Gipsaufbereitungsanlagen in Deutschland hingegen auch Transportentfernungen die entweder deutlich darüber liegen oder bestenfalls auch bei 0 km liegen können.

2.7 Zusammenfassung zum Stand des Gipsrecyclings

Die Untersuchungen in den ausgewählten europäischen Ländern bestätigen, dass ein Gipsrecycling aus Gipskartonplatten technisch möglich ist und unter Einhaltung hoher Qualitätsanforderungen gewährleistet werden kann.

Die zwei in Deutschland betriebenen Recyclinganlagen für Gipskartonplatten zeigen, dass die Umsetzung des Recyclings in Deutschland bereits gut vorangekommen ist.

Das Recycling von Gipskartonplatten ist ein weiterer Baustein zur Erreichung der von der EU-Kommission angedachten Ziele zum Recycling von Bau- und Abbruchabfällen. Das Recycling sollte daher weiter vorangetrieben werden. Mit einem für das Jahr 2015 geschätzten Anteil von recyclingfähigen Gipskartonplatten im Markt von 210.000 t und einer weiteren potenziellen Entwicklung je nach Szenario hin zu 550.000 t bis 1,1 Mio. t des recyclingfähigen Anteils bis zum Jahr 2030 ist die Relevanz dieses Recyclingsektors evident. Die in den Anlagen erzielten Qualitäten des Recyclinggipses entsprechen i.d.R. den hohen Qualitätsanforderungen der Gipsindustrie und weisen in Bezug auf den Feuchtegehalt große Vorteile gegenüber REA-Gips auf.

Gleichzeitig zeigen die Recherchen eine Reihe von Hemmnissen auf, die einer weiteren Etablierung sowie Ausweitung dieses Recyclingweges vielfach noch im Wege stehen. Diese Hemmnisse beginnen mit noch fehlenden Regelungen für den selektiven Rückbau von Gebäuden bzw. der konsequenten Getrennthaltung von Abfallfraktionen in der Praxis. Weiterhin können relativ niedrige Deponiepreise eine starke Konkurrenz zum Gipsrecycling darstellen, wenn der wirtschaftliche Anreiz für die Deponie und gegen Getrennthaltung und Recycling zu groß ist.

Die interviewten Experten berichten darüber hinaus übereinstimmend für weite Teile Deutschlands von der dramatischen Problematik des Einsatzes von Gipskartonplatten als Stabilisierungsmaterial bei uranhaltigen Schlammteichen in Tschechien. Dieser Weg entzieht heutigen und potentiell zukünftigen Recyclinganlagen für Gipskartonplatten große Mengen an Inputmaterial und damit letztlich die wirtschaftliche Grundlage. Diese Route nach Tschechien muss nicht zuletzt vor dem Hintergrund der Hierarchie der europäischen Abfallwirtschaft und der materiellen Eigenschaften der Gipskartonplatten als kritisch eingestuft werden.

3 Ökobilanzielle Betrachtung

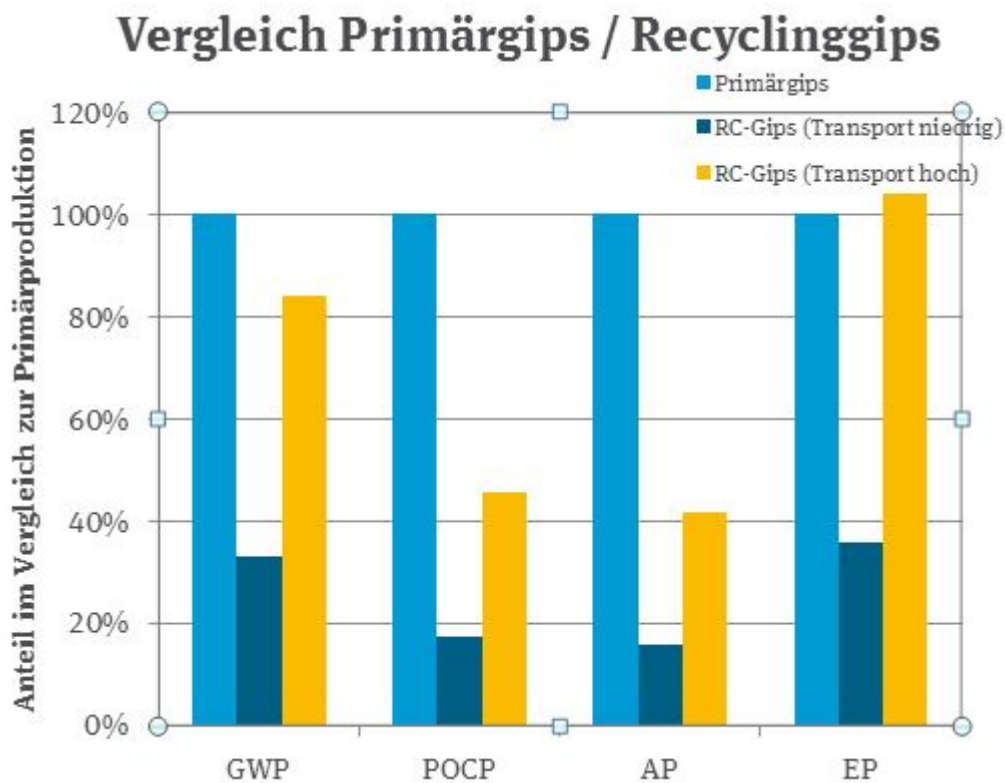
3.1 Vorhandene Ökobilanzen zum Thema Gipsrecycling

Ökobilanzielle Untersuchungen zu den Umweltwirkungen von Gipsrecyclingsystemen sind bisher kaum durchgeführt worden. Auch in den gängigen Ökobilanzierungsdatenbanken (ecoinvent, GaBi u. a.) liegen zurzeit keine Datensätze zu Gipsrecyclingprozessen vor.

WRAP hat 2008 eine Ökobilanzstudie zur Produktion, Nutzung und Entsorgung von Gipskartonplatten publiziert, in der auch auf das Gipsrecycling eingegangen wird (WRAP_2008). Drei verschiedene Wege der Entsorgung wurden hierbei untersucht: neben der Deponierung in einer Monodeponie und Depo- nien für gemischte Abfälle wurde ein Recyclingsystem mit zwei verschiedenen Sensitivitäten bewertet, die sich in den Transportdistanzen (40 km bzw. 400 km vom Bau bis zum Recycler und 10 km bzw. 50 km vom Recycler zum Gipshersteller) unterscheiden.

Abbildung 3-1 zeigt die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung der WRAP-Studie beim Vergleich von Primärgipsproduktion mit Recyclinggips, normiert auf den jeweiligen Wert des Primärgipses. Bei niedrigen Transportdistanzen zeigt der Recyclinggips in allen gezeigten Wirkungskategorien deutliche ökologische Vorteile gegenüber der Primärproduktion. Bei den hohen Transportdistanzen überwiegen die Vorteile ebenfalls, nur beim Eutrophierungspotenzial liegen die Emissionen beim RC-Gips leicht erhöht im Vergleich zum Primärprozess. In allen gezeigten Wirkungskategorien sind die Transportdis- tanzen entscheidende Faktoren, z. B. dominieren die Transporte bei den größeren Distanzen deutlich beim Treibhauspotenzial (68 % der Gesamtemissionen im Vergleich zu einem Anteil von 19 % am Gesamt-GWP bei den niedrigeren Distanzen).

Abbildung 3-1 Ökobilanzieller Vergleich der Produktion von Primärgips und Recyclinggips



Quelle: eigene Darstellung nach WRAP (2008, S. 74f.); GWP: Global Warming Potential, POCP: Photochemical Ozone Creation Potential, AP: Acidification Potential, EP: Eutrophication Potential; Transport niedrig: 40 km vom Bau bis zum

Recycler und 10 km vom Recycler zum Gipshersteller; Transport hoch: 400 km vom Bau bis zum Recycler und 50 km vom Recycler zum Gipshersteller

Eine neue Publikation zu den Auswirkungen eines künftigen Gipsrecyclings in der Europäischen Union (Rivero et al. 2016) verwendet für das eigentliche Gipsrecycling die Daten aus der WRAP-Studie aus dem Jahr 2008.

Suarez et al. 2016 vergleichen die Verwendung von Recyclinggips und Naturgips in der Zementherstellung in Spanien. Die Studie beschreibt den Beitrag der Prozessschritte und Inputs zu verschiedenen Wirkungskategorien. Bei folgenden Wirkungskategorien weist der erdgasbetriebene Trocknungsprozess die größten Auswirkungen auf: Humantoxizität (kanzerogen, 92 %), Treibhauspotenzial (90 %). Der Verbrauch von Diesel in Maschinen hat die größten Auswirkungen beim Eutrophierungspotenzial (50 %), Versauerungspotenzial (49 %), elementarer Ressourcenverbrauch (37 %), Emission organischer Chemikalien (33 %) und Humantoxizität (nichtkanzerogen, 27 %). Das Mahlen des Gipses ist durch die Staubbildung für 85 % der Emission von atemwegsschädigenden anorganischen Substanzen (respiratory inorganics) verantwortlich. Die Transporte wirken sich vor allem auf die Kategorien Humantoxizität (nichtkanzerogen, 18 %), elementarer Ressourcenverbrauch (14 %), Flächenverbrauch (13 %) und dem Eutrophierungspotenzial (11 %) aus. Beim Flächenverbrauch kommen 64 % durch die Errichtung der Recyclinganlage. Der Recyclinggips weist in allen Wirkungskategorien eine geringere ökologische Belastung auf als die Gewinnung von Naturgips. Beim Treibhauspotenzial liegen die Emissionen um ca. 45 % niedriger. Das gleiche gilt für den Flächenverbrauch (67 %), das Versauerungspotenzial (42 %) und das Eutrophierungspotenzial (28 %). Im Unterschied zur WRAP-Studie wurden hier allerdings deutlich geringere durchschnittliche Transportdistanzen angenommen (7 km zur Recyclinganlage). Der Einfluss von höheren Transportdistanzen (30 km bzw. 50 km) wurde in einer Sensitivitätsanalyse untersucht. Auch bei den längeren Transportwegen sind beim Recyclinggips überwiegend deutliche ökologische Vorteile gegenüber dem Naturgips zu beobachten. Nur bei den Kategorien Eutrophierung und Humantoxizität (nichtkanzerogen) führt das Recyclingsystem bei den größten Transportdistanzen zu höheren Emissionen als bei der Naturgipsgewinnung.

3.2 Ziele und Anwendungen der Studie

Diese Ökobilanz dient zur Unterstützung der Bewertung des sich in Etablierung befindlichen Gipskartonplatten-Recyclingssystems. Mit der Bilanz sollen detaillierte Informationen bzgl. der ökologischen Vorteile und auftretende Schwachstellen zur Verfügung gestellt werden. Weiterhin dienen die Arbeiten zur Ökobilanz dazu, Optimierungspotenziale für die Verbesserung der Umweltperformance des Recyclingprozesses aufzuzeigen. Hierzu wurden nicht zuletzt auch Sensitivitätsanalysen bzgl. der Ökobilanz durchgeführt und bewertet. Die Ergebnisse der Studie sind nur auf im Projekt untersuchte Verfahren zum Gipskartonplatten-Recycling anzuwenden.

Eine wichtige Zielgruppe für die Ökobilanzstudie sind die Gipsrecycler selbst sowie die Gipsproduzenten bzw. der Bundesverband Gips. Eine weitere Zielgruppe sind das Umweltbundesamt und die interessierte Fachöffentlichkeit. Für die Politik sind vor allem die gewonnenen Erkenntnisse aus noch offenen Forschungsbedarfen und ggf. für weitere Förder- und Entwicklungsprogramme wichtig.

3.3 Festlegung des Untersuchungsrahmens

3.3.1 Funktion und funktionelle Einheit

Die Funktion des Verfahrens ist durch das Recycling von Gipskartonplatten definiert, wobei die Rückgewinnung von Gips in hoher Qualität für die Gipskartonplattenherstellung im Vordergrund steht. Auch die Rückgewinnung von weiteren Materialien (Stahl) und die energetische Verwertung von Papier waren für die Ökobilanz zu betrachten und zu bilanzieren.

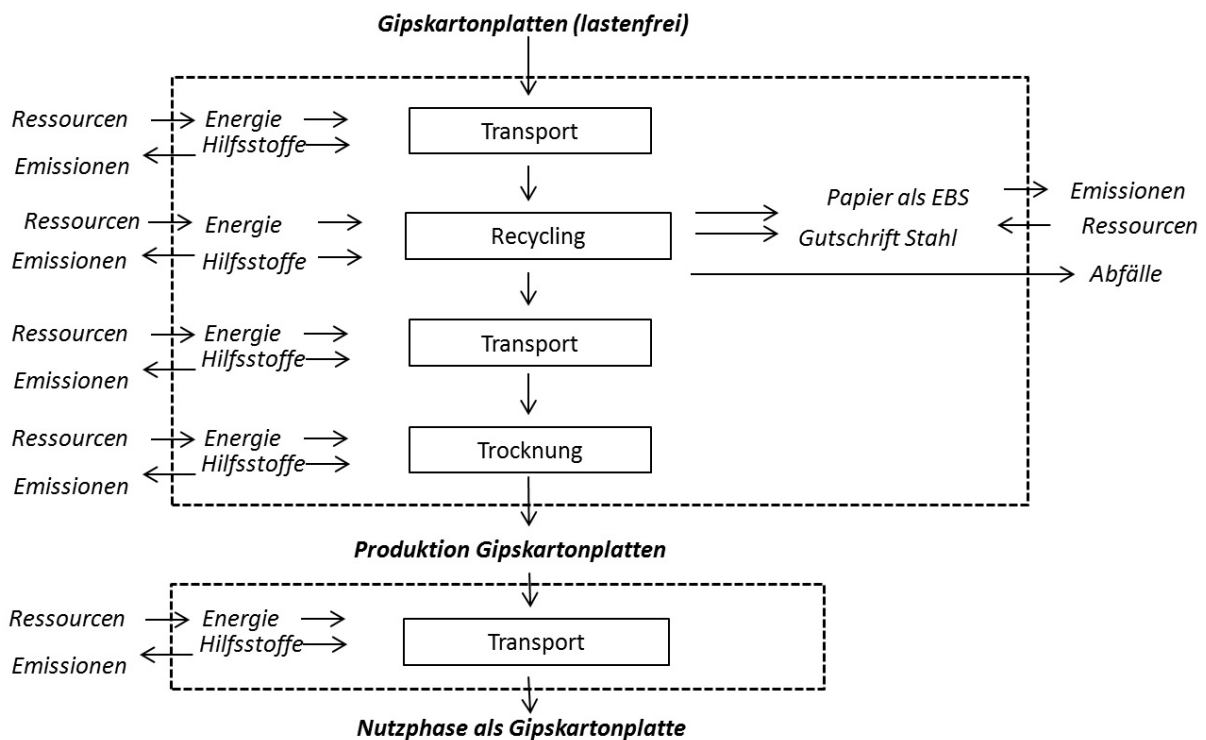
Die funktionelle Einheit und der Referenzfluss für die Ökobilanz des Gipskartonplattenrecyclings ist die Herstellung von 1000 kg Gips (RC-Gips, Naturgips bzw. REA-Gips).

3.3.2 Festlegung der Systemgrenzen

Die Systemgrenzen für die Bilanzierung des Gipskartonplattenrecyclings umfassen die folgenden Module (siehe Abbildung 3-2):

- ▶ Transport der Gipskartonplatten zur Recyclinganlage
- ▶ Recyclingprozess
- ▶ Transport des RC-Gipses zum gipsverarbeitenden Werk
- ▶ Trocknung
- ▶ Transport zum Kunden

Abbildung 3-2: Systemgrenze des Gipskartonplattenrecyclings, Funktionelle Einheit: Gewinnung von 1000 kg Recyclinggips



Quelle: Öko-Institut e. V.

Die Aufwendungen des Recyclingprozesses finden innerhalb der Systemgrenze statt. Sie werden mit den Gutschriften für die Nebenströme verrechnet, die das System verlassen (Papier und Metalle). Die Nettogutschrift errechnet sich dabei aus der Bruttogutschrift für das gewonnene Recyclingmaterial abzüglich der Lasten des Recyclings aus Standardaufbereitungsverfahren.

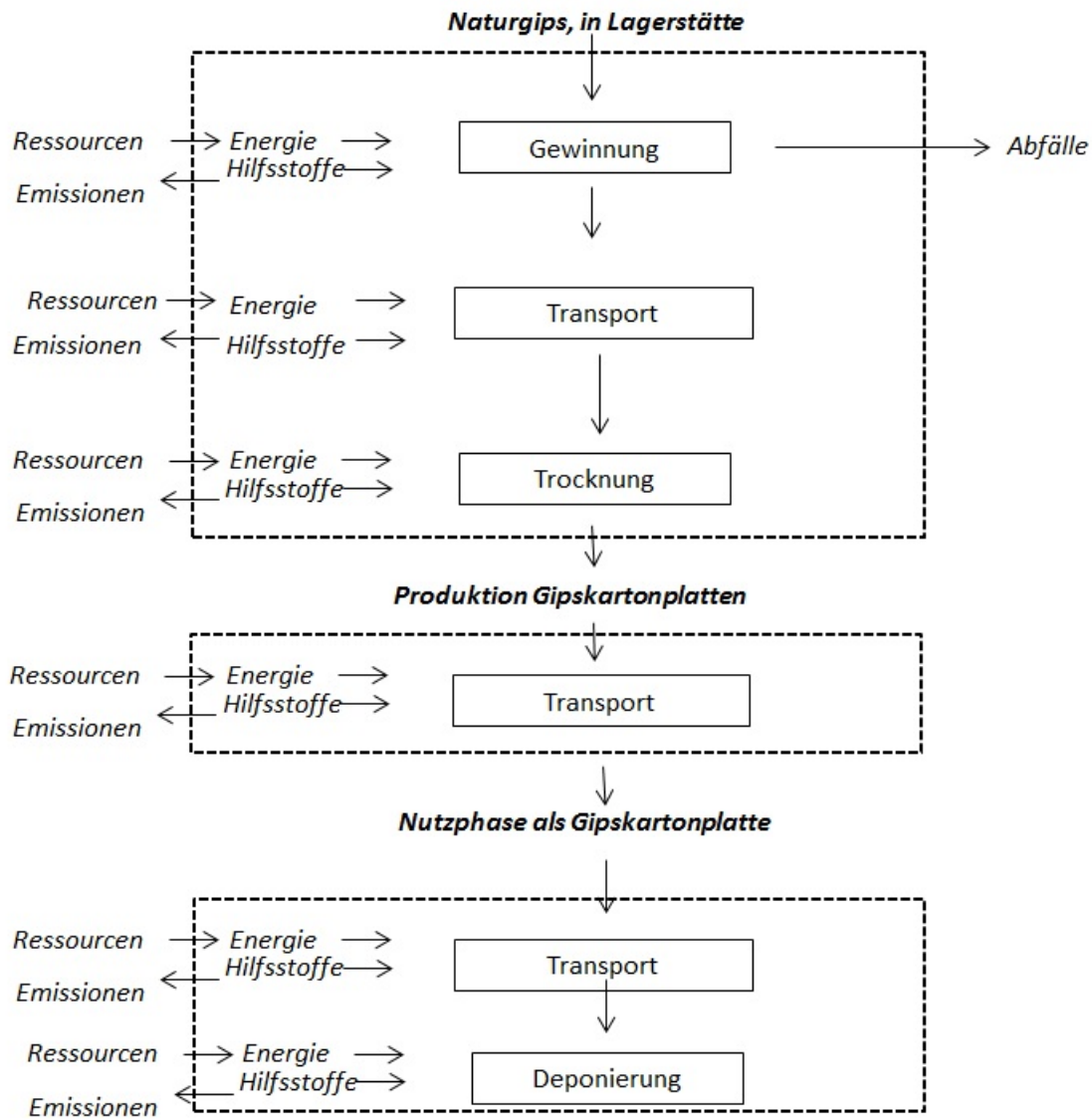
Zum Vergleich wird auch die Produktion von Naturgips und REA-Gips in dieser Ökobilanz berücksichtigt und entsprechend bilanziert.

Die Systemgrenzen der Naturgips-Produktion umfassen folgende Schritte (siehe Abbildung 3-3):

- ▶ Gewinnung von Naturgips ab Lagerstätte
- ▶ Transport zum gipsverarbeitenden Werk

- ▶ Trocknung
- ▶ Transport zum Kunden
- ▶ Transport zur Deponie
- ▶ Deponierung

Abbildung 3-3: Systemgrenze der Naturgipsproduktion, Funktionelle Einheit: Gewinnung von 1000 kg Naturgips

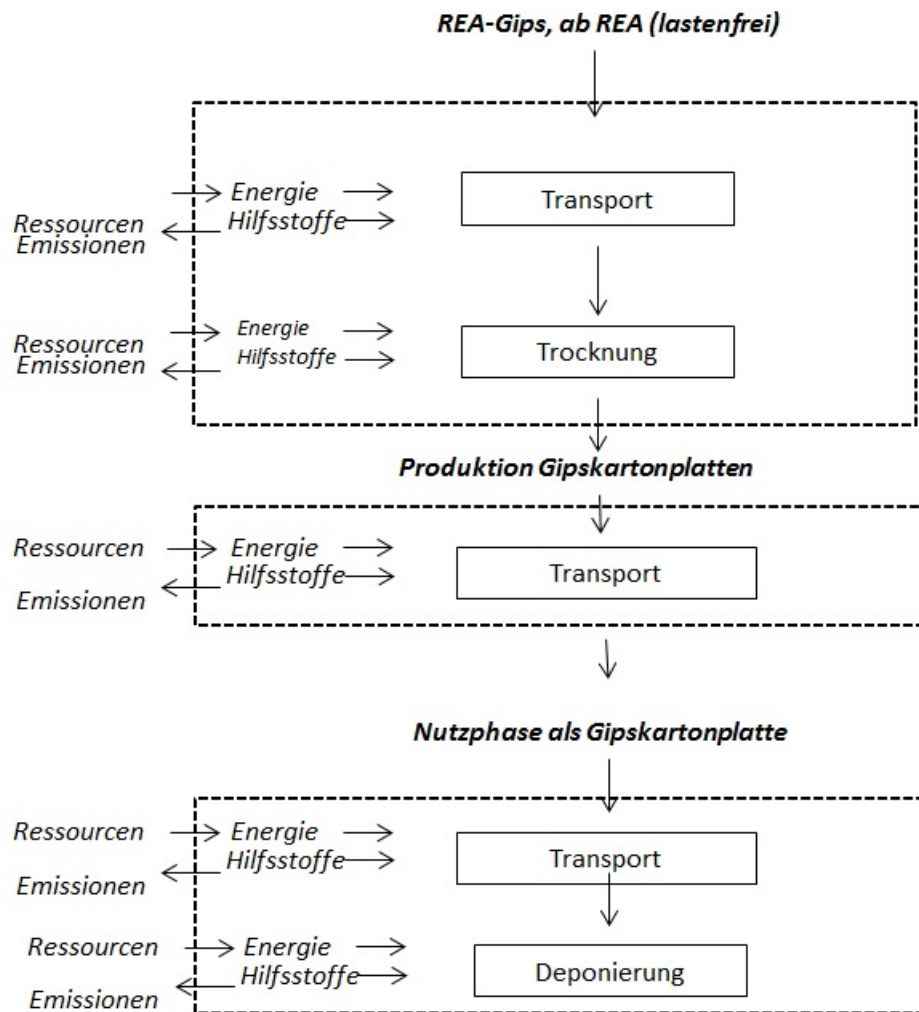


Quelle: Öko-Institut e. V.

Die Systemgrenzen der REA-Gips-Produktion umfassen folgende Schritte (siehe Abbildung 3-4):

- ▶ Transport des REA-Gipses zum gipsverarbeitenden Werk
- ▶ Trocknung
- ▶ Transport zum Kunden
- ▶ Transport zur Deponie
- ▶ Deponierung

Abbildung 3-4: Systemgrenze der REA-Gips-Produktion, Funktionelle Einheit: Gewinnung von 1000 kg REA-Gips



Quelle: Öko-Institut e. V.

Die Herstellungs- und Nutzungsphase der Gipskartonplatten sind nicht Gegenstand dieser Ökobilanz. Eine Ausnahme bildet die Trocknung, da hier aufgrund des unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehaltes der drei Gipsprodukte (Naturgips 1 %, RC-Gips 3-5 %, REA-Gips 8-10 %) der unterschiedliche Energieeinsatz zu berücksichtigen ist. Eine weitere Ausnahme ist der Transport der Gipskartonplatten zum Kunden, da hier unterschiedliche Transportdistanzen angesetzt wurden. Bei der Entsorgung der Gipskartonplatten kommt zum Tragen, dass bisher kein etabliertes Recyclingsystem existiert, weil die Gipskartonplatten aktuell überwiegend deponiert werden. In der Rechnung für Naturgips und für REA-Gips ist diese Deponierung mitenthalten, da dies der aktuellen Situation entspricht. In einem künftigen System mit Gipsrecycling entfällt die Deponierung für die recycelte Gipsmenge, aus diesem Grund ist sie beim RC-Gips nicht miteingerechnet. Die Bilanzgrenzen könnten auch so gezogen werden, dass die Deponierung bei Naturgips und REA-Gips nicht miteinbezogen werden, dann müsste allerdings beim RC-Gips aus methodischen Gründen eine Gutschrift für die eingesparte Deponierung eingerechnet werden. Die absoluten Werte in den einzelnen Wirkungskategorien würden sich damit verschieben, die Differenzen zwischen den verschiedenen Verfahren (Naturgips, RC-Gips, REA-Gips) wären allerdings identisch.

3.3.3 Datenerhebung, Anforderung an die Daten und die Datenqualität

Die Datenerhebung für die Sachbilanzen wurde in Zusammenarbeit mit den Recyclern und Anlagenherstellern durchgeführt. Die Sachbilanzdaten stammen aus Testläufen von großtechnischen Anlagen. Weitere Sachbilanzdaten werden aus Konsistenzgründen primär aus der Datenbank ecoinvent 3.1 entnommen.

In der Datenerhebung wird als Abschneidekriterium in der Regel eine „1-Prozentregel“ bezüglich Masse verfolgt, das heißt, es werden z. B. entsprechende Hilfsstoffeinsätze bezogen auf den jeweiligen Gesamteinsatz vernachlässigt. Ausnahmen hierzu wurden gemacht, falls relevante Gründe die Einbeziehung in die Sachbilanz nahelegten.

Technologische Repräsentativität

Die Daten für das Recyclingverfahren für Gipskartonplatten entsprechen dem aktuellen Stand von Forschung und Entwicklung. Diese basieren auf Primärdaten der befragten Recyclingunternehmen und repräsentieren einen in Etablierung befindlichen großtechnischen Betrieb. Die Daten der Naturgips- und der REA-Gips-Produktion beruhen auf Prozessen, die im großtechnischen Maßstab etabliert sind.

Geographische Repräsentativität

Die Ökobilanz der drei Gips-Produktionsrouten hat den geographischen Bezug Deutschland. Entsprechend wurden geeignete einschlägige externe Datensätze (Strommix Deutschland 2015 etc.) für die Sachbilanz herangezogen. Für die Bilanzierung eingesetzter Hilfsstoffe (z. B. Maschinenöle für Anlagen etc.) wurde soweit wie möglich auf Datensätze mit Bezug auf die Produktion in Deutschland, und falls nicht vorhanden auf die Produktion in Europa zurückgegriffen. Für die Stahl-Gutschrift werden weltweite bzw. generische Ökobilanz-Daten herangezogen, soweit es dem deutschen oder europäischen Metallbezug entspricht.

Zeitrepräsentativität

Die zeitliche Repräsentativität der Daten bezieht sich auf die letzten 5 Jahre; so wurde auf die aktuell verfügbaren Datensätze des verwendeten Umberto-Modells zurückgegriffen. Datensätze aus ecoinvent v3.1 stammen aus den letzten 10 Jahren. Alle internen Daten bzgl. der Recyclingrouten wurden im Jahr 2016 erhoben.

Diese LCA hat einen prospektiven Charakter, da sie zukünftige Prozesse abzubilden versucht, die so zurzeit nicht existieren.

Die Unsicherheit der Daten bewegt sich im üblichen Rahmen und unterscheidet sich je nach Elementarfluss.

3.3.4 Allokation

Unter Allokation werden bei der Durchführung von Ökobilanzen Zuordnungsverfahren verstanden, die dann erforderlich sind, wenn bei Prozessen mehrere verwertbare Produkte erzeugt werden, aber nur ein Teil der Produkte in dem betrachteten ökobilanziellen System genutzt wird. Sie wird immer dann durchgeführt, wenn eine Systemerweiterung praktisch nicht mehr möglich ist. Allokationen führen immer zu einer eingegrenzten Betrachtungsweise. Ein klassisches Beispiel für Allokationen ist die Erdölraffination. So werden in der Erdölraffination aus dem Hauptinput Erdöl viele Raffinerieprodukte wie Benzin und Diesel, aber auch Naphtha, schweres Heizöl und andere erzeugt. Bei der Raffinerie werden aufgrund der Komplexität die gesamten ökologischen Aufwendungen auf die Gesamtprodukte anhand eines Kriteriums umgelegt, z. B. über den Heizwert. Dieses Verfahren ist allgemein akzeptiert

und entspricht der ISO-Norm, indem einer Allokation nach physikalischen Größen der Vorzug gegeben wird. In der vorliegenden Studie wurde wie folgt vorgegangen:

Die Bilanzierung innerhalb der Systemgrenzen „Aufarbeitung von Gipskartonplatten“ erfordert keine Allokation, da keine Einzelprodukte ausgewiesen werden, sondern nur das Ergebnis für das Gesamtsystem.

Die Literaturdaten bestehen aus von ecoinvent v3.1 übernommenen Datensätzen, für die in einigen Fällen bereits Allokationen vorgenommen worden sind. Soweit diese keinen maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis haben, werden sie hier nicht explizit aufgeführt und können der entsprechenden Dokumentation in ecoinvent v3.1 entnommen werden²⁸.

3.3.5 End-of-Life Allokation

Die Systemgrenzen dieser Ökobilanz sind so angelegt, dass alle Ströme, die das System verlassen, über Gutschriften bewertet werden. Der Auswahl und Modellierung der Gutschriftprozesse kommt daher bei dieser Ökobilanz eine zentrale Rolle zu.

Bei Gipskartonplatten gibt es bisher in Deutschland keine signifikante Rückgewinnung des Gipsmaterials. Bei den untersuchten Verfahren handelt es sich durchweg um neue Prozesse, die zurzeit auf Industrieebene etabliert werden. Sammelsysteme für gebrauchte Gipskartonplatten sind bisher noch nicht hinreichend etabliert. Da im Rahmen dieser Studie nur schwierig eingeschätzt werden kann, welchen Anteil gebrauchte Gipskartonplatten an der Gips-Gewinnung in Zukunft tatsächlich haben könnten, bleiben Aussagen zu tatsächlich verwirklichten Sekundäranteilen und zur Frage, wie viele Recyclingschleifen Gipskartonplatten in künftigen Systemen durchlaufen könnten, bis das Material durch Schwund verloren ist, bloße Spekulation. Aus diesem Grund wurde von einer Sensitivitätsrechnung mit der 50:50-Methode, wie sie das Umweltbundesamt empfiehlt (UBA 2002; Klöpffer 2009) abgesehen. Stattdessen gehen die gebrauchten Gipskartonplatten in der Bilanzierung lastenfrei ins Recycling, d. h. dass der Ressourcenverbrauch und die Emissionen aus der Herstellung und Nutzung der Gipskartonplatten nicht in das Recyclingsystem miteingerechnet werden. Alle Ergebnisse dieser Studie gelten nur für diesen End-of-Life-Allokationsansatz. Für Studien, welche die Ergebnisse der Studie ggf. weiterverwenden, ist aus Konsistenzgründen zu beachten, dass das Sekundärmaterial nicht lastenfrei, sondern mit einer der in dieser Studie erteilten Gutschrift entsprechenden Lastschrift eingehen muss.

3.3.6 Berücksichtigte Wirkungskategorien

Von den einzelnen Schritten des Recyclings von Gipskartonplatten können unterschiedliche Auswirkungen auf die Umwelt ausgehen. Diese möglichen Auswirkungen sind bei der Schadstoffbewertung in der Wirkungsabschätzung zu berücksichtigen. Die Aufgabe der Wirkungsabschätzung ist es, die in der Sachbilanz erhobenen Daten in Hinblick auf bestimmte Umweltauswirkungen, sogenannte Wirkungskategorien, zu untersuchen und damit zusätzliche Informationen zu liefern, die in die Bewertung einfließen. Der Guide zum Product Environmental Footprint (PEF) (EC 2013) führt folgende Standardwirkungskategorien auf:

- ▶ Klimaänderung
- ▶ Abbau der Ozonschicht
- ▶ Ökotoxizität - Süßwasser
- ▶ Humantoxizität - kanzerogene Folgen
- ▶ Humantoxizität - nichtkanzerogene Folgen
- ▶ Feinstaub/anorganische Emissionen

²⁸ Siehe GaBi 6 life cycle inventory data documentation, <http://www.gabi-software.com/support/gabi/gabi-6-lci-documentation/>.

- ▶ Ionisierende Strahlung - Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit
- ▶ Fotochemische Bildung von Ozon
- ▶ Versauerung
- ▶ Eutrophierung – Land
- ▶ Eutrophierung – Wasser
- ▶ Ressourcenerschöpfung – Wasser
- ▶ Ressourcenerschöpfung – mineralisch, fossil
- ▶ Landnutzungsänderungen

Das International Reference Life Cycle Data-Handbuch (ILCD 2010) empfiehlt nachfolgende Wirkungskategorien:

Climate change, (Stratospheric) Ozone depletion, Human toxicity, Respiratory inorganics, ionizing radiation, (Ground-level) Photochemical ozone formation, Acidification (land and water), Eutrophication (land and water), Ecotoxicity, Land use, Resource depletion (minerals, fossil and renewable energy resources, water).

Weitere Wirkungskategorien sind z. B. Geruchsbelästigung, Lärm, Belastung am Arbeitsplatz, Abwärme und Abfallaufkommen, Bedrohung von Naturschönheit und -vielfalt (UBA 1995).

Bezüglich der zu betrachtenden Wirkungskategorien führt die Fachliteratur aus: „*Da ISO 14044 keine feste Liste von Wirkungskategorien vorgibt, nicht einmal eine Empfehlungsliste, obliegt die Auswahl der Kategorien den Erstellern der Ökobilanz.*“ (Klöpffer 2009)

In Anpassung an die Thematik und die bestehenden Fragestellungen bzgl. der Recyclingverfahren wurden in dieser Studie die folgenden Wirkungskategorien als Grundlage der Ökobilanzierung verwendet: Treibhauspotenzial (GWP), Eutrophierungspotenzial (EP), Versauerungspotenzial (AP), Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (POCP), Verbrauch an abiotischen Ressourcen mineralischen Typs (ADP_{elementar}), total land use, land use transformation.

Eine Normierung mit globalen Jahresemissions- bzw. Verbrauchswerten als optionaler Bestandteil der Wirkungsabschätzung wurde in dieser Studie nicht durchgeführt. Ebenso wurden keine Ordnungs- und Gewichtungsverfahren verwendet.

Zur Charakterisierung von human- und ökotoxischen Belastungen sind in den letzten Jahren eine Reihe von methodischen Konzepten erarbeitet worden. Neben klassischen Methoden wie CML (Guinée et al. 2002) und EDIP (Hauschild/Wenzel 1998), die potenzielle Wirkungen in der Mitte des Wirkungsmechanismus quantifizieren, versuchen andere Methoden, potenzielle Schäden am Wirkungsendpunkt abzuschätzen, wie z. B. Eco-indicator 99 (Goedkoop/Spriensma 1999) oder EPS (Steen 1999). Oder sie kombinieren beide Konzepte, wie z. B. ReCiPe (Goedkoop et al. 2009), IMPACT 2002+ (Humbert et al. 2012). Mit dem USEtox Modell der UNEP/SETAC Life Cycle Initiative (Rosenbaum et al. 2011, Rosenbaum et al. 2008, Hauschild et al. 2008) wurde versucht, die verschiedenen Modelle zu harmonisieren. USEtox stellt ein Bewertungssystem für die Kategorien Humantoxizität und aquatische Ökotoxizität dar. Das Modell stellt sehr hohe Anforderungen an die Datenqualität und die Anzahl der zu betrachtenden Stoffe. Da die Datenlage zu zahlreichen human- und ökotoxischen Stoffen so schlecht ist, dass fundierte Aussagen nur schwer abzuleiten sind, wird in dieser Studie auf die Einbeziehung der Humantoxizität und Ökotoxizität anhand einer Wirkungsabschätzung verzichtet.

Die Wirkungskategorien „anorganische Emissionen“, „Geruchsbelästigungen/Lärm“, und „Belastungen am Arbeitsplatz“ werden für die Ökobilanz nicht berücksichtigt, da die entsprechenden großtechnischen Anlagen noch nicht realisiert sind und damit diese spezifischen Wirkungen heute nicht quantifiziert werden können.

Abwärme wird aus Gründen fehlender Relevanz für das untersuchte System nicht berücksichtigt. Das Abfallaufkommen wird als Flussgröße erfasst. Der anfallende Abfall wird behandelt und die resultierenden Umweltbelastungen in den entsprechenden Wirkungskategorien quantifiziert.

Nachfolgend werden die in der Ökobilanz verwendeten Wirkungskategorien vorgestellt.

Der **Verbrauch an abiotischen Ressourcen mineralischen Typs** ist bzgl. der betrachteten Recyclingverfahren ebenfalls eine wichtige Wirkungskategorie, da die Recyclingverfahren auf die Gips-Rückgewinnung zielen und damit primäre Gipsressourcen einsparen sollen. Hierfür wurde für Ökobilanzen der Wirkungsparameter ADP elementar (abiotic depletion potential, $ADP_{elem.}$) entwickelt. In der vorliegenden Studie wird die Definition des $ADP_{elem.}$ aus der Basismethode des Dutch LCA Handbook (Guinée et al. 2001) mit den Charakterisierungsfaktoren nach (CML 2015) verwendet. Das $ADP_{elem.}$ berechnet sich dementsprechend als Quotient aus der Extraktionsrate einer Ressource und dem Quadrat der „ultimate reserve“²⁹ dieser Ressource ($ADP_{elem,ur}$). Bezogen wird auf Antimonäquivalente.

Die Berechnung des **Treibhauspotenzials** (GWP) in Form von CO₂-Äquivalenten wird allgemein anerkannt. Mit dem Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) besteht zudem ein internationales Fachgremium, das sowohl die Methode als auch die entsprechenden Kennzahlen für klimawirksame Substanzen errechnet und fortschreibt. Bei der Berechnung von CO₂-Äquivalenten wird die Verweilzeit der Gase in der Troposphäre berücksichtigt; daher stellt sich die Frage, welcher Zeitraum der Klimamodellrechnung für die Zwecke der Ökobilanz verwendet werden soll. ISO TS 14067 (ISO 2013) legt die Modellierung auf der 100-Jahre-Basis fest. Die in den Berechnungen des Treibhauspotenzials berücksichtigten Substanzen werden mit ihren CO₂-Äquivalenzwerten nach (IPCC 2013) bewertet.

Die **Eutrophierung** steht für eine Nährstoffzufuhr im Übermaß, sowohl für Gewässer als auch für Böden. Im vorliegenden Projektzusammenhang wird der Nährstoffeintrag über Luft und Wasser (bzw. Boden) betrachtet. Das Eutrophierungspotenzial (EP) von Nährstoffemissionen wird hierbei durch die Aggregation von Phosphat-Äquivalenten nach (CML 2016) ermittelt.

Eine **Versauerung** kann ebenfalls sowohl bei terrestrischen als auch bei aquatischen Systemen eintreten. Verantwortlich sind die Emissionen säurebildender Abgase. Die Berechnung erfolgt in Form von Säurebildungspotenzialen (AP, (CML 2001)) mit den Charakterisierungsfaktoren nach (CML 2016).

Die Wirkungskategorie **Photooxidantien** (Photochemical Ozone Creation Potential, Photo-chemisches Oxidantienbildungspotenzial, POCP) bildet die Entstehung von Sommersmog oder bodennahem Ozon ab. Ozon führt zu Wald- und Vegetationsschäden. In höheren Konzentrationen ist es humantoxisch (Reizung der Atmungsorgane, Asthma, Husten und Augenreizung) (Schmid 2006). Die Ozonbildung ist ein komplexer Prozess, bei dem den Kohlenwasserstoffen ein Ozonbildungspotenzial zugewiesen werden kann. Genaue Potenziale gelten nur für eine definierte Umgebung mit einer bestimmten Lichtintensität, einer bestimmten NO_x-Konzentration und definierten meteorologischen Bedingungen. In der Ökobilanzierung werden als Mittelwerte die Wirkfaktoren nach (CML 2016) angesetzt, die auf 1 kg Ethylen-Äquivalent bezogen werden.

Flächenverbrauch und Bedrohung von Naturschönheit und -vielfalt wird mit dem Ecosystem Damage Potential (EDP) (Wirkungskategorien „total land use“ und „land use transformation“, (Köllner 2007; Köllner 2008)) abgebildet.

Die von der EU-Kommission vorgeschlagenen Indikatoren und Methoden zum Product and Organisation Environmental Footprint (EC 2014) wurde in dieser Studie nicht angewendet, da bei PEF/OEF derzeit noch Widersprüche zur ISO-Norm 14044 bestehen (siehe (Lehmann 2015)).

²⁹ Weitestgehende Definition von Reserve.

3.3.7 Methoden der Auswertung

Die Auswertung wird entsprechend der in ISO 14040/44 geforderten Bestandteilen durchgeführt. Diese umfasst:

- ▶ Identifizierung der signifikanten Parameter auf der Grundlage der Ergebnisse der Sachbilanz und Wirkungsabschätzungsphasen der Ökobilanz;
- ▶ eine Beurteilung, die die Vollständigkeits-, Sensitivitäts- und Konsistenzprüfungen berücksichtigt;
- ▶ Schlussfolgerungen, Einschränkungen und Empfehlungen.

3.3.8 Einschränkungen und Verwendung

Als wesentliche Einschränkung bzgl. der Ergebnisse der vorliegenden Ökobilanzstudie ist darauf hinzuweisen, dass es sich um ein in Etablierung befindliches Recyclingverfahren handelt und die Mehrzahl der Sachbilanzdaten aus den Testläufen von großtechnischen Anlagen abgeleitet wurde.

Die Ergebnisse der Ökobilanz gelten nur für den gewählten End-of-Life-Ansatz, dass die gebrauchten Gipskartonplatten lastenfrei ins Recycling gehen (siehe Kapitel 3.3.5).

Die Sachbilanzdaten werden aus Konsistenzgründen primär aus der Datenbank ecoinvent v3.1 entnommen.

3.3.9 Art und Aufbau des für die Studie vorgesehenen Berichts

Die Art und der Aufbau des Berichts orientieren sich konsequent an den vier Phasen einer Ökobilanz (Zieldefinition, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung, Auswertung, siehe Kapitel 3.3)

3.4 Prozess

Das Recyclingverfahren für Gipskartonplatten gliedert sich in vier Hauptprozessschritte:

- ▶ Transport der Gipskartonplatten zur Recyclinganlage
- ▶ Aufbereitung / Recycling
- ▶ Transport zum Gipshersteller
- ▶ Trocknung

Eine ausführliche Beschreibung des Recyclingprozesses ist dem Kapitel 2.4.2 zu entnehmen.

3.5 Datengrundlage

Die prozessspezifischen Daten für den Recyclingprozess stammen von Recyclinganlagen, die zurzeit betrieben werden.

Nach Rücksprache mit dem Umweltbundesamt kommt als Bilanzierungswerkzeug die Bilanzierungssoftware „Umberto“ zum Einsatz. Damit wird gewährleistet, dass die gewonnenen Projektergebnisse auch „in-house“ ohne größeren Aufwand weiterverwendet werden können. Diese Vorgehensweise hat aus pragmatischen Gründen zu folgender Auswahl der Datensätze geführt:

- ▶ Soweit verfügbar werden Datensätze aus ecoinvent v3.1 verwendet.
- ▶ Der geographische Bezug der Datensätze wird nach Möglichkeit landesspezifisch, sonst europäisch oder global (in dieser Priorisierung) gewählt. Hierbei ist zu beachten, dass zum Teil auch bei globalen Prozessdatensätzen landestypische Import-Mixe verwendet werden.
- ▶ Für die Hilfsstoffe wird mit Datensätzen „Produktionsmix ab Hersteller“ gearbeitet und jeweils ein Transport zum Einsatzort vorgesehen.
- ▶ Für den Antransport der Gipskartonplatten und des Recyclinggipses wird ein LKW mit einem zulässigen Gesamtgewicht (zGG) von größer 34-40 t angenommen. Alle LKWs werden als die-

selbstbetriebene Fahrzeuge mit Euro 3 angenommen. Weitere Ausführungen zur Modellierung der Transporte können Kapitel 3.5.1 entnommen werden.

- ▶ Für Diesel wird ein Datensatz „Verbrauchsmix, ab Raffinerie“ verwendet; der Transport zum Verbraucher wird vernachlässigt. Es wird von einem Schwefelanteil von 50 ppm ausgegangen.
- ▶ Für die Energieversorgung (Strom, Prozessdampf, Erdgas) werden Datensätze „Verbrauchsmix, beim Verbraucher“ zugrunde gelegt. Bei der Stromversorgung wird für Industriebetriebe eine Mittelspannung angenommen. Die zugrunde gelegte Zusammensetzung des deutschen Strommixes im Jahr 2015 zeigt Tabelle 3-1.

Tabelle 3-1 Strommarkt Deutschland 2015

	2015
Braunkohle	25,7%
Kernenergie	15,7%
Steinkohle	18,5%
Erdgas	5,3%
Erneuerbare Energien	30,6%
Sonstige	4,2%

Quelle: Eigenes Strommarktmodell Öko-Institut e. V.

3.5.1 Modellierung der Transporte

Für alle Güterbewegungen wird ausschließlich der Transport per LKW (dieselbetrieben, EURO 3) angesetzt, wofür Datensätze aus ecoinvent v3.1 verwendet werden. Beim RC-Gips werden zwei Varianten mit unterschiedlichen Transportentfernungen (RC-Gips 100 bzw. RC-Gips 200) gerechnet. Weitere Transportdistanzen werden im Rahmen von Sensitivitätsrechnungen untersucht.

Folgende Transportdistanzen werden für die Ökobilanz angesetzt (eigene Einschätzungen):

Naturgips

- ▶ ab Lagerstätte zum gipsverarbeitenden Werk: 20 km
- ▶ ab dem gipsverarbeitenden Werk zur Baustelle: 200 km
- ▶ ab Baustelle zur Deponie: 30 km

REA-Gips

- ▶ ab REA zum gipsverarbeitenden Werk: 20 km
- ▶ ab dem gipsverarbeitenden Werk zur Baustelle: 100 km
- ▶ ab Baustelle zur Deponie: 30 km

RC 100

- ▶ ab Baustelle zur Recyclinganlage
- ▶ ab Recyclinganlage zum gipsverarbeitenden Werk
- ▶ ab dem gipsverarbeitenden Werk zur Baustelle:
- ▶ (insgesamt 100 km)

RC 200

- ▶ ab Baustelle zur Recyclinganlage
- ▶ ab Recyclinganlage zum gipsverarbeitenden Werk
- ▶ ab dem gipsverarbeitenden Werk zur Baustelle
- ▶ (insgesamt 200 km)

Für die Setzung der Transportentfernungen zur Bilanzierung von Naturgips und REA-Gips wurde auf Erfahrungen des Projektverbundes zur Branche und auf zusätzliche Informationen des BV Gips zurückgegriffen. Hervorzuheben ist, dass die Anfallstellen von Naturgips (natürliche Lagerstätten) sowie REA-Gips (Standorte großer Stein- und Braunkohlekraftwerke) in Deutschland ungleich verteilt sind und z.T. in eher dünn besiedelten Regionen liegen, d. h. z.T. weiter entfernt von den relevanten Baustellen in den Metropolregionen. Daher sind die durchschnittlichen Transportentfernungen vom gipsverarbeitenden Werk zur Baustelle entsprechend größer angesetzt als die Transportentfernungen zum gipsverarbeitenden Werk sowie ab Baustelle zur Deponie (siehe oben).

Zurzeit existiert noch kein etabliertes Recyclingsystem für Gipskartonplatten in Deutschland. Der Standort einer Recyclinganlage ist zunächst nicht von natürlichen Lagerstätten oder Lage von Kohlekraftwerken abhängig. Ungeachtet dessen sind auch hier verschiedene Erwägungen relevant (Region mit hohem Potenzial für den Anfall von Gipskartonplatten, Region mit hoher Bautätigkeit, d. h. Endkunden der Gipskartonplatten, Standorte von gipsverarbeitenden Werken usw.) Es werden daher für den RC-Gips zwei Varianten bezüglich der Transportdistanzen bilanziert (RC 100 und RC 200), um den Einfluss der Transportentfernungen auf die Gesamtergebnisse der Ökobilanz zu ermitteln.

3.6 Einschätzung der Datenqualität

Die Datenqualität kann aufgrund der Datenherkunft näher diskutiert werden. Dazu können die eingesetzten Daten wie folgt klassifiziert werden:

- ▶ Sekundärdaten aus validierten Datenbanken (Strom, Hilfsstoffe, Metalle etc.)
- ▶ Primärdaten von Recyclern auf Basis von Pilotanlagen

Die Datenqualität von Sekundärdaten ist im Allgemeinen angemessen und für den Zweck dieser Ökobilanz absolut ausreichend. Die Abdeckung der weltweiten Produktion, z. B. für Anlagenbestandteile, ist nicht vollständig und die Emissionen, insbesondere von Luftschadstoffen, können lokal deutliche Unterschiede aufweisen. Dies hat für die Ergebnisse der Ökobilanz jedoch keinerlei Relevanz (< 1%). Die Primärdaten von den Recyclinganlagen sind als gut einzuschätzen.

Primärdaten auf Basis von etablierten Prozessen sind im Allgemeinen ebenfalls als gut zu bezeichnen.

3.7 Ergebnisse der Wirkungsabschätzung

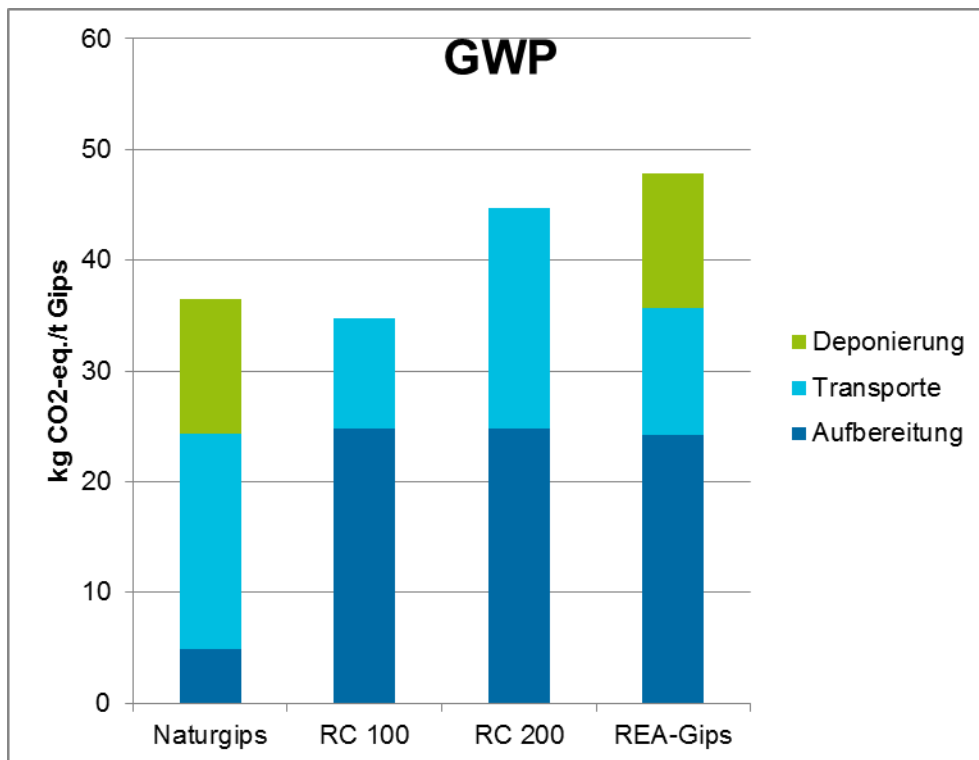
Die Ergebnisse werden nach den vorherigen beschriebenen Routen geordnet. Die berücksichtigten Wirkungskategorien umfassen: Treibhauspotential (GWP), Versauerungspotenzial (AP), Eutrophierungspotenzial (EP), Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (POCP), Verbrauch abiotischer Ressourcen mineralischen Typs ($ADP_{\text{elem.}}$), land use transformation und land use total.

Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 3-5 bis Abbildung 3-11) mit den jeweiligen Beiträgen zu Aufbereitung, Transporte und Deponierung dargestellt. Im Schritt „Aufbereitung“ sind beim Naturgips die Gewinnung des Gipses im Steinbruch und die Trocknung im gipsverarbeitenden Werk inklusive der Vorketten für Materialien und Energie enthalten. Beim RC-Gips umfasst der Schritt die Aufbereitung der Gipskartonplatten im Recyclingwerk inklusive Vorketten für den Energieinput, die Gutschriften für die Nebenprodukte wie Metalle und Papier sowie die Trocknung des Recyclinggipses im gipsverarbeitenden Werk. Die Trocknungsschritte mittels einer Erdgasheizung sind hier wichtig, da sich, wie bereits in Abschnitt 3.3.2 erwähnt, der Feuchtegehalt der Gipssorten

unterscheidet. Beim REA-Gips ist neben der Trocknung ein Brikettierungsschritt in der Aufbereitung miteingerechnet, auch hier inklusive der Vorketten für den Energieverbrauch. Im Schritt „Transport“ sind die in Kapitel 3.5.1 aufgeführten Transporte eingerechnet inklusive Vorketten. In der Deponierung ist insbesondere der Einsatz von Maschinen mit den Vorketten des eingesetzten Diesels und der Schmierstoffe relevant.

3.7.1 Treibhauspotenzial (GWP)

Abbildung 3-5: Treibhauspotenzial (GWP)

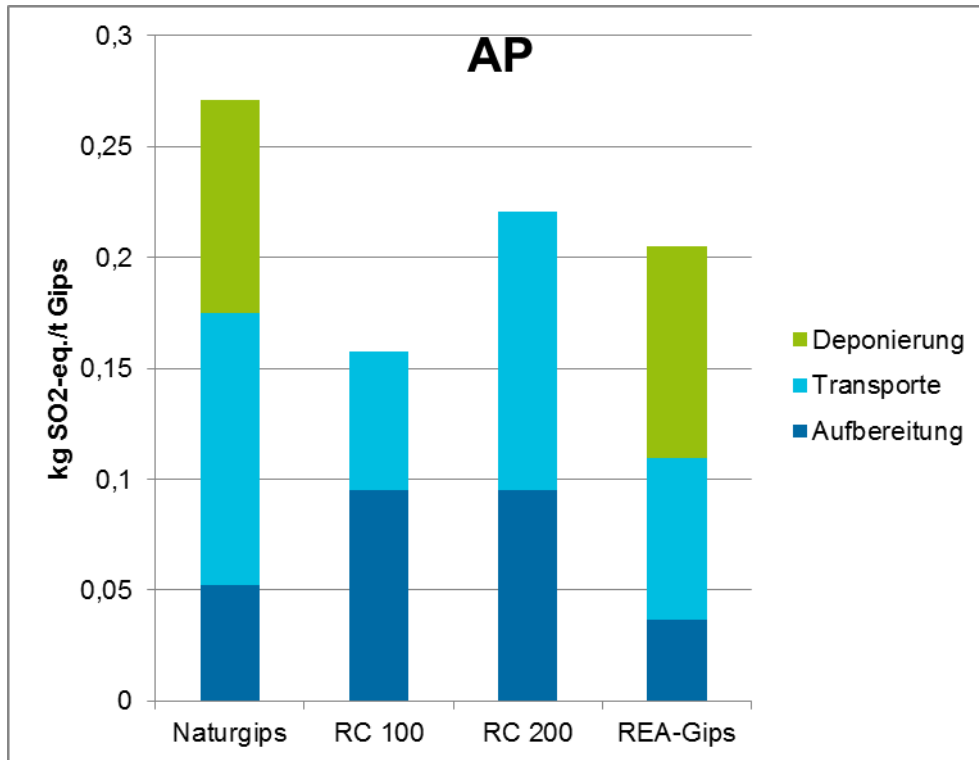


Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Beim Treibhauspotenzial (siehe Abbildung 3-5) weist die REA-Gips-Gewinnung die höchsten Beiträge auf, die aus den Transporten, der Deponierung sowie der Trocknung stammen. Beim Recyclinggips entfällt die Deponierung. Wie das GWP beim RC-Gips im Vergleich zum Naturgips ausfällt, hängt somit von den Transportdistanzen ab: beim RC-Gips 100 liegt das GWP niedriger als beim Naturgips, beim RC-Gips 200 etwas höher. Die Emissionen bei der Deponierung stammen aus dem Maschineneinsatz, besonders aus dem Dieserverbrauch der Maschinen. Auch die Emissionen der Transporte sind bedingt durch den Diesereinsatz.

3.7.2 Versauerungspotenzial (AP)

Abbildung 3-6: Versauerungspotenzial (AP)

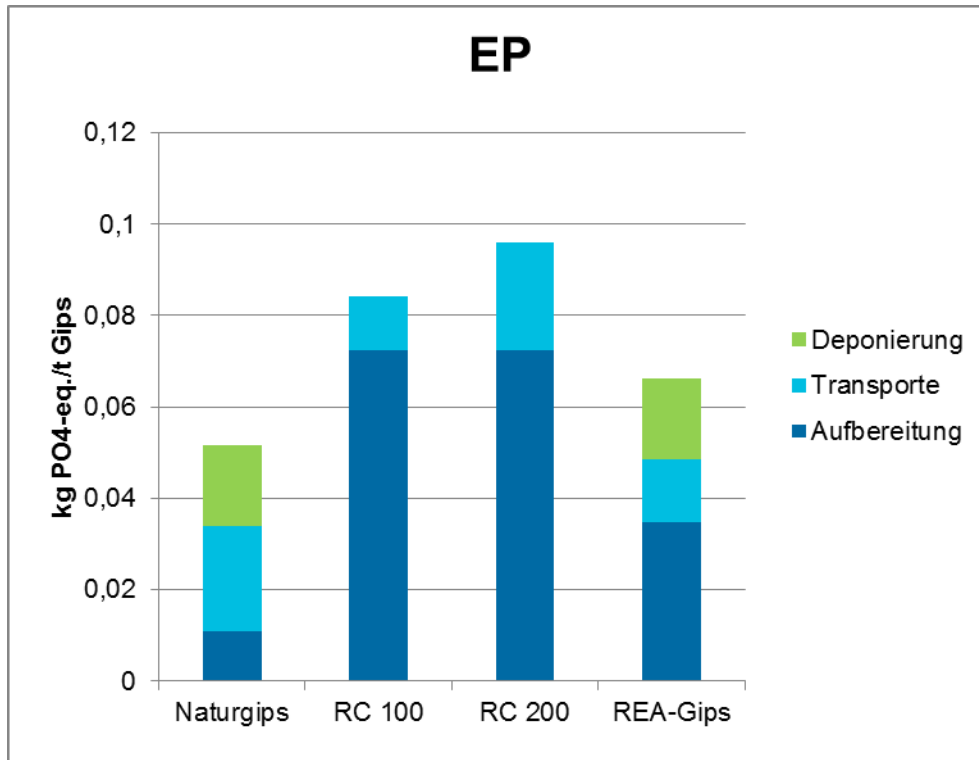


Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Beim Versauerungspotenzial (siehe Abbildung 3-6) ist beim RC-Gips der relative Beitrag aus der Aufbereitung geringer als beim Treibhauspotenzial, dennoch machen sich auch hier die Beiträge aus der Vorkette des eingesetzten Stroms, insbesondere aus der Braunkohleverstromung bemerkbar. Beide RC-Varianten schneiden insgesamt günstiger ab als Naturgips. Das Versauerungspotenzial beim REA-Gips liegt zwischen den beiden RC-Gips-Varianten. Zu den Emissionen bei der Deponierung trägt insbesondere das SO₂ aus dem eingesetzten Diesel in den Maschinen bei. Ebenso sind die Emissionen der Transporte bedingt durch den Dieseleinsatz.

3.7.3 Eutrophierungspotenzial (EP)

Abbildung 3-7: Eutrophierungspotenzial (EP)

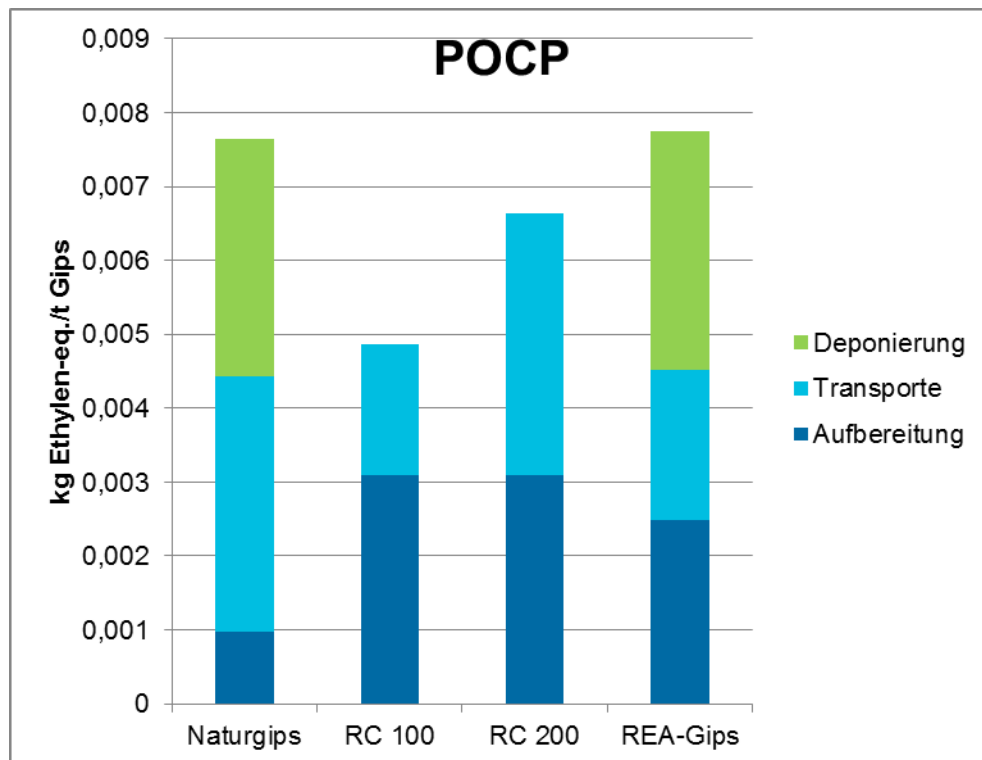


Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Beim Eutrophierungspotenzial (siehe Abbildung 3-7) zeigt sich ein starker Einfluss der Stromvorkette für RC 100 und RC 200 aufgrund des hohen Anteils der Braunkohle am Strommix. Da der Stromverbrauch beim Recyclingverfahren deutlich höher ist als beim Naturgips bzw. beim REA-Gips weisen beide RC-Gips-Varianten ein signifikant höheres EP auf. Potenzielle Änderungen, die bis 2030 aufgrund der Energiewende zu erwarten sind, werden in einer Sensitivitätsrechnung (siehe Abschnitt 3.10.2.3) analysiert.

3.7.4 Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (POCP)

Abbildung 3-8: Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (POCP)

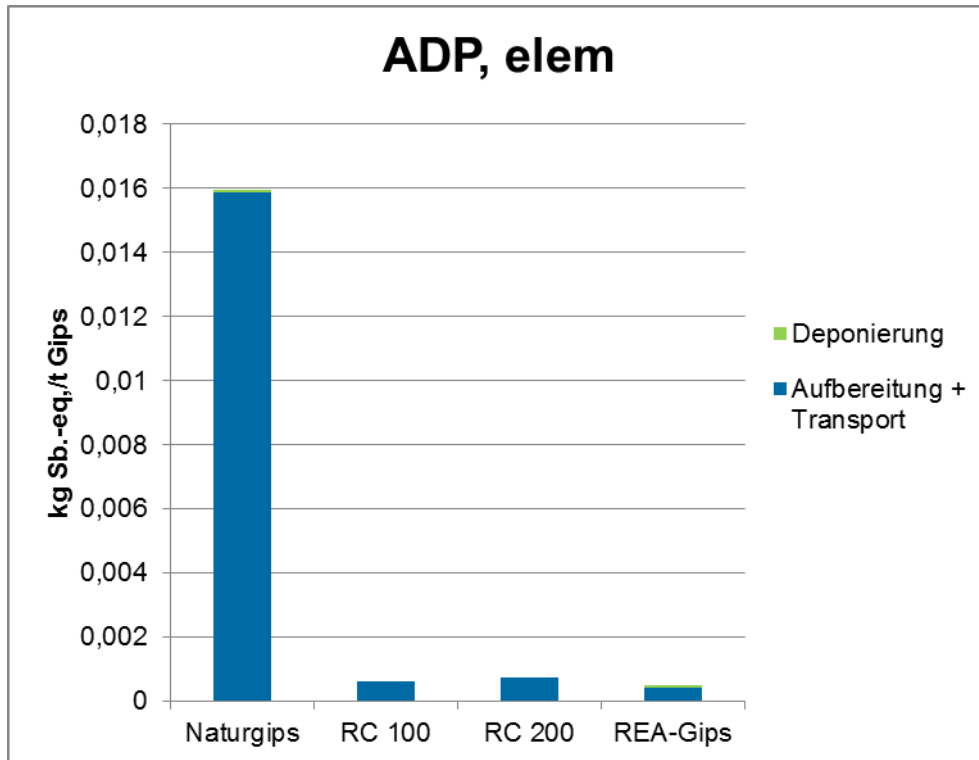


Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Ähnlich wie beim Versauerungspotenzial sind beim Naturgips und beim REA-Gips die relativen Beiträge der Transporte und der Deponierung zum POCP (siehe Abbildung 3-8) höher als die entsprechenden relativen Beiträge dieser beiden Schritte zum Treibhauspotenzial. Auch hier ist dies vor allem bedingt durch Emissionen aus dem Maschineneinsatz bei der Deponierung bzw. aus dem Dieseleinsatz bei den Transporten. Aus diesem Grund schneiden auch hier beide RC-Varianten günstiger ab als Naturgips und REA-Gips.

3.7.5 Elementarer Ressourcenverbrauch (ADP elem.)

Abbildung 3-9: Elementarer Ressourcenverbrauch (ADPelem.)

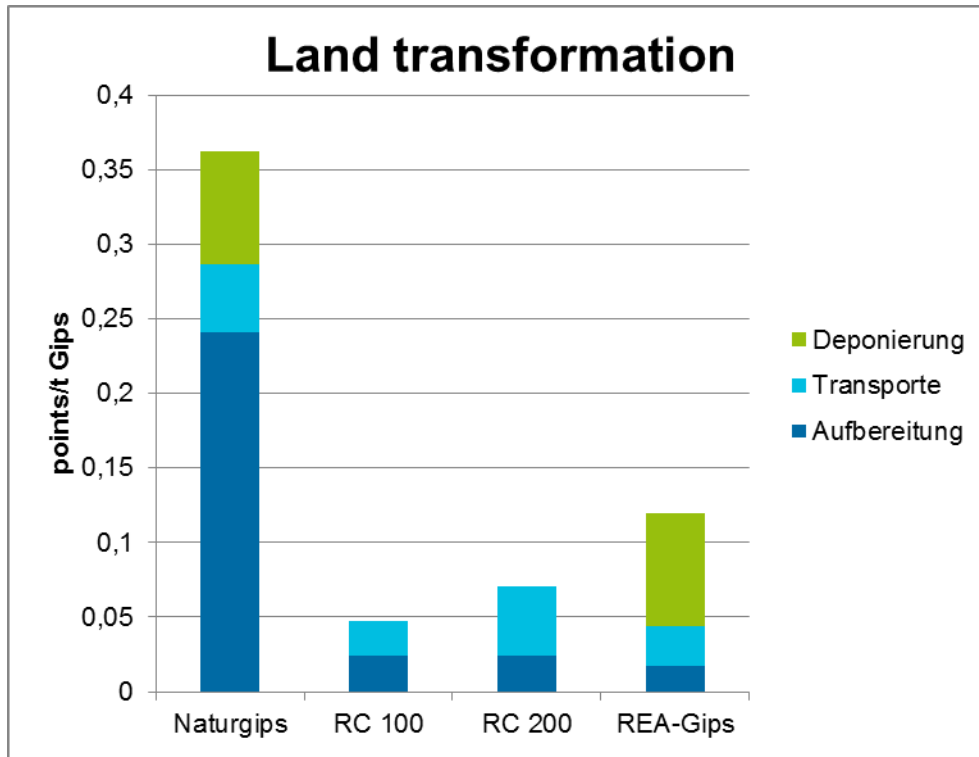


Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Der Verbrauch an elementaren Ressourcen (siehe Abbildung 3-9) wird deutlich dominiert vom Gipsverbrauch. Andere Ressourcen, wie z. B. Metalle, spielen beim $ADP_{elem.}$ in dieser Studie praktisch keine Rolle. Aus diesem Grund sind die Beiträge aus Deponierung und Transporten in allen Varianten sehr gering. Da sowohl beim RC-Gips wie auch beim REA-Gips die Ausgangsprodukte lastenfrei ins System eingehen (siehe Kapitel 3.3.5), weist der Naturgips eine deutlich höhere Last auf als die anderen Routen.

3.7.6 Ecological damage potential (EDP): Land use transformation

Abbildung 3-10: Land use transformation



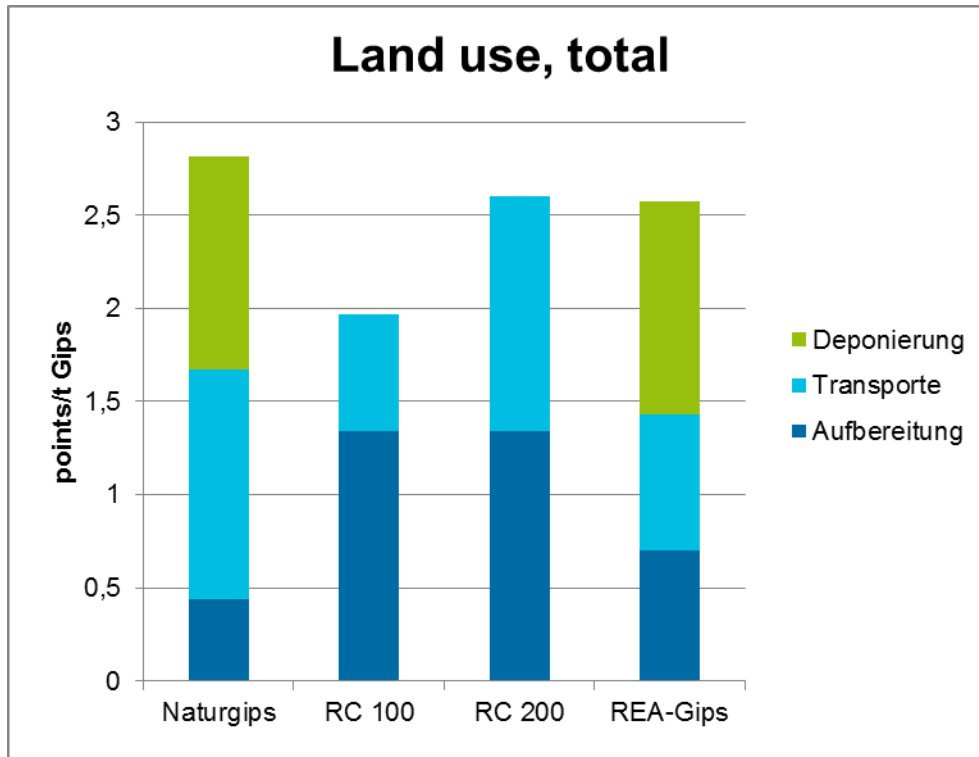
Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Bei der Wirkungskategorie „Land transformation“ (siehe Abbildung 3-10) macht sich vor allem der Verbrauch von naturnahen Waldflächen beim Abbau von Naturgips bemerkbar (Teilbeitrag Aufbereitung), da es sich hier häufig um alte Buchenwälder handelt³⁰, die besonders schützenswert sind. Die Renaturierung kann hier keinen vollständigen Ausgleich schaffen. Eine genauere Untersuchung der Auswirkungen auf den Artenreichtum der Lebensräume durch den Gipsabbau und eine Auswertung der umfangreichen Literatur kann im Rahmen dieser Ökobilanz nicht vorgenommen werden. Der Beitrag aus der Deponierung von Natur- und REA-Gips stammt aus der Umwandlung von Flächen bei der Errichtung der Deponie.

³⁰ Siehe z. B. LfN 2011 für die Gipskarstgebiete im Südhaz

3.7.7 Ecological damage potential (EDP): Land use total

Abbildung 3-11: Land use total



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Während bei der Wirkungskategorie „land transformation“ die Umwandlung von naturnahen Buchenwäldern im Vordergrund steht, kommt beim „land use total“ (siehe Abbildung 3-11) der gesamte Flächenverbrauch zum Tragen. Beim RC-Gips stammt ein hoher Beitrag aus dem Flächenverbrauch der Vorkette aus dem beim Recyclingprozess eingesetzten Strom, hierbei ist vor allem der Flächenverbrauch durch den Braunkohletagebau relevant. Durch den Beitrag aus der Deponierung weisen allerdings sowohl Naturgips wie auch REA-Gips einen höheren Gesamtflächenverbrauch aus als die beiden RC-Gips-Varianten. Der Beitrag aus der Deponierung wird bestimmt durch den Flächenverbrauch der Deponie und durch Flächenverbräuche aus den Vorketten der Abdichtungsmaterialien, die beim Bau der Deponie verwendet werden.

3.8 Auswertung der Ökobilanz

Das folgende Kapitel wertet die in Kapitel 2.7 dargestellten Ergebnisse aus. Hierzu werden zunächst Parameter und Annahmen, die die Ergebnisse der Ökobilanzen wesentlich beeinflussen, herausgearbeitet und diskutiert (Kapitel 2.9). Davon ausgehend wird die Relevanz der Aussagen der Ökobilanzen beurteilt. Hierfür erfolgt zunächst die Prüfung der Vollständigkeit (Kapitel 3.10.1), darauf folgend die Analyse der Beeinflussung des Ergebnisses durch variierte Einflussgrößen (Sensitivitätsanalysen, Kapitel 3.10.2) und eine Erörterung der Konsistenz der Ergebnisse (Kapitel 3.10.3). Abschließend geht Kapitel 3.11 zusammenfassend auf Schlussfolgerungen, Einschränkungen und Empfehlungen ein, die sich aus den Ökobilanzen ergeben.

3.9 Identifizierung der signifikanten Parameter

In den Wirkungskategorien GWP, AP, POCP und land use total zeigen die Transportdistanzen und die Deponierung einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis. Beim EP hingegen wirkt sich vor allem der

Stromverbrauch in der Aufbereitung aus. In den Wirkungskategorien $ADP_{\text{elementar}}$ und land transformation dominiert jeweils der Abbau des Naturgipses das Ergebnis.

Ein wichtiger Parameter ist der gewählte End-of-Life-Allokationsansatz. Dieser sieht vor, dass sowohl der REA-Gips als auch der RC-Gips als lastenfreier Input in die Bilanzierung gehen (siehe Kapitel 3.3.5). Da nach heutigem Stand praktisch noch kein Recycling in nennenswertem Umfang stattfindet, wurde von einer Sensitivitätsrechnung mit einer anderen Methode abgesehen.

3.10 Beurteilung

Um die Aussagekraft der erstellten Ökobilanzen zu prüfen, werden in den folgenden Kapiteln die Bilanzergebnisse nach den Kriterien Vollständigkeit, Sensitivität gegenüber der Variation von Einflussgrößen und Konsistenz untersucht und ausgewertet.

3.10.1 Vollständigkeitsprüfung

Für die vorliegende Ökobilanz wurden Daten zu allen für das Gipsrecycling relevanten Prozessschritten erhoben. Alle Materialströme wurden vollständig erfasst und über die beschriebenen Prozessschritte verfolgt. Für die Prozessschritte Recycling von Gipskartonplatten ist die Datenlage als befriedigend bis gut zu betrachten, da sie sich auf Verfahren im Pilotmaßstab stützt.

3.10.2 Sensitivitätsprüfung

In Kapitel 3.7 wurde bereits die Sensitivität der Ergebnisse gegenüber der Transportdistanz beim Gips-Recycling (50 km vs. 100 km) dargestellt. In einer weiteren Sensitivitätsrechnung wird hier der Einfluss der Herkunft des Naturgipses diskutiert und der Einfluss alternativer Transportdistanzen beim Naturgips in Deutschland bzw. beim REA-Gips untersucht. In einer dritten Sensitivität werden mögliche Auswirkungen der Energiewende bewertet.

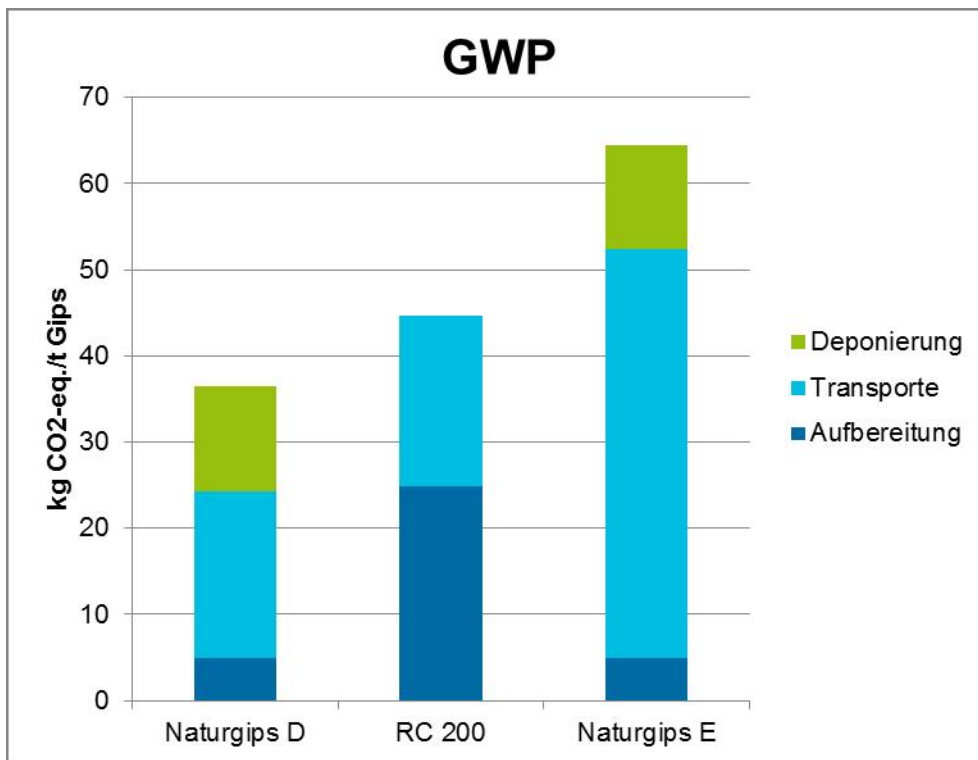
3.10.2.1 Naturgipsgewinnung in Spanien

Eine Alternative zur Naturgipsgewinnung in den Lagerstätten in Deutschland (z. B. am Süd- und Westharzrand, Nordfranken) stellt der Abbau von Naturgips in Spanien dar, wo sehr große Vorkommen zu finden sind. Aufgrund des stetig steigenden Bedarfs an Gips ist es denkbar, dass Naturgips aus Spanien künftig einen signifikanten Marktanteil in Deutschland erlangt. Für die Sensitivitätsrechnung „Naturgips Spanien“ wird der eigentliche Abbau in Spanien identisch bilanziert wie der Abbau in Deutschland, hingegen werden andere Transporte angesetzt:

- ▶ ab Lagerstätte zum gipsverarbeitenden Werk: 1800 km per Schiff
- ▶ ab Lagerstätte zum gipsverarbeitenden Werk: 200 km per LKW
- ▶ ab dem gipsverarbeitenden Werk zur Baustelle: 100 km
- ▶ ab Baustelle zur Deponie: 30 km

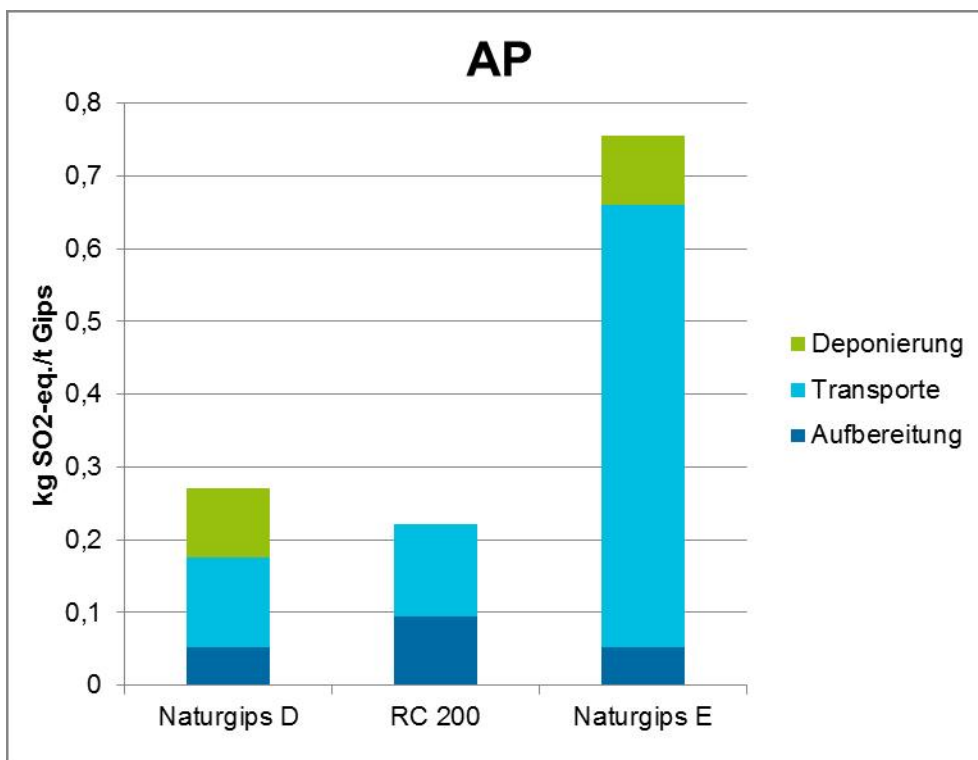
Hierzu wird der Naturgips aus Spanien (Naturgips E) der Naturgipsgewinnung in Deutschland (Naturgips D) und dem Gips-Recycling (RC-Gips 200) gegenübergestellt (siehe Abbildung 3-12 bis 3-15). In den Wirkungskategorien AP und POCP macht sich der Einfluss der Transporte entscheidend bemerkbar. Während beim Naturgips aus Deutschland die Beiträge zum AP (siehe Abbildung 3-13) und POCP (siehe Abbildung 3-15) nur etwas höher lagen als beim RC-Gips 200, sind diese beim Naturgips aus Spanien deutlich größer einzuordnen. Auch beim GWP (siehe Abbildung 3-12) und beim EP (siehe Abbildung 3-14), wo der RC-Gips 200 etwas schlechter abschneidet als der Naturgips in Deutschland, weist der Naturgips aus Spanien aufgrund der größeren Transportdistanzen höhere Beiträge auf als die Recycling-Variante. Die höheren Umweltlasten stammen überwiegend aus dem signifikant höheren Dieserverbrauch durch die größeren Distanzen. Da beim $ADP_{\text{elem.}}$ sowie beim Flächenverbrauch schon der Naturgips aus Deutschland deutlich höhere Beiträge zeigt als der Recycling-Gips, wurden diese Wirkungskategorien in der Sensitivität nicht gesondert ausgewertet.

Abbildung 3-12: GWP: Naturgips D und RC-Gips 200 vs. Naturgips Spanien



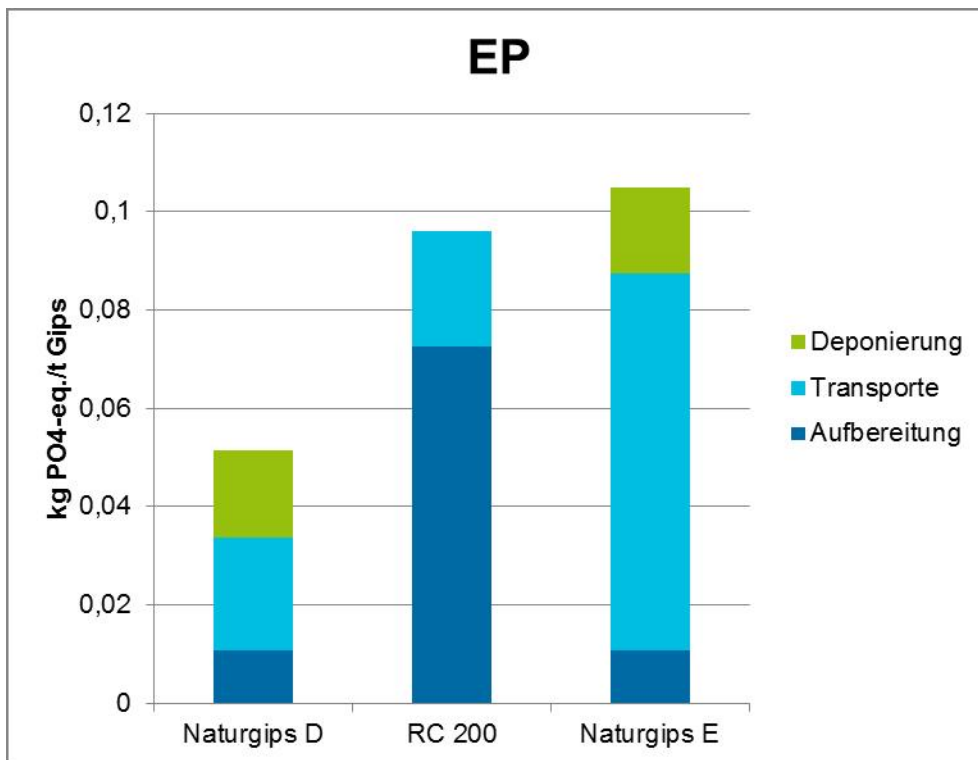
Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Abbildung 3-13: AP: Naturgips D und RC-Gips 200 vs. Naturgips Spanien



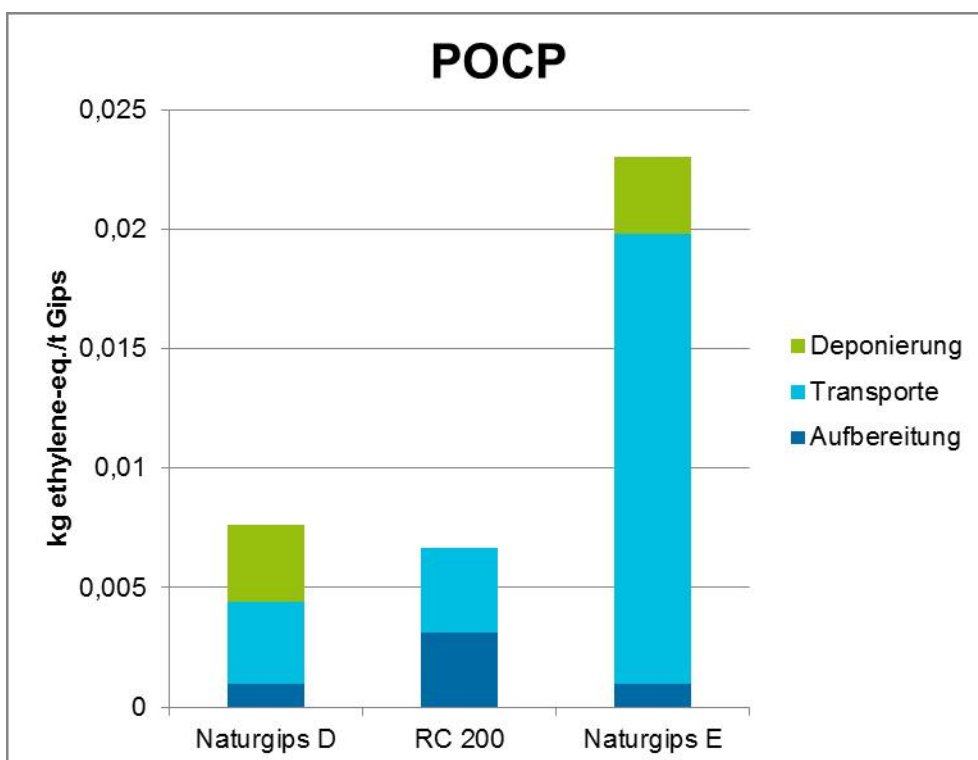
Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Abbildung 3-14: EP: Naturgips D und RC-Gips 200 vs. Naturgips Spanien



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Abbildung 3-15: POCP: Naturgips D und RC-Gips 200 vs. Naturgips Spanien



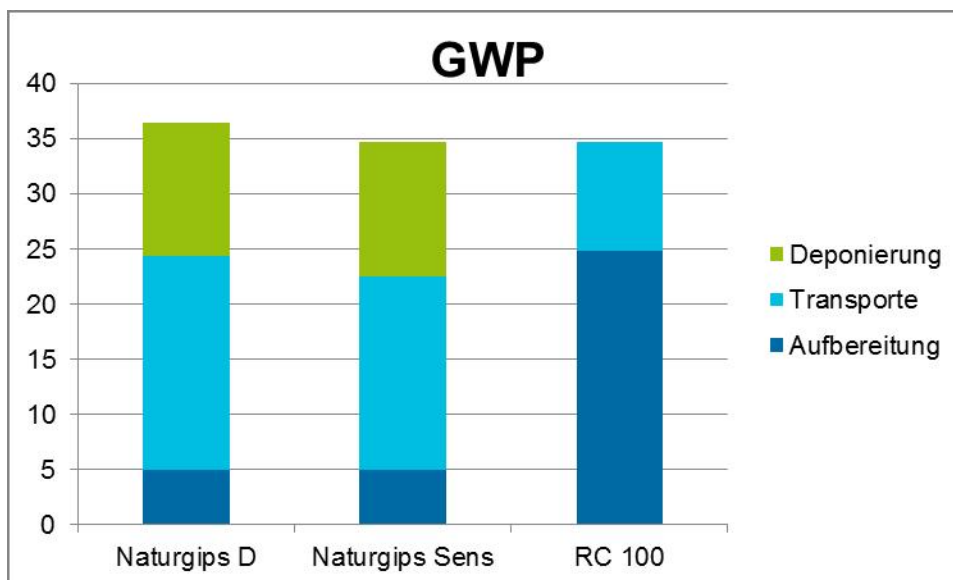
Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

3.10.2.2 Alternative Transportdistanzen

In dieser Sensitivitätsrechnung wird der Einfluss von unterschiedlichen Transportdistanzen bewertet.

Es gibt Naturgipsvorkommen in Deutschland, bei denen kein Transport per LKW von der Lagerstätte stattfindet, sondern dieser über eine kurze Distanz (0,5 bis 1 km) durch Förderbänder realisiert wird. Abbildung 3-16 zeigt die Ergebnisse für das Treibhauspotenzial (GWP) für Naturgips D in der Standardvariante (20 km per LKW von der Lagerstätte zum gipsverarbeitenden Werk) und für RC 100 im Vergleich zum Naturgips mit einem Transport von 0,5 km über Förderbänder (zu den Gesamttransportdistanzen siehe Kapitel 3.5.1). Die Werte liegen bei der Sensitivität geringfügig niedriger als bei der Standardvariante, insgesamt zeigt sich aber nur ein geringer Einfluss. Die Beiträge zum GWP aus den Transporten stammen im Wesentlichen aus dem Transport vom gipsverarbeitenden Werk zur Baustelle. Vergleichbare Ergebnisse weisen auch die Wirkungskategorien AP, EP, POCP, ADP, CED, Land use transformation und Land use total auf. Da die Unterschiede der Sensitivität für Naturgips zu Naturgips in der Standardvariante marginal sind, wird auf die Darstellung der einzelnen Wirkungskategorien hier verzichtet.

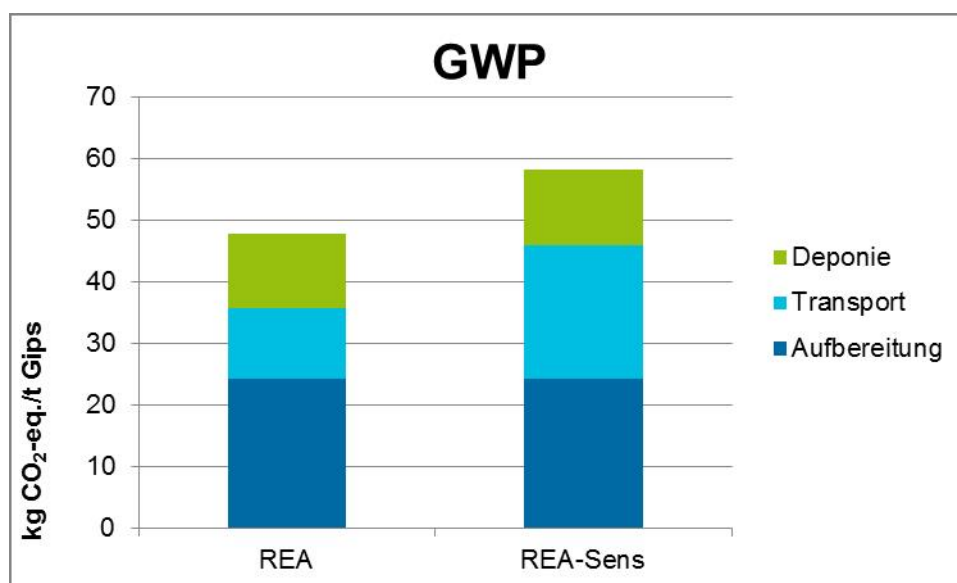
Abbildung 3-16: GWP: Naturgips D, Naturgips Sensitivität und RC-Gips 100



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Da sich nicht bei allen Braunkohlekraftwerken ein gipsverarbeitendes Werk in der unmittelbaren Umgebung befindet, wird der REA-Gips zum Teil auch über längere Strecken per Bahn transportiert. Hierfür wird eine zweite Sensitivität gerechnet. Statt der 20 km vom Kohlekraftwerk zum gipsverarbeitenden Werk per LKW wird ein Transport von 200 km per Zug angesetzt. Die Ergebnisse für das GWP in der REA-Gips-Standardvariante und der REA-Gips-Sensitivität zeigt Abbildung 3-17. Die Werte fallen in der Sensitivität deutlich höher aus als bei der Standardvariante, ähnliche Ergebnisse zeigen auch die Wirkungskategorien AP, EP, POCP, ADP, CED, Land use transformation und Land use total.

Abbildung 3-17: GWP: REA-Gips und REA-Gips Sensitivität



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

3.10.2.3 Strommix 2030

In dieser Sensitivitätsrechnung werden mögliche Auswirkungen der Energiewende im Hinblick auf den künftigen Strommix untersucht.

Neben den Transportdistanzen zeigt auch die Stromvorkette beim RC-Gips einen signifikanten Einfluss. Dies liegt am Strombedarf für den Betrieb der Recyclinganlage. Im Zuge der Energiewende wird sich die Zusammensetzung des Strommixes in Deutschland deutlich ändern. In Tabelle 3-2 wird neben dem Strommix von 2015, der in der Standardrechnung verwendet wird, das erwartete Szenario des deutschen Strommixes für 2030 (Strommarktmodelle des Öko-Instituts) angegeben.

Tabelle 3-2 Strommarktmodelle 2015 und 2030

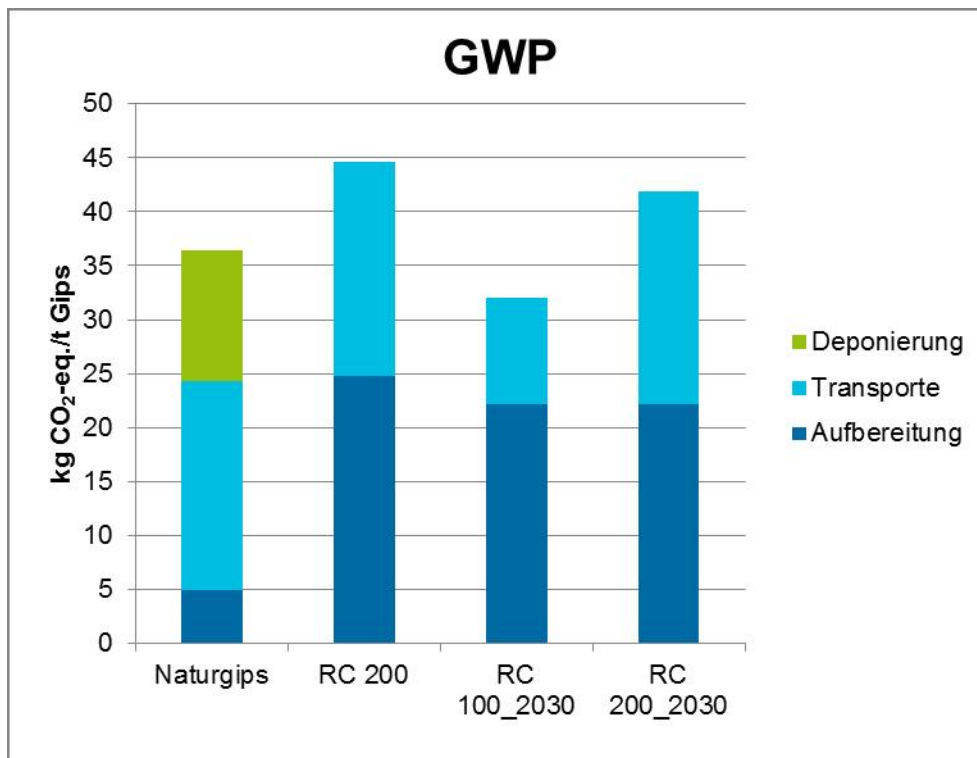
	2015	2030
Braunkohle	25,7%	14,1%
Kernenergie	15,7%	0,0%
Steinkohle	18,5%	8,6%
Erdgas	5,3%	13,7%
Erneuerbare Energien	30,6%	61,3%
Sonstige	4,2%	2,3%

Quelle: Eigene Strommarktmodelle Öko-Institut e.V.

Da besonders für die RC-Gips-Systeme der Beitrag des Strombedarfs sehr relevant ist, wird in der Sensitivität ausschließlich eine Veränderung des Strommixes unterstellt. Für die Rechnung wird daher bei den Recyclingsystemen RC-100 und RC-200 die Vorkette des verwendeten Stroms (Basisvariante

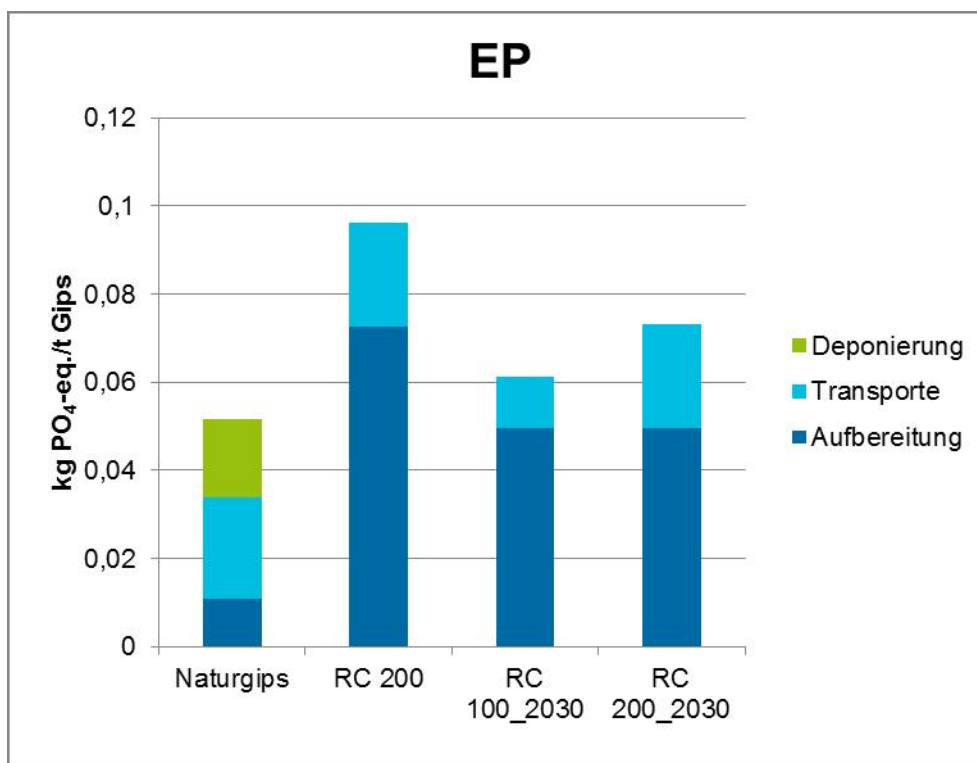
Strommix von 2015) auf den erwarteten Strommix von 2030 umgestellt. Bei der Naturgipsgewinnung spielt dagegen die Stromvorkette nur eine sehr geringe Rolle, aus diesem Grund wird hier für den Naturgips das Standardszenario 2015 verwendet und daher auf eine Bilanzierung von Naturgips 2030 verzichtet. Abbildung 3-18 zeigt die Ergebnisse der Sensitivität beim GWP sowie Abbildung 3-19 die Ergebnisse beim EP. Vor allem beim EP zeigt sich eine deutliche Verringerung der Last bei der Aufbereitung, die allerdings noch über der Last beim Naturgips liegt, beim GWP hingegen fällt die Minderung eher moderat aus. Da das EP vorwiegend aus der Vorkette des Braunkohlestroms stammt, das GWP hingegen sehr stark von den Transporten dominiert wird, ist beim EP die Verringerung signifikanter. Mit dem erwarteten langfristigen Wegfall der Kohleverstromung werden die Umweltlasten des Recyclings weiter abnehmen.

Abbildung 3-18: GWP: Strommix 2030



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Abbildung 3-19: EP: Strommix 2030



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

3.10.3 Konsistenzprüfungen

In der Datengenese wird eine konsistente Vorgehensweise verfolgt. Die Datenabfrage erfolgt unter einheitlichen Bedingungen. Die Ökobilanz verbindet unterschiedliche Datenquellen mit unterschiedlichem Ansatz. So finden sich automatisierte Pilotanlagen (Gipsrecycling) bis zu großtechnischen Anwendungen (REA-Gips und Naturgips). Im Hinblick auf das Gesamtergebnis wird der Einfluss als gering eingeschätzt.

Im Gips-Recycling-Verfahren ist der Materialfluss qualitativ gut verfolgbar. Es wurden keine generischen Zwischenschritte modelliert, so dass ein konsistenter Zusammenhang hergestellt wurde. Dadurch kann ein konsistenter Datensatz gesichert werden.

Die Gleichbehandlung der Gutschriften für recycelte Wertstoffe sichert dem Recyclingprozess eine konsistente Methodik. So werden die Aufwände zur Konfektionierung und die Sekundärmaterialherstellung immer mit einer 100 %-Gutschrift des Primärprozesses gegengerechnet.

Die Charakterisierungsfaktoren für die Umweltwirkungen GWP, AP, ADP_{elem.}, POCP und EP sind einer einheitlichen Quelle entnommen (CML 2015), für den Flächenverbrauch wird hingegen eine andere Quelle verwendet (Köllner 2007, Köllner 2008).

3.11 Schlussfolgerungen und Einschränkungen

Eine Ökobilanz analysiert möglichst umfassend den gesamten Produktlebensweg und die zugehörigen ökologischen Auswirkungen und bewertet die während des Lebenswegs auftretenden Stoff- und Energieumsätze und die daraus resultierenden potentiellen Umweltbelastungen. Abgebildet werden die Umweltbelastungen über Wirkungskategorien. Das **Treibhauspotenzial** (GWP) beschreibt die Emission von klimarelevanten Substanzen. Das **Eutrophierungspotenzial** (EP) steht für eine Nährstoffzufuhr im Übermaß, sowohl für Gewässer als auch für Böden. Eine **Versauerung** kann ebenfalls sowohl bei terrestrischen als auch bei aquatischen Systemen eintreten. Verantwortlich sind die Emissionen

säurebildender Abgase. Die Berechnung erfolgt in Form von Säurebildungspotenzialen (AP). Die Wirkungskategorie **Photooxidantien** (Photo-chemisches Oxidantienbildungspotenzial, POCP) bildet die Entstehung von Sommersmog oder bodennahem Ozon ab. Der **Verbrauch an abiotischen Ressourcen mineralischen Typs** wird über den Wirkungsparameter ADP elementar ($ADP_{elem.}$) abgebildet.

Im Vergleich zur Naturgipsgewinnung ergibt die Gesamtauswertung der Ökobilanzergebnisse für das Recycling von Gipskartonplatten für die Wirkungskategorien Verbrauch an abiotischen Ressourcen ($ADP_{elem.}$) und Flächenverbrauch (land use, transformation) deutlich geringere Umweltlasten. Bei den Wirkungskategorien Versauerungspotenzial (AP), Bildung von Photooxidantien (POCP; Entstehung von Sommersmog oder bodennahem Ozon) und Gesamtflächenverbrauch fallen die Umweltlasten etwas geringer aus. Beim Treibhauspotenzial (GWP) hängt das Ergebnis sehr stark von den Transportdistanzen ab. Damit das Recyclingverfahren hier aus ökologischer Sicht günstiger abschneidet als die Naturgipsgewinnung sollten die Gesamttransportdistanzen unter 200 km bleiben. Beim Eutrophierungspotenzial (EP) zeigt der Recycling-Gips aufgrund des Stromverbrauchs im Recyclingverfahren hingegen höhere Lasten als Naturgips. Hierbei spielt vor allem die Vorkette der Braunkohleverstromung eine entscheidende Rolle. Wenn sich der Strommix ändert und künftig die Braunkohle als Energieträger wegfällt, wird das EP beim Recycling-Gips signifikant abnehmen.

Die Gewinnung von REA-Gips schneidet in vielen Wirkungskategorien ungünstiger ab als der Naturgips und der RC-Gips. Dies liegt zum einen am höheren Feuchtigkeitsgehalt des REA-Gipses und dem aus diesem Grund erforderlichen Trocknungsschritt, zum anderen an der Deponierung der Gipskartonplatten, wenn sie nicht recycelt werden.

Eine Übersicht über die Unterschiede der beiden Recyclinggips-Varianten im Vergleich zum Naturgips und zum REA-Gips bieten Tabelle 3-3 und Tabelle 3-4.

Tabelle 3-3 Vergleich RC-Gips / Naturgips

Unterschied zum Naturgips	RC 100	RC 200
GWP	-5%	+23%
AP	-42%	-19%
EP	+64%	+87%
POCP	-36%	-13%
ADP elem.	-96%	-96%
land transformation	-87%	-80%
land use total	-30%	-8%

Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Tabelle 3-4 Vergleich RC-Gips / REA-Gips

Unterschied zum REA-Gips	RC 100	RC 200
GWP	-27%	-7%
AP	-23%	+8%
EP	+27%	+45%
POCP	-37%	-14%
ADP elem.	+32%	+50%
land transformation	-60%	-41%
land use total	-24%	+1%

Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Sensitivitätsanalysen

Die Ergebnisse der Sensitivitätsrechnung zur Naturgipsgewinnung in Spanien unterstützen den Befund der Relevanz der Transportdistanzen. In allen untersuchten Wirkungskategorien fallen die Lasten deutlich höher aus. Das Szenario Strommix 2030 zeigt, dass die Energiewende neben dem langfristigen Wegfall des REA-Gipses durch das Auslaufen der Kohleverstromung auch positive Auswirkungen auf die Umweltwirkungen des Gipsrecyclings hat (Abnahme des fossilen Anteils am Strommix).

Einschränkungen

An dieser Stelle muss auf die Systemgrenzen der vorliegenden Ökobilanz hingewiesen werden. Die Herstellung und die Nutzungsphase der Gipskartonplatten werden nicht mitbilanziert. Da die Lasten der Herstellung und Nutzungsphase der Gipskartonplatten gleich ist – unabhängig von der Herkunft des Gipses, spielt die Ausklammerung für den Projektgegenstand keine Rolle. Die Ökobilanzierung der Gipskartonplatten liegt außerhalb des Scopes des Projekts.

Die Ökobilanzergebnisse zum Gipskartonplatten-Recyclingverfahren müssen unter dem Vorbehalt bewertet werden, dass die Sachbilanzdaten teilweise auf Daten aus ersten Testläufen von großtechnischen Anlagen beruhen. Schließlich ist hervorzuheben, dass die Ergebnisse dieser Ökobilanz für das Gipsrecycling keinesfalls mit den Ökobilanzergebnissen anderer Gipsrecyclingverfahren verglichen werden können. Weiterhin gelten alle Ergebnisse unter der Prämisse, dass die zu recycelnden Gipskartonplatten keine Umweltlast tragen, das heißt dass die Umweltlasten aus Herstellung und Nutzung nicht in dieser Studie miteingerechnet sind.

4 Exkurs zu Uranschlammteichen in Tschechien

4.1 Hintergrund

Die im Rahmen des Ufoplan-Vorhabens kontaktierten Akteure in Deutschland sind sich einig, dass die Entsorgung von Gipskartonplatten in Tschechien – auf dem Gelände der ehemaligen chemischen Uranaufbereitungsanlage MAPE in Mydlovary (Südböhmen) – als nicht geeignetes Verwertungsverfahren eingestuft werden muss. Diese Einschätzung teilen sowohl der BV Gips, die Anlagenbetreiber der Recyclinganlagen in Deutschland als auch die am Fachgespräch zum Vorhaben anwesenden Vertreter des Bundes und der Landesministerien bzw. Landesbehörden (FG 2016). Aufgrund der ökonomischen Vorteile dieses billigen Entsorgungsweges fließen derzeit große Materialmengen an Gipskartonplatten aus Deutschland nach Tschechien ab. Dies betrifft vor allem die Regionen in Deutschland mit überschaubarer Distanz nach Südböhmen/Tschechien, d. h. insbesondere Bayern und weite Teile der neuen Bundesländer.

Dadurch entgeht den Recyclinganlagen in Deutschland ein großer Eingangsstrom an Gipskartonplatten. Dies führt nach Auskunft der Betreiber der Gipsrecyclinganlagen in Deutschland zu erheblichen betriebswirtschaftlichen Problemen aufgrund der damit verbundenen Gefährdung der Kapazitätsauslastungen ihrer Anlagen. Die Teilnehmer des Fachgesprächs waren sich einig, dass der „Verwertungsweg“ nach Tschechien (Sanierung von Uranschlammteichen) mit der europäischen Abfallhierarchie und dem Ziel einer schadlosen und hochwertigen Verwertung nicht vereinbar ist.

4.2 Fakten zu den Uranschlammteichen in Mydlovary (Südböhmen)

In Mydlovary befand sich die zentrale chemische Uranerzaufbereitung (MAPE) der damaligen Tschechoslowakei. Nach Mydlovary wurde das Erz aus den Urangruben fast aus der ganzen Tschechoslowakei und selten auch aus dem Ausland eingeführt. Die Uranschlammteiche entstanden zum großen Teil in den Gruben der zuvor in der Region erfolgten Braunkohlenförderung (Švehla 2008). Die Aktivitäten der chemischen Uranerzaufbereitung fanden, beginnend in den frühen Sechziger Jahren, bis zum Jahr 1991 statt. In dieser Zeit hat der Betrieb MAPE mehr als 17.000.000 t Uranerz verarbeitet, und dabei rund 36.000.000 t Schlamm produziert. Das Schlammvolumen beträgt 24.000.000 m³, das Volumen des gebundenen Wasser liegt bei 17.000.000 m³. Die Gesamtfläche der zu sanierenden Uranschlammteiche wird mit 286 ha angegeben (Švehla 2008). Die Hinterlassenschaften in Mydlovary stellen eine sehr ernsthafte Gesundheitsgefährdung der örtlichen Bevölkerung über den Luft- und den Grundwasserpfad dar. Insbesondere Radonemissionen und Belastungen durch Schwermetalle wie Arsen, Beryllium und Cadmium werden als problematisch eingestuft.

Die Notwendigkeit der Sanierung der Uranschlammteiche von Mydlovary steht daher außer Zweifel. Ein Hauptproblem stellen allerdings die notwendigen Finanzmittel für die Sanierungs- und Reaktivierungsarbeiten dar. Diese werden auf Dutzende von Milliarden CZK geschätzt (Švehla 2008). Sehr vorsichtig geschätzt muss von Gesamtkosten für eine ordnungsgemäße und schadlose Sanierung von mindestens einer Milliarde Euro für Mydlovary ausgegangen werden.

Die Vorgehensweise bei der Sanierung der Uranschlammteiche von Mydlovary ist im Detail nicht bekannt und konnte im Rahmen dieses Ufoplan-Vorhabens nicht eruiert werden. Hierzu wären spezielle Recherchen in Kooperation mit geeigneten tschechischen Partnern notwendig. Allerdings sind sich alle Teilnehmer des Fachgesprächs zum Ufoplan-Vorhaben einig, dass Gipskartonplatten für entsprechende Sanierungsarbeiten aufgrund ihrer Eigenschaften ungeeignet sind. Auch eine zusätzliche Gefährdung von Menschen und Umwelt kann beim Einsatz von Gipskartonplatten in Mydlovary nicht ausgeschlossen werden; so wird bei Kontakt mit biologisch abbaubaren Abfällen die Bildung von Schwefelwasserstoffemissionen als mögliche Umweltgefährdung erwartet.

4.3 Langzeitverwahrung/Sanierung von Urantailings in den USA

Wie beschrieben, konnten im Rahmen dieses Ufoplan-Vorhabens keine Details zu den Sanierungsaktivitäten in Mydlovary eingeholt werden. Unter Auswertung von entsprechenden Erfahrungen aus den USA³¹ wird im Folgenden eine ordnungsgemäße Sanierung von Uranschlammteichen (Tailings) skizziert, wobei die Ausführungen in drei Unterpunkten (Design; Zeiträume, Kosten) gegliedert sind:

1. Design

Die wichtigsten Ziele beim Design von langzeitverwahrten Tailings sind:

1. der Dauereinschluss von Radon und seiner Folgeprodukte innerhalb der Verwahrzelle³²,
2. die Minimierung des Austrags der in den Tailings enthaltenen Schadstoffe³³ durch die Verringerung der Einsickerung von Niederschlagswässern (Regen, Schneeschmelze, etc.) via Dichtschichten (z. B. Ton, Lehm) und Drainage über der Dichtschicht,
3. die Abschirmung gegenüber den vom Tailingsmaterial ausgehenden Gammastrahlen.

Das Design von langzeitverwahrten Tailingsdeponien unterscheidet sich in niederschlagsreichen Gebieten etwas von solchen in ariden Gebieten. Während in ariden Gebieten (mit wenig Niederschlag) der dauerhafte Erhalt der Integrität und Funktionsfähigkeit der Dichtschicht (z. B. die Vermeidung der Tonaustrocknung) im Vordergrund steht, ist unter regenreichen Bedingungen die Dauerfunktionsfähigkeit der Drainage über der Dichtschicht von größerer Bedeutung.

Als Beispieldesign für das Design unter regenreichen Bedingungen kann die vom US-DOE sanierte Tailingsdeponie in Canonsburg in Pennsylvania dienen (ca. 100 cm Niederschlag pro Jahr)³⁴.

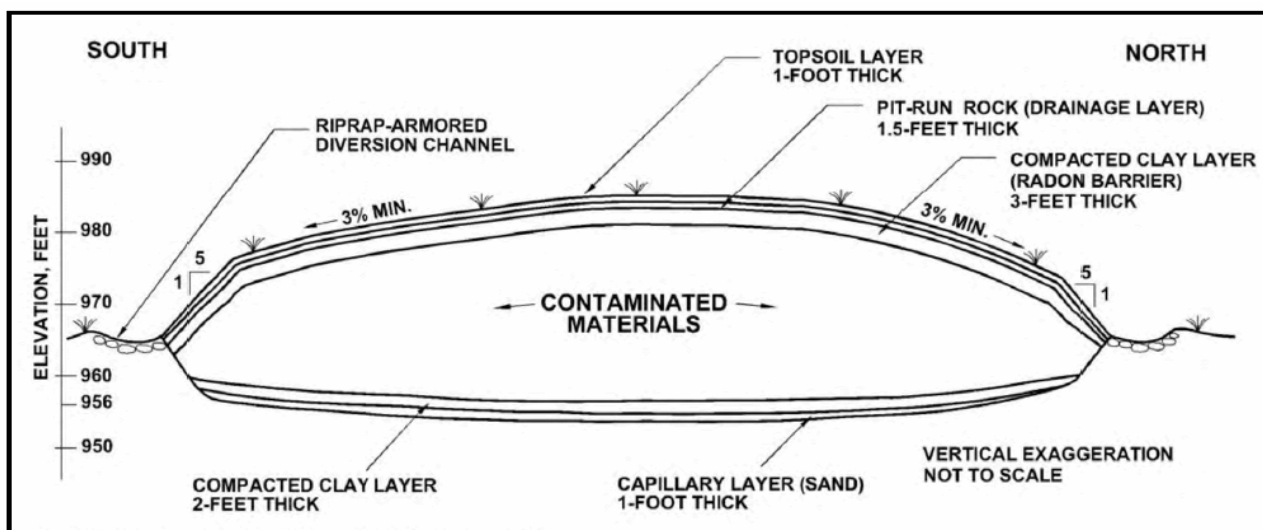
³¹ Die Ausführungen in Kapitel 4.3 beruhen auf einer Zusammenfassung von Gerhard Schmidt (ehemals Öko-Institut, Sanierungsexperte des Bereichs Nukleartechnik & Anlagensicherheit) vom 19. Juli 2016.

³² Radon entsteht in den Tailings laufend frisch aus dem enthaltenen Radium. Ohne Einschluss würde es in die Umgebungsluft diffundieren, in seine radioaktiven Folgeprodukte zerfallen und in der näheren Umgebung hohe individuelle Strahlenbelastungen sowie bis in einige 100 km Entfernung zu großen Kollektivdosen führen. Das Gasvolumen des erzeugten Radons ist vernachlässigbar gering, der Austrieb aus den Tailings erfolgt im Wesentlichen zusammen mit anderen Gasen (Mitschleppen) sowie mit im Material enthaltener Luft (insbesondere beim Übergang von Hoch- zu Tiefdruck).

³³ In Tailings enthaltene und auswaschbare radioaktive Schadstoffe sind Uran und Radium, nicht-radioaktive Schadstoffe sind im Ausgangserz enthaltene und im Aufbereitungsprozess mobilisierte Schwermetalle (z. B. Chrom, Vanadium, Kupfer, Cadmium, Blei) und Halbmetalle (z. B. Arsen), beim Aufbereitungsprozess gebildete Salze (z. B. Sulfat) und verwendete Prozesschemikalien (z. B. Tenside).

³⁴ Aus: US Department of Energy/Legacy Management: Canonsburg Fact Sheet. – Washington D.C., 16.06.2016, http://www.lm.doe.gov/Canonsburg/Fact_Sheet_-_Canonsburg.pdf

Abbildung 4-1: South-North Cross Section of Canonsburg Disposal Cell



South-North Cross Section of Canonsburg Disposal Cell

Quelle: US Department of Energy/Legacy Management: Canonsburg Fact Sheet. – Washington D.C., 16.06.2016

Die Darstellung zeigt, dass

- ▶ die Abdeckung aus mehreren Schichten aufgebaut ist.
- ▶ zur Gewährleistung der Drainagefunktion ein Mindestgefälle von 3% vorhanden ist, und
- ▶ für die Langzeitstabilität der Dämme ein Gefälle von 1 (vertikal) : 5 (horizontal) realisiert ist.

Die Niederschlagsbilanz zeigt, dass zwei Drittel verdunsten, ein knappes Drittel in der Drainageschicht abgeführt wird und etwa 3 % Oberflächenablauf ist und etwa 3 % durch das deponierte Material sickern. Entsprechend verringert sind das versickernde Schadstoffinventar und der Eintrag in das Grundwasser.

Die einzelnen Deckschichten erfüllen folgende Funktionen:

1. Vegetationsschicht (12 inch = 30 cm) ermöglicht Vegetation
2. Dränschicht (18 inch = 48 cm) führt Sickerwasser ab
3. Bentonit-Dichtschicht (12 inch = 30 cm) dichtet gegenüber Sickerwasser ab und unterbindet Radon diffusion
4. Toniger Boden (48 inch = 120 cm) dient als Grundlage für die Bentonitschicht.

Insgesamt ergibt sich eine Schichtdicke von 230 cm. Die beiden unterliegenden Schichten ergaben sich im Falle Canonsburg daraus, dass die Tailingsdeponie an diesem Standort neu angelegt wurde und die bereits eingetrockneten Tailings von einem anderen Standort dort abgelegt wurden. Diese Option besteht, wird aber wegen der hohen Kosten nur dann realisiert, wenn der bestehende Standort für die Langzeitverwahrung ungeeignet ist.

Drei weitere Schichten bieten sich für solche Designs an:

1. Auf den feuchten Tailings: Aufbringen einer Schicht Geotextil, damit die Tailings mit schwerem Gerät befahren werden können (bei Sanierung bestehender Standorte mit hohem Wasseranteil erforderlich).
2. Auf der Geotextilschicht: Aufbringen von grobem Taubgestein, um durch den Auflagedruck die unterliegenden feuchten Tailings verstärkt zu entwässern (zur langfristigen Setzungsminimierung und Stabilisierung der Abdeckschichten, zur Minderung des mittelfristigen Schadstoffaustrags).

3. Zwischen dem Taubgestein und dem lehmigen Bodenmaterial: Einbringen einer Sand- oder Kies-schicht als Kapillarsperre (gegen den Aufstieg von Radium und Schwermetallen).
4. Zwischen Dichtschicht und Drainageschicht: Speicherschicht aus bindigem Boden für Feuchtigkeit damit die Dichtschicht auch über längere Trockenperioden nicht austrocknen kann (in Pennsylvania aus klimatischen Gründen nicht erforderlich).
5. Über der Drainageschicht: Schicht aus grobem Taubgestein zur Unterbindung von Bioturbation (gegen Tiefwurzler und Wühler). Dadurch kann eine aufwändige regelmäßige Vegetationskontrolle beim natürlichen Bewuchs vermieden werden.

Das Canonsburg-Design ist daher als Mindestdesign anzusehen. Für alle Schichtmaterialien außer der Vegetationsschicht gilt, dass diese gegenüber den Tailings und ihren Nachbarschichten geochemisch inert regieren müssen, weder wasserlöslich sein dürfen (Dauererhalt notwendig) und kein Gaserzeugungspotenzial (beschleunigter Radonausstrag) haben dürfen. Vorhandenes aus dem Bergbau stammendes aufgehaldetes Taubgestein ist dafür die beste Wahl.

Sowohl die mächtige Schichtdicke beim Canonsburg-Design als auch die aufgetragenen weiteren Schichten bewirken automatisch die Erfüllung des Design-Ziels 3 (Gammastrahlung).

2. Zeiträume

Die Sanierung und Langzeitverwahrung erfordert folgende Phasen und realistischen Zeiträume:

1. **Entfernung des Freiwassers:** Das schadstoffhaltige und salzbelastete Freiwasser auf bestehenden Deponien muss abgepumpt und vor der Einleitung in die Vorflut chemisch gereinigt werden. Je nach der Schadstofflast sind dazu Fällstufen (z. B. Eisenchloridfällung) und weitere Stufen erforderlich (z. B. Radiumfällung mit Bariumchlorid, selektiver Ionenaustausch oder Radiumsorption an bariumsulfatbeschichteten Oberflächen). Feuchte Fällschlämme aus dieser Wasserbehandlung können auf den bereits vorgetrockneten Spülstränden abgelagert werden. Sehr hoch mit Radium beladene Sorptionsmaterialien sollten in radondichten Abschirmbehältern gelagert und zur Entsorgung in Endlagern für radioaktive Abfälle vorgesehen werden (sehr geringes Volumen, sehr hohe Dosisleistungen). Der Zeitbedarf für diese Phase liegt bei etwa einem Jahrzehnt.
2. **Reduzierung der Porenwasseranteile:** Parallel zur Freiwasserentfernung kann durch Aufbringung von Lastschichten (von außen nach innen) begonnen werden, nach erfolgter Freiwasserentfernung weiterer Porenwasseranteil durch Einbringung von Dochten verringert werden. Diese Phase kann ein weiteres halbes bis ein Jahrzehnt dauern.
3. **Aufbringen der Abdeckschichten:** Das Aufbringen von Abdeckschichten erfordert eine sorgfältige Materialauswahl, eine Einhaltung hoher Qualitätsanforderungen sowie begleitende Kontrollen des Baufortschritts. Dieser Zeitraum kann eins bis eineinhalb Jahrzehnte dauern.
4. **Fortgesetzte aktive Sickerwasserreinigung:** Während aller vorausgehenden Phasen und auch nach Abschluss der Abdeckung ist zum Schutz des Grundwassers eine aktive Sickerwasserreinigung erforderlich. Für die Entsorgung der dabei anfallenden Schlämme muss nun eine alternative Lösung gefunden und realisiert werden. Mit zunehmendem Abdeckfortschritt, sich verringerndem Sickerwassereintrag, Abnahme der mobilisierbaren Schadstoffanteile und mit Erschöpfung des Schadstoffinventars verringert sich der Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser. Nach einer weiteren Abklingzeit verringern sich die Schadstoffkonzentrationen im abgepumpten Grundwasser zunehmend. Der Zeitraum für eine aktive Wasserreinigung (mittels chemischer Methoden) kann ein bis drei Jahrzehnte, in ungünstigen Fällen auch noch länger andauern.
5. **Passive Sickerwasserreinigung:** Sind die Konzentrationen im Grundwasser sehr niedrig, das ausgetragene Schadstoffinventar aber noch immer nicht mit hohen Qualitätsansprüchen bei Oberflächengewässern zu vereinbaren, kommen biologische Reinigungsverfahren zur Entfernung der Restgehalte in Frage. Dazu werden Teiche angelegt, die mittels eingebrachter Bepflanzung Schad-

stoffe filtern können („Wetlands“). Diese Phase kann einige weitere Jahrzehnte erfordern, ist aber nur noch mit begrenztem Aufwand verbunden.

Bis zum Abschluss der Phase 3 sind zweieinhalb bis vier Jahrzehnte anzusetzen, die Phasen 4 und 5 können diesen Zeitraum verdoppeln.

Versuche, diese Zeiträume zu verkürzen, können im Gegenteil mit einer erheblichen Verlängerung einhergehen. So kann eine Minderqualität bei der Aufbringung der Abdeckung in erheblichem Umfang aufwändige nachträgliche Reparaturen erforderlich machen (wenn z. B. durch ungleichmäßige Setzungen des Deponiekörpers Risse in der Abdeckung auftreten, wenn durch ungenügend funktionierende Drainage der Zeitraum von Phase 4 um Jahrzehnte verlängert wird).

3. Kosten

Über die Sanierungskosten gibt es nur wenige Angaben, die zudem sehr stark schwanken. Insbesondere die angewendeten Sanierungsstandards und die Erzgehalte aber auch geologische Faktoren und Betriebsparameter bei der Aufbereitung haben einen großen Einfluss auf die Kosten. Die Folge ist eine sehr breite Streuung der Kostenangaben, die erhaltenen Mittelwerte sind praktisch nutzlos.

Eine verlässlichere Quelle für die Kosten sind die Angaben des US-DOE für die unter seiner Verantwortung stehenden Sanierungsprojekte. Das US-DOE hat die Sanierung für alle US-Projekte vorgenommen, für die kein privater Anlagenbetreiber mehr verantwortlich zu machen war (UMTRA-Projekte, rechtliche Basis Uranium Mining Tailings Remediation Act). Da es sich um öffentliche Projekte handelt, sind die anfallenden Kosten gut dokumentiert³⁵.

In der Tabelle sind die Mengen und Volumina aus dem Original in metrische Einheiten umgerechnet. Da in 2002 die weit überwiegende Zahl der Projekte abschließend saniert wurde, sind die Kostenangaben als weitgehend komplett anzusehen.

Auch bei dieser Auswertung ergeben sich große Bandbreiten. Generell schwanken die Kennzahlen pro Tonne produziertes Uran sehr viel stärker als die Kosten pro m³ Tailings. Die zweite Größe kann als zuverlässiger bewertet werden. Ein Teil der Schwankungen hat projektspezifische Ursachen. So sind z. B. die Kosten für Canonsburg in der Liste deshalb so hoch, weil in diesem Fall die gesamten Tailings umgelagert wurden, da eine Sanierung am historischen Lagerort nicht möglich war. Ein Großteil der Gesamtkosten ist durch diese Umlagerung bedingt.

³⁵ <https://www.eia.gov/nuclear/umtra/>

Tabelle 4-1 Kostenübersicht sanierter Urantailings (öffentliche Mittel) in den USA

Sanierungsprojekt (Standort, Bundesstaat)	Verarbeitetes Erz		Tailings	Sanierungs-Projektkosten			
	Erz (Mio. t)	Uran Produktion (Mio. kg U)	Tailings- Volumen (Mio. m ³)	Kosten Tausend U.S. Dollar (Sept. 2002)	Kosten pro tU (Dollar, Sept. 2002)	Kosten pro Tailingsvolumen (US-Dollar/m ³)	Vermeidungs- kosten (Dollar pro Curie Ra-226)
Ambrosia Lake (Phillips), NMB	2,77	1,67	3,98	39.961	23,94	10,05	21.601
Belfield, ND	0,05	0,04					
Bowman, ND	0,07	0,08					
Burrell, PA			0,05				
Canonsburg, PA			0,15	47.591		327,61	475.910
Durango, CO	1,46	1,01	1,93	67.618	67,18	34,96	48.299
Edgemont, SD	1,80	0,88	2,29	5.411	6,15	2,36	10.268
Falls City, TX	2,47	1,11	4,43	56.254	50,66	12,69	44.052
Grand Junction, CO	2,07	1,50	3,39	504.048	336,29	148,82	
Green River, UT	0,16	0,11	0,29	23.633	222,07	81,34	787.767
Gunnison, CO	0,49	0,19	0,57	58.917	316,91	104,14	336.669
Lakeview, OR	0,12	0,04	0,72	33.325	764,45	46,37	793.452
Lowman, ID	0,18	0,05	0,10	18.434	388,58	185,47	1.536.167
Maybell, CO	1,60	0,52	2,68	63.528	122,95	23,74	139.622
Mexican Hat, UT	2,00	1,46	2,66	54.482	37,34	20,48	30.268
Monument Valley, AZ	1,00	0,10	0,71	24.126	244,37	33,93	
Naturita, CO	0,64	0,41	0,60	86.332	211,74	142,93	1.092.810
Rifle, CO H	2,45	2,12	2,87	119.165	56,19	41,45	43.523
Riverton, WY	0,96	0,50	1,37	49.664	99,58	36,29	
Salt Lake City, UT	1,53	1,23	2,14	94.165	76,74	43,99	60.752
Shiprock, NM	1,39	0,95	2,14	24.771	26,04	11,57	33.116
Slick Rock, COJ	0,57	0,34	0,66	50.428	146,76	76,69	288.160
Spook, WY	0,17	0,04	0,24	10.106	225,20	41,31	80.848
Tuba City, AZ	0,73	0,60	1,07	34.143	56,66	31,90	36.322
Summe	24,65	14,94	35,22	1.476.340			
Mittelwert					98,81	41,91	105.250

Quelle: <https://www.eia.gov/nuclear/umtra>

Die Gesamtmenge der nach US-Standards sanierten UMTRA-Projekte beläuft sich auf 35,22 Mio. m³ Tailingsvolumen mit Gesamtkosten von 1,476 Mrd. US-Dollars (2002).

4.4 Schlußfolgerung zur Verwendung von Gipskartonplatten zur Rekultivierung der Uranschlammteiche von Mydlovary

Als größtes Problem für das Gipsrecycling – zumindest in weiten Teilen Deutschlands – wird derzeit die Entsorgungsmöglichkeit in Tschechien angesehen. Dort können seit 2013 im Rahmen einer Rekultivierungsmaßnahme zur Sanierung von Schlammdeponien aus dem Uranbergbau auch gipshaltige Abfälle (u. a. recycelbare Gipskartonplatten) sowie auch biologisch abbaubare organische Abfälle zur Verfüllung angenommen werden. Die Vermischung dieser beiden Abfallarten kann zur Entstehung von toxischem Schwefelwasserstoff führen. Wie die zuvor kurz beschriebene Sanierungspraxis aus den USA deutlich macht, sind Gipskartonplatten auch aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften für eine Sanierung der Uranschlammteiche von Mydlovary völlig ungeeignet. Auch in Tschechien selbst wird deutliche Kritik an den Sanierungspraktiken in Mydlovary durch den verantwortlichen Staatskonzern geübt: „A group of local mothers formed an NGO, South Bohemian Mothers, to call for more responsible rehabilitation.“ (EUobserver 2016)

5 Handlungsempfehlungen /Ausblick /Forcierung

Angesichts der in den letzten Jahrzehnten in Deutschland stark gewachsenen Nachfrage nach Gips für Bauzwecke und der gleichzeitig für die Zukunft absehbaren Verminderung des Angebots von REA-Gips (langfristiger Ausstieg aus der Kohleverstromung) kommt der Förderung des Gipsrecyclings aus Gipskartonplatten eine strategische Bedeutung zu. Wie im Bericht an verschiedenen Stellen aufgezeigt wurde, ist gerade bei Gipskartonplatten aus dem Rückbau bzw. aus der Sanierung von Gebäuden die konsequente Umsetzung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes sowie der Gewerbeabfallverordnung und damit der europäischen Abfallhierarchie von großer Bedeutung.

Eine konsequente Trennung der anfallenden Gipskartonplatten von übrigen Baurestmassen ist aus zweierlei Gründen sehr relevant. Einerseits stellen gut separierte Gipskartonplatten aus Rückbau/Sanierung eine wertvolle Sekundärressource für Gips dar. Andererseits können Gipsanteile bei anderen Baurestmassen deren Verwertung massiv beeinträchtigen (zu hoher Sulfatgehalt).

Der Anfall von Gipskartonplatten aus Rückbau/Sanierung wird bereits in den nächsten 5 bis 10 Jahren deutlich ansteigen, da der Trockenbau, d. h. der Innenraumausbau in Gebäuden in den letzten Jahrzehnten immer stärker mit Gipskartonplatten vorgenommen wurde. Damit erhöht sich das Recyclingpotenzial an Gips in Deutschland stetig. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für erneute Investitionen in weitere Gipsrecyclinganlagen in Deutschland.

Um die wachsenden Potenziale an Recyclinggips aus anfallenden Gipskartonplatten zu erschließen ist ein effizientes Zusammenspiel zwischen den unterschiedlichen Akteuren und ihren Verbandsvertretungen notwendig. Hierzu zählen:

- ▶ Abbruchunternehmen
- ▶ Entsorgungswirtschaft
- ▶ Gipsrecycler
- ▶ gipsverarbeitende Industrie

sowie

- ▶ Bauherrn/Planer/Architekten
- ▶ Politik und zuständige Behörden
- ▶ Wissenschaft und Forschung

5.1 Rahmenbedingungen für das Gipskartonplattenrecycling

Die Untersuchungen von Öko-Institut, Prognos AG und BAM im Rahmen dieses Ufoplan-Vorhabens haben eindeutig gezeigt, dass auch in Deutschland bereits gute Ansätze in Richtung eines erfolgreichen Gipskartonplattenrecyclings zu erkennen sind. Geeignete Aufbereitungstechniken für Gipskartonplatten stehen zur Verfügung und werden durch die steigende Praxiserfahrungen der Anlagenbetreiber ständig verbessert. Im Jahresverlauf 2017 ist der Aufbau von weiteren Gipskartonrecyclinganlagen in Deutschland angekündigt (MUEG, LANUV 2016, KR 2016).

Der selektive Rückbau und die entsprechend getrennte Erfassung werden bereits vielfach praktiziert, entsprechende Informationsflüsse zwischen den Abbruchunternehmen und den Gipsrecyclern sind teilweise etabliert und müssen ausgeweitet werden. Diese Aktivitäten sollten unterstützt und weiter ausgebaut werden, da die Sicherstellung von möglichst reinen Fraktionen an Gipskartonplatten ein entscheidender Schlüssel für hohe Rückgewinnungsraten von Gips ist.

Der Einstieg der deutschen Gipsindustrie in den RC-Gips-Markt ist zumindest für die Herstellung von Gipskartonplatten zunächst grundsätzlich gelungen. Nun gilt es in den nächsten Jahren die Mengen an RC-Gips in Deutschland zu erhöhen. Wichtig ist hierbei, auch den technisch möglichen Anteil an RC-

Gips in den produzierten Gipskartonplatten weiter zu erhöhen. Hier können Erfahrungen z. B. aus skandinavischen Ländern, die über bereits umfassendere Recyclingstrukturen für Gips verfügen, wertvoll sein. In diesem Zusammenhang ist hervorzuheben, dass die Qualitätsanforderungen für den RC-Gips etabliert sind und die Recycler in Deutschland die Einhaltung der Parameter mit ihrer Aufbereitungstechnik realisieren können. Ein entsprechendes Qualitätsmanagement der Anlagen ist hierfür verantwortlich.

In den Recherchen und Gesprächen im Rahmen des Vorhabens wurde jedoch ebenfalls deutlich, dass noch eine Reihe von gravierenden Hemmnissen bestehen, die einer schnelleren Ausweitung des Recyclings von Gips aus Gipskartonplatten in Deutschland im Wege stehen.

So muss die Abbruch- und insbesondere die Entsorgungswirtschaft, die Logistik und Transport der Gipskartonplatten von den Baustellen übernimmt, noch viel stärker in das Verwertungssystem eingebunden werden, um die Vermischung der Gipskartonplatten mit anderen Bauabfällen soweit als möglich zu minimieren. Sowohl Vertreter von Behörden als auch Betreiber von Recyclinganlagen nennen als relevantes Hemmnis für das Gipsrecycling die in vielen Regionen bzw. Bundesländern zu niedrigen Deponiepreise für Bauabfälle. Damit sind Investitionen in ein hochwertiges Gipsrecycling starken Risiken ausgesetzt. Umgekehrt zeigen Erfahrungen aus anderen Ländern, dass höhere Annahmepreise seitens der Deponien bei den involvierten Wirtschaftsakteuren die Trenndisziplin bzgl. Gipskartonplatten erhöht. Angemessen hohe Deponiepreise sind folglich eine unbedingt notwendige Rahmenbedingung für ein erfolgreiches Recycling von Gipskartonplatten.

Als besonders gravierendes Hindernis für das Gipsrecycling stellt für weite Teile Deutschlands der Transport von rückgebauten Gipskartonplatten und anderen gipshaltigen Abfällen nach Tschechien dar. Die Gipsabfälle werden dort bei der Stabilisierung von Schlammteichen aus der Uranerzaufbereitung eingesetzt. Die Eignung der Gipskartonplatten für diesen Zweck kann aus physikalisch-technischer Sicht ausgeschlossen werden und ist zudem mit ökologischen Risiken (Gefahr der Bildung von Schwefelwasserstoffemissionen) verbunden. Durch diesen preislich sehr günstigen Weg der Entledigung von Gipskartonplatten werden die Vorgaben der europäischen Abfallhierarchie konterkariert und die Ausweitung eines hochwertigen Gipsrecyclings deutlich erschwert.

Schließlich sind teilweise - auch bei privaten - Bauherren noch Vorbehalte gegen Gipskartonplatten mit RC-Gipsanteilen vorhanden, die aus der Tatsache herrühren, dass das Material vorher „Abfall“ war. Teilweise bestehen hier auch Einwände gegen REA-Gips. Hier gilt es neben einem offensiven Qualitäts-sicherungsmanagement (Güteüberwachung) durch entsprechende Informationsoffensiven seitens der Hersteller entsprechende Bedenken zu entkräften und Akzeptanz für RC-Gips zu schaffen. Hier sind die Akteure der gipsverarbeitenden Industrie besonders gefordert.

5.2 Empfehlungen für Sammel- und Aufbereitungssysteme

Für die Erfassungs- und Aufbereitungssysteme lassen sich aus den Ergebnissen des Ufoplan-Vorhabens folgende Empfehlungen ableiten:

- Die Aufbereitungstechnik für Gipskartonplatten ist vorhanden und sollte durch kontinuierliche Forschung und Entwicklung weiter verbessert sowie angesichts der zu erwartenden Mengen kontinuierlich ausgeweitet werden. Hier sind entsprechende Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu empfehlen, die auf eine Erhöhung des technisch möglichen RC-Gipsanteils in Gipskartonplatten zielen.
- Entscheidend sind „trockene“ Sammlung und Transport der Materialien: dies führt zu geringeren Kosten und Umweltwirkungen bei der Trocknung und dem Transport des Materials. Die entsprechenden Systeme sind vorhanden. Den Akteuren der Abbruch-, Erfassungs-, Transport- und Aufbereitungssysteme wird daher dringend empfohlen, dass bei allen Schritten wie Lagerung, Transport usw. alle praktisch möglichen Vorkehrungen zum Schutz des Gipskartonplat-

tenmaterials vor Niederschlägen getroffen werden: dies umfasst geeignete Containerabdeckungen, überdachte Sammel- und Lagerplätze usw.

- Wichtig für eine möglichst gute Ökobilanz und auch für Kostenreduzierungen ist die Vermeidung von längeren Transportstrecken. Hier können dezentrale Sammelstellen für Gipskartonplatten auf kommunalen Wertstoffhöfen oder ähnlichen Stellen für die Annahme von Kleinmengen eine wichtige Rolle spielen. Daher wird den Kommunen empfohlen entsprechende Annahmestellen für Kleinmengen (wichtig: Schutz vor Niederschlägen) auf ihren Wertstoffhöfen einzurichten.

5.3 Mögliche Maßnahmen zur Förderung des Gipskartonplattenrecyclings

- Das Recycling von Gipskartonplatten sollte unbedingt durch Ausschreibungen der öffentlichen Hand unterstützt werden, die die Förderung des selektiven Rückbaus sowie die Verwendung von RC-Gipsprodukten bei Bauvorhaben unterstützen. Bereits bei der Planung von Rückbaumaßnahmen sollte auf die Erfassung von Gipskartonplatten geachtet werden, damit die Ausschreibung zum selektiven Rückbau entsprechend zielgerecht erfolgen kann. Es wird zudem empfohlen, dass die Kompetenzstelle für nachhaltige Beschaffung des Bundes für Gipskartonplatten eine Leitlinie für eine diskriminierungsfreie Ausschreibung von der öffentlichen Hand nach VOB, die nur nach bauphysikalischen Anforderungen, nicht aber auf der Herkunft des Materials abhebt, entwickelt. Ein wichtiges Beispiel und Vorbild hierfür ist das bereits veröffentlichte Leistungsblatt mit Mindestanforderungen u. a. zum Einsatz von Beton mit rezylierten Gesteinskörnungen (RC) im Hochbau.³⁶ Es wird empfohlen, dass die Allianz für Nachhaltigkeit, die sich aus Vertretern der Bundesressorts, der Länder und der kommunalen Spitzenverbände zusammensetzt, einen diesbezüglichen Auftrag an die Kompetenzstelle für nachhaltige Beschaffung (beim Beschaffungsamt des Bundesministeriums des Innern) erteilt um entsprechende Leitlinien für Gipskartonplatten zu entwickeln.
- Die Novelle der Gewerbeabfallverordnung mit ihrer Verpflichtung zum selektiven Rückbau und zur Getrennterfassung von gipshaltigen Bauabfällen stellt eine gute Chance für die Unterstützung der Separierung und Getrennthaltung sortenreiner Fraktionen von Gipskartonabfällen dar. Nach den Rückmeldungen aus dem Fachgespräch wurde deutlich, dass die Problematik stärker in der nachträglichen Vermischung liegt, d. h. oft wird selektiv rückgebaut, die Fraktionen danach jedoch wieder vermischt. Es wird daher empfohlen, vor allem das Verbot einer nachträglichen Vermischung offensiv zu formulieren und entsprechend im Vollzug umzusetzen.
- Die Unterbindung von preiswerten Scheinverwertungen auf technisch und ökologisch zweifelhaften Wegen, z. B. bei der Stabilisierung von Uranschlampteichen in Tschechien oder Verfüllung von Steinbrüchen mit Gipskartonmaterial durch die Politik und/oder Vollzugsbehörden ist eine entscheidende Stellschraube. Hier ist ebenfalls die Unterstützung der Gips- und gipsverarbeitenden Industrie sowie des Bau- und Abbruchgewerbes von hoher Bedeutung. Es gilt letztlich die europäische Abfallhierarchie zur Geltung zu bringen und Investitionen von Unternehmen zur hochwertigen Verwertung von Gipskartonplatten zu schützen. Es wird empfohlen bei der Abfallverbringung ökologische Kriterien stärker zu berücksichtigen wie auf dem Fachgespräch von Behördenseite gefordert. Kriterien wie „keine Schwefelwasserstoffemissionen“, „keine Sickerwasserbelastung“ usw. als Auflagen zur Verwertung sind hierfür dienlich für die Vollzugsbehörden. Weiterhin werden eine verstärkte Vernetzung und ein intensivierter Austausch der Vollzugsbehörden der Bundesländer etc. empfohlen, um vor allem auf dubiose Ab-

³⁶ Leitfaden Ressourceneffiziente Beschaffung, Anhang Leistungsblätter mit Mindestanforderungen, Teil 1 Rezyklierte Baustoffe

fallmakler, die Scheinverwertungen zu Dumpingpreisen anbieten, Hinweise zu geben und entsprechende ökologisch schädliche Praktiken zu unterbinden.

- Für die Etablierung weiterer Gipsrecyclinganlagen in Deutschland ist deren Wirtschaftlichkeit durch Vermeidung von zu niedrigen Deponiepreisen für Gipsabfälle zu unterstützen. Hier sind einerseits Bundesländer und Kommunen bzw. deren Unternehmen in Deutschland gefordert, die vorwiegend Eigentümer/Betreiber entsprechender Deponien sind, angemessen hohe Deponiepreise für knapper werdenden Deponieraum zu verlangen. Auf dem Fachgespräch wurde die Erwartung geäußert, dass aufgrund von Deponieraumverknappungen die Deponiepreise in Zukunft steigen werden und damit die Wettbewerbsfähigkeit der Gipsrecyclinganlagen verbessert wird. Falls diese Erwartungen sich in den nächsten Jahren nicht erfüllen sollten und mittelfristig keine entsprechenden Veränderungen der Deponiepreise in den entsprechenden deutschen Regionen feststellbar sind, sollte über die Einführung einer angemessenen Deponiesteuer in Deutschland nachgedacht werden. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass von den untersuchten Ländern in dieser Studie vier von sechs Staaten entsprechende Deponiesteuern in unterschiedlicher Höhe erheben und entsprechende positive Wirkungen für das hochwertige Recycling von Gips festgestellt werden können.
- Perspektivisch ist für eine möglichst gute Umweltbilanz des Gipsrecyclings in Deutschland die Etablierung einer höheren Zahl von Recyclinganlagen (ausgehend von den 2 Anlagen im Jahr 2016) für Gipskartonplatten sehr wichtig. Die Ergebnisse der Ökobilanz unterstreichen die Vorteilhaftigkeit möglichst kurzer Gesamtdistanzen für das Recyclingsystem (ab Baustelle zur Recyclinganlage, ab Recyclinganlage zum gipsverarbeitendes Werk und ab gipsverarbeitendes Werk zur Baustelle). Die entsprechenden Recyclinganlagen müssen mit der Zielstellung möglichst kurzer Gesamttransportdistanzen errichtet werden. Hier spielen Ballungsräume als potenziell große Sekundärrohstoffquelle einerseits und als potenziell großer Nachfrageraum für Gipskartonplatten eine sehr wichtige Rolle.

6 Literaturverzeichnis

- 2003/33/EG ENTSCHEIDUNG DES RATES vom 19. Dezember 2002 zur Festlegung von Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien gemäß Artikel 16 und Anhang II der Richtlinie 1999/31/EG
- Arendt 2001 Arendt, M., Kreislaufwirtschaft im Baubereich: Steuerung zukünftiger Stoffströme am Beispiel von Gips. (2001). Dissertation: Forschungszentrum Karlsruhe. 296 Seiten
- AS_01 Avfall Sverige AB: Swedish waste management, 2014
- AS_02 Avfall Sverige AB: Swedish waste management, 2016
- Beckert „Vergleich von Naturgips und REA-Gips“ Bericht und gutachterliche Stellungnahme über "Untersuchungen zur gesundheitlichen Beurteilung von Naturgips und REA-Gips aus Kohlekraftwerken im Hinblick auf deren Verwendung zur Herstellung von Baustoffen: VGB Forschungsprojekt 88, Beckert, J. et al., 1989
- BMLFUW Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
<https://www.bmlfuw.gv.at/greentec/abfall-ressourcen/abfall-altlastenrecht/awg-verordnungen/recyclingbaustoffvo.html>,
14.09.2016
- British Gypsum_01 British Gypsum: Plasterboard Recycling Service, 2009
- British Gypsum_02 British Gypsum: Informationen zum Gipskartonplattenrecycling, Homepage von British Gypsum:
<http://www.british-gypsum.com/about-us/sustainability/plasterboard-recycling>,
am 23.09.2016
- Bunzel_2016 „Industrielles Recycling von gipshaltigen Abfällen“, Bunzel, J.-M. und Wilczek, M., Vortrag auf der Konferenz „Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 3“ am 21.06.2016 in Berlin
- Burgy 2013 Jean-Yves Burgy (General Manager RECOVERING Sarl): GtoG Life + Project: first steps towards gypsum circular economy, 16th October 2013, Gypsum Forum, Brussels
- BV Gips_00 Bundesverband der Gipsindustrie e.V.: Ressourceneffizienz mit Gipsrecycling, Vortrag von Hr. Ortlieb und Hr. Demmich im Rahmen des Gipsrecyclingtag am 07.10.2014
- BV Gips_01 Bundesverband Gipsindustrie e.V.: Bundesverband stellt Recyclingkonzept vor Pressemitteilung BV Gips vom 24.07.2012
- BV Gips_02 Fachgespräch mit dem Bundesverband Gipsindustrie e.V. am 09.02.2016 in Berlin
- BV Gips_03 Bundesverband Gipsindustrie e.V.: Konzeption zum Gipsrecycling, 2013, Download 11.05.2016
<http://www.gips.de/2013/konzeption-zum-gipsrecycling/>
- BV Gips_04 Bundesverband Gipsindustrie e.V.: Erstprüfung für Recyclinganlagen, Qualitätsmanagement, Qualitätsanforderungen und Analyseverfahren,
Stand Mai 2016
- CML 2001 Life cycle assessment. An operational guide to the ISO standard; Centre of Environmental Science (CML), Leiden University, 2001
- CML 2002 Oers, L. van, A. de Koning, J.B. Guinée & G. Huppes: Abiotic resource depletion in LCA – Improving characterization factors for abiotic resource depletion as recommended in the new Dutch LCA Handbook. DWW report, 2002
- CML 2015 Database CML-IA. Institute of Environmental Sciences, Leiden University, Leiden, April 2015;
<http://www.cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>
- CCTC_01 Copenhagen Clean Tech Cluster: Denmark: We know Waste -Asset mapping of the Danish waste resource management sector,
- Deloitte_01 Deloitte SA. Member of Deloitte Touche Tohmatsu Limited: Construction and Demolition Waste management in Sweden, 2014
- DIN EN 197-1 DIN EN 197-1:2011-1, „Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement“, Deutsches Institut für Normung (DIN) ;Deutsche Fassung EN 197-1:2011

- DK_2013 Ministry of Environment and Food of Denmark, Environmental Protection Agency: Waste Statistic 2013, 2015
- DK_2014 Danish Waste Association: The Danish Waste Model, Vortrag von Nana Winkler im Rahmen der Danish Waste Model Tour im September 2014
- DK_2015 Environmental Protection Agency: Denmark without waste II, 2015
- EC 2013 European Commission (2013) Commission Recommendation on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of the products and organizations. Annex II: Product Environmental Footprint (PEF) Guide to Commission Recommendation on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of the products and organizations. Official Journal of the European Union Volume 56, L 124, 4.5.2013
- EC 2014 European Commission (2014): Environmental Footprint Pilot Guidance document, - Guidance for the implementation of the EU Product Environmental Footprint (PEF) during the Environmental Footprint (EF) pilot phase, v. 4.0, May 2014
- EBS_2006 European Business School (Andrea Pelzeter): Lebenszykluskosten von Immobilien, 2006
- EC_2000 European Commission, Radiation Protection 112 „Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials“, European Communities, 2000
- Envigo_2016 “Health Assessment on FDG Gypsum“, Studie, Itingen (Schweiz), 2016
- EUobserver 2016 Political failure inflames eastern EU's uranium problem, <https://euobserver.com/investigations/132453>
- Eurogypsum_01: Association of the European Gypsum Industry: REA-Gips – Qualitätskriterien und Analysemethoden(2012), <http://www.eurogypsum.org/library/gypsum-factsheets/> am 22.09.2016
- FG 2016 Fachgespräch zum Ufoplanvorhaben „Ökobilanzielle Betrachtung des Recyclings von Gipskartonplatten - FKZ 3715 343200“ am 25. Oktober 2016 im BMUB in Bonn.
- GaBi v6.0 Ökobilanz-Software und Datenbank GaBi v6.0, PE Europe GmbH; <http://www.pe-europe.com>
- GewAbf-VO Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (Gewerbeabfallverordnung – GewAbfV -Referentenentwurf 28.07.2016
- Goedkoop et al. 2009 Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., de Schryver, A., Struijs, J. & van Zelm, R., 2009. ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition. Report 1: characterisation.
- Goedkoop/Spriensma 1999 Goedkoop, M.; Spriensma, R.S., The Eco-indicator 99, a Damage oriented method for LCIA, Ministry VROM, the Hague 1999
- GPDA_01 Gypsum Products Development Association (GPDA): Ashdown Agreement Annual Report to 31 March 2015, 2015
- GRI_01 Gypsum Recycling International: Video zum Recyclingsystem http://gypsumrecycling.biz/15841-1_Thesystem
- GRI_02 Gypsum Recycling International: Paper Recycling http://gypsumrecycling.biz/16652-1_PaperRecycling
- GRI_03 Gypsum Recycling International: http://gypsumrecycling.biz/16536-1_Sofunktioniert/
- GRI_04 Gypsum Recycling International: http://gipsrecycling.se/16088-1_Locations/
- GRI_05 Gypsum Recycling International: http://gypsumrecycling.biz/15901-1_Powderspecifications/http://gipsrecycling.se/16088-1_Locations/
- GtoG_02 Gypsum to Gypsum (GtoG): DA.1-Report Inventory of current practices, 2013
- GtoG_03 Gypsum to Gypsum (GtoG): Roadmap and proposal for procedures for the implementation of a sustainable value chain, 2015
- Guinée et al. 2001 Guinée J.B., de Bruijn H., van Duin R., Gorrée M., Heijungs R., Huijbregts M.A.J., Huppes G., Kleijn R., de Koning A., van Oers L., Sleeswijk A.W., Suh S., de Haes H.A.U.: Life cycle assessment – an operational guide to the ISO standards, part 2b. Centre of Environmental Science (CML), Leiden University, Leiden, 2001
- Guinée et al. 2002 Guinée J.B. (Ed.); Gorrée M.; Heijungs R.; Huppes G.; Kleijn R.; Wegener Sleeswijk A.; Udo de Haes H.A.; de Bruijn J.A.; van Duin R & Huijbregts M.A.J. (2002): Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Stand-

- ards. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht (<http://www.leidenuniv.nl/cml/lca2/index.html>) Industrie plâtre_01 Les industries du plâtre: Le plâtre, une capacité naturelle et infinie 'à se recycler, 2013
- Download 09.05.2016: http://www.lesindustriesduplatre.org/files/infographie_platre.pdf
- Hauschild et al. 2008 Hauschild M., Huijbregts M., Joliet O., Margni M., MacLeod M., van de Meent D., Rosenbaum R.K., McKone T. (2008): Building a model based on scientific consensus for Life Cycle Impact: Assessment of Chemicals: the Search for Harmony and Parsimony. Environmental Science and Technology 42(19), 7032-7036 (<http://dx.doi.org/10.1021/es703145t>).
- Hauschild/Wenzel 1998 Hauschild, M.Z. and Wenzel, H.: Environmental assessment of products. Vol. 2 - Scientific background, 565 pp. Chapman & Hall, United Kingdom, ISBN 0412 80810 2, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA. USA, 1998
- Humbert et al. 2012 Humbert, S.; De Schryver, A.; Bengoa, X.; Margni, M.; Joliet, O. (2012): IMPACT 2002+ User Guide: Draft for version Q2.21, EPFL, Lausanne, Switzerland
- ILCD 2010 ILCD-Handbook: General guide for Life Cycle Assessment – Detailed guidance; European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability; 1st Edition, 2010 Industrie plâtre_02 Les industries du plâtre: Charte de Gestion des Déchets de Plâtre, 2008
- IPCC 2013 Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- ISO 2013 ISO/TS 14067:2013 Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification and communication. May 2013
- Klöpffer 2009 Klöpffer, W.; Grahl, B.: Ökobilanz (LCA): Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf; Wiley-VCH, Weinheim, 2009
- Köllner 2007 Köllner T. and Scholz R. (2007a) Assessment of land use impact on the natural environment: Part 1: An Analytical Framework for Pure Land Occupation and Land Use Change. In: Int J LCA, 12(1), pp. 16-23.
- Köllner 2008 Koellner T, Scholz RW (2008): Assessment of Land Use Impacts on the Natural Environment. Part 2: Generic Characterization Factors for Local Species Diversity in Central Europe. Int J LCA 13 (1) 32–48
- KR 2016 Kölner Rundschau: Vertrag mit Betreiber einer neuen Anlage abgeschlossen, 14.9.2016, <http://www.rundschau-online.de/region/koeln/recyclinganlage-in-pulheim-vertrag-mit-betreiber-einer-neuen-anlage-abgeschlossen-24740358>
- LANUV 2016 „Recycling von Gipskartonplatten“ LANUV-Info 34, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), Dezember 2016.
- LCS DK_2014 Legislative Council Secretariat: Waste management policy in Denmark, 2014
- Lehmann 2015 Lehmann, A., Bach, V., Finkbeiner, M.: Product environmental footprint in policy and market decisions: Applicability and impact assessment. In: Integrated Environmental Assessment and Management 2015 Vol: 11 (3) :417-424. doi: 10.1002/ieam.1658
- LfN 2011 Landesamt für Naturschutz Sachsen-Anhalt: Natura 2000 im Südharz. Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt. 48. Jahrgang. 2011
- MUEG Fachgespräch und Anlagenbesichtigung bei der MUEG Mitteldeutsche Umwelt und Entsorgung GmbH in Großpörsna am 08.01.2016
- OECD_2014 OECD: Environmental performance report: Sweden, 2014
- ÖNORM B3151 Austrian Standards Institute: ÖNORM B3151 Rückbau von Bauwerken als Standardabbruchmethode, Stand 01.12.2014
- PAS 109:2013 PAS 109:2013: Specification for the production of reprocessed gypsum from waste plasterboard, BSI (The British Standards Institution), ISBN 978 0 580 811340, Great Britain, 2013
- ProdCom Eurostat: Sold production, exports and imports (letzte Aktualisierung 30.10.2015), Daten heruntergeladen am 18.04.2016
- PSP_01 Plasterboard Sustainability Partnership: Homepage <http://www.plasterboardpartnership.org/pages/recycling.htm>

- REA-Gips_01 Kahnt, M., Stoffliche Verwertung von REA-Gips, Bericht von Energie und Umweltschutz Consult GmbH für Vattenfall Europe Mining AG, Projekt-Nr. PG 02-2012, Fürstenwalde, 17 Seiten, (2012)
- Recycling-Baustoffverordnung Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Pflichten bei Bau- und Abbruchtätigkeiten, die Trennung und die Behandlung von bei Bau- und Abbruchtätigkeiten anfallenden Abfällen, die Herstellung und das Abfallende von Recycling-Baustoffen (Recycling-Baustoffverordnung)
- Rivero et al. 2016 Ana Jiménez Rivero, Roger Sathre, Justo García Navarro: Life cycle energy and material flow implications of gypsum plasterboard recycling in the European Union. *Resources, Conservation and Recycling* 108 (2016) 171–181
- Rosenbaum et al. 2008 Rosenbaum R.K., Bachmann T.K., Gold L.S., Huijbregts M.A.J., Jolliet O., Juraske R., Koehler A., Larsen H.F., MacLeod M., Margni M., McKone T.E., Payet J., Schuhmacher M., Van de Meent D., Hauschild M.Z. (2008): USEtox-The UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in Life Cycle Impact Assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment* 13(7) 532-546 (<http://dx.doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>).
- Rosenbaum et al. 2011 Rosenbaum RK, Huijbregts MAJ, Henderson A, Margni M, McKone TE, Van de Meent D, Hauschild M, Shaked S, Li DS, Slone TH, Gold LS, Jolliet O (2011): USEtox human exposure and toxicity factors for comparative assessment of chemical emissions in Life Cycle Analysis: Sensitivity to key chemical properties. *International Journal of Life Cycle Assessment* Special issue USEtox, July 2011
- SCF_01 Swedish Construction Federation: Resource and waste guidelines during construction and demolition, 2015
- Schmid 2006 Schmid J., Hornberger M., Janusz G.: Gefährdungspotenzial durch Cyclopentan aus der Behandlung von VOC-Kühlgeräten. Im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg. 2006
- Sector 31_2014 Ministerie van Infrastructuur en Milieu: Sectorplannen 31 Gips
- StaBu 2003ff Ausgewählte Zahlen für die Bauwirtschaft, Statistisches Bundesamt (Destatis) ab 2003
- Steen 1999 Steen B. (1999) A Systematic Approach to Environmental Priority Strategies in Product Development (EPS) Version 2000 - Models and Data of the Default Method CPM report 1999:5
- STRABAG Fachgespräch und Anlagenbesichtigung bei der STRABAG in Deißlingen / Lauffen am 24.03.2016
- STRABAG_02 STRABAG: Gips-Recycling in Baden-Württemberg - ein Unternehmen steigt ein; Vortrag im Rahmen der Veranstaltung Ressourceneffizienz im Gipsrecycling, 07.10.2014
- STRABAG_03 STRABAG: STRABAG Umwelttechnik GmbH eröffnet Gipsrecycling-Anlage in Deißlingen, Presseinformation vom 24.11.2014
- Suarez et al. 2016 Sindy Suarez, Xavier Roca, Santiago Gasso: Product-specific life cycle assessment of recycled gypsum as a replacement for natural gypsum in ordinary Portland cement: application to the Spanish context. *Journal of Cleaner Production* 117 (2016): 150–159. doi:10.1016/j.jclepro.2016.01.044
- Švehla 2008 Švehla, J.: Die Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft des Gebietes der ehemaligen chemischen Uranerzaufbereitungsanlage MAPE-Mydlovary bei Vodnany, Südböhmische Universität in České Budějovice, Lehrstuhl für angewandte Chemie, Studentská 13, 2008.
- UFOPLAN_01 Weimann, K. et al., "Optimierung des Rückbaus/Abbruchs von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials sowie ökobilanzieller Vergleich von Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz inkl. Wiederverwertung" Technischer Abschlussbericht UFOPLAN: FKZ 3709 33 317 (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung und Bauhaus-Universität Weimar, Berlin, Weimar, 2012)
- UK_2013 Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA): Plasterboard Sustainability Action Plan - 2nd Annual Report 2013, 2013
- Vdz_2015 „Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2014“ vdz Verein Deutscher Zementwerke e.V., Düsseldorf, September 2015
- Vogt "Aufbereitung von Gipskartonplatten zu einem hochwertigen Einsatzstoff am Beispiel der Gips-Recycling-Anlage in Deißlingen", Vogt, R., Vortrag auf der Konferenz „Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 3“ am 21.06.2016 in Berlin

WRAP_2008 Waste & Resources Action Programme: Life Cycle Assessment of plasterboard. Quantifying the environmental impacts throughout the product life cycle, building the evidence base in sustainable construction. Banbury, UK: 2008

WRAP_DK Waste & Resources Action Programme: Plasterboard case Study International practice in plasterboard recycling Denmark, 2002

7 Anlagen

7.1 Fragenkatalog Recyclingunternehmen

I. Inputmaterial

Welche Mengen an Gipskartonplatten erhalten Sie jährlich (in t)?

Sind unter den Mengen auch Gipsfaserplatten?

- ▶ Ja (Anteil in %)
- ▶ Nein

Verarbeiten Sie auch Vollgipsplatten?

- ▶ Ja (Anteil in %)
- ▶ Nein

Woher stammt das Material?

- ▶ Produktionsabfälle (Anteil in %)
- ▶ Baumaßnahme (Anteil in %)
- ▶ Sonstiges (Anteil in %)

Wird das Material regional angeliefert?

- ▶ Ja
- ▶ Nein
- ▶ maximale Transportentfernung?

Wie wird das Inputmaterial angeliefert?

- ▶ sortenrein (Anteil in %)
- ▶ gemischt
- ▶ Abfallfraktion und Anteil in %
- ▶ Abfallfraktion und Anteil in %

Treten bei sortenrein angelieferten Inputmengen Verunreinigungen auf?

Werden Anlieferungen aufgrund von Verunreinigungen auch abgelehnt?

Wie gut ist der Kontakt zu Abbruchunternehmen? Bestehen hier ggf. Abstimmungen bzgl. des angelieferten Materials?

II. Technologie/Verfahren

Erläuterung Verfahren

Welche verfahrenstechnischen Herausforderungen gibt es?

Welche Störstoffe beeinflussen das Recycling negativ und wie wirken sich diese aus?

Sind mit Flammschutzmitteln behandelte Gipskartonplatten eine Herausforderungen beim Recycling?

Können diese Zusätze zu 100% durch das Recycling entfernt werden oder verbleibt ein Teil im RC-Gips?

Können Sie uns Ihre Input/Output-Bilanz zur Verfügung stellen?

Gibt es Unterschiede bei dem Recycling von Gipskarton- und Gipsfaserplatten?

Wie sichern Sie die gleichbleibende Qualität des RC-Gipses?

Wie beurteilen Sie die Einführung einer getrennten Erfassung von Gipskartonplatten auf der Baustelle?

Wie beurteilen Sie die mobilen Anlagen, die vor allem in Nordeuropa zum Einsatz kommen?

III. Qualitäten

Welche Qualitäten erreicht das Outputmaterial?

- ▶ Feuchte
- ▶ Sulfatgehalt
- ▶ Anteil Papier in %
- ▶ Weitere

Gibt es unterschiedliche Qualitäten in Abhängigkeit vom Inputmaterial? (z. B. Gipskarton- vs. Gipsfaserplatte)

Wie unterscheidet sich der RC-Gips von Naturgips?

Können im RC-Gips noch Flammschutzhemmer enthalten sein?

Wie wirken sich diese ggf. auf Vermarktung und den Einsatz von RC-Gips aus?

(Stichwort: max. 25% RC-Gips Einsatz aus Brandschutzgründen vorgegeben)

III. Transporte und Transportlogistik

Mit welchen durchschnittlichen Transportentfernungen rechnen Sie?

- ▶ bei der Anlieferung
- ▶ bei der Gipsauslieferung

Welche Transportkosten kalkulieren Sie ggf. ein bzw. bis zu welcher Transportentfernung ist das Recycling aktuell wirtschaftlich?

Wie kann aus Ihrer Sicht das Gipsrecycling durch Verbesserungen bei der Sammel- und Transportlogistik unterstützt werden (bessere Trennung, sinnvollere Transportbehältnisse)?

V. Markt und Preise

Welche Annahmepreise für das Recycling von Gipskartonplatten haben Sie?

Welche Kosten fallen für das Recycling einer t Gipskartonplatte an?

Welche Kostenunterschiede gibt es zwischen gemischt angelieferten Mengen und "sortenrein" angelieferten Mengen?

Gibt es aktuell Abnehmer für den RC-Gips?

- ▶ Ja
- ▶ Zementindustrie (Menge in t)
- ▶ Gipskartonplattenhersteller (Menge in t)
- ▶ Gipshersteller (Menge in t)
- ▶ sonstige Industrie

- ▶ Nein

Sind Ihre Abnehmer regional oder eher überregional?

Welche Preise können Sie für den RC-Gips am Markt erzielen?

Welche Konkurrenzwege gibt es aktuell?

- ▶ Deponie
- ▶ Welche?
- ▶ Ausland
- ▶ Land Entsorgungsweg
- ▶ andere Recycler
- ▶ sonstige

Ist die Haldenrekultivierung in der Tschechei ein starker Konkurrent für Sie?

Wie beurteilen Sie hier die weiteren Entwicklungen?

VI. Entwicklung

Wie hat sich das Aufkommen in den letzten Jahrzehnten (seit 1970) entwickelt?

Wie schätzen Sie die zukünftige Entwicklung des Aufkommens von Gipskartonplatten ein?

Sehen Sie in dem weiteren Ausbau der Recyclinganlagen in Deutschland (z. B. Hamburg) eine wachsende Konkurrenz?

Wo sehen Sie Unterstützungsbedarf beim Recycling-Kreislauf?

7.2 Beteiligte Unternehmen im Gypsum to Gypsum -Projekt

Universitäten

- ▶ The National Technical University of Athens (NTUA), Griechenland
- ▶ Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Spanien

Labore

- ▶ Fundación Gomez Pardo (LOEMCO), Spanien

Berater

- ▶ Recovering SARL, Frankreich

Bau-/Abrissunternehmen

- ▶ Occamat, Frankreich
- ▶ Cantillon Ltd, Vereinigtes Königreich
- ▶ Recycling assistance BVBA, Belgien
- ▶ Pinault & Gapaix, Frankreich
- ▶ KS Engineering, Deutschland

Recycling-Unternehmen

- ▶ New West Gypsum Recycling Benelux BVBA, Belgien
- ▶ Gips Recycling International A/S (GRI), Dänemark

Gipsverarbeitende Industrie

- ▶ Placoplâtre SA (Saint Gobain Group), Frankreich
- ▶ Siniat SA, Frankreich
- ▶ Siniat Ltd, Vereinigtes Königreich
- ▶ Knauf Gips KG, Deutschland
- ▶ NV Saint Gobain Construction Products Belgium SA (Gyproc), Belgien

7.3 Annahmen für die Ermittlung des theoretischen Inlandsverbrauchs an Gipskartonplatten in Deutschland für den Zeitraum 1970 bis 2030

Allgemeine Hinweise:

1970 bis 2030 basiert auf einer Modellrechnung, die aufgrund der unterschiedlich verfügbaren Datenquellen für drei unterschiedliche Zeiträume (1970 – 1994; 1995 – 2014; 2015 – 2030) angepasst wurde. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2-5 im Kapitel 2.3.2 dargestellt.

Einheitlich für alle Zeiträume wurden die folgenden vereinfachenden Annahmen getroffen:

- ▶ Lagerbestände wurden nicht berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass die im Jahr produzierten Gipskartonplatten im gleichen Jahr verwendet wurden.
- ▶ Der beim Einbau anfallende Verschnitt wurde erst in einem der nachfolgenden Berechnungsschritte des Modells (Details und Annahmen siehe Kapitel 2.3.1) berücksichtigt und abgezogen.
- ▶ Als Berechnungsintervall wurden 5 Jahre gewählt.
- ▶ Alle Berechnungen wurden für die weiteren Berechnungen zum potenziellen Abfallaufkommen mit dem Umrechnungsfaktor von 8,5 kg/m² Gipskartonplatte umgerechnet.

Zeitraum 1995 bis 2014:

- ▶ Der Zeitraum 1995 – 2014 ist aufgrund der verfügbaren Daten die Ausgangsdatenlage für die Modellrechnung insgesamt. Mit den verfügbaren Daten kann der Verbrauch an Gipskartonplatten unter den vorab genannten Annahmen vergleichsweise gut beschrieben werden.
- ▶ Für die Ermittlung des theoretischen Inlandsverbrauchs wurde die ProdCom-Statistik (ausschließlich Code 23621050³⁷ in Mio. m²) bereinigt um Im- und Exporte zu nutzen.

Zeitraum 1970 bis 1994 (Rückrechnung):

- ▶ Die Modell-basierte Rückrechnung des theoretischen Inlandverbrauches (1995 - 2014) an Gipskartonplatten berücksichtigt neben den Produktionsdaten für den Zeitraum 1995-2014 insbesondere statistisch verfügbare Daten zur historischen Entwicklung der Bautätigkeit (Neubau) für Wohn- und Nichtwohngebäude sowie zu Renovierungs- und Sanierungstrends auf der Grundlage des Mikrozensus (Mikrozensus: In Deutschland wird die statistische Erhebung durch die Statistischen Landesämter durchgeführt und vom Statistischen Bundesamt koordiniert und ausgewertet. An der Befragung sind jedes Jahr 1 % der Privathaushalte in Deutschland beteiligt)
 - Destatis: Gebäude und Wohnungen, Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden, Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden, Lange Reihen ab 1969 – 2015, Jahr 2015
 - Destatis: Bauen und Wohnen - Baugenehmigungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden nach überwiegend verwendetem Baustoff, Lange Reihen ab 1980, Jahr 2015
 - Destatis: Bauen und Wohnen - Baugenehmigungen / Baufertigstellungen, Lange Reihen z.T. ab 1949; Jahr 2014
 - Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR): Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau, 2014
 - Ergänzend wurden für die Analysen sowie die Datenaufbereitung und Weiterverarbeitung im Modell weitere Sekundärquellen ausgewertet.

³⁷ Güterkategorie der ProdCom-Statistik: Platten, Tafeln, Dielen, Fliesen und ähnliche Waren aus Gips oder aus Mischungen auf der Grundlage von Gips die mit Papier oder Pappe überzogen oder verstärkt sind (dazu gehören, Gipskartonplatten, Gipsfaserplatten und Gipswandbauplatten)

- Aufgrund der begrenzten Datenlage konnte die Rückrechnung nur als Modellrechnung durchgeführt werden. Mit Hilfe der Weibull-Verteilung wurde eine vereinfachte Annahme eines mittleren linearen Bestandszuwachses ermittelt.
- Durch die gewählte Methodik, Ableitung eines mittleren linearen Bestandszuwachses auf Basis der Weibull-Verteilung, stellen die Rückrechnungen lediglich eine orientierende Größenordnung dar, da eine hohe Abhängigkeit von den Parametern Verweilzeit und Ausfallrate besteht. Alle Daten sind entsprechend als „orientierende Größe“ zu interpretieren.

Zeitraum 2015 bis 2030 (Fortschreibung):

- ▶ Der theoretische Inlandsverbrauch an Gipskartonplatten von 2015 bis 2030 basiert auf einer Fortschreibung des theoretischen Inlandverbrauches (1995-2014) an Gipskartonplatten auf Basis der Wohnungsmarktprognose und der zukünftigen Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen im Baubereich (Neubau, Renovierung und Sanierung) sowie der Entwicklung der Baubranche insgesamt aus dem Prognos-Regionalmodell (REGINA).
- ▶ Folgende Studien wurden neben dem Prognos-eigenen Modell genutzt:
 - Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung: Wohnungsmarktprognose 2030 (aus BBSR Analysen kompakt 07/2015), 2015
 - Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (BBS): Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine und Erde-Industrie bis 2035 in Deutschland, 2016
- ▶ Der Fortschreibung liegen u. a. die folgenden zusätzlichen Annahmen zugrunde:
 - Das Import-Export-Saldo wurde vereinfacht konstant gehalten, d. h. eine Entwicklung in diesem Bereich nicht berücksichtigt
- ▶ Für die Berechnung des zukünftigen theoretischen Inlandsverbrauchs an Gipskartonplatten wurden vereinfachend die folgenden Annahmen auf Basis der genannten Quellen genutzt:
 - Jährliche Steigerung bis 2020 zwischen 1,5 bis 2 %
 - ab 2020: jährlicher Anstieg von 1%