

Gutachten:
**"Umweltverträgliche Alternativen
zum Abbau von Naturgips"**

Für den
**Bund für Umwelt und Naturschutz
Deutschland e.V. – BUND**

Berlin, 20.09.2020

Autor:

Holger Alwast
- Geschäftsführer -
Alwast Consulting

Büro Berlin:
Alwast Consulting
Wolburgsweg 36c
13589 Berlin
Telefon +49 30 37 40 29 31
Mobil: +49 179 44 99 856

alwastholger@gmail.com
www.alwcon.com

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
Executive Summary	10
1. Aufgabenstellung des Gutachtens	13
1.1 Grundsätzliche Vorgehensweise für das Gutachten	13
1.2 Inhaltliche Schwerpunkte des Gutachtens	13
2. Ist-Analyse der Stoffströme von Naturgips/ Anhydrit und REA-Gips in Deutschland	15
2.2 Aufkommen an REA-Gips	17
2.3 Verwendung von Naturgips/ Anhydrit und von REA-Gips	18
2.3.1 Situation im Jahr 2010	18
2.3.2 Situation im Jahr 2013	19
2.3.3 Situation im Jahr 2016	19
2.3.4 Situation im Jahr 2018	20
2.3.5 Hauptverwendung von Naturgips/ Anhydrit in der Gipsindustrie der EU28 zwischen 2013 bis 2018	20
2.3.6 Hauptverwendung von REA-Gips in der Gipsindustrie der EU28 zwischen 2013 bis 2018	21
2.4 Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse zu Gewinnung und Verwendung von Gips in Deutschland und deren Export	24
3. Rückgang von REA-Gips aufgrund des Kohlekompromisses von Bundesregierung und Bundesrat bis zum Jahr 2038	25
3.1 Ausgangsvoraussetzungen/ Ist-Situation	25
3.2 Politische Rahmenbedingungen	26
3.3 Auswirkungen des Kohleausstiegsgesetzes auf die großen Energieversorgungsunternehmen	29
3.4 Szenarien zur REA-Gipserzeugung bis zum Jahr 2038	30
3.4.1 Mindestannahmen nach dem Kohleausstiegsgesetz bis zum Jahr 2038	31
3.4.2 Marktszenario für ein schnelleres Herunterfahren der ineffizienten Kohlekraftwerksblöcke bis zum Jahr 2030 bzw. 2035	32
4. Gipsherstellung aus Gipsstein und Anhydritstein	34
5. Verfügbarkeit von Gips/ Anhydrit/ REA-Gips auf Halden	37
6. Importpotentiale von REA-Gips in der Zukunft	40

7.	Gipsrecycling	43
7.1	Aktueller Stand des Gipsrecycling in Deutschland	43
7.2	Nachhaltigkeit des Gipsrecycling in Deutschland	44
7.3	Wirtschaftlichkeit des Gipsrecycling in Deutschland	46
7.4	Künftige Perspektiven für das Gipsrecycling	47
7.5	Schritte zur verbesserten Kreislaufführung von Gipsabfällen	47
7.6	Fazit für das Recycling von Gipsabfällen in Deutschland	48
8.	Gipse aus der chemischen Industrie	50
8.1	Gips aus der Flusssäureherstellung	50
8.2	Gips aus der Zitronensäureherstellung	51
8.3	Gips aus der Milchsäure- oder Weinsäureherstellung	51
8.4	Gips aus der Aluminiumoxidherstellung („Rotschlammgips“)	52
8.5	Gips aus der Titandioxidherstellung („Titandioxidgips“)	52
8.6	Gips aus der Phosphorsäureherstellung („Phosphorgips“)	54
8.6.1	Ausgangssituation	54
8.6.2	Potenzialabschätzung für eine künftige Phosphorgipsnutzung	58
9.	Substitute zur Gipsverwendung im Bauwesen	59
9.1	Gipswandbauplatten	63
9.2	Holzbauplatten	64
9.3	Lehmbauplatten	66
9.4	Strohbauplatten	67
9.5	Platten aus sonstigen nachwachsenden Rohstoffen	67
9.6	Photovoltaikplatten als Wandbauplatten	68
9.7	Ökobilanzdaten für ausgewählte Baustoffe/ Dämmstoffe	69
10.	Naturgipsausstiegsszenarien für die nächsten 25 Jahre	70
10.1	Grundannahmen für die Ausstiegsszenarien bis 2045	73
10.2	Pessimistisches Ausstiegsszenario bis zum Jahr 2045	76
10.3	Optimistisches Ausstiegsszenario bis zum Jahr 2045	78
10.4	Gesamtbewertung der Annahmen für die nächsten 25 Jahre	80
11.	Zusammenfassung	83
12.	Literaturverzeichnis	87
13.	Anhang	98

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: REA-Gipserzeugung deutscher Kohlekraftwerke von 2000 bis 2016.....	25
Abbildung 2: Theoretischer Wertstoffkreislauf des Gipses [Poerschke, et.al., 2018].....	49
Abbildung 3: Verfahrensalternativen zur Herstellung von Titandioxid).....	53
Abbildung 4: Erweiterung der Abfallhierarchie zu einer Kreislaufwirtschaftshierarchie.....	70
Abbildung 5: Entwicklung der Gipsmengen für Verbrauch und Nutzung im Zeitraum zwischen 2019 und 2045 im pessimistischen Ausstiegsszenario.....	81
Abbildung 6: Entwicklung der Gipsmengen für Verbrauch und Nutzung im Zeitraum zwischen 2019 und 2045 im optimistischen Ausstiegsszenario.....	82

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Gewinnung von Naturgips/ Anhydrit aus rund 50 Steinbrüchen und zehn Bergwerken in Deutschland zwischen 2010 und 2019 (Mengenangaben in Mio. Mg/a) – Quellen: verschiedene (für die jeweiligen Jahre: siehe die Fußnoten unter der Tabelle).....	15
Tabelle 2:	Im Abbau befindliche Abbaustätten im Südharzer Zechsteingürtel (Flächenangaben in Hektar; wo bekannt sind die Unternehmen verzeichnet).....	16
Tabelle 3:	Aufkommen an REA-Gips aus den Stein- und Braunkohlekraftwerken in Deutschland zwischen 2000 und 2019 (Mengenangaben in Mio. Mg/a) – Quellen: verschiedene (siehe die Fußnoten unter der Tabelle).....	17
Tabelle 4:	Verwendungszweck und Anforderungen an Naturgips, Anhydrit und REA-Gips in typischen Produkten aus ungebranntem oder gebranntem Gips – Quelle: Reimann & Stein, 2019 [Reimann, et.al., 2019].....	18
Tabelle 5:	Inlandsproduktion von Produkten aus gebranntem Gips in der EU28 zwischen den Jahren 2013 und 2018 (Angaben in Mg/a) – Quelle: EUROSTAT.....	20
Tabelle 6:	Inlandsproduktion von Gipsbauplatten (26.62.10 - Tafeln, Platten, Paneele, Fliesen, ähnliche Artikel aus Gips/ Zusammensetzungen auf der Basis von Gips, nur mit Papier/ Pappe bekleidet/verstärkt, ausgenommen Artikel, die mit Gips agglomeriert sind, verziert) in der EU28 zwischen 2013 und 2018 (in Mio. m ² /a) – Quelle: EUROSTAT..	22
Tabelle 7:	Inlandsproduktion, Exporte und Importe von Gipsbauplatten (Code 26.62.10) in der EU28 (in Mio. m ² /a) – Quelle: EUROSTAT.....	23
Tabelle 8:	Gewinnung und Verwendungszweck von Naturgips, Anhydrit und REA-Gips (typische Produkte aus ungebranntem oder gebranntem Gips, Verwendung in der Zementindustrie) sowie sonstige Nutzungen und Export.....	24
Tabelle 9:	Entwicklung der Stein- und Braunkohleverstromung zwischen 2000 und 2019 – Quelle: AG Energiebilanzen [AG Energiebilanzen, 2020].....	25
Tabelle 10:	Staffelung der spätesten Zeitpunkte der Stilllegung der Braunkohlekraftwerksblöcke der vier Großkraftwerksbetreiber gemäß Kohleausstiegsgesetz – Quelle: Drucksache des Bundesrates 392/20 vom 03.07.2020 (Kohleausstiegsgesetz), beruhend auf den Drucksachen der Bundesregierung 19/17342, 19/18472 (Gesetzentwurf) vom 24.02.2020.....	30
Tabelle 11:	Ergebnisse der REA-Gipsmengen im Szenario 1 – Mindestannahme der Entwicklungen bis 2038 nach dem Kohleausstiegsgesetz – (Angaben in Mg/a), eigene Annahmen und Einschätzungen im Vergleich zu den Ergebnissen der Kohlekommission ([Kommission WSB, 2019], veröffentlicht in [BGR, 2019]).....	32
Tabelle 12:	Ergebnisse der REA-Gipsmengen im Szenario 2 – Marktszenario der Entwicklungen bis 2038 in Anlehnung an das Kohleausstiegsgesetz – (Angaben in Mg/a), eigene Annahmen und Einschätzungen, gestützt auf Analysen/ Prognosen zum Strommarkt von Agora Energiewende [Agora Energiewende; 2020a, 2020b, 2020c, 2020d] sowie des	

DIW [BUND/DIW, 2020], [iea, 2020] im Vergleich zu den Ergebnissen der Kohlekommission.....	33
Tabelle 13: Aktive Abbaubetriebe in der Planungsregion Nordthüringen [Reyer, 2017].....	35
Tabelle 14: Naturgips- und Anhydritförderung in Deutschland, aufgeschlüsselt nach Bundesländern in Mio. Mg pro Jahr (Zeitraum 2009 – 2013) [Reyer, 2017] und im Rahmen des Gutachtens recherchierte, aktuellere Daten für 2017/ 2018.....	35
Tabelle 15: Zwischenlagerung von REA-Gips aus den Stein- und Braunkohlekraftwerken in Deutschland zwischen 2000 und 2019 (Mengenangaben in Mio. Mg/a) – Quelle: VGB PowerTech e.V. (aufgelistet in [Reyer, 2017] für 2000 bis 2016 sowie eigene Website von VGB PowerTech e.V.).....	37
Tabelle 16: Typische Zusammensetzung deutscher Kalihaden.....	38
Tabelle 17: Zusammensetzung einzelner Rückstandshalden im Werra-Fulda-Kali-Revier bzw. in Thüringen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt.....	38
Tabelle 18: Struktur der Stromerzeugung aus Stein- und Braunkohle innerhalb der EU28-Staaten – Kapazitäten, Ausstiegjahre, Durchschnittstagespreise und CO ₂ -Intensität – Quelle: Agora Energiewende, ENTSO-E, EEA für das Jahr 2019.....	40
Tabelle 19: REA-Gipsproduktion in den Kraftwerken sowie Gipsverbrauch zur jeweiligen Gesamtproduktion von Gipsbauplatten (Code 26.62.10) in den deutschen Nachbarländern – Quelle: VGB Power Tech, EUROSTAT, eigene Einschätzungen.....	41
Tabelle 20: Alternative Substitute für traditionelle Materialien im Hochbau.....	61
Tabelle 21: Wärmedämmstoffe/ Baustoffe und ihre Eigenschaften (Quellen: [FNR, 2017], [IpeG-Institut, 2012]).....	62
Tabelle 22: Entwicklung der jeweiligen Gipsmengen im Zeitraum zwischen 2018/ 2019 und 2045 im pessimistischen Ausstiegsszenario (alle Angaben in Mio. Mg/a mit Ausnahme der Zeile „Erreichungsquote“ in %).....	77
Tabelle 23: Entwicklung der jeweiligen Gipsmengen im Zeitraum zwischen 2018 und 2045 im optimistischen Ausstiegsszenario (alle Angaben in Mio. Mg/a mit Ausnahme der Zeile „Erreichungsquote“ in %).....	79
Tabelle 24: Ergebnisse der REA-Gipsmengen im Szenario 1 und Szenario 2.....	84

Abkürzungsverzeichnis

AbfRRI	Abfallrahmenrichtlinie
ADPE	Potenzial für die Verknappung von abiotischen nicht fossiler Ressourcen
ADPF	Potenzials für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe
AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Berlin
AGEE-Stat	Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik
AP	Versauerungspotenzial von Boden und Wasser
AVV	Abfallverzeichnis-Verordnung
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BIM	Building Information Modeling
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BMI	Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CEN	Comité Européen de Normalisation (Europäisches Komitee für Normung)
CEN/TC	Technical Committee (Technisches Komitee im CEN)
DGNB	Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EN	Europäische Norm
EnEV	Energieeinsparverordnung
EP	Eutrophierungspotenzial
EU-BauPVO	EU-Bauproduktenverordnung

FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow
GWP	Globales Erwärmungspotenzial
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LCA	Life-Cycle-Assessment
LEP	Landesentwicklungsprogramm
MVA	Müllverbrennungsanlage
NORM4Building	Datenbank für die radiologische Beurteilung
ÖKOBAUDAT	Informationsportal Nachhaltiges Bauen
öRE	öffentlich-rechtlicher Entsorger
ODP	Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht
PKR	Produktkategorieregeln
POCP	Potenzial der Bildung für troposphärisches Ozon
ProgRess	Deutsches Ressourceneffizienzprogramm
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (EU-Chemikalienverordnung)
REE	Metalle aus der Gruppe der Seltenen Erden
SDG	Nachhaltige Entwicklungsziele (17 SDG's)
Spezialgipse	Stuck-, Modell-, Hartform-, Dental-, Beton-, Putz- oder Marmorgips
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
StBA	Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
TENORM	Technologisch verbessertes, natürlich vorkommendes radioaktives Material
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
UNECE	Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (auch UN/ECE oder kurz ECE)
VDZ	Verein Deutscher Zementwerke e.V.
ZWS	zirkulierende Wirbelschicht

Executive Summary

Es wurde ein Gutachten erstellt, in dem alle bekannten Alternativen zum übertägigen Naturgipsabbau in Deutschland und der Südharzregion benannt, auf ihre Tauglichkeit untersucht, deren Stoffströme für Deutschland bilanziert und anschließend bewertet wurden. Im Rahmen des Gutachtens wurde ein Zeitraum bis zum Jahr 2045 in Zukunftsszenarien und Prognosen abgebildet.

Aktuelle Gipserzeugung und -nutzung im Jahr 2018/ 2019

Die in Deutschland gewonnene **Menge an Naturgips/ Anhydrit** betrug im Jahr 2018 rund **4,55 Mio. Mg** [BGR, 2019].

Darüber hinaus fielen in den **Braun- und Steinkohlekraftwerken** im Jahr 2017 (Daten aus 2018/ 2019 liegen bisher mit rd. 5 Mio. Mg für 2019 nur als Abschätzungen vor) zusammen 6,42 Mio. Mg REA-Gips an, von denen knapp 5,98 Mio. Mg, v.a. zur Produktion von Gipswandbauplatten direkte Verwendung fanden [BGR, 2019]. Somit ergibt sich eine Gesamtnutzung von **Naturgips/ Anhydrit sowie REA-Gips** im Inland von geschätzten knapp 10 Mio. Mg/a jeweils für die vergangenen zwei Jahre.

REA-Gipserzeugung und -nutzung bis zum Jahr 2038

Auf der Basis des am 3. Juli 2020 vom Bundestag und Bundesrat beschlossenen Kohleausstiegsgesetz [Kohleausstiegsgesetz, 2020], der auf dem Entwurf der Bundesregierung vom 24.2.2020 beruht, wurden in diesem Gutachten **zwei Szenarien** zu den Auswirkungen des Kohleausstiegsgesetzes bis zum Jahr 2038 auf den künftigen **REA-Gipsanfall** erarbeitet, mit:

- Mindestannahmen nach dem Kohleausstiegsgesetz bis zum Jahr 2038 (Szenario 1),
- einem Marktszenario für ein schnelleres Herunterfahren der ineffizienten Kohlekraftwerksblöcke bis zum Jahr 2030 bzw. den Jahren 2035/2038 (Szenario 2).

Im Szenario 1 sinkt das aktuelle REA-Gipsaufkommen von 5,0 Mio. Mg (2019), über 3,57 Mio. Mg (2025) sowie 2,15 Mio. Mg (2030) und 0,65 Mio. Mg (2038) ab dem Jahr 2039 auf null.

Im Szenario 2 sinkt das aktuelle REA-Gipsaufkommen von 5,0 Mio. Mg (2019), über 2,7 Mio. Mg (2025) sowie 1,1 Mio. Mg (2030) und 0,2 Mio. Mg (2035) ab dem Jahr 2036 auf null.

Im Vergleich hierzu haben die Zukunftseinschätzungen der Kohlekommission der Bundesregierung 3,8 Mio. Mg (2025), 2,7 Mio. Mg (2030) sowie 1 Mio. Mg (2035) prognostiziert [BGR, 2019].

Zwischenlagerung von Naturgips oder REA-Gips

An **Naturgips** und **Anhydrit** sind keine Mengen bekannt, die in den letzten 10 bis 20 Jahren deutschlandweit bewusst für eine spätere Nutzung zwischengelagert worden sind. In Deutschland wurden in den letzten 20 Jahren nach eigenen Einschätzungen zwischen 14 bis 16 Mio. Mg aber erhebliche Mengen an **REA-Gips** auch zwischengelagert (10 Mio. Mg bis 2016 auf Basis von [Reyer, 2017]).

Aus den neuen Verfahren der Rückgewinnung von Naturgips aus der **Abraumhaldenaufarbeitung** stehen für die nächsten 10 bis 25 Jahre zudem mehrere Millionen Mg an Gips zur Verfügung [Pörschke, et.al., 2018]. Somit liegt die insgesamt nutzbare Menge an **Natur- und REA-Gips** aus der Zwischen- und Abraumlagerung bei ca. **20 Mio. Mg** oder sogar darüber.

Künftig mögliche Importe von REA-Gips nach Deutschland

Bei der aktuellen **REA-Gipserzeugung** und -verwendung in den **Nachbarländern** zu Deutschland ergeben sich nur für **Polen** und **Tschechien** höhere REA-Gipsmengen aus den dortigen

Kohlekraftwerken im Vergleich zum abgeschätzten jeweiligen Inlandsverbrauch in der Bauindustrie. Somit steht aktuell für einen direkten REA-Gipsexport nach Deutschland eine in den kommenden Jahren jedoch auch dort stetig geringer werdende, nicht genau bezifferbare und daher nur grob abzuschätzende Menge an REA-Gips theoretisch zur Verfügung [Agora Energiewende, 2020d].

Gewinnung und Nutzung von Recyclinggips

Ein zunehmend an Bedeutung gewinnendes Thema kommt dem **Recycling von Gipsabfällen** zur Gewinnung von „**Recyclinggips**“ zu. Das langfristig bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus verfügbaren Potenzial aus dem Recycling von Gipsabfällen reichen von konservativ eingeschätzten 0,5 Mio. Mg pro Jahr an Recyclinggips bis zu einer Menge von 1,1 Mio. Mg [UBA, Buchert, 2017] bis maximal 2 Mio. Mg pro Jahr an Recyclinggips für die nächsten Jahrzehnte ([Accenture/ Ökopol, 2017], [EUWID, 2020b]). Für solche Mengenszenarien sind jedoch für die Zukunft unterstützend sowohl die planerischen als auch die rechtlichen und organisatorischen Voraussetzungen zu schaffen (so u.a. [BMI, 2019], [IÖR/ Intecus, 2020], [320Grad, 2020], [KNBau, 2018]).

Gewinnung von Gips aus der chemischen Industrie und von Phosphorgips

Aus der chemischen Industrie ergeben sich drei Herkunftsbereiche, in denen Gipse für eine weitere industrielle Nutzung im Bauwesen oder in sonstigen Bereichen zur Verfügung stehen:

- **Anhydrit** aus der **Flusssäureproduktion**: ca. 400.000 Mg/a,
- **Gips** aus der **Zitronensäureproduktion**: ca. 50.000 Mg/a,
- **Gips** aus der ausländischen **Phosphorsäureherstellung** („Phosphorgips“): aktuell 0 Mg/a
- Die künftige Nutzung von ausländischen **Phosphorgips** liegt zwischen 0,75 Mio. Mg bis 1,25 Mio. Mg pro Jahr (pessimistisches Szenario) sowie 1,0 Mio. Mg bis 2,0 Mio. Mg pro Jahr im optimistischen Szenario.

Künftige Substitute für Gips als Bauprodukte

Bei der Verwendung von Materialien im Hochbau sollte vermehrt darauf geachtet werden, dass nachwachsende oder alternative Rohstoffe an Stelle der besonders energieintensiven und weniger gut wärmeisolierenden Materialien, wie Beton, Zement und Gips verwendet werden ([Pichlmeier, 2019], [BMI, 2019]). Die Bedeutung von Holzbauten, entweder im **normalen Hochbau** oder im **Fertighausbau** wird in den nächsten Jahrzehnten daher eine noch deutlichere Steigerung erfahren. Damit nehmen auch die alternativ möglichen Nutzungen unterschiedlicher anderer Baustoffe, wie Holzbau-, Lehm- oder Strohbauplatten sowie Platten aus verschiedenen, weiteren nachwachsenden Rohstoffen (Holzweichfaserplatten, Korkplatten sowie Holzwole-Leichtbauplatten) zu.

Ausstiegsszenarien für die Naturgipsverwendung in Deutschland bis 2045

Die Vorhersage der künftigen Entwicklung in einer **Folgenabschätzung für Gips** über die kommenden 25 Jahre ist vor dem Hintergrund der aktuellen weltweiten „Corona-Krisensituation“, die stellvertretend für künftige Krisensituationen (Pandemien) steht, sehr herausfordernd. **Die beiden Szenarien zur Entwicklung der jeweiligen Gipsmengen im Zeitraum zwischen 2018 und 2045 zeigen auf, dass eine Wende der Rohstoffstrategie für gipshaltige Baumaterialien in Deutschland sowohl im pessimistischen, besonders aber im optimistischen Szenario innerhalb der nächsten 25 Jahre möglich ist. Beide Szenarien folgen hier zuallererst der Maßgabe aus dem Thüringer LEP [LEP, 2014] sowie neuer Leitlinien des SRU [SRU, 2020] oder der EU-Kommission [EU-Kommission, 2019 und 2020] und des aktuellen Positionspapiers des Umweltbundesamtes [UBA, 2020c].**

Die **Nutzung** von **Naturgips/ Anhydrit** in Deutschland geht im **pessimistischen Szenario** bis zum Jahr 2045 um über zwei Drittel auf verbleibende **0,75 Mio. Mg/a** zurück. Im **optimistischen Szenario** kann die inländische Nutzung von **Naturgips/ Anhydrit** bis zum Jahr 2045 sogar ganz auf **null**, v.a. durch die umfassende Nutzung von ökologischen Alternativen von Bauprodukten für die bisher eingesetzten Gipsbauplatten und Gipsputze sowie durch die umfassende Verwendung von Recyclinggips und Phosphorgips, gesenkt werden.

1. Aufgabenstellung des Gutachtens

1.1 Grundsätzliche Vorgehensweise für das Gutachten

Es ist ein Fachgutachten zu erstellen, in dem alle bekannten Alternativen zum übertägigen Naturgipsabbau in der Südharzregion benannt, auf ihre Tauglichkeit untersucht, deren Stoffströme für Deutschland bilanziert und anschließend bewertet werden.

Die Bilanzierung der Stoffströme wird bezogen auf das gesamte Bundesgebiet erstellt werden. Dabei sollen jedoch auch die verschiedenen Qualitätsanforderungen, die an Gipsprodukte gestellt werden müssen, für die Bilanzierungen in Betracht gezogen werden.

Es sollen sowohl kurzfristig verfügbare Alternativen betrachtet und benannt werden, sowie Alternativen, bei denen noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht. Insgesamt ist ein Zeitraum bis zum Jahr 2045 in Zukunftsszenarien abzubilden.

Das zu erstellende Gutachten soll kurzfristig in den Diskussionsprozess um die Erstellung des neuen Regionalplanes Nordthüringen eingebracht werden. Mittel- und langfristig soll es als fachlich fundierte Diskussionsgrundlage für ein Ausstiegsszenario aus dem Naturgipsabbau in der Region Südharz dienen.

1.2 Inhaltliche Schwerpunkte des Gutachtens

Folgende inhaltliche Schwerpunkte sind v.a. im Rahmen des Gutachtens zu bearbeiten:

Ist-Analyse der Stoffströme von Naturgips und von REA-Gips

Es ist der Verbleib der bisher in Deutschland produzierten Mengen an Naturgips und REA-Gips rückwirkend für die letzten 10 Jahre zu analysieren. Bei dem angeblich in Deutschland benötigten rund 10 Mio. Mg Gips/Jahr gilt zu klären, wieviel davon in Deutschland verbraucht wird und wieviel davon pro Jahr exportiert wird und wohin.

Rückgang des REA-Gips aufgrund des Kohlekompromisses

Der von der Kohlekommission verabschiedete Kohlekompromiss hat einen Rückgang der bei der Rauchgasentschwefelung in den Braun- und Steinkohlekraftwerken entstehenden Mengen an REA-Gips bis zum Jahr 2038 zur Folge. Es ist der zeitabhängige Rückgang der Mengen an REA-Gips aufgrund der im Kohlekompromiss festgelegten Abschaltzeitpunkte der einzelnen Kraftwerke zu ermitteln.

Verfügbarkeit von Gips/ Anhydrit/ REA-Gips auf Halden

Es sind die Mengen an Gips/ Anhydrit/ REA-Gips zu analysieren bzw. alternativ zu schätzen, die deutschlandweit auf Halde liegen und somit für die Weiterverarbeitung in der Zukunft noch zur Verfügung stehen.

Gipsrecycling

Es ist eine Abschätzung der für die Zukunft potentiell möglichen Mengen von Recyclinggips, insbesondere aus Bauprodukten und -abfällen zu erstellen.

Möglicher Import von REA-Gips

Es ist zu analysieren bzw. alternativ zu schätzen, welche Mengen an REA-Gips international zum Import nach Deutschland zur Verfügung stehen würden.

Gipsherstellung aus Anhydrit

Es ist eine Analyse der deutschlandweit verfügbaren Mengen an Anhydrit, welche zur Herstellung von Gips zur Verfügung stehen, durchzuführen. Hierbei ist auch zu analysieren, wie hoch das Potential von Gips auf Kalihalden einzuschätzen ist? Angeblich sollen sie bis zu 20% Gips enthalten?

Gipse aus der chemischen Industrie

Bei der Herstellung von Phosphordünger fallen größere Mengen Gips an, die zur Zeit insbesondere in Nordafrika, Südspanien und Griechenland deponiert werden. Welche Mengen sind verfügbar, welche technischen Probleme und mögliche Lösungsansätze gibt es bei der Weiterverarbeitung dieser Gipse? Ebenso sind die Herstellung von Flusssäure, Zitronensäure, Milchsäure, Weinsäure, Rotschlamm- und Titandioxidgipse zu betrachten und auf ihre Mengen an Gips im jeweiligen Prozess zu analysieren.

Substitute zur Gipsverwendung

Es sind die bestehenden Alternativen zur Verwendung von Gipsprodukten im Baugewerbe, abhängig zum Verwendungszweck, zu benennen und auf deren künftigen Realisierungschancen zu bewerten.

Ausstiegsszenario für Naturgips für die nächsten 25 Jahre

Resultierend aus den o.g. Punkten ist ein Ausstiegsszenario für den Naturgipsabbau im Südharz für die nächsten 25 Jahre, d.h. ausgehend von heute bis zum Jahr 2045 zu erarbeiten. Ausgehend von den jetzigen Fördermengen und dem Wegfall des REA-Gipses aus den Kohlekraftwerken ist ein Konzept vorzuschlagen, wie diese Mengen an Naturgips und REA-Gips sukzessive gemeinsam innerhalb der nächsten 25 Jahre ersetzt werden könnten.

Vorhandene Unterlagen

Es liegen bereits Gutachten, Stellungnahmen, Thesenpapiere und ähnliches aus den vergangenen Jahren und Jahrzehnten vor. Die existierenden und dem BUND bekannten Unterlagen werden dem Ersteller des Gutachtens zu Beginn zur Verfügung gestellt, so dass diese mit in die o.g. Betrachtung einfließen können.

2. Ist-Analyse der Stoffströme von Naturgips/ Anhydrit und REA-Gips in Deutschland

In diesem Kapitel wird der Verbleib der bisher in Deutschland produzierten Mengen an REA-Gips rückwirkend für die letzten 10 Jahre analysiert. Bei dem angeblich in Deutschland benötigten rund 10 Mio. Mg Gips pro Jahr gilt zu klären, wieviel davon in Deutschland verbraucht wird und wieviel exportiert wird und wohin.

2.1 Vorkommen und Gewinnung von Naturgips/ Anhydrit

Gips kommt in unterschiedlichen Modifikationen vor, die sich aus dem Gipsstein (Dihydrat) mit steigender Temperatur bilden:



Gips entstand durch Auskristallisieren aus calciumsulfatübersättigtem Meerwasser, man findet ihn auch als ein Verwitterungsprodukt sulfidischer Erze. Gips ist weltweit verbreitet: große Vorkommen existieren in den USA, Mexiko, Algerien und in Spanien.

Gips kommt in **Deutschland** in abbauwürdiger Ausbildung nur in sehr wenigen Regionen vor. Dies sind vor allem der Südharz [Meyer, Willie, Byl, 2019], Osthessen, Franken, das Gebiet um Rottweil in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz [BGR, 2014], [Reyer, 2017]:

- **Baden-Württemberg** (19 Gewinnungsstellen, Gipsvorräte für 50 Jahre vorhanden),
- **Bayern** (19 Gewinnungsstellen, Gipsvorrat für ca. 20a, Anhydritvorrat für 50 Jahre),
- **Hessen** (9 Gewinnungsstellen),
- **Niedersachsen** (mindestens 21 Gewinnungsstellen – siehe Tabelle 2),
- **Rheinland-Pfalz** (1 Gewinnungsstelle),
- **Thüringen** (7 Gewinnungsstellen).

Der Gipsabbau erfolgt entweder im Tagebauverfahren oder im untertägigen Abbau. Für Niedersachsen sind die Gewinnungsstellen des Harzes in der folgenden **Tabelle 2** aufgeführt.

Die Ermittlung der im Jahr 2010 in Deutschland geförderten Naturgipssteine basiert auf einer Abschätzung des Bundesverbandes der Gipsindustrie¹ (siehe **Tabelle 1**). Demzufolge wurden rund 4,35 Mio. Mg Gipssteine für den Inlandsabsatz gewonnen (die Gewinnung insgesamt einschl. Export abzgl. Import: betrug 4,71 Mio. Mg, laut Abschätzung der SST in [SST, 2013]).

Tabelle 1: Gewinnung von Naturgips/ Anhydrit aus rund 50 Steinbrüchen und zehn Bergwerken in Deutschland zwischen 2010 und 2019 (Mengenangaben in Mio. Mg/a) – Quellen: verschiedene (für die jeweiligen Jahre: siehe die Fußnoten unter der Tabelle)

Verwendung / Jahr	2010 ¹	2011 ²	2012	2013 ³	2014	2015	2016 ⁴	2017 ⁵	2018 ⁶	2019
Gewinnung für Inlandsabsatz	4,35	k.A.	k.A.	4,10	k.A.	k.A.	4,00	4,45	k.A.	k.A.
Gewinnung für Export	0,36	k.A.	k.A.	0,40	k.A.	k.A.	0,70	k.A.	k.A.	k.A.
Abbau insgesamt	4,71	k.A.	k.A.	4,50	k.A.	k.A.	4,70	k.A.	4,55	k.A.

1: SST, 2013; 2: für dieses Jahr und alle weiteren Jahre mit k.A. liegen keine Angaben in der Literatur/ von Verbänden, Statistiken o.a. vor; 3: Bundesverband der Gipsindustrie e.V.; 4: BGR, 2017 5: BGR, 2018; 6: BGR, 2019

¹ Die Abschätzung des Verbandes beruht auf einer Auswertung von Rohstoffsicherungsberichten oder veröffentlichter Förderzahlen der Länder. Unter „Gipsstein“ wird hier die Summe der Förderung der Mineralien Naturgips und Anhydrit verstanden [SST, 2013].

Tabelle 2: Im Abbau befindliche Abbaustätten im Südharzer Zechsteingürtel (Flächenangaben in Hektar; wo bekannt sind die Unternehmen verzeichnet)

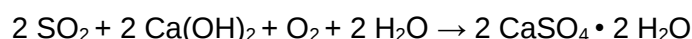
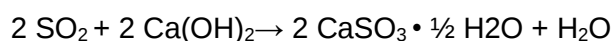
Abbaustätten / Standorte in Niedersachsen	Fläche (in ha)
Winterberg / Bad Grund (Kalkabbau)	130,0
Lasfelde / Osterode am Harz (untertage: 0,16 ha)	10,0
Katzenstein / Osterode am Harz	31,0
Osterode am Harz	21,6
Lichtenstein / Osterode am Harz (St. Gobain Rigips)	9,7
Lichtenstein / Osterode am Harz (Casea, Gipssparte von Remondis)	33,8
Steinbruch Dorste "Hopfenkuhle" / Osterode am Harz (Rump&Salzmann, Knauf)	34,5
"Hopfenkuhle" / Osterode am Harz (Rump & Salzmann)	5,0
Steinbruch Ührde "Härkenstein" / Osterode am Harz (Rump & Salzmann)	46,0
Auf dem Brinke / Osterode am Harz (Ürder Steinbruchges., Herr Oberländer)	7,5
Kipphäuser Berg / Osterode am Harz (Fa. Dehne)	9,8
Kreuzstiege / Osterode am Harz (St. Gobain und VG Orth, Knauf)	7,0
Scharzfeld / Herzberg am Harz (nur Dolomit)	95,5
Nüxei-Wolfskuhle / Bad Sachsa	15,1
Trogstein / Bad Sachsa (St. Gobain Formula)	19,0
Steinbruch Tettenborn (Postreiterskopf) / Bad Sachsa (St. Gobain Formula)	9,0
Pfaffenholz / Bad Sachsa (St. Gobain Formula)	5,0
Kranichstein / Bad Sachsa (St. Gobain Formula)	15,7
Kuhberg, Sachsenstein / Bad Sachsa (St. Gobain Formula)	7,5
Mehholz / Walkenried (St. Gobain Formula)	10,5
Röseberg West / Walkenried (St. Gobain Formula)	6,1
Röseberg Mitte / Walkenried (St. Gobain Formula)	3,9
Röseberg Ost / Walkenried (St. Gobain Formula)	6,6
Kahle Kopf / Walkenried (St. Gobain Formula)	6,7
Juliushütte. Pontelberg / Walkenried (St. Gobain Formula)	27,5
Gesamtflächen	574,0
davon: Naturgipsabbau	348,5

aus: Kleine Anfrage des Abgeordneten Christian Meyer, Julia Willie Hamburg und Imke Byl (GRÜNE), eingegangen am 08.08.2019 – Drs. 18/4331 an die Staatskanzlei. Antwort des Niedersächsischen Umweltministeriums [Meyer, Willie, Byl, 2019]

Darüber hinaus gibt es in Niedersachsen noch weitere Abbaugelände im Weserbergland in Südniedersachsen.

2.2 Aufkommen an REA-Gips

Zum Schutz der Umwelt hat in den letzten Jahrzehnten die Rauchgasentschwefelung der Stein- und Braunkohlekraftwerke stark an Bedeutung gewonnen (Entschwefelung von Rauchgasen in Großfeuerungsanlagen, vorwiegend bei der Verstromung von Braun- und Steinkohle). Das im Rauchgas der Kohlekraftwerke jeweils enthaltene SO_2 , das aus dem in der Stein- und Braunkohle jeweils enthaltenen Schwefel beim Verbrennungsprozess entsteht, wird mit Wasser gebunden, mit gebranntem oder gelöschtem Kalk gefällt und oxidiert:



Bedeutend sind hier nur Gipse aus Braun- und Steinkohlekraftwerken, da bei thermischen Abfallbehandlungsanlagen nur geringe Mengen mit zusätzlich meist geringem Nutzungspotenzial (wegen bestehender Qualitätsproblemen) anfallen.

Die folgende **Tabelle 3** zeigt den zeitlichen Verlauf des REA-Gipsabfalls in den deutschen Stein- und Braunkohlekraftwerken in den letzten 20 Jahren. In den 10 Jahren von 2000 bis 2009 fielen durchschnittlich rund 7,2 Mio. Mg pro Jahr als Nebenprodukte der Rauchgasreinigung an, hiervon entfielen auf die Braunkohlekraftwerke etwa 75 % und auf die Steinkohlekraftwerke etwa 25% (VGB Power Tech e.V., veröffentlicht in [Reyer, 2017]).

Im Jahr 2010 fielen in den **Braun- und Steinkohlekraftwerken**, wie auch im Jahr 2016/2017 (aktuellste Daten von VGB PowerTech und aus [BGR, 2019]) rund 6,5 Mio. Mg an REA-Gips an. Zurückgegangen ist im Jahr 2017 aber bereits das REA-Gipsaufkommen aus den **Steinkohlekraftwerken**, da auch deren Energieerzeugung anteilig zurückgegangen ist. Dies hat sich nach eigenen Einschätzungen auf der Basis der Energieverbrauchsdaten der AG Energiebilanzen in den Jahren 2018 und 2019 bereits deutlich weiter fortgesetzt. Das Aufkommen an REA-Gips ist somit zwischen 2010 und 2019 von 6,5 Mio. Mg auf nunmehr noch geschätzte 6,2 Mio. Mg (2018) sowie 5 Mio. Mg (2019) zurückgegangen.

Tabelle 3: Aufkommen an REA-Gips aus den Stein- und Braunkohlekraftwerken in Deutschland zwischen 2000 und 2019 (Mengenangaben in Mio. Mg/a) –
Quellen: verschiedene (siehe die Fußnoten unter der Tabelle)

Herkunft /	Jahr	2000 ¹	2001 ¹	2002 ¹	2003 ¹	2004 ¹	2005 ¹	2006 ¹	2007 ¹	2008 ¹	2009 ¹
REA-Gips aus BK-Kraftwerke		5,0	4,9	5,3	5,7	5,7	5,8	5,6	5,3	5,2	5,1
REA-Gips aus SK-Kraftwerke		2,1	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,9	1,8	1,7	1,5
REA-Gips insgesamt		7,1	6,8	7,1	7,7	7,7	7,6	7,5	7,1	6,9	6,6

Herkunft /	Jahr	2010 ¹	2011 ¹	2012 ¹	2013 ¹	2014 ¹	2015 ²	2016 ²	2017 ³	2018 ⁴	2019 ⁴
REA-Gips aus BK-Kraftwerke		4,8	5,0	5,3	5,3	5,2	5,1	5,0	5,2	5,1	4,2
REA-Gips aus SK-Kraftwerke		1,6	1,6	1,6	1,8	1,7	1,8	1,5	1,2	1,1	0,8
REA-Gips insgesamt		6,5	6,5	6,9	7,1	6,8	6,9	6,5	6,4	6,2	5,0

1: VGB PowerTech e.V., veröffentlicht in [Reyer, 2017]: Aktualisierung der „Untersuchung zur Rohstoffsicherung der Rohstoffart Gips/Anhydrit in Nordthüringen“; 2: VGB PowerTech e.V. (Website); 3: BGR, 2019; 4: eigene Einschätzungen auf Grundlage der Daten zum Energieeinsatz der AG Energiebilanzen (siehe Kapitel 2)

2.3 Verwendung von Naturgips/ Anhydrit und von REA-Gips

2.3.1 Situation im Jahr 2010

Neben der Gewinnung von Gipsstein (Naturgips und Anhydrit) zur Herstellung der Produkte kommt v.a. in der Baubranche die Verwendung von REA-Gips eine hohe Bedeutung zu. Gips wird hier zu einer Vielzahl von **Bauprodukten** verarbeitet. Verwendung findet Gips als Baustoff im Innenausbau als Gipsputze, Spachtelmassen und Mörtelstuckgips und Estrichgips (vorwiegend als Anhydrit), Gipskartonplatten oder Gipsfaserplatten und als Gipswandplatten/ Gipsdielen (bedeutende Beispielpunkte siehe die folgende **Tabelle 4**).

Bei der Herstellung und **Verarbeitung von Zement** wird ebenfalls Gips als Zuschlagsstoff verwendet. In Brechern erfolgt hierzu die Zerkleinerung der Rohstoffe für den Rohmehlherstellungsprozess und das anschließende Mischen und Trocknen der Rohstoffe in der Rohmühle. Das Rohmehl wird danach in Drehrohöfen bei bis zu 1.450 °C gebrannt. Nach der Kühlung des so entstehenden Klinkers auf etwa 200 °C und dem Vermahlen mit Gips und weiteren Zuschlagsstoffen in der Kugelmühle entsteht das Endprodukt, der fertige Zement. Die Gipszugabe beträgt hierbei bis zu ca. 7 Gew.-% des Zementklinkers bzw. bis zu ca. 5 Gew.-% des fertigen Zements.

Tabelle 4: Verwendungszweck und Anforderungen an Naturgips, Anhydrit und REA-Gips in typischen Produkten aus ungebranntem oder gebranntem Gips –
Quelle: Reimann & Stein, 2019 [Reimann, et.al., 2019]

Verwendungszweck / Anforderungen	Abbindeverzögerer für Zemente	Gipskartonplatten	Gipsputze	Gipsvollwandplatten	Spezialgipse
Gipsgehalt im Rohstein	mind. 70–80 Masse-%	> 80 Masse-%	75–85 M.-%	mögl. > 85 Masse-%	> 97 Masse-%
Anhydritgehalt im Rohstein	vielf. > 90 Masse-%	unerwünscht	unerwünscht	unerwünscht	unerwünscht
Tonminerale (Illit u. a.)	–	max. 10 Masse-%	max. 10 Masse-%	max. 5 Masse-%	möglichst frei von Ton
Quelltone (Corrensit/Smektit)	–	0,8 % / 0,6 %	< 1,2 %	< 1 %	unerwünscht
Karbonat	–	max. 10 Masse-%	max. 10 Masse-%	max. 5 Masse-%	möglichst frei von Karbonaten
Chloridgehalt	< 500 ppm	< 100 ppm	< 200 ppm	< 200 ppm	< 100 ppm
Na ₂ O-Gehalt	unerwünscht	< 0,04 Masse-%	max. 0,06 Masse-%	max. 0,06 Masse-%	unerwünscht
Gehalte an ausblühenden, leicht löslichen Salzen (Epsomit u. a.)	unerwünscht	unerwünscht	möglichst keine	möglichst keine	keine
Sonstige Störkomponenten	–	möglichst frei von Quarz, da sonst erhöhte Abrasion an Fertigungsstraße	möglichst frei von Quarz	möglichst frei von Quarz	möglichst keinerlei Fremdbeimengungen
Sonstige Anforderungen	Gips-Anhydrit-Gemische definierter und gleichbleibender Zusammensetzung tendenziell bevorzugt	Gleichmäßigkeit der Rohsteine, Schwefel < 10 ppm	Gleichmäßigkeit der Rohsteine, Korngrößenverteilung definierter Zusammensetzung sollte herstellbar sein	Gleichmäßigkeit der Rohsteine	Gleichmäßigkeit der Rohsteine. Hoher Weißgrad, hohe Eigenfestigkeit der Rohsteine für Herstellung von Alpha-Halbhydrat (Hartformgipse) erwünscht

Ohne nähere Betrachtung der via Export verwendeten Mengen wurden direkt und indirekt über den „Umweg Zement“ im Jahr 2010 rund 87 % der Gipserzeugnisse im Baugewerbe verwendet.

Gipsstein wird zudem aber auch in **sonstigen Sektoren** als Füllmaterial für Farbstifte oder Schreibkreide, in der Medizin und Zahnmedizin (z.B. Dentalgips), der feinkeramischen aber auch zahlreichen anderen Industrien (z. B. zur Karosserieformgebung in der Automobilindustrie) eingesetzt und kommen als Modell- und Formgipse zum Einsatz [BGR, 2014], sofern sie nicht schon durch neue Technologien, wie z.B. 3D-Druckverfahren ersetzt worden sind.

Verwendung von Gipsstein im Jahr 2010:

Gipserzeugnisse für den Bau: 64,2 %, Gips für die Zementherstellung: 22,5 %, übrige Sektoren: 5 %, Exporte: 8,3 % (Quelle: Berechnungen SST).

Verwendung von REA-Gips im Jahr 2010:

Gipserzeugnisse für den Bau: 73,5 %, Gips für die Zementherstellung: 5,7 %, übrige Sektoren: 5 %, Exporte: 15,8 % (Quelle: Berechnungen SST).

Die REA-Gipsverwendung entsprach in etwa der von Naturgips, wenn man von der geringeren Verwendung in der Zementindustrie und dem höheren REA-Gips-Exportanteil absieht.

2.3.2 Situation im Jahr 2013

Die Ermittlung der im Jahr 2013 in Deutschland geförderten Gips- und Anhydritsteinmengen basiert auf einer Mitgliederumfrage des Bundesverbandes der Gipsindustrie. Demzufolge wurden rund 4,1 Mio. Mg Gips- und Anhydritstein für den Inlandsabsatz gewonnen. Der gesamte Abbau einschließlich der für den Export bestimmten Mengen betrug rund 4,5 Mio. Mg.

Verwendung von Gipsstein/ Anhydrit im Jahr 2013:

Gipserzeugnisse für den Bau: 60,0 %, Gips für die Zementherstellung: 26,7 %, übrige Sektoren: 3,8 %, Exporte: 9,5 % (Quelle: Berechnungen SST).

Gipsproduktion und Gipsverbrauch im Jahr 2013:

Gipsproduktion insgesamt:

Naturgips/Anhydrit: 4,5 Mio. Mg, REA-Gips 7,1 Mio. Mg, davon: 5,3 Mio. Mg (aus BKK) und 1,8 Mio. Mg (aus SKK), Importe: 0,1 Mio. Mg

Gipsverbrauch insgesamt:

Gipsindustrie (Inland): 6,0 Mio. Mg, Zementindustrie: 1,5 Mio. Mg, Exporte: 1,6 Mio. Mg, ins REA-Gipsdepot: 1,2 Mio. Mg, Verwertung im BK-Tagebau: 0,5 Mio. Mg, (0,1 Mio. Mg unklar?)

2.3.3 Situation im Jahr 2016

Nach Erhebungen des Bundesverbandes der Gipsindustrie e.V. in Zusammenarbeit mit dem Bundesverband Baustoffe – Steine und Eden e.V. wurden im **Jahr 2016** in **Deutschland** rund **4,7 Mio. Mg Naturgips** und **Anhydrit** gewonnen [BGR, 2019].

Die **deutsche Gipsindustrie verbrauchte** im **Jahr 2016** (aktuellste Angaben nach [BGR, 2017] und [BGR 2018]) 2,72 Mio. Mg Naturgips/ -anhydrit und 3,4 Mio. Mg REA-Gips, d.h. zusammen 6,1 Mio. Mg für die inländische Produktion. Die **deutsche Zementindustrie** verbrauchte im **Jahr 2016** rund 1,7 Mio. Mg Gips, bzw. 1,45 Mio. Mg Naturgips/ -anhydrit und 257.000 Mg REA-Gips [BGR, 2019]. Weitere rund **2 Mio. Mg Gipsverbrauch der deutschen Industrie** waren für den direkten Export als Gipsstein/ Anhydrit (0,7 Mio. Mg) oder als

Gipswandbauplatten (1,35 Mio. Mg) für den Export (siehe *Tabelle A1/ A2* im Anhang) bestimmt². Ins REA-Gipsdepot wurden rd. 0,4 Mio. Mg, eingelagert (v.a. BKK-REA-Gips).

2.3.4 Situation im Jahr 2018

Die in Deutschland gewonnene Menge an Naturgips/ Anhydrit betrug im Jahr 2018 geschätzte rund 4,55 Mio. Mg [BGR, 2019].

Darüber hinaus fielen in den Braun- und Steinkohlekraftwerken im Jahr 2017 (Daten aus 2018/2019 liegen nicht vor) zusammen 6,42 Mio. Mg REA-Gips an, von denen knapp 6 Mio. Mg, v.a. zur Gipswandbauplattenproduktion direkte Verwendung fanden [BGR, 2019].

Verwendung von Gipsstein/ Anhydrit im Jahr 2018:

Gipserzeugnisse für den Bau: 53%, Gips für die Zementherstellung: 30%, übrige Sektoren: 3%, Exporte: 14% (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis der BGR-Daten [BGR, 2019] und den Exportdaten – siehe das folgende Kapitel sowie die *Tabellen A1* und *A2* im Anhang).

2.3.5 Hauptverwendung von Naturgips/ Anhydrit in der Gipsindustrie der EU28 zwischen 2013 bis 2018

Die folgende **Tabelle 5** zeigt die Produktionsdaten für **Produkte aus gebranntem Gips** für die EU28-Mitgliedsstaaten für die Jahre 2013 bis 2018 (Quelle: EUROSTAT).

Tabelle 5: Inlandsproduktion von Produkten aus gebranntem Gips in der EU28 zwischen den Jahren 2013 und 2018 (Angaben in Mg/a) – Quelle: EUROSTAT

Land / Jahr	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Deutschland	2.795.146	2.835.236	2.872.128	3.089.709	3.237.746	3.270.641
Spanien	1.061.668	916.246	991.367	967.477	1.011.088	1.131.102
Vereinigtes Königreich	878.751	1.017.497	1.037.569	981.010	1.067.696	956.551
Frankreich	565.180	516.531	502.410	477.884	469.751	471.567
Italien	276.048	182.547	166.642	139.813	366.419	n.b.
Bulgarien	n.b.	n.b.	36.326	38.042	38.667	52.685
Ungarn	0	n.b.	30.522	n.b.	32.042	n.b.
Portugal	n.b.	n.b.	n.b.	21.906	19.609	20.840
Kroatien	1.719	1.634	1.719	1.855	2.039	2.154
Polen	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Belgien	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Niederlande	0	0	0	n.b.	n.b.	n.b.
Österreich	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Finnland	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Irland	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Rumänien	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Griechenland	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Lettland	0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Tschechien	0	0	0	0	n.b.	n.b.
EU28	5.578.512	5.469.691	5.638.683	5.717.696	6.245.057	5.905.539

Produkte aus gebranntem Gips: Putze, die aus kalziniertem Gips oder Kalziumsulfat bestehen, einschließlich zur Verwendung im Bauwesen, zur Verwendung bei der Behandlung von Geweben oder Papier für die Oberflächenbehandlung, zur Verwendung in der Zahnmedizin. Zahlen für die Länder mit n.b. sind von Eurostat wegen einer zu geringen Anzahl der Produktionsstätten bzw. Unternehmen im jeweiligen inländischen Markt nicht veröffentlicht, sind jedoch größer als null. Länder mit Mengenangabe null verfügen über keine Inlandsproduktion.

² Anmerkung: Hätten somit nicht zwingend in Deutschland produziert werden müssen.

In Deutschland hat die Herstellung von **Produkten aus gebranntem Gips**, für die vorwiegend Naturgips/ Anhydrit verwendet wird, in den letzten 6 Jahren um knapp 0,5 Mio. Mg auf rund 3,3 Mio. Mg (2018) zugenommen.

Folgende neun Länder³, die in vorheriger Tabelle nicht aufgeführt sind, weisen zwischen 2013 und 2018 gar keine Produktion von gebrannten Gipsprodukten aus. EU-weit hat die Inlandsproduktion in diesem Zeitraum, auf der Basis dieser veröffentlichten Daten von EUROSTAT, ebenfalls um rund 0,3 Mio. Mg bis maximal 0,5 Mio. Mg (2017) auf rund 5,9 Mio. Mg (2018) zugenommen.

Daten zum **Export** und zum **Import** von **Produkten aus gebranntem Gips** innerhalb der EU28 sind im Anhang des Gutachtens in den *Tabellen A1* und *A2* ebenfalls im Detail enthalten.

EU-weit haben zwischen 2013 und 2018 hiernach die **Exporte von Produkten aus gebranntem Gips** um rd. 0,3 Mio. Mg auf rd. 2,3 Mio. Mg im Jahr 2018 zugenommen, allein auf Deutschland entfielen hiervon 0,2 Mio. Mg bei einer Exportmenge von 1,35 Mio. Mg (2018), im Jahr 2018 also knapp 60 % aller dieser Exporte in der EU (*Tabelle A1* im Anhang).

Die **Importe von Produkten aus gebranntem Gips** haben im gleichen Zeitraum EU-weit sogar um knapp 0,6 Mio. Mg auf rd. 2,2 Mio. Mg (2018) zugelegt. Die Importe von **Produkten aus gebranntem Gips** für Deutschland sind jedoch mit nur knapp 0,1 Mio. Mg weitgehend konstant geblieben (*Tabelle A2* im Anhang).

Résumé:

Somit werden in Deutschland aktuell für die Herstellung von Produkten aus gebranntem Gips (**Inlandsproduktion + Exportmenge**) **rund 4,6 Mio. Mg/a an Naturgips/ Anhydrit** verwendet, davon aber **nur knapp 72 % (ca. 3,3 Mio. Mg/a) für die inländische Produktion**. Dies ist bei der künftigen Bedarfsplanung für Gips in Deutschland zu berücksichtigen.

2.3.6 Hauptverwendung von REA-Gips in der Gipsindustrie der EU28 zwischen 2013 bis 2018

In Deutschland hat, wie die folgende **Tabelle 6** zeigt, die **Inlandsproduktion von Gipsbauplatten**, für die fast ausschließlich REA-Gips verwendet wird, in den letzten 6 Jahren um 17 Mio. m² oder 7 % auf 266 Mio. m² (2018) zugenommen. **EU-weit hat deren jeweilige Inlandsproduktion in diesem Zeitraum, auf der Basis der veröffentlichten Daten von EUROSTAT, sogar um 346 Mio. m² oder 39 % auf 1.232 Mio. m² (2018) zugenommen. Besonders stark ist dieser Anstieg zwischen 2013 und 2018 im Vereinigten Königreich (UK), in Spanien und in Italien ausgefallen.**

EU-weit lagen im Jahr 2016 (aktuellste Daten), wie **Tabelle 7** zeigt, die **Exporte von Gipsbauplatten** bei 262 Mo. m², auf Deutschland entfielen hiervon 29 Mo. m² mit deutlich abnehmender Tendenz zwischen den Jahren 2010 bis 2016 (-21 Mo. m²). Bedeutende andere Exportländer für Gipsbauplatten waren Spanien (40 Mo. m²), Bulgarien (28 Mo. m²), Polen (27 Mo. m²), Italien (20 Mo. m²), Tschechien (16 Mo. m²), Österreich (15 Mo. m²), und die Niederlande (15 Mo. m²).

Die **Importe von Gipsbauplatten** lagen im Jahr 2016 (aktuellste Daten), wie **Tabelle 7** zeigt, bei 255 Mo. m², auf Deutschland entfielen hiervon 12 Mo. m² mit deutlich zunehmender

³ Dänemark, Schweden, Slowakei, Slowenien, Estland, Litauen, Luxemburg, Malta und Zypern verfügen zwischen 2013 bis 2018 über keine Herstellung von Produkten aus gebranntem Gips

Tendenz zwischen den Jahren 2010 bis 2016 (+5 Mo. m²). Die bedeutendsten Importländer für Gipsbauplatten waren im Jahr 2016 Frankreich (57 Mo. m²), Schweden (22 Mo. m²), Rumänien (20 Mo. m²) und die Niederlande (19 Mo. m²).

Tabelle 6: Inlandsproduktion von Gipsbauplatten (Code 26.62.10 - Tafeln, Platten, Panneele, Fliesen, ähnliche Artikel aus Gips/ Zusammensetzungen auf der Basis von Gips, nur mit Papier/ Pappe bekleidet/ verstärkt, ausgenommen Artikel, die mit Gips agglomeriert sind, verziert) **in der EU28 zwischen 2013 und 2018 (in Mio. m²/a)** – Quelle: EUROSTAT

Land / Jahr	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Deutschland	249	253	259	259	264	266
Spanien	80	81	89	99	100	119
Vereinigtes Königreich	224	256	279	313	306	335
Frankreich	159	n.b.	151	154	160	168
Italien	61	72	75	89	109	92
Polen	n.b.	n.b.	122	132	149	150
Niederlande	49	44	44	43	43	39
Dänemark	19	20	24	23	24	24
Finnland	24	22	20	24	23	26
Portugal	13	13	16	16	19	n.b.
Kroatien	4	8	8	9	10	14
Griechenland	5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Bulgarien	n.b.	n.b.	38	n.b.	n.b.	n.b.
Ungarn	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Schweden	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Belgien	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Österreich	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Irland	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Rumänien	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Lettland	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Tschechien	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Litauen	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Slowakei	0	0	0	0	0	0
Luxemburg	0	0	0	0	0	0
Malta	0	0	0	0	0	0
Estland	0	0	0	0	0	0
Slowenien	0	0	0	0	0	0
Zypern	0	0	0	0	0	0
EU28	886	767	1.125	1.159	1.207	1.232

Angaben in Mio. m²/a; Zahlen für die Länder mit n.b. sind von Eurostat wegen einer zu geringen Anzahl der Produktionsstätten bzw. Unternehmen im jeweiligen inländischen Markt nicht veröffentlicht, sind jedoch größer als null. Länder mit Mengenangabe null verfügen über keine Inlandsproduktion für Gipsbauplatten.

Somit werden in Deutschland aktuell Gipsbauplatten (Inlandsproduktion + Exportmenge) in einer Größenordnung von rund 295 Mio. m² hergestellt, für die ganz überwiegend REA-Gips in einem Mengenaufkommen von etwa 5,5 Mio. Mg verwendet werden, davon aber nur rund 90 % (ca. 5 Mio. Mg/a) für die inländische Produktion. Dies ist bei der künftigen Bedarfsplanung für industriellen Gips in Deutschland zu berücksichtigen.

Tabelle 7: Inlandsproduktion von Gipsbauplatten (Code 26.62.10) in der EU28 in den Jahren 2016 bis 2018 sowie Exporte und Importe im Jahr 2016 (in Mio. m²/a)
– Quelle: EUROSTAT

Land / Jahr	Inlandsproduktion Gipsbauplatten			Exporte	Importe
	2016	2017	2018	2016	2016
Deutschland	259	264	266	29	12
Spanien	99	100	119	40	5
Vereinigtes Königreich	313	306	335	8	13
Frankreich	154	160	168	9	57
Italien	89	109	92	20	3
Polen	132	149	150	27	1
Niederlande	43	43	39	15	19
Dänemark	23	24	24	4	9
Finnland	24	23	26	5	1
Portugal	16	19	n.b.	6	6
Kroatien	9	10	14	4	5
Griechenland	n.b.	n.b.	n.b.	1	5
Bulgarien	n.b.	n.b.	n.b.	28	4
Ungarn	n.b.	n.b.	n.b.	7	10
Schweden	n.b.	n.b.	n.b.	1	22
Belgien	n.b.	n.b.	n.b.	0	9
Österreich	n.b.	n.b.	n.b.	15	3
Irland	n.b.	n.b.	n.b.	4	9
Rumänien	n.b.	n.b.	n.b.	11	20
Lettland	n.b.	n.b.	n.b.	12	2
Tschechien	n.b.	n.b.	n.b.	16	6
Litauen	n.b.	n.b.	n.b.	1	10
Slowakei	0	0	0	0	11
Luxemburg	0	0	0	0	1
Malta	0	0	0	0	0
Estland	0	0	0	0	6
Slowenien	0	0	0	0	5
Zypern	0	0	0	0	0
EU28	1.159	1.207	1.232	262	255

Angaben in Mio. m²/a; Zahlen für die Länder mit n.b. sind von Eurostat wegen einer zu geringen Anzahl der Produktionsstätten bzw. Unternehmen im jeweiligen inländischen Markt nicht veröffentlicht, sind jedoch größer als null. Länder mit Mengenangabe null verfügen über keine Inlandsproduktion von Gipsbauplatten.

2.4 Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse zu Gewinnung und Verwendung von Gips in Deutschland und deren Export

Die folgende **Tabelle 8** führt die bedeutendsten bisherigen Daten zu Naturgips, Anhydrit sowie REA-Gips der Jahre 2010 bis 2018 der Kapitel 2.1 bis 2.3 zusammen.

Dies kann für die bisherigen Zeitreihen aufgrund der unvollständigen Daten zum Aufkommen der einzelnen Gipsarten sowie zu deren inländischen Nutzung und zum Export nur für die Jahre 2010, 2013, 2016 und 2018 (grau hinterlegt) nahezu vollständig erfolgen.

Trotzdem verbleiben über eine jeweilige Restmenge, die in **Tabelle 8** als untere Zeile benannt ist, eine Unklarheit über deren Art der Verwendung.

Tabelle 8: Gewinnung und Verwendungszweck von Naturgips, Anhydrit und REA-Gips (typische Produkte aus ungebranntem oder gebranntem Gips, Verwendung in der Zementindustrie) sowie sonstige Nutzungen und Export

Verwendung / Jahr	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Naturgipsabbau insgesamt	4,71	k.A.	k.A.	4,50	k.A.	k.A.	4,70	k.A.	4,55
Gewinnung für Inlandsabsatz	4,35	k.A.	k.A.	4,10	k.A.	k.A.	4,00	4,45	k.A.
<i>Gewinnung für Export</i>	<i>0,36</i>	<i>k.A.</i>	<i>k.A.</i>	<i>0,40</i>	<i>k.A.</i>	<i>k.A.</i>	<i>0,70</i>	<i>k.A.</i>	<i>k.A.</i>
REA-Gips-Gewinnung	6,5	6,5	6,9	7,1	6,8	6,9	6,5	6,4	6,2
REA-Gips aus BK-Kraftwerken	4,8	5,0	5,3	5,3	5,2	5,1	5,0	5,2	5,1
REA-Gips aus SK-Kraftwerken	1,6	1,6	1,6	1,8	1,7	1,8	1,5	1,2	1,1
INSGESAMT INLAND	10,8	10,8	11,0	11,2	11,0	10,7	10,5	10,9	10,8
Gipsverbrauch Inland	8,8	9,0	9,1	9,6	9,9	10,0	10,2	9,0	8,7
Verbrauch in Gipsindustrie	7,3	7,4	7,6	7,9	8,1	8,3	8,5	7,5	7,2
für gebrannte Gipsbauprodukte	2,8	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,4	3,0	2,9
für Gipsbauplatten	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0	5,1	4,5	4,3
Gips in Zementindustrie	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,5	1,5
davon: Naturgips	0,6	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8
davon: Anhydrit	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6
davon: REA-Gips	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
BK-Gips-Verwendung Tagebau*	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	0,6
BK-Gips-Depot*	0,7	0,6	0,8	1,2	0,8	0,7	0,4	0,0	0,7
Gesamtsumme Inland	9,8	-	-	11,3	-	-	11,1	-	10,0
Naturgips Export	0,4	-	-	0,4	-	-	0,7	-	-
Verwendung unklar/ n.b.	1,0	-	-	0,1	-	-	0,6	-	0,8

*: VGB PowerTech e.V. (veröffentlicht in Reyer et al.) und direkt auf der Website (2015/ 2016)

3. Rückgang von REA-Gips aufgrund des Kohlekompromisses von Bundesregierung und Bundesrat bis zum Jahr 2038

3.1 Ausgangsvoraussetzungen/ Ist-Situation

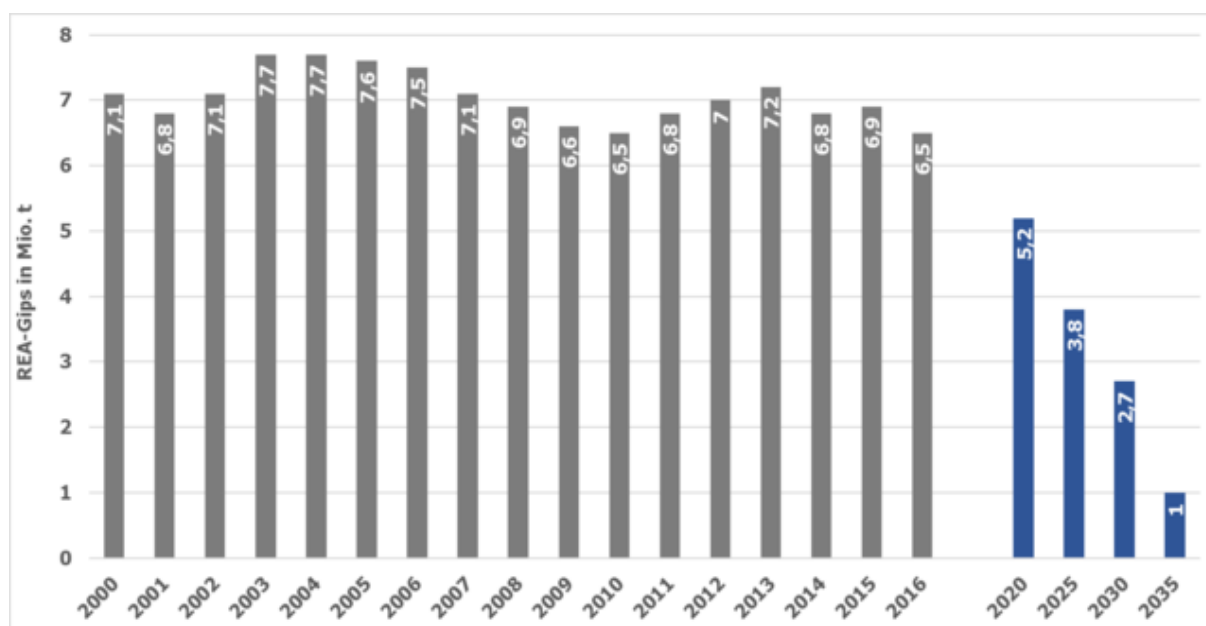
Die Entwicklung der Kohleverwendung in der Stromerzeugung in Deutschland (in Terrawattstunden/a) fiel auf der Basis der jährlichen Daten der AG Energiebilanzen [AG Energiebilanzen, 2020] zwischen den Jahren 2000 bis 2019 wie folgt aus (siehe folgende **Tabelle 9**).

Tabelle 9: Entwicklung der Stein- und Braunkohleverstromung zwischen 2000 und 2019 – Quelle: AG Energiebilanzen [AG Energiebilanzen, 2020]

	Jahr	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
Braunkohle	TWh _{el}	148,3	154,8	158	158,2	158	154,1	151,1	155,1	150,6	145,6	
	Relativ	100	104,4	102,1	100,1	99,9	97,5	98,1	102,6	97,1	96,7	
Steinkohle	TWh _{el}	143,1	138,4	134,6	146,5	140,8	134,1	137,9	142,0	124,6	107,9	
	Relativ	100	96,7	97,3	108,8	96,1	95,2	102,8	103,0	87,7	86,6	
	Jahr	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	18/19
Braunkohle	TWh _{el}	145,9	150,1	160,7	160,9	155,8	154,5	149,5	148,4	145,6	114	-22%
	Relativ	100	102,9	107,1	100,1	96,8	99,2	96,8	99,3	98,1	78,3	
Steinkohle	TWh _{el}	117,0	112,4	116,4	127,3	118,6	117,7	112,2	92,9	82,6	56,9	-31%
	Relativ	100	96,1	103,6	109,4	93,2	99,2	95,3	82,8	88,9	68,9	

Die fast ausschließlich auf der Kohleverstromung, als Nebenprodukt der Rauchgasentschwefelung der Großkraftwerke beruhende deutsche REA-Gipserzeugung, folgt diesem Jahresgang des Braun- und Steinkohleeinsatzes fast synonym, wie die folgende **Abbildung 1** von VGB PowerTech e.V./ BGR aus dem Jahre 2018 für die Jahre 2000 bis 2016 zeigt.

Abbildung 1: REA-Gipserzeugung deutscher Kohlekraftwerke von 2000 bis 2016



Nach Angaben von VGB Power Tech e.V. und BGR (aus Quelle: [BGR, 2019])

Zudem ist hierin [BGR, 2019] auch bereits ein sehr bedeutsamer Ausblick auf die Jahre bis 2035 gegeben, der auf die Ergebnisse der Kohlekommission der Bundesregierung [Kommission WSB, 2019] Bezug nimmt, jedoch noch vor den darauffolgenden politischen Entscheidungen des 2. Halbjahres 2019 und des 1. Halbjahres 2020 getroffen worden ist.

Die Verwendung der anfallenden REA-Gipsmengen erfolgt hauptsächlich in der industriellen Produktion und als Versatzstoff im Bergbau. Ca. 8 % der REA-Gipse werden als Versatzmaterial in den Braunkohlerevieren eingesetzt, aber ca. 75 % des Aufkommens geht in die „sonstige Verwertung“, dazu zählt auch die Herstellung von v.a. Gipswandbauplatten [Reyer, 2017].

3.2 Politische Rahmenbedingungen

Klimaschutzgesetz: Im Oktober 2019 hat das Bundeskabinett sein Klimaschutzprogramm 2030 beschlossen. Gleichzeitig verabschiedete es den Entwurf für ein Bundes-Klimaschutzgesetz, das – mit einigen Anpassungen – im Dezember 2019 vom Bundestag und vom Bundesrat beschlossen wurde. Klimaschutzprogramm und Klimaschutzgesetz sollen sicherstellen, dass die nationalen Emissionsminderungsziele für 2030 erreicht werden. Diese werden im Klimaschutzgesetz nun erstmals legislativ verankert. Das Klimaschutzprogramm 2030 beschreibt die Instrumente und Maßnahmen, mit denen die Ziele erreicht werden sollen. Es legt jährliche sektorale Klimaschutzziele ab 2020 fest, verpflichtet die zuständigen Ministerien zur Erarbeitung von Maßnahmen in ihren Bereichen (z.B. Gebäude, Verkehr, Land- und Forstwirtschaft, Industrie und Energiewirtschaft) und formuliert die Treibhausgasneutralität 2050 als langfristiges Ziel.

Im Klimapaket der Bundesregierung wurde jedoch auch Widersprüchliches vereinbart: Zum einen sollen die Ausbaumengen so erhöht werden, dass ein Anteil von 65% EE im Jahr 2030 erreicht wird. Vorgesehen ist u. a. ein beschleunigter Ausbau der Offshore-Windkraft: Statt bisher 15 GW strebt die Bundesregierung nun eine Gesamtkapazität von 20 GW bis 2030 an. Kommunen, in denen Windkraftanlagen gebaut werden, sollen künftig zusätzliche finanzielle Vorteile erhalten, zum anderen soll eine 1.000-Meter-Abstandsregelung für neue Windenergieanlagen von Wohnbebauung eingeführt werden. Geplant ist auch die Abschaffung des Förderdeckels für neue Photovoltaikanlagen: Nach der bisherigen Regelung erhalten diese keine Einspeisevergütung mehr, sobald in Deutschland eine Solarkapazität von 52 GW erreicht ist. Diese Regelung ist nunmehr aufgehoben worden, Photovoltaikanlagen können weiterhin über die Einspeisevergütung gefördert werden.

Ein CO₂-Preis wird bis 2025 als Fixpreis festgelegt (kein Handel). Nach dem Ergebnis des Vermittlungsausschusses zwischen Bundesregierung und Bundesrat im Dezember 2019 soll der Preis im Jahr 2021 bei 25 Euro/Mg CO₂ starten und bis 2025 auf 55 Euro/Mg CO₂ anwachsen. Geplant ist u. a. die Einführung einer CO₂-Bepreisung in den Sektoren, die nicht vom europäischen Emissionshandel erfasst werden (z. B. Verkehr und Wärme). Dies soll ab 2021 zunächst auf nationaler Ebene geschehen. Perspektivisch will sich die Bundesregierung für die Einführung eines europaweiten sektorübergreifenden Emissionshandels mit einem moderaten Mindestpreis einsetzen.

Die aktuellen Klimaschutzziele der Bundesregierung vom Dezember 2019 sind jedoch nicht kompatibel mit europäischen und globalen Zielen zur Senkung der klimaschädlichen Emissionen („Pariser-Ziele“). Ohne weitere Emissionsminderungsmaßnahmen drohen jedoch selbst diese Ziele verfehlt zu werden. Die Emissionsminderungsziele für Deutschland müssen daher deutlich angehoben werden und durch entsprechende Maßnahmen – wie einen beschleunigten Kohleausstieg umgesetzt werden [BUND/DIW, 2020].

Kohleausstieg (Stein- und Braunkohle): Die Kohlekommission der Bundesregierung hat im Januar 2019 ihren Abschlussbericht Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ vorgelegt [Kommission WSB, 2019]. Das Gremium aus Vertretern von Industrie, Gewerkschaften, Wissenschaft, Verbänden, Bürgerinitiativen und Umweltorganisationen plädierte für einen Kohleausstieg bis spätestens 2038. Darüber hinaus schlug es Etappenziele für Kapazitätsschließungen vor und sprach sich dafür aus, dass den Kraftwerksbetreibern angemessene Entschädigungsleistungen gewährt werden. Die Höhe der Kompensationen könne u. a. per Auktion (Steinkohle) oder alternativ auf dem Verhandlungsweg (Braunkohle) bestimmt werden. Betriebsbedingte Kündigungen sowie unangemessene soziale und ökonomische Nachteile für die Beschäftigten seien nach Möglichkeit zu vermeiden. Die Kommission äußerte zudem den Wunsch, dass der Hambacher Forst erhalten bleibt.

Der hieraufhin im Dezember 2019 gefundene Kompromiss zwischen Bundesregierung und Bundesrat sieht einen schrittweisen Kohleausstieg bis 2038 vor, die betroffenen Regionen erhalten 40 Milliarden Euro an Strukturhilfen, die Kraftwerksbetreiber sollen entschädigt werden. Während das Strukturhilfegesetz bereits im August 2019 im Kabinett beschlossen wurde, hat das Bundeskabinett am 29. Januar 2020 den Entwurf eines Gesetzes zur Reduzierung und Beendigung der Kohleverstromung [Kohleausstiegsgesetz-Entwurf, 2020] beschlossen (Drucksache der Bundesregierung 19/17342 vom 24.02.2020) und damit das parlamentarische Verfahren angestoßen. Das Gesetzgebungsverfahren zum Kohleausstieg ist schließlich am 3. Juli 2020 mit den endgültigen Beschlüssen von Bundestag und Bundesrat zum Kohleausstiegsgesetz abgeschlossen worden [Kohleausstiegsgesetz, 2020].

Der von der Bundesregierung nunmehr geplante Kohleausstieg [Kohleausstiegsgesetz, 2020] weicht in entscheidenden Punkten von den Empfehlungen der Kohlekommission [Kommission WSB, 2019] ab. Hierdurch werden im Zeitraum 2020 bis 2040 circa 134 Millionen Mg Kohlenstoffdioxid zusätzlich ausgestoßen. Dies betrifft insbesondere die zu späte Abschaltung von Braunkohlekraftwerken und die Inbetriebnahme vom Steinkohlekraftwerk Datteln IV. Ein Kohleausstieg im Einklang mit internationalen Klimaschutzziele müsste bis zum Jahr 2030 erfolgen. Die Emissionen könnten in diesem Fall um 1,8 Milliarden Mg CO₂ niedriger sein und so die Pariser Klimaziele einhalten [BUND/DIW, 2020].

Braunkohle: Die aktuellen Pläne der Bergbautreibenden sehen (in Absprache mit der Bundesregierung) die Zerstörung mehrerer Dörfer in NRW sowie vom Dorf Mühlrose in der Lausitz vor. Die aktuellen Planungen des Tagebaus Hambach gefährden zudem das Überleben des Hambacher Waldes. Im noch förderbaren Teil der Tagebaue Hambach und Garzweiler lagern jedoch ausreichend Kohlemengen (ab Januar 2020 noch insgesamt 736 Millionen Mg Braunkohle), um den Weiterbetrieb der umliegenden Kraftwerke (ungefähr 672 Millionen Mg Braunkohle bei einem Kohleausstieg in 2038) sicherzustellen ohne weitere Dörfer umsiedeln zu müssen [BUND/DIW, 2020].

Darüber hinaus gewährleistet ein Zubau Erneuerbarer Energien die kontinuierliche Energieversorgung der Region. Es besteht somit keine energiewirtschaftliche Notwendigkeit für den Aufschluss der ursprünglich geplanten Tagebauflächen. Somit entfällt auch ein mögliches Allgemeinwohlinteresse an dem Aufschluss des Tagebaus Hambacher Forst [BUND/DIW, 2020].

Steinkohle: Auch zum Ausstieg aus der Steinkohle enthält das Gesetz detaillierte Bestimmungen. Im Auktionsverfahren wird darüber entschieden werden, welche Steinkohlekapazitäten vom Netz gehen und wie hoch die Kompensationen für ihre Betreiber sind. Das Kohleausstiegsgesetz sieht jährliche Ausschreibungen im Zeitraum von 2020 bis 2026 vor. Die Gebote der Betreiber müssen allerdings bestimmte Obergrenzen einhalten, die über die Jahre von 165

Tsd. € pro MW auf 49 Tsd. € gesenkt werden sollen. Für die Zeit danach sieht das Gesetz ordnungsrechtliche Abschaltungen ohne Entschädigungen vor. Sofern die Ausschreibungen nicht im gewünschten Umfang zu Kraftwerksschließungen führen, sollen die Kraftwerksbetreiber bereits ab 2024 angewiesen werden können, Anlagen abzuschalten, ohne dass ihnen dafür Kompensationen gewährt werden⁴.

Klima- und Energiepolitik in Europa: Die neue Europäische Kommission unter ihrer Präsidentin Ursula von der Leyen hat am 11. Dezember 2019 den „**European Green Deal**“ vorgelegt, der auch vom Europäischen Parlament am 15. Januar 2020 verabschiedet worden ist. Dieses Programm enthält einen Maßnahmenkatalog zur Senkung der Treibhausgasemissionen in allen Bereichen der Wirtschaft. Mit dem Green Deal verfolgt die Kommission zwei Ziele. Das erste: Die EU soll bis 2050 klimaneutral werden. Das zweite Ziel bezieht sich auf das Jahr 2030: So soll das EU-Klimaziel 2030 von -40 Prozent auf -50 bis -55 Prozent Minderung gegenüber 1990 verschärft werden. Erreicht werden sollen die Ziele durch einen weitreichenden Umbau von Industrie, Energieversorgung, Verkehr und Landwirtschaft. Dafür plant die EU-Kommission zahlreiche Gesetze und Programme. Vorgesehen ist u. a. ein beschleunigter Ausbau der erneuerbaren Energien, eine neue Industriestrategie, Importhürden für klimaschädlich produzierte Waren und eine Strategie für sauberen Verkehr. Zwischen März 2020 und Mitte 2021 wird die EU-Kommission zudem Novellen für alle relevanten EU-Richtlinien und -Verordnungen vorlegen, um diese an die erhöhten Ziele anzupassen. Die EU will zunächst das Ziel der Klimaneutralität für 2050 gesetzlich verankern. Voraussichtlich im Sommer wird dann das legislative Verfahren zur Zielerhöhung für 2030 starten. Je nach Ausgang dieses Verfahrens müssten die Regeln des europäischen Emissionshandels überarbeitet und die künftig in den Markt gegebenen CO₂-Zertifikatmengen nach unten angepasst werden.

Für eine erfolgreiche Energiewende in Deutschland muss der Ausbau Erneuerbarer Energien weiter fortgesetzt und beschleunigt werden. Ohne weitere Maßnahmen steuert die Bundesregierung auf einen Anteil von maximal 49 % Erneuerbarer Energien im Jahr 2030 zu. Dies wäre eine klare Verfehlung der (bereits zu niedrigen) „Pariser Ziele“ von 65 % [BUND/DIW, 2020].

Der PV-Deckel und diskutierte Mindestabstandsregeln für Windenergie müssen daher überarbeitet werden, um die Transformation nicht aufzuhalten. Für den benötigten beschleunigten Ausbau auf 75 % im Jahr 2030 würden dagegen jährlich 9,8 GW Photovoltaik und 5,9 GW Wind Onshore zugebaut werden müssen [BUND/DIW, 2020].

EU schränkt Teilnahme von Kohlekraftwerken an Kapazitätsmechanismen ein: Das Europäische Parlament und der Ministerrat haben im März bzw. Mai 2019 eine Reform der EU-Gesetzgebung zum Strommarkt verabschiedet. Die neuen Regeln greifen teilweise ab 1. Januar 2020 (Strommarktverordnung). Andere Bestimmungen (Strommarktrichtlinie) müssen von den Mitgliedstaaten bis Ende 2020 in nationales Recht umgesetzt werden. Ein Kernelement der Reform sind Vorgaben zur Ausgestaltung von Kapazitätsmechanismen. Die neue Strommarktverordnung sieht vor, dass Kraftwerke mit CO₂-Emissionen von mehr als 550 g/kWh nur sehr eingeschränkt an solchen Mechanismen teilnehmen dürfen. Voraussetzung dafür ist, dass sie pro Jahr nicht mehr als 350 kg CO₂ je Kilowatt installierte Leistung emittieren. Kohlekraftwerke können daher nicht mit voller Auslastung an einem allgemeinen Kapazitätsmarkt teilnehmen, wohl aber an Reserveregulungen, die nur wenige Betriebsstunden vorsehen. Die Emissionsobergrenzen gelten für neue Kraftwerke seit dem 1. Januar 2020. Für

⁴ Die STEAG hat hierzu jedoch am 30. Juli 2020 im Zusammenhang mit dem Kohleausstiegsgesetz vom 3. Juli 2020 einen Eilantrag vor dem Bundesverfassungsgericht in Karlsruhe eingereicht, um zu erreichen, dass bei der Anfang September 2020 stattfindenden 1. Stilllegungsauktion für Steinkohlekraftwerke das Volumen deutlich erhöht wird und die Zuschlagshöhen für vorläufig erklärt werden [STEAG, 2020].

Bestandsanlagen gibt es eine Übergangsregelung bis Mitte 2025. Bereits existierende Kapazitätsverträge bleiben von den Grenzwerten gänzlich unberührt.

Kraft-Wärme-Kopplung/ grüne Fernwärme: Im Jahr 2020 steht eine Novelle des Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetzes an, die den Umstieg von Kohle-KWK-Anlagen auf Gas sowie den Umbau von Fernwärmenetzen in Richtung grüne Fernwärme fördern soll.

3.3 Auswirkungen des Kohleausstiegsgesetzes auf die großen Energieversorgungsunternehmen

Die Auswirkungen des Kohleausstiegsgesetzes auf den Betrieb der jeweiligen Stein- und Braunkohlekraftwerke in Deutschland ist durch dort enthaltene Zeitpläne zur spätesten Stilllegung der Braunkohlekraftwerke klar und eindeutig geregelt (siehe folgende **Tabelle 10**). Für die Steinkohlekraftwerke gibt es solche eindeutigen Zeitpläne im Gesetz jedoch nicht [Kohleausstiegsgesetz, 2020].

RWE für Braunkohletagebaue im Rheinischen Revier/ NRW:

Das Kohleausstiegsgesetz sieht vor, dass **RWE** den Großteil der Anfangslasten des Braunkohleausstiegs trägt. Bis Ende 2022 soll zusätzliche Erzeugungskapazität aus Braunkohle in Höhe von rund 2,8 GW von RWE vom Markt genommen werden. Nach dem Gesetz vom 3.7.2020 geht im Rheinischen Braunkohlerevier bereits Ende 2020 der erste 300-MW-Block vom Netz. Im folgenden Jahr werden drei weitere 300-MW-Anlagen abgeschaltet, 2022 dann noch ein 300-MW-Block und zwei 600-MW-Blöcke. Betroffen sind vor allem die Kraftwerksstandorte Niederaußem und Neurath sowie in geringem Maße der Standort Weisweiler. Im Jahr 2022 wird RWE außerdem die Produktion von Braunkohlebriketts am Standort Frechen und damit den Betrieb von 120 MW Stromerzeugungskapazität einstellen. Bis zum Ende der Dekade wird sich die Braunkohlekapazität von RWE im rheinischen Revier weiter stark verringern. Bereits im Jahr 2025 geht ein 300-MW-Block in Weisweiler außer Betrieb. Die beiden 600-MW-Blöcke an diesem Standort folgen 2028 und 2029. Der Tagebau Inden, dessen Kohle ausschließlich in Weisweiler eingesetzt wird, läuft dann aus. Von den übrigen beiden 600-MW-Blöcken soll einer Ende 2029 stillgelegt und der andere zum 1. Januar 2030 für vier Jahre in eine Sicherheitsbereitschaft überführt werden. Ab 2030 sind dann nur noch die drei modernsten Braunkohleblöcke der 1.000-MW-Klasse der Standorte Niederaußem und Neurath mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 42% am Markt. Sie laufen dann maximal bis Ende 2038.

Die Stilllegungen haben erhebliche Konsequenzen für die Tagebaue. Rund 1,1 Mrd. Mg Braunkohle, d.h. mehr als die Hälfte der für den Abbau genehmigten Vorräte, werden nun nicht mehr gefördert. Außerdem trägt RWE dem Wunsch der Strukturwandelkommission und der Politik Rechnung, dass der Hambacher Forst erhalten bleibt. Von den drei Tagebauen im Rheinischen Revier – Inden, Hambach und Garzweiler – wird ab 2030 nur noch der letztgenannte zur Verfügung stehen, um die verbleibenden Erzeugungsanlagen mit Braunkohle zu versorgen.

LEAG und weitere (Uniper/ EnBW) für Braunkohlereviere in Ostdeutschland:

Bei der **LEAG** werden als erstes Ende 2025 bzw. Ende 2027 zwei 465-MW-Blöcke des Kraftwerkes Jänschwalde in die Sicherheitsreserve bis jeweils max. Ende 2028 in die Sicherheitsbereitschaft überführt, hieran schließen sich zu diesem Zeitpunkt auch zwei weitere 465-MW-Blöcke aus Jänschwalde an. Ende 2029 folgen dann zwei 465-MW-Blöcke des Kraftwerkes Boxberg. Ab 2030 werden in den Neuen Bundesländern dann nur noch Kraftwerksblöcke mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 38 bis 41% betrieben. Im Braunkohlenrevier

Mitteldeutschland werden die beiden 450-MW-Gemeinschaftsblöcke mit **Uniper** in Schkopau bis maximal Ende 2034 außer Betrieb genommen, die beiden 875-MW-Blöcke in Lippendorf, wovon einer von der **EnBW** betrieben wird, folgen hier bis maximal Ende 2035. Es verbleiben dann bis maximal 2038 nur noch die 750-MW-Blöcke in Schwarze Pumpe sowie die beiden 640- und 860-MW-Blöcke in Boxberg der LEAG, so dass der Braunkohlebergbau auch in der Lausitz spätestens Ende 2038/ Anfang 2039 Geschichte sein wird.

Tabelle 10: Staffelung der spätesten Zeitpunkte der Stilllegung der Braunkohlekraftwerksblöcke der vier Großkraftwerksbetreiber gemäß Kohleausstiegsgesetz – Quelle: Drucksache des Bundesrates 392/20 vom 03.07.2020 (Kohleausstiegsgesetz), beruhend auf den Drucksachen der Bundesregierung 19/17342, 19/18472 (Kohleausstiegsgesetzentwurf) vom 24.02.2020

Blockname/ Revier/ BNetzA-Nr.	Revier	Betreiber	MW _{el} (netto)	Vorläufiges Stilllegungsdatum (Sicherheitsbereitschaft)	Endgültiges Stilllegungsdatum	Elektr. Wirkungsgrad (%)
Niederaußem D - Rheinland - BNA0705	R	RWE	297		31.12.2020	33
Niederaußem C - Rheinland - BNA0712	R	RWE	295		31.12.2021	33
Neurath B - Rheinland - BNA0697	R	RWE	294		31.12.2021	33
Weisweiler E oder F - Rheinland - BNA1025 oder BNA1026	R	RWE	321		31.12.2021	33
Neurath A - Rheinland - BNA0696	R	RWE	294		01.04.2022	33
Frechen/ Wachtberg (Brikettierung) - Rheinland - BNA0292	R	RWE	120		31.12.2022	-
Neurath D - Rheinland - BNA0699	R	RWE	607		31.12.2022	35
Neurath E - Rheinland - BNA0700	R	RWE	604		31.12.2022	35
Weisweiler E oder F - Rheinland - BNA1025 oder BNA1026	R	RWE	321		01.01.2025	33
Jänschwalde A - Lausitz - BNA0785	L	LEAG	465	31.12.2025	31.12.2028	35
Jänschwalde B - Lausitz - BNA0786	L	LEAG	465	31.12.2027	31.12.2028	35
Weisweiler G oder H - Rheinland - BNA1027 oder BNA1028	R	RWE	663		01.04.2028	35
Jänschwalde C - Lausitz - BNA0787	L	LEAG	465		31.12.2028	35
Jänschwalde D - Lausitz - BNA0788	L	LEAG	465		31.12.2028	35
Weisweiler G oder H - Rheinland - BNA1027 oder BNA1028	R	RWE	656		01.04.2029	35
Boxberg N - Lausitz - BNA0122	L	LEAG	465		31.12.2029	35
Boxberg P - Lausitz - BNA0123	L	LEAG	465		31.12.2029	35
Niederaußem G oder H - Rheinland - BNA0708 o. BNA0707	R	RWE	628		31.12.2029	35
Niederaußem G oder H - Rheinland - BNA0708 o. BNA0707	R	RWE	648	31.12.2029	31.12.2033	35
Schkopau A - Mitteldeutschland - BNA0878	M	Uniper*	450		31.12.2034	36
Schkopau B - Mitteldeutschland - BNA0879	M	Uniper*	450		31.12.2034	36
Lippendorf R - Mitteldeutschland - BNA0115	M	LEAG	875		31.12.2035	41
Lippendorf S - Mitteldeutschland - BNA0116	M	EnBW	875		31.12.2035	41
Niederaußem K - Rheinland - BNA0709	R	RWE	944		31.12.2038	42
Neurath F (BoA 2) - Rheinland - BNA1401a	R	RWE	1.060		31.12.2038	42
Neurath G (BoA 3) - Rheinland - BNA1401b	R	RWE	1.060		31.12.2038	42
Schwarze Pumpe A - Lausitz - BNA0914	L	LEAG	750		31.12.2038	38
Schwarze Pumpe B - Lausitz - BNA0915	L	LEAG	750		31.12.2038	38
Boxberg R - Lausitz - BNA1404	L	LEAG	640		31.12.2038	40
Boxberg Q - Lausitz - BNA0124	L	LEAG	857		31.12.2038	40
			17.249			

*: Beteiligung der LEAG

3.4 Szenarien zur REA-Gipserzeugung bis zum Jahr 2038

Auf der Basis dieser Ausgangsvoraussetzungen und den beschriebenen politischen Rahmenbedingungen wird vorgeschlagen **zwei Szenarien** zu den Auswirkungen des Kohleausstiegsgesetzes bis zum Jahr 2038 auf den REA-Gipsanfall durchzuführen:

1. Mindestannahme nach dem Kohleausstiegsgesetz bis zum Jahr 2038,
2. Marktszenario für ein schnelleres Herunterfahren der ineffizienten Kohlekraftwerksblöcke bis zum Jahr 2030 bzw. den Jahren 2035/ 2038.

3.4.1 Mindestannahmen nach dem Kohleausstiegsgesetz bis zum Jahr 2038

Im Kohleausstiegsgesetz [Kohleausstiegsgesetz, 2020] sind, wie im vorherigen Kapitel umfassend erläutert, die spätesten Abschaltzeitpunkte der großen Braunkohlekraftwerksblöcke in Deutschland detailliert vorgegeben.

Dieses **Szenario 1** wird sich hieran orientieren und als Mindestannahme hieraus einen Rückgang des jährlichen REA-Gipsaufkommens bis zum Jahr 2038 aus dem Rückgang der Kohleverstromung im Energiemix ableiten. Im Jahr 2038/ 2039 ist das REA-Gipsaufkommen hierin danach dann auf null gesunken.

Braunkohle:

Als Variablen gehen in dieses **Szenario 1** zum einen die Abschaltzeitpunkte der Braunkohlekraftwerke ein, die im Kohleausstiegsgesetz exakt vorgegeben sind. Zudem wird angenommen, dass alle Braunkohlekraftwerksblöcke bis zu deren Abschaltung mit jeweils gleichen Anteilen gemäß **Tabelle 10** am Gesamtmarktgeschehen der Verstromung beteiligt sind.

Die Abschaltung von Kraftwerksblockkapazitäten stellt sich in Jahresscheiben (vorläufige oder endgültige Stilllegungszeitpunkte jeweils zum Jahresende bzw. 2022, 2028 und 2029 auch zum 1. April) wie folgt dar:

Jahr 2020:	297 MW _{el} (netto)	1,7 %	
Jahr 2021:	910 MW _{el} (netto)	5,3 %	
Jahr 2022:	1.625 MW _{el} (netto)	9,4 %	
Jahr 2024:	321 MW _{el} (netto)	1,9 %	
Jahr 2025:	465 MW _{el} (netto)	2,7 %	21,0 % (bis 2025)
Jahr 2027:	465 MW _{el} (netto)	2,7 %	
Jahr 2028:	1.593 MW _{el} (netto)	9,2 %	
Jahr 2029:	2.862 MW _{el} (netto)	16,6 %	28,5 % (bis 2030)
Jahr 2034:	900 MW _{el} (netto)	5,2 %	
Jahr 2035:	1.750 MW _{el} (netto)	10,1 %	15,3 % (bis 2035)
Jahr 2038:	6.061 MW _{el} (netto)	35,1 %	35,1 % (bis 2038)
Gesamt:	17.249 MW_{el} (netto)	100%	100%

Im **Szenario 1** wird hierbei lediglich gegen Ende dieser Periode für das Jahr 2034 ein um 1 Jahr (1,75 MW_{el}) und für das Jahr 2035 (3 MW_{el}) ein um drei Jahre vorgezogene Abschaltung jeweiliger Kraftwerke aus den Jahren 2035 bzw. 2038 auch aus marktseitigen Gründen unterstellt. Zwischen 2036 und 2038 bleiben hier nur noch die drei neuesten und energieeffizientesten Braunkohleblöcke in Niederaußem und Neurath am Markt.

Steinkohle:

Bis Ende 2021 sollen bereits 10 GW der 24 GW Steinkohlekraftwerksleistung vom Netz gehen, zwischen 2022 und 2029 sind weitere 6 GW Leistung vom Netz zu nehmen. Für die Steinkohlekraftwerke sieht das Kohleausstiegsgesetz hierzu jährliche Ausschreibungen im Zeitraum von 2020 bis 2026 vor. Dies kann nach dem Jahr 2026 dann auch per ordnungsrechtlicher Abschaltungen ohne Entschädigungen der Betreiber erfolgen, wenn dies der Markt nicht von allein regelt.

Das Ergebnis im **Szenario 1** zeigt die folgende **Tabelle 11**.

Tabelle 11: Ergebnisse der REA-Gipsmengen im Szenario 1 – Mindestannahme der Entwicklungen bis 2038 nach dem Kohleausstiegsgesetz (Angaben in Mg/a), eigene Annahmen und Einschätzungen im Vergleich zu den Ergebnissen der Kohlekommission ([Kommission WSB, 2019], veröffentlicht in [BGR, 2019])

Jahr	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030	2035	2038	2039
Einheit	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg
Veränd. REA-Gips**				-1,20	-0,30	-1,13	-1,42	-0,78	-0,73	-0,65
Braunkohle-KW	4,95	5,22	5,12	4,20	4,00	3,23	1,92	1,28	0,55	0,00
Steinkohle-KW	1,53	1,20	1,07	0,80	0,70	0,34	0,23	0,10	0,10	0,00
Summe REA-Gips	6,48	6,42	6,19	5,00	4,70	3,57	2,15	1,38	0,65	0,00
BR-Kohlekommission*	6,50	-	-	-	5,20	3,80	2,70	1,00	-	-
Diff. zu [BGR, 2019]	-0,02	-	-	-	-0,50	-0,23	-0,55	0,38	-	-

*: Auswirkungen der Empfehlungen der Kohlekommission auf REA-Gips, veröffentlicht in [BGR, 2019]

**: Veränderung der REA-Gipsmengen aus BKK und SKK zusammen in der jeweiligen Periode

Im **Ergebnis** von **Szenario 1** zeigt sich, dass die REA-Gipsmengen aktuell und auch weiterhin in der Zukunft stärker durch die Verstromung der Kohle in den Braunkohlekraftwerken bestimmt wird (rd. 80 % bis über 90 %). Die Verstromung der Steinkohle wird recht schnell in den kommenden Jahren stark rückläufig sein. Dies liegt v.a. auch an den seit Anfang 2019 bereits höheren Durchschnittsverstromungskosten der Steinkohle im Vergleich zur Gasverstromung (CCGT - Gas- und Dampf-Kombikraftwerke) und dem stetig höher werdenden Anteil erneuerbarer Energien an der Gesamtstromerzeugung in Deutschland. Der REA-Gipsanteil der **Steinkohleverstromung** wird sich bis zum Jahr 2025 gegenüber 2019 etwas mehr als Halbierten um danach bis 2038 stetig und auf geringem Niveau immer weiter auf null abzunehmen.

Der REA-Gipsanteil der **Braunkohleverstromung** reduziert sich bis 2025 um rund 0,8 Mio. Mg, weiter bis 2030 um nunmehr 1,2 Mio. Mg, bis 2035 um weitere 0,6 Mio. Mg und dann am Ende des Jahres 2038 um die verbliebenen 0,7 Mio. Mg bzw. 0,6 Mio. Mg im Jahr 2038.

Im Vergleich zu den Zukunftseinschätzungen der **Kohlekommission der Bundesregierung** [BGR, 2019] aus dem Jahr 2019 liegen die eigenen Prognosen zum REA-Gipsaufkommen im Jahr 2020 bis 2030 jeweils um 0,23 Mio. Mg bis zu 0,55 Mio. Mg unter diesen Annahmen, um dann im Jahr 2035 mit 0,38 Mio. Mg über diesen Annahmen zu liegen.

3.4.2 Marktszenario für ein schnelleres Herunterfahren der ineffizienten Kohlekraftwerksblöcke bis zum Jahr 2030 bzw. 2035

Im Gegensatz zum ersten Szenario, dass sich sehr strikt an die Regelungen aus dem Kohleausstiegsgesetz anlehnt, versucht dieses **Szenario 2** ein dem Strommarkt in Deutschland der nächsten knapp 18 Jahre entsprechendes realistischeres Bild für die Nutzung der Stein- und Braunkohlekraftwerke zur Stromerzeugung zu zeichnen. Hierzu wurden aktuelle Stromerzeugungsprognosen von Energieberatern bzw. -organisationen, wie Agora Energiewende [Agora Energiewende; 2020a, 2020b, 2020c und 2020d] sowie des DIW [BUND/DIW, 2020] und der IEA [iea, 2020] in der Ableitung des Marktszenario 2 berücksichtigt.

Das Ergebnis im **Szenario 2** zeigt die folgende **Tabelle 12**.

Im **Ergebnis** von **Szenario 2** zeigt sich, dass die REA-Gipsmengen aktuell und in diesem Szenario auch weiterhin in der Zukunft stärker durch die Verstromung der Kohle in den Braunkohlekraftwerken bestimmt wird (rd. 80 % bis über 90 %). Die Verstromung der Steinkohle wird hier in den kommenden Jahren noch schneller rückläufig sein als im Szenario 1 und nach 2030 keine Rolle mehr spielen. Dies gilt hier aber genauso für die Stromerzeugung in den

Braunkohlekraftwerken, so dass auch hier im Jahr 2025 nur noch 2,7 Mio. Mg REA-Gips und im Jahr 2030 nur noch 1,1 Mio. Mg REA-Gips anfallen werden. Bis zum Jahr 2035 ist dann auch die Strom- und REA-Gipserzeugung in den Braunkohlekraftwerken auf ein verbleibendes Minimumniveau von 0,2 Mio. Mg ausgelaufen und ab dem Jahr 2036 bis 2039 auf null.

Tabelle 12: Ergebnisse der REA-Gipsmengen im Szenario 2 – Marktszenario der Entwicklungen bis 2038 in Anlehnung an das Kohleausstiegsgesetz (Angaben in Mg/a), eigene Annahmen und Einschätzungen, gestützt auf Analysen/ Prognosen zum Strommarkt von Agora Energiewende [Agora Energiewende; 2020a, 2020b, 2020c, 2020d] sowie des DIW [BUND/DIW, 2020], [iea, 2020] im Vergleich zu den Ergebnissen der Kohlekommission [BGR, 2019]

Jahr	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030	2035	2038	2039
Einheit	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg
Veränd. REA-Gips**				-1,20	-1,00	-1,30	-1,60	-0,90	-0,20	0,00
Braunkohle-KW	4,95	5,22	5,12	4,20	3,50	2,50	1,00	0,20	0,00	0,00
Steinkohle-KW	1,53	1,20	1,07	0,80	0,50	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00
Summe REA-Gips	6,48	6,42	6,19	5,00	4,00	2,70	1,10	0,20	0,00	0,00
BR-Kohlekommission*	6,50	-	-	-	5,20	3,80	2,70	1,00	-	-
Diff. zu [BGR, 2019]	-0,02	-	-	-	-1,20	-1,10	-1,60	-0,80	-	-

*: Auswirkungen der Empfehlungen der Kohlekommission auf REA-Gips, veröffentlicht in [BGR, 2019]

** : Veränderung der REA-Gipsmengen aus BKK und SKK zusammen in der jeweiligen Periode

Im Vergleich zum Szenario 1 ist im **Szenario 2** als Annahme hinterlegt, dass das REA-Gipsaufkommen aufgrund einer i.W. „Corona-Krisen“ bedingten deutlich niedrigeren Stromproduktion aus den Kohlekraftwerken bereits im laufenden Jahr (dargelegt u.a. in [Agora Energiewende; 2020c]) um rund 0,7 Mio. Mg geringer ausfällt. Dies verteilt sich prozentual stärker auf die Steinkohlekraftwerke (-25 %) gegenüber den Braunkohlekraftwerken (-12 %), wirkt sich in Summe aber mit 0,5 Mio. Mg stärker bei den Braunkohlekraftwerken gegenüber den Steinkohlekraftwerken (-0,2 Mio. Mg) aus. Dies wird sich in den Folgejahren v.a. bis zum Jahr 2025 und noch später bis zum Jahr 2035 dann auch weiterhin auf das Marktgeschehen der Stromerzeugung in Deutschland auswirken [Agora Energiewende, 2020d].

Die **Verstromung** in den **Steinkohlekraftwerken** wird marktseitig in Deutschland bereits in 10 Jahren weitgehend beendet sein. Somit stehen die nach 2030 noch nicht stillgelegten Stein- und auch die meisten Braunkohlekraftwerke der Energieerzeugung bis 2038 insgesamt nur noch als Sicherheitsreserve zur Verfügung und werden auch maximal so genutzt. Somit ist auch das REA-Gipsaufkommen in Deutschland bis spätestens zum Jahr 2035 bereits auf fast null und bis 2036 sowie danach dann insgesamt auf null gesunken.

Im Vergleich zu den Zukunftseinschätzungen aus den Empfehlungen der **Kohlekommission der Bundesregierung** zum Kohleverstromungsausstieg aus dem Jahr 2019 (veröffentlicht in [BGR, 2019]) liegen die eigenen Prognosen zum REA-Gipsaufkommen im Jahr 2020 um 1,2 Mio. Mg, im Jahr 2025 um 1,1 Mio. Mg, im Jahr 2030 um 1,6 Mio. Mg und im Jahr 2035 dann um 0,8 Mio. Mg jeweils unter diesen Annahmen und gehen in diesem Marktszenario somit von einem deutlich schnelleren marktseitig motivierten Rückgang des REA-Gipsaufkommens aus den deutschen Kohlekraftwerken aus.

4. Gipsherstellung aus Gipsstein und Anhydritstein

Beim Anhydrit ist zu unterscheiden zwischen **natürlichem Anhydrit** und **synthetischem Anhydrit** aus der chemischen Industrie.

Natürlicher Anhydrit

Gips und Anhydrit sind chemisch Kalziumsulfat (CaSO_4). Gips ist Calciumsulfat mit einem hohen Anteil an Kristallwasser ($\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$). Als Anhydrit⁵ bezeichnet man wasserfreies Calciumsulfat. CaSO_4 kann bis maximal 20,9 % Kristallwasser aufnehmen. Von Gips spricht man bei einem Kristallwassergehalt von mindestens 18 %. Sulfatgesteine mit 18 bis 12 % Kristallwasser werden als anhydritführender Gips angesprochen. Bei niedrigeren Kristallwassergehalten liegt ein Anhydrit-Gips-Mischgestein vor. Von einem Anhydrit spricht man bis zu einem maximalen Kristallwassergehalt von 6 %. Diese Klassifikation geht vor allem auf die technische Anwendung dieser Gesteine zurück [Reyer, 2017].

Gips- und Anhydritvorkommen in Thüringen

Gips- und Anhydritgesteine entstanden in verschiedenen erdgeschichtlichen Perioden. Die ältesten Lagerstätten in Thüringen stammen aus dem Zechstein (257 - 251 Mio. Jahre, Oberes Perm). Sie werden vorrangig für die Gips- und Anhydritproduktion genutzt. Unbedeutender sind die Vorkommen der Germanischen Trias. Sowohl aus dem Buntsandstein (251 bis 243 Mio. Jahre), dem Muschelkalk (243 bis 235 Mio. Jahre) und dem Keuper (235 bis 201 Mio. Jahre) sind Gips- und Anhydritvorkommen bekannt [Reyer, 2017].

Die Anhydrit- und Gipsvorkommen des Keupers, des Muschelkalks sowie des Buntsandsteins sind heute wirtschaftlich bedeutungslos. Diese Sulfatvorkommen der Trias können aufgrund ihrer geringen Mächtigkeit, der starken Verunreinigung und der geringen oberflächennahen Ausstrichfläche nicht rentabel gewonnen werden.

Gipse und Anhydrite, die sehr geringe Verunreinigung aufweisen und für die Herstellung von Spezialgipsen, z.B. Stuck-, Modell-, Hartform-, Dental-, Beton-, Putz- und Marmorgips, geeignet sind, treten nur im Zechstein auf und auch dort nur in bestimmten Horizonten.

Damit kommen den **Sulfaten des Zechsteins** eine große wirtschaftliche Bedeutung zu. Diese ergibt sich aus ihrer großen Mächtigkeit, dem z.T. hohen Reinheitsgrad und dem, speziell in der Planungsregion Nordthüringen vorhandenem, großflächig-oberflächennahen Ausstrich dieser Schichten und der damit verbundenen großflächigen Gipsrinde. **Schätzungsweise 50 % der oberflächennahen Gips- und Anhydritvorräte Deutschlands liegen allein im Landkreis Nordhausen** [Reyer, 2017].

Gips und Anhydrit werden in Thüringen aktuell von vier Bergwerksunternehmen abgebaut: Fa. Knauf Deutsche Gipswerke KG, Fa. Kohnstein Bergwerks GmbH, Fa. CASEA GmbH sowie Fa. Saint Gobain Formula GmbH (vergleiche die folgende **Tabelle 13**).

Gips- und Anhydritförderung in Deutschland und Thüringen

Durchschnittlich wurden in den Jahren 2009 bis 2013 knapp 5,2 Mio. Mg Naturgips und Anhydritstein pro Jahr in Deutschland abgebaut (vergleiche die folgende **Tabelle 14**). Thüringen liegt demnach mit ca. 18 % nach Niedersachsen (ca. 30 %), Baden-Württemberg (ca. 21 %) und Bayern (ca. 19 %) an vierter Stelle der bundesweiten Förderung an Naturgips und Anhydritstein und somit vor Hessen (ca. 10 %) und Rheinland-Pfalz (ca. 2 %).

⁵ Der Name leitet sich vom griechischen anhydros (= wasserlos) ab.

Tabelle 13: Aktive Abbaubetriebe in der Planungsregion Nordthüringen [Reyer, 2017]

Firma	Bezeichnung	vorrangige Rohstoffart
Knauf Deutsche Gipswerke KG	Stempeda/Alter Stollberg	Gips / Anhydrit
Kohnstein Bergwerks GmbH	Nordhausen/Kohnstein****	Gips / Anhydrit
	Woffleben/Hageborn	Anhydrit
CASEA GmbH	Appenrode/Rüsselsee***	Gips / Anhydrit
	Woffleben/Hohe Schleife	Gips / Anhydrit
	Ellrich/Ellricher Klippen	Gips / Anhydrit
Saint-Gobain Formula	Branderode/Röseberg	Gips
	Woffleben/Himmelsberg**	Gips / Anhydrit
	Kuhberg Rüdigsdorfer Schweiz*	Gips

* Abbau seit dem Jahr 2020

** anteilige Nutzung durch CASEA GmbH

*** anteilige Nutzung durch Saint-Gobain Formula

****: Die Fa. Kohnstein Bergwerks GmbH hat laut Literatur /45/ den Betrieb im VR Gi/A 2 Nordhausen/ Kohnstein aufgenommen. Aktuell werden geringe Rohstoffmengen abgebaut (siehe Anlage 2.6).

In der Tendenz liegt die aktuelle Naturgips- und Anhydritsteinförderung in Deutschland immer noch bei etwa 5 bis 5,2 Mio. Mg/a. Diese Tendenz wird durch aktuellere Daten (2017/ 2018) in der folgenden **Tabelle 14** für einzelne Bundesländer ebenfalls gestützt.

Tabelle 14: Naturgips- und Anhydritförderung in Deutschland, aufgeschlüsselt nach Bundesländern in Mio. Mg pro Jahr (Zeitraum 2009 – 2013) [Reyer, 2017] und im Rahmen des Gutachtens recherchierte, aktuellere Daten für 2017/ 2018

Naturgips-Anhydrit-Förderung/ Abbau	Menge (Mio Mg/a)	Anteil in %	Erhebungsjahr
Baden-Württemberg ¹	1,1	ca. 21	2011
	(0,94)	-	(2017)
Bayern ⁴	1	ca. 19	2009
	(1,1)	-	(2017)
Hessen ⁵	0,5	ca. 10	2004
Niedersachsen ²	1,5	ca. 30	2011
	(1,3)	-	(2017)
Nordthüringen ³	0,95	ca. 18	2013
	(1,25 / 1,34)	-	(2017 / 2018)
Rheinland-Pfalz ⁶	0,11	ca. 2	2011
Summe	5,16	100	jeweils älteres Datum

Werte in Klammern: Im Rahmen des Gutachtens aktualisierte Mengenangaben (2017/ 2018)

Quellen: 1 Rohstoffbericht Baden-Württemberg [LGRB, 2013] bzw. Statistik für das Jahr 2017 - aktualisiert

2 Rohstoffsicherungsbericht Niedersachsen [LBEG, 2012] bzw. [LBEG, 2018] - aktualisiert

3 Angaben des Geologischen Dienst der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie

4 Mitteilung Dr. Poschold, Landesamt für Umwelt Bayern / Internet: LfU (9.5.2020)

5 Fachbericht Gipsrohstoffe Hessen [HLUG, 2006] – immer noch keine aktuellere Daten verfügbar

6 Rohstoffsicherung in Rheinland-Pfalz [LGB, 2015]

Durch die unterschiedlichsten Einsatzmöglichkeiten von Naturgips und Anhydritstein ist es weiterhin erforderlich, die Rohstoffarten Naturgips und Anhydritstein gesondert zu betrachten.

Für **Thüringen** ergibt sich für die Jahre 1994 bis 2013 eine durchschnittliche Fördermenge an Naturgips von 0,67 Mio. Mg/a (58 %) und an Anhydritstein von 0,48 Mio. Mg/a (42 %), wobei allein auf Nordthüringen hiervon durchschnittlich 1,04 Mio. Mg (0,62 Mio. Mg Naturgips und 0,42 Mio. Mg Anhydrit) entfallen sind [Reyer, 2017].

Synthetischer Anhydrit

Flusssäure-Anhydrit ist ein Koppelprodukt bei der Flusssäureherstellung aus Flussspat und Schwefelsäure. Dabei wird zunächst Fluorwasserstoffgas (HF) durch Erhitzen von Flussspat (Calciumfluorid) mit konzentrierter Schwefelsäure in einem Drehrohrofen erzeugt; als Reaktionsprodukt fällt CaSO_4 (Anhydrit) an.

Das Fluorwasserstoffgas wird in Wasser eingeleitet, wodurch Flusssäure entsteht. Das wasserfrei anfallende Anhydrit entspricht etwa dem Dreifachen der Masse des gewünschten Produkts (HF-Gas). Es wird mit Branntkalk oder Kalkhydrat neutralisiert, vermahlen und in der Produktion von **Anhydrit-Estrich oder als Sulfatträger in der Zementindustrie verwendet.**

Flusssäure-Anhydrit fällt in Deutschland vor dem Jahr 2010 mit etwa 450.000 Mg pro Jahr [Industrieverband WerkMörtel 2009] an bzw. mit rd. 400.000 Mg pro Jahr im Jahr 2013.

Eine noch detailliertere Betrachtung von Anhydrit aus der Flusssäureherstellung erfolgt im Kapitel 8.1.

5. Verfügbarkeit von Gips/ Anhydrit/ REA-Gips auf Halden

An **Naturgips** und **Anhydrit** sind keine relevanten Mengen bekannt, die in den letzten 10 bis 20 Jahren deutschlandweit zwischengelagert worden sind.

In Deutschland wurden in den letzten rund 20 Jahren aber erhebliche Mengen v.a. an **REA-Gips** auch zwischengelagert. Diese Mengen sind in der folgenden **Tabelle 15** aufgeführt.

Tabelle 15: Zwischenlagerung von REA-Gips aus den Stein- und Braunkohlekraftwerken in Deutschland zwischen 2000 und 2019 (Mengenangaben in Mio. Mg/a) – Quelle: VGB PowerTech e.V. (aufgelistet in [Reyer, 2017] für 2000 bis 2016 sowie eigene Website von VGB PowerTech e.V.)

Herkunft /	Jahr	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Zwischenlagerung im Depot		1,5	k.A.	1,4	k.A.	1,7	1,7	0,4	0,2	0,2	0,8

Herkunft /	Jahr	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Zwischenlagerung im Depot		0,7	0,6	0,8	1,2	0,8	0,7	0,4	0,4	0,6	-

Somit beträgt die insgesamt auf **Halde** liegende **Menge** an **REA-Gips** („Zwischenlagerung im Depot“) zwischen mindestens **14 bis ca. 16 Mio. Mg**, wenn die nicht bekannten Mengen der Jahre 2001, 2003 und 2019 hierbei mit zusammen mindestens 2 Mio. Mg geschätzt werden.

Nach Angaben des VGB Verbandes der Großkesselbesitzer PowerTech e.V. schwankt die **Zwischenlagerung** des **REA-Gipses** zwischen **ca. 5-12 %** des jährlichen REA-Gipsaufkommens. Dies zeigt, dass mittlerweile eine nahezu vollständige Verwertung des REA-Gipsaufkommens im Wirtschaftskreislauf (in Bauprodukten, im Zement oder als Versatzmaterial) erfolgt – Aufkommen und Verwertung halten sich in etwa die Waage [Reyer, 2017].

Im Durchschnitt werden jährlich rund **4 Mio. Mg REA-Gips** für Produkte eingesetzt, wobei die Tendenz seit vielen Jahren etwa gleichbleibend ist. Im Jahr 2007 wurden mit 4,65 Mio. Mg bisher die höchste Menge REA-Gips verarbeitet. Im Vergleich dazu wurden im Jahr 2014 nur ca. 3,76 Mio. Mg REA-Gips verbraucht [Reyer, 2017].

Es ist jedoch anzumerken, dass durch den großen Anfall von REA-Gips mit dem Bau neuer Filteranlagen in den Kohlekraftwerken in den neuen Bundesländern in den 1990er-Jahren, die deutsche Gipsindustrie den Markt für ihre Gipsprodukte stark ausgeweitet hat, d.h. der REA-Gips hat nicht Naturgips ersetzt, sondern der REA-Gips ist zusätzlich zum Naturgips verwendet worden und hat in Deutschland den Markt von etwa 5 auf rund 10 Mio. Mg Gipsverbrauch pro Jahr erhöht. Hierbei sind, wie im Kapitel 2 bereits dargestellt, insbesondere Estriche und Gipsplatten aller Art für diese Marktausweitung zu nennen, aber auch diverse Exportprodukte auf Gipsbasis.

Es ist daher zum einen vor dem Hintergrund der eingesetzten „Corona-bedingten“ Wirtschaftskrise im Frühjahr 2020 sowie zum anderen vor dem Hintergrund der Ausstiegsoptionen aus der Stein- und Braunkohleverstromung in Deutschland bis spätestens zum Jahr 2038 (siehe Kapitel 3.3) nicht mehr damit zu rechnen, dass zukünftig weitere, über die derzeitigen Mengen hinausgehende REA-Gipsmengen der Baustoffindustrie zugeführt werden können. Die Baustoffindustrie wird sich somit auch eigenständig um Substitute für die bisherigen Produkte kümmern müssen (vergleiche hierzu auch Kapitel 9).

Aus dem **Kalkabbau** sind in Deutschland keine relevanten nutzbaren Gipsmengen bekannt, die bei dessen Gewinnung, ebenfalls im obertägigen Abbau parallel anfallen würden.

Die Rückstandshalden der deutschen **Kaliwerke (Kalihalden)**, enthalten die unerwünschten Nebenbestandteile des Kalirohsalzes, die bei der Aufbereitung und Herstellung von Kalidünger und Kalichemikalien abgetrennt worden sind. Es handelt sich hauptsächlich um Steinsalz. Dort wo Hartsalze gewonnen wurden, sind in der Regel auch erhebliche Mengen Kieserit und Anhydrit enthalten (siehe die folgende **Tabelle 16**).

Tabelle 16: Typische Zusammensetzung deutscher Kalihalden

Steinsalz (NaCl)	70 bis 95 Gew. %
Kieserit ($\text{MgSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$)	0,5 bis 30 Gew. %
Anhydrit / Gips (CaSO_4)	0,5 bis 25 Gew. %
Kalisalzreste (KCl)	1 bis 3 Gew. %
Ton, unlösliche Bestandteile	0,5 bis 5 Gew. %

Kalihalden sind in Deutschland zu finden:

- in Philippsthal (Werra) und in Heringen (Werra) (Landkreis Hersfeld-Rotenburg in Hessen),
- in Bokeloh und in Sehnde (beide in der Region Hannover in Niedersachsen),
- in Giesen (Landkreis Hildesheim in Niedersachsen),
- in Wathlingen (Landkreis Celle in Niedersachsen),
- in Neuhoof-Ellers, die Abraumhalde des Kalibergwerkes (Landkreis Fulda in Hessen),
- in Zielitz, die Abraumhalden des Kalibergwerkes (Landkreis Börde in Sachsen-Anhalt),
- in Sollstadt, die Abraumhalde des ehemaligen Kalibergwerkes (Landkreis Nordhausen, Thüringen),
- in Bleicherode, Bischofferode und Menterola, die Abraumhalden der ehemaligen Bergwerke (Thüringen).

Entsorgungsalternativen für die aufgehaldeten Rückstände (aus Sicht der Betreiber):

Der notwendige Aufwand zur Erlangung eines verkaufsfähigen Produktes wird maßgeblich durch die Zusammensetzung der Rückstände bestimmt, so dass dieser je nach Standort deutlich variieren kann (**Tabelle 17**). Die Anlagenbetreiber prüfen regelmäßig im Rahmen von Genehmigungsverfahren und Forschungsarbeiten, ob die festen Rückstände aus der Kaliproduktion zumindest teilweise zu Produkten verarbeitet werden können. Es ist aber festzustellen, dass sich bislang keine Ansätze ergeben haben, die wirtschaftlich und ökologisch vertretbar wären und zudem zu einer deutlichen Reduzierung der Rückstandsmengen führen würden.

Tabelle 17: Zusammensetzung einzelner Rückstandshalden im Werra-Fulda-Kali-Revier bzw. in Thüringen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt

Standort		Wintershall	Hattorf	Neuhoof-Ellers	Bleicherode	Menteroda	Bischofferode	Wathlingen	Zielitz
		Hessen	Hessen	Hessen	Thüringen	Thüringen	Thüringen	Niedersachsen	Sachsen-Anhalt
Parameter		in Betrieb	in Betrieb	in Betrieb	geschlossen	geschlossen	geschlossen	geschlossen	in Betrieb
NaCl	%	92	91	80,1	68	77	74	94	92,8
KCl	%	1,5	1,4	2,3	2	1	3	0,5	2
MgCl_2	%	0,3	0,6	0,9	2	1	1	-	0,9
MgSO_4	%	4,7	5	7,3	6	5	3	-	1
CaSO_4	%	1,5	2	1	18	5	18	1	1,6
K_2SO_4	%	-	-	-	-	5	-	-	0,3
unlösliche Bestandteile	%	-	-	-	-	1	1	4,5	0,2
Glühverlust	%	-	-	-	-	-	-	-	1,2
Restfeuchte	%	-	6	-	-	-	-	<0,1%	-
Summe (tlw. unvollständig)	%	100	100	91,6	96	95	100	100	100

Quellen: verschiedene (Website der Betreiber, u.a.)

Entsorgungsalternativen und Verminderungsmaßnahmen für den Rückstandsanfall wurden in den jeweiligen Genehmigungsverfahren auf technische Umsetzbarkeit, Genehmigungsfähigkeit, ökologische Sinnhaftigkeit und wirtschaftliche Machbarkeit geprüft. Die im Rahmen der Umweltverträglichkeitsstudien dargelegten Alternativenprüfungen zeigen, dass es keine Alternative hinsichtlich der Rohsalzaufbereitung und Entsorgung von Rückständen durch Aufhaltung gibt. Maßnahmen zur Verminderung und Vermeidung von Auswirkungen auf die Umwelt werden nach heutigem Stand der Technik ausgeschöpft. Eine weitere Verwertung der Rückstände ist derzeit technisch nicht möglich, ökologisch nicht nachhaltig und wirtschaftlich nicht sinnvoll.

Die Gips-/ Anhydritanteile in den jeweiligen Kalihalden schwanken bei fünf Kalihalden, für die Daten vorliegen (siehe **Tabelle 17**) zwischen lediglich 1 bis 2 % und können daher nicht wirtschaftlich erschlossen werden.

In den drei Thüringer Kalihalden, die jedoch schon seit den neunziger Jahren nicht mehr betrieben werden, liegen die Gipsanteile zwischen 5 bis 18 %. Die Nachfolgegesellschaften der Bergwerke Bleicherode, Bischofferode und Menteroda haben hier in den vergangenen Jahrzehnten z.T. auch Deponien auf den alten Abraumhalden betrieben. Eine wirtschaftliche Möglichkeit zur Gewinnung der unter den Abfallabdeckschichten liegenden Gips- bzw. Anhydritanteile aus den Abraumhalden ist daher auch aus diesem Grund nicht mehr gegeben.

Rückbau von Gips aus Halden der Gipsgewinnungsunternehmen in Thüringen

Für die vier in **Tabelle 13** enthaltenen Unternehmen Fa. Knauf Deutsche Gipswerke KG, Fa. Kohnstein Bergwerks GmbH, Fa. CASEA GmbH sowie Fa. Saint Gobain Formula GmbH besteht in der Zukunft die Option deren Haldenmaterial, dass den Abraum aus der vorwiegend früheren 80 mm Absiebung, jetzt eher 20 mm Absiebung aus dem Naturgipsabbau enthält, durch ein trockenes Siebverfahren nachzubearbeiten. Hierdurch liessen sich bis zu 80% des im Abraumaterial noch enthaltenen Gips für die Produktion, z.B. von Putzgipsen gewinnen. Bei der Fa. Casea liegen hierzu mindestens 400.000 m³, die im Rahmen eines Forschungsvorhabens (RCGipsStartBUW) aufbereitet werden sollen [Poerschke, et.al., 2018; mündl. Auskunft Fa. Casea GmbH].

Das gesamte Haldenmaterial der vier Unternehmen und auch noch weiterer Standorte in Deutschland ist jedoch nicht bekannt und konnte im Rahmen dieses Gutachtens auch nicht recherchiert werden. Es kann konservativ jedoch für die kommenden 10 bis 25 Jahr eingeschätzt werden, dass insgesamt mehrere Millionen Mg an Gips aus diesen Abraumhaldenrückgewinnungsverfahren erzielt werden können. Dies ist die Potenzialeinschätzungen im Kapitel 10 für die Jahre nach 2025 bis 2030 eingearbeitet worden.

6. Importpotentiale von REA-Gips in der Zukunft

Die Struktur der Stromerzeugung aus Stein- und Braunkohlekraftwerken innerhalb der EU28-Staaten zeigt die folgende **Tabelle 18**. Relevante Kapazitäten an Kohlekraftwerken, in denen REA-Gips anfallen könnte, bestehen aktuell nur in Deutschland (BKK/SKK), Polen (SKK/BKK), Tschechien (BKK) sowie in UK (SKK), Italien (SKK), Spanien (SKK), Bulgarien (BKK), Griechenland (BKK) und in Rumänien (BKK).

Neue Kraftwerkskapazitäten kommen in den nächsten Jahren nur in Deutschland, Polen und Griechenland hinzu. Für 14 EU-Staaten existieren konkrete Kohleausstiegszeitpunkte zwischen 2020/ 2022 und 2038. In Spanien und Tschechien sind Kohleausstiegsjahre aktuell in Diskussion. In fünf EU-Ländern ist noch keine Beendigung der Kohleverstromung festgelegt.

Die folgende **Tabelle 18** enthält zum Vergleich untereinander auch die Daten zu den jeweiligen Durchschnittspreisen der Stromerzeugung insgesamt und zu deren CO₂-Intensität.

Tabelle 18: Struktur der Stromerzeugung aus Stein- und Braunkohle innerhalb der EU28-Staaten – Kapazitäten, Ausstiegsjahre, Durchschnittstagespreise und CO₂-Intensität – Quelle: Agora Energiewende, ENTSO-E, EEA für das Jahr 2019

EU-Land /	Werte	BKK/SKK	BKK	SKK	Neu	Ausstieg	Durchschnitt	CO ₂ -Intensität
Einheit	GW	GW	GW	GW	GW	Jahr	Euro/MWh	g CO ₂ /kWh
EU 28	147,2	54,2	92,6	4,2	-	-	46 (-5)	322
<i>Belgien</i>	-	-	-	-	-	keine Kohle	39 (-17)	134
Bulgarien	5,0	3,7	1,3	-	-	Nein	57 (+17)	517
<i>Dänemark</i>	2,5	-	2,5	-	-	2030	39 (-6)	175
Deutschland	46,3	22,1	24,3	1,1	2038	2038	38 (-7)	397
Estland	-	-	-	-	-	keine Kohle	46 (-1)	957
Finnland	1,9	-	1,9	-	-	2029	47 (+14)	163
<i>Frankreich</i>	3,2	-	3,2	-	-	2022	39 (-11)	44
Griechenland	3,8	3,8	-	0,6	-	2028	49 (-11)	531
Irland	0,9	-	0,9	-	-	2025	50 (-10)	261
Italien	8,6	-	8,6	-	-	2025	52 (-9)	264
Kroatien	0,3	-	-	-	-	Nein	49 (-3)	202
Lettland	-	-	-	-	-	keine Kohle	46 (-4)	249
Litauen	-	-	-	-	-	keine Kohle	46 (-4)	177
<i>Luxemburg</i>	-	-	-	-	-	keine Kohle	-	80
Malta	-	-	-	-	-	keine Kohle	-	424
<i>Niederlande</i>	4,5	-	4,5	-	-	2029	41 (-11)	332
<i>Österreich</i>	0,2	-	0,2	-	-	2020	40 (-5)	86
<i>Polen</i>	30,4	8,4	22,0	2,5	-	Nein	54 (+1)	917
Portugal	2,0	-	2,0	-	-	2023	48 (-10)	206
Rumänien	5,1	4,5	0,6	-	-	Nein	50 (+7)	339
Schweden	0,1	-	0,1	-	-	2022	39 (-6)	37
Slowakei	0,7	0,4	0,3	-	-	2023	42 (-7)	288
Slowenien	1,1	1,0	0,0	-	-	Nein	49 (-2)	286
Spanien	9,9	1,1	8,8	-	-	in Diskussion	48 (-10)	197
<i>Tschechien</i>	9,7	8,5	1,2	-	-	in Diskussion	40 (-6)	543
Ungarn	1,1	0,9	0,3	-	-	2030	50 (-1)	336
Vereinigtes Königreich	9,9	-	9,9	-	-	2025	49 (-16)	177
Zypern	-	-	-	-	-	keine Kohle	-	688

Deutschland (Fett) und seine direkten EU-Nachbarländer (kursiv); BKK: Braunkohlekraftwerke, SKK: Steinkohlekraftwerke, Neu: neue Steinkohlekraftwerke, die noch in Betrieb gehen; GW: Kapazität

Die Situation der REA-Gipserzeugung und -verwendung in den Nachbarländern zu Deutschland sieht aktuell wie in der folgenden **Tabelle 19** dargestellt aus:

Tabelle 19: REA-Gipsproduktion in den Kraftwerken sowie Gipsverbrauch zur jeweiligen Gesamtproduktion von Gipsbauplatten (Code 26.62.10) in den deutschen Nachbarländern – Quellen: VGB Power Tech, EUROSTAT, eigene Einschätzungen

Land / Jahr	Produktion	Export	Gesamt	Gipsbedarf	REA-Gips	Deckung
	2018	2016	2018	Mio. Mg/a	Mio. Mg/a	%
Dänemark	24	4	ca. 28	0,3	0,1	40%
Polen	150	27	ca. 177	1,8	3,0	170%
Tschechien	n.b.	16	>16	>0,2	1,4	<850%
Österreich	n.b.	15	>15	>0,1	0,03	<17%
Schweiz	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Frankreich	168	9	ca. 177	1,8	0,1	5%
Belgien	n.b.	0	>0	>0	0,03	n.b.
Luxemburg	0	0	0	0	0	0%
Niederlande	39	15	ca. 55	0,5	0,3	47%
	381	87	>437	>4,7	4,9	bis 100%

Angaben zu Produktion und Export in Mio. m²/a basierend auf Daten von EUROSTAT

Polen

Die aktuelle Produktion von REA-Gips in den Braun- und Steinkohlekraftwerken in Polen beträgt laut Angaben der USGS für das Jahr 2018 3,7 Mio. Mg, andere Abschätzungen, die auf den Stromproduktionsmengen basieren gehen von nur 3,0 Mio. Mg im Jahr 2018 und von lediglich 2,7 Mio. Mg im Jahr 2019 aus. Für die inländische Jahresproduktion der rd. 150 Mio. m² Gipsbauplatten im Jahr 2018 werden hiervon in Polen bis zu 1,6 Mio. Mg/a REA-Gips eingesetzt. Für die Exportmengen von rd. 27 Mio. m² Gipsbauplatten (2016) werden weitere rd. 0,25 Mio. Mg/a REA-Gips aufgewendet. Eine weitere Gipsmenge dürfte auch zur Produktion von Gipsputzen und -estrichen eingesetzt werden und dürfte zudem in der Zementindustrie Verwendung finden. Somit steht aktuell für einen direkten REA-Gipsexport nach Deutschland eine in den kommenden Jahren jedoch auch in Polen stetig geringer werdende nicht genau bezifferbare Menge an REA-Gips theoretisch zur Verfügung.

Tschechien

Der aktuelle Anfall von REA-Gips in den Braun- und Steinkohlekraftwerken in Tschechien beträgt laut Angaben von VGB Power Tech e.V. für das Jahr 2018 rd. 2,5 Mio. Mg, andere Abschätzungen, die auf den Stromproduktionsmengen basieren gehen von nur 1,4 Mio. Mg im Jahr 2018 und von lediglich 1,3 Mio. Mg im Jahr 2019 aus. Für die inländische Jahresproduktion der Gipsbauplatten (2018) werden hiervon in Tschechien eine nicht genau bekannte Menge an REA-Gips eingesetzt. Für die Exportmengen von rd. 16 Mio. m² Gipsbauplatten (2016) werden weitere rd. 0,15 Mio. Mg/a REA-Gips aufgewendet. Ein weiterer Anteil dürfte zudem in weiteren Gipsanwendungsbereichen sowie in der Zementindustrie Verwendung finden. Somit steht aktuell für einen direkten REA-Gipsexport nach Deutschland eine jedoch nicht genau bezifferbare Menge an REA-Gips theoretisch zur Verfügung.

Sonstige Nachbarländer

Für die sonstigen Nachbarländer zu Deutschland gilt, wie **Tabelle 19** zeigt, dass deren Aufkommen an REA-Gips aus den vergleichsweise wenigen vorhandenen vorwiegend

Steinkohlekraftwerken nur recht gering ist und jeweils auch nur in verhältnismäßig geringem Maße zur jeweiligen Gipsbedarfsdeckung beiträgt (Niederlande und Dänemark bis max. 47 % bzw. 40 %).

Ein Importpotenzial für REA-Gips nach Deutschland besteht somit weder aktuell und auch nicht künftig, da in diesen Ländern mit keinen neuen Kohlekraftwerken zu rechnen ist und die Kohleverstromung auch hier in den kommenden Jahren weiter abnehmen wird.

Der Gesamtgipsbedarf in Frankreich sowie in den drei Beneluxländern – Belgien, Niederlande, Luxemburg - wird aktuell durch recht hohe Importe von Naturgips, u.a. aus Spanien und auch durch Importe aus Deutschland (Naturgips und REA-Gips) anteilig gedeckt. Dies sind somit, bezogen auf Naturgips, keine für eine Bedarfsdeckung in Deutschland relevanten Mengen, d.h. auf Exporte von Naturgips aus Deutschland, v.a. in die Beneluxstaaten und nach Frankreich könnte auch verzichtet werden.

7. Gipsrecycling

7.1 Aktueller Stand des Gipsrecycling in Deutschland

In **Deutschland** beträgt die Menge an **Gipsprodukten** im **Wohn- und Nichtwohngebäudebestand** derzeit ca. **168 Mio. Mg** [UBA, 2015]. Bei Umbauten und Abrissarbeiten wird Gips aus dem Bestand ausgetragen. So fielen laut dem Monitoringbericht der Kreislaufwirtschaft Bau im Jahr 2016 ca. 654.000 Mg Bauabfälle auf Gipsbasis an, die entweder im Deponie- und Bergbau verwertet (52 %) oder auf Deponien beseitigt werden (48%) [Kreislaufwirtschaft Bau, 2017]. Insgesamt sind auf Basis von Schätzungen des Bundesverband Gips hiervon rund 50 Prozent recycelbar. Im Jahr 2016 setzte die Gipsindustrie Verbandsangaben zufolge rund 140.000 Mg als Recycling-Gips ein [EUWID, 2020].

Zum Vergleich hierzu lag die geschätzte Recyclingquote von Gipsplatten im **europäischen Ausland** im Jahr 2013 in den Niederlanden und Belgien bereits bei rd. 40 %, in Großbritannien bei rd. 22 % und in Frankreich bei rd. 15 %. Hierfür werden verschiedene Treiber benannt, u.a. höhere Deponiekosten, Deponierungsverbot unsortierter oder verwertbarer Gipsabfälle oder abweichende Qualitätsanforderungen, die einen höheren Wiedereinsatz von Recyclinggips (RC-Gips) in den Bauprodukten zulassen.

Für die **rechtliche Einordnung des Gipsrecycling** ergeben sich die folgenden Grundlagen:

Die **EU-Abfallrahmenrichtlinie** [Richtlinie 2008/98/EG] aus dem Jahr 2008 schreibt die 5-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 EU-Mitgliedsstaaten bis zum 1.1.2020 für nicht gefährliche Bau- und Abbruchabfälle eine Recyclingquote von mindesten 70 % erfüllen. Dies gilt auch für gipshaltige Abfälle, wie v.a. Gipskartonplatten oder Gipsblöcke bzw. Gipswandbauplatten. Die EU-Abfallrahmenrichtlinie wurde mit dem Inkrafttreten des **Kreislaufwirtschaftsgesetzes** [KrWG, 2012] im Jahr 2012 in deutsches Recht umgesetzt.

Die **Gewerbeabfallverordnung** [GewAbfV, 2017] 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 KrWG [KrWG, 2012] vorrangig der Vorbereitung zur Wiederverwendung oder dem Recycling zuzuführen. Für Vorbehandlungsanlagen von Bau- und Abbruchabfällen werden insgesamt eine Sortierquote von 85 % und eine Recyclingquote von 30 % vorgeschrieben [GewAbfV, 2017].

Weitere künftig zu erwartende rechtliche Regelungen für Deutschland und die EU:

Die **Ersatzbaustoffverordnung** ist eine geplante Rechtsverordnung (Bearbeitungsstand des aktuellen Entwurfes des BMU: 19.03.2020 [BMU, 2020]). 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 Gipskarton-/ Gipsfaserplatten sowie Gipsblöcke bzw. Gipswandbauplatten.

Um das Potenzial zur Steigerung der Materialeffizienz und zur Verringerung der Klimaauswirkungen auszuschöpfen plant die EU-Kommission im Rahmen der Umsetzung des „**Green Deal für Europa**“ [EU-Kommission, 2019], in einem Aktionsplan von Mitte März 2020 [EU-Kommission, 2020] niedergelegt, eine neue umfassende Strategie für eine nachhaltige bauliche Umwelt auf den Weg bringen. Sie wird die Grundsätze der Kreislaufwirtschaft während des gesamten Lebenszyklus von Gebäuden fördern, v.a. durch:

- Berücksichtigung der Nachhaltigkeitsleistung von Bauprodukten im Rahmen der Überarbeitung der Bauprodukteverordnung [Bauprodukte-VO, 2011], einschließlich der möglichen Einführung von Anforderungen an den Rezyklatanteil für bestimmte Bauprodukte unter Berücksichtigung ihrer Sicherheit und Funktionalität;
- Förderung von Maßnahmen zur Verbesserung der Langlebigkeit und Anpassungsfähigkeit von Bauten im Einklang mit den Grundsätzen der Kreislaufwirtschaft für die Gestaltung von Gebäuden und Entwicklung digitaler Gebäude-Logbücher;
- Nutzung von Level(s) zur Einbeziehung der Lebenszyklusanalyse in die öffentliche Auftragsvergabe und des EU-Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen sowie Prüfung der Zweckmäßigkeit der Festlegung von CO₂-Reduktionszielen und des Potenzials der CO₂-Speicherung;
- Prüfung einer Überarbeitung der in den EU-Rechtsvorschriften festgelegten Zielvorgaben für die stoffliche Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen und ihren materialspezifischen Fraktionen [EU-Kommission, 2020].

7.2 Nachhaltigkeit des Gipsrecycling in Deutschland

Die deutsche Gipsindustrie ist sowohl aus Nachhaltigkeitsgründen als auch aus Gründen einer langfristigen Rohstoffsicherung bestrebt, das Gipsrecycling zu stärken und weiterzuentwickeln. Dabei soll der komplette Produktlebenszyklus von der Rohstoffgewinnung über die Produktion und den Einbau bis hin zum Rückbau und zum Recycling lückenlos realisiert werden. Ein Vorteil dabei ist, dass Gips nahezu unbegrenzt recycelt werden kann ([IÖR/ Intecus, 2020], [UBA, Buchert, 2017], [Menz, et.al, 2020]).

In Deutschland werden sortenrein ausgebaute Gipsabfälle nicht direkt von Bauunternehmen entsorgt, sondern durch Entsorgungsunternehmen bei den Recyclinganlagen angeliefert bzw. deponiert. Die durchschnittliche Transportentfernung für die Gipsabfälle wird hierbei auf einen Radius von 50 bis 100 km (maximal 200 km) geschätzt [Founti, et.al. 2015].

In anderen europäischen Ländern (z. B. Belgien, Frankreich, Niederlande, Skandinavische Länder) werden Gipsabfälle in der Regel direkt vom Bauunternehmen zum Gipshersteller transportiert und dort aufbereitet. Die Transportentfernungen sind sehr unterschiedlich und variieren hier von Land zu Land zwischen 80 bis 300 km [IÖR/ Intecus, 2020].

In der vorliegenden Studie [IÖR/ Intecus, 2020] wurden für die Produktgruppe Gips zwei typische Rückbauqualitäten Gipskartonplatten (R1) und Gipsblöcke bzw. Gipswandbauplatten (R2) auf die Nachhaltigkeit der Entsorgungskette im Vergleich zur Produktionskette untersucht. Die zwei untersuchten Prozessketten wurden instruktiv entwickelt, indem typische Rückbauqualitäten, Einsatzvarianten und Aufbereitungsverfahren ermittelt und zu durchgehenden Prozessketten zusammengeführt wurden.

Gipskartonplatten (R1)

Gipskartonplatten nach DIN EN 520 und DIN 18180 (R1) bestehen aus einem Gipskern und einer Ummantelung aus Karton, Gipsfaserplatten enthalten neben dem Grundstoff Gips zur Armierung 15-20 Gew.-% Papierfasern [Kolb, 2004]. Gipskartonplattenabfälle fallen zum Großteil bei Rückbau- und Abrisstätigkeiten und nur zu kleineren Teilen bei Sanierungen und beim Neubau an. Sie sind mit anderen Stoffen (u. a. Anstrichen, Tapeten) vermischt und haben zum Teil Jahrzehnte in den Gebäuden verweilt. Aufgrund der in der Regel heterogenen Herkunft der Gipsabfälle aus Abbruch- bzw. Rückbauvorhaben kann es nicht nur zu Schwankungen der Materialeigenschaften, sondern auch zu Querkontaminationen mit bautypischen Schadstoffen kommen. Schadstoffe werden u.a. durch Annahmebeschränkungen für kontaminiertes Rückbaumaterial und strenge Qualitätsempfehlungen an RC-Gips begrenzt. Daneben sind auch die zurzeit in der Diskussion befindlichen möglichen Verunreinigungen der Gipsabfälle mit asbesthaltigen Spachtelmassen zu berücksichtigen [GVSS, 2015]. Diese können vor allem auch durch Querkontaminationen verursacht werden.

Bereits das Vorhandensein von Asbest in geringen Mengen kann dabei zum Ausschluss des Materials aus der Gipsaufbereitung führen [Beckert, et.al., 1995]. Kein Recycling ist möglich, wenn der Asbestgehalt in zu recycelnden Gipsabfällen den Grenzwert von 0,1 Gew.-% gemäß Abfall- und Gefahrstoffrecht überschreitet (Einstufung als gefährlicher Abfall).

Hinsichtlich der Frage, wann Gipse bezüglich eines Asbestgehalts in Verkehr gebracht werden dürfen, existieren unterschiedliche Rechtsauffassungen. Das BMU und auch die LAGA (LAGA M 20, 2020) vertreten bisher das „0-Faser-Prinzip“, d.h., keine einzige Asbestfaser für das Recycling ist zulässig, absolutes Inverkehrbringungsverbot. Da dies nicht praktikabel ist, mehrten sich die Auffassungen (so der AK Asbest im Rahmen der Novellierung der GefStV), dass z.B. als „Abschneidegrenze“ die Nachweisgrenze des „Verfahrens zur analytischen Bestimmung von Asbestfasern mit REM/EDX, TRGS 517 7487 BIFA“ mit 0,008 Gew.-% festgelegt werden sollte, bei deren Unterschreitung von „Asbestfreiheit“ auszugehen und damit ein Recycling möglich sein sollte. Diese bisher fehlende Rechtssicherheit beim Themenbereich „Asbestfreiheit“ ist ein Grund für die bisher sehr eingeschränkten Gips-Recyclingaktivitäten [IÖR/Intecus, 2020].

Daher werden von Jörg Demmich, im Auftrag der deutschen Gipsindustrie, in [EUWID, 2020b] niedergelegt, auch Schritte zur Steigerung des Gipsrecycling gefordert, bei denen jedoch folgende Rahmenbedingungen umzusetzen sind:

- die Festlegung eines Asbestgrenzwertes in Verbindung mit einem Standardanalyseverfahren und einer gekoppelten Nachweisgrenze für Asbest sowie
- der rechtssicheren Festlegung, dass bei Unterschreitung dieser Nachweisgrenze von „Asbestfreiheit“ auszugehen ist.

Gipsblöcke bzw. Gipswandbauplatten (R2)

Gipsblöcke bzw. Gipswandbauplatten sind Bauelemente aus massivem Stuckgips zum Herstellen von nichttragenden inneren Trennwänden, Schachtwänden, Vorsatzschalen oder Stützensummantelungen im Innenbereich (R2). Die Wände werden ohne Unterkonstruktion allein mit Gipskleber errichtet. Trennwände aus Gipswandbauplatten benötigen keinen Putz, sie werden lediglich im Fugen- und Anschlussbereich oder ganzflächig verspachtelt, wahlweise mit dem Gipskleber selbst oder einem Flächenspachtel. Die Herstellung und Verarbeitung von Asbest sind in Deutschland zwar seit 1993 verboten, Experten stellten jedoch bei Prüfungen

fest, dass asbesthaltige Spachtelmassen oder Fliesenkleber in ungefähr einem Viertel der vor 1995 errichteten Gebäude vorhanden sind [GVSS 2015].

Die Herstellung von RC-Gips aus Gipswandbauplatten und Gipsblöcken entspricht technologisch der Herstellung von RC-Gips aus Gipskartonplatten. Der gewonnene RC-Gips wird vornehmlich in der Gipsindustrie verwendet. Eine alternative Einsatzvariante stellt die Verwendung von RC-Gips als Zuschlagstoff bei der Zementherstellung gemäß DIN EN 197-1, DIN EN 14216, sowie DIN 1164, Teil 10, 11 und 12 dar. Allerdings ist dieser Verwertungsweg noch nicht hinreichend etabliert und wird derzeit nur in sehr geringem Umfang realisiert [IÖR/ Intecus, 2020].

Die **Ergebnisse** der **Nachhaltigkeitsanalysen** der untersuchten Prozessketten lassen sich gemäß [IÖR/Intecus, 2020] wie folgt in fünf Kriterien zusammenfassen:

Energieverbrauch

Der Recyclingprozess von Gips ist aktuell noch energieintensiver als die Prozesse zur Gewinnung von Natur- oder REA-Gips, nicht jedoch als die Bereitstellung des Sulfatträgermixes aus Anhydrit, Naturgips und REA-Gips für eine Neuproduktion.

Besonderheiten

Asbestfasern in geringen Mengen führen zum Ausschluss des Materials aus der Gipsaufbereitung. Asbesthaltiger RC-Gips könnte alternativ einen Anteil des Rohmehlinputs für die Herstellung von Zement bilden, da durch die Herstellung von Klinker hohe Temperaturen notwendig sind, unter denen Asbestfasern unschädlich gemacht werden. Diese Anwendung ist denkbar und technisch möglich, aktuell jedoch noch kein Standard. Die fehlende Rechtssicherheit bezüglich eines praktikablen Grenzwertes für Asbestfasern in RC-Gips führt z.Zt. noch zu den sehr eingeschränkten Gipsrecyclingaktivitäten.

Ausschleusung & Allokationen

Je nach Ausgangsmaterial werden während des Recyclingprozesses ca. 11-18 Gew.-% des Materialinputs ausgeschleust. Ausgeschleustes Papier und Holz kann energetisch genutzt werden. Auf Deponien zu entsorgende Stör- und Fremdstoffanteile fallen nicht oder nur in geringen Mengen an. Eine weitere stoffliche Verwertung kommt nur für Metallanteile in Frage. Der Anteil an ausgeschleustem Metall liegt jedoch bei max. 1 Gew.-%, bezogen auf den Materialinput.

Primärstoffeinsparungen

REA-Gips ist bis zum letzten Jahr noch ausreichend verfügbar gewesen, wird sich jedoch durch die Schließung der stark umweltbelastenden Kohlekraftwerke (u.a. wegen der recht hohen CO₂-Emissionen) bis maximal 2038 auf null reduzieren [Kohleausstiegsgesetz, 2020]. Somit ist der Natur- und REA-Gips künftig besonders auch durch RC-Gips zu substituieren.

Flächennutzungskonflikte

Primärstoffquellen sind aufgrund von konkurrierenden Flächennutzungsansprüchen nur begrenzt erschließbar, Flächen für Deponien können eingespart werden.

7.3 Wirtschaftlichkeit des Gipsrecycling in Deutschland

Die Kosten des Gipsrecyclings setzen sich im Wesentlichen aus den Kosten des Recyclingverfahrens selbst (Annahmepreise: 53 %) sowie den Transportkosten der Gipsabfälle von der Baustelle zur Recyclinganlage (46 %) zusammen. Der Transport des RC-Gipses macht nur

noch das fehlende Prozent aus. Verkaufserlöse erzielt der RC-Gips dabei zudem nicht (Verkaufspreis: 0 €) [UBA, Buchert, 2017].

Die Wirtschaftlichkeit des Recyclings von Gipsabfällen wird durch den Preisvergleich mit anderen möglichen Entsorgungswegen bestimmt. Liegen etwa die Kosten der Deponierung von Gipsabfällen, wie Gipskartonplatten deutlich unter 50 € pro Mg wird das alternative Recycling der Gipskartonplatten unwirtschaftlich [Bunzel, et.al., 2016].

7.4 Künftige Perspektiven für das Gipsrecycling

Der Austrag von Gips aus dem Gebäudebestand steigt jährlich, allerdings steht hiervon künftig nicht die gesamte Menge an Gipsabfällen für ein Gipsrecycling zur Verfügung.

Schätzungen gehen für Deutschland von Gipsbauplattenabfällen zwischen 0,67 Mio. Mg und 1,34 Mio. Mg im Jahr 2030 aus, wovon 0,55 Mio. Mg bis 1,1 Mio. Mg den verwertbaren Anteil darstellen [UBA, Buchert, 2017]. Die Zahlen für die maximal möglichen gipshaltigen Abfälle zur Verwertung liegen noch deutlich höher: Hier liegt die aus der Bauwirtschaft austragbare Gipsmenge bei geschätzten 0,8 bis 5,5 Mio. Mg/a [Accenture/ Ökopol, 2017], wobei die obere Bandbreite meinerseits als eher unrealistisch eingeschätzt wird.

Prognosen des Bundesverbands Gips zufolge werden im Jahr 2025 ca. 1 Mio. Mg Bauabfälle auf Gipsbasis anfallen. Von denen sind ca. 0,5 Mio. Mg recycelbar, wie der Verband schätzt. Die Lücke, die REA-Gips bis spätestens zum Jahr 2038 hinterlassen wird, liegt demnach, nach Verbandsangaben, aber bei 2,0 bis 2,5 Mio. Mg – also das Vier- bis Fünffache des perspektivisch zur Verfügung stehenden Recyclinggipses [EUWID, 2020].

7.5 Schritte zur verbesserten Kreislaufführung von Gipsabfällen

Folgende Aspekte sind jedoch eine der Grundvoraussetzungen für ein effektives Recycling von Gipsabfällen im Bauwesen:

Verbessertes Design bereits bei der Bauplanung

Gips wird in verschiedenen Varianten im Innenausbau von Gebäuden verwendet, am häufigsten in den letzten Jahren in Form von relativ leicht zu separierenden Gipswandbauplatten, so dass deren Anteil an den Bauprodukten in den vergangenen Jahren stark zugenommen hat. Zudem wird Gips im Innenausbau in Trocken-, Fließ- und Verbundestrichen sowie in Gipswand- und Gipsdeckenputzen verwendet [Accenture/ Ökopol, 2017].

Da nicht nur das Design der verwendeten Gipsbauteile und wie sie auf der Baustelle verbaut werden maßgeblich die späteren Verwertungsmöglichkeiten bestimmen, sollte bereits bei der Bauplanung die Möglichkeit der späteren Verwertung der Bauelemente und Materialien berücksichtigt werden und so, wie es auch der EU-Aktionsplan [EU-Kommission, 2020] von Mitte März 2020 auflistet, die Entwicklung **digitaler Gebäude-Logbücher** in Deutschland künftig ins Auge gefasst werden (so auch in [BMI, 2019], [320Grad, 2020a] enthalten).

Bessere Informationsverfügbarkeit

Vor dem **Rückbau** oder Abriss eines Gebäudes sind verschiedene Vorkehrungen zu treffen, um die verwertbaren gipshaltigen Bauteile und Materialien aus dem heutigen Gebäudebestand separieren zu können. Dies beinhaltet das Aufstellen eines **Inventars** für das entsprechende Gebäude, inklusive eines vor dem Rückbau durchzuführenden Audits zur Feststellung der

gesamten Gebäudezusammensetzung sowie schlussendlich zur Bestandsaufnahme aller verwertbaren gipshaltigen Bauelemente/ Materialien. Dies ermöglicht dann das darauf abgestimmte Festlegen des geeigneten, kosteneffizientesten Vorgehens [BMI, 2019].

Für alle **künftigen Bauvorhaben** könnte die detaillierte Bestandsaufnahme vor dem Rückbau durch Aufstellung der digitalen Gebäude-Logbücher schon im Rahmen der Bauplanung und Baudurchführung dann entfallen. Bei diesem Ansatz werden alle relevanten Daten und Informationen über ein geplantes Gebäude in ein 3-D-Modell eingespeist und allen Projektbeteiligten verfügbar gemacht. Dieses Modell kann dann nicht nur zur Effizienzsteigerung der Lebensphasen des Planes, Bauens und Betreibens von Bauwerken, sondern auch für die spätere Kreislaufführung der verwendeten Baustoffe/ Materialien eingesetzt werden, in dem den beteiligten Rückbauunternehmen diese Informationen zu den verwendeten Materialien schon für die Planung der Rückbaumaßnahmen verfügbar gemacht werden. Unterstützend könnte hierfür auch eine digitale Kennzeichnung (z.B. über RFID-Kodierung) der gipshaltigen Bauteile, wie z.B. auch der Unterscheidung von Gipskarton- oder Gipsfaserplatten, für ein darauf abgestimmtes spezifisches Recycling dieser gipshaltigen Bauprodukte wirken.

Abgestimmte Rückbaumaßnahmen

Für eine möglichst sortenreine Separierung von gipshaltigen Materialien im Innenausbau von Gebäuden sind selektive Rückbaumaßnahmen unerlässlich. Während hierbei Gipswandbauplatten, Trockenestriche und schwimmend verlegte Fließestriche verhältnismäßig einfach von Hand oder mittels Werkzeugen entfernt werden können, sind Fließestriche und gipshaltige Wand- und Deckenputze aufgrund der angestrebten guten Haftung dieser Materialien zum Beton bzw. Mauerwerk während der Nutzungsphase, beim Rückbau nur schwer zu separieren [Accenture/ Ökopool, 2017].

Eine effektive Unterstützung solcher Rückbaumaßnahmen durch einen an das künftige EU-Recht angepassten Rechtsrahmen mit entsprechenden Anforderungen an einen kostenoptimalen, selektiven Rückbau gipshaltiger Baustoffe bzw. Materialien aus Gebäuden würde hier eine deutliche Verbesserung für das europaweite Gipsrecyclings darstellen [EU-Kommission, 2020].

Das bis Juni 2022 laufende **Forschungsprojekt „RessProKA“**, geleitet vom Institut für Infrastruktur, Wasser, Ressourcen und Umwelt (IWARU) an der FH Münster beschäftigt sich daher mit der Frage, wie Bauprodukte aus dem gewerblichen und öffentlichen Hochbau möglichst lange im Kreislauf gehalten werden können. „In diesem Bereich kommen eher standardisierte Bauweisen zum Einsatz, die Austauschzyklen sind deutlich kürzer und der Individualisierungsgrad ist deutlich geringer als zum Beispiel im privaten Wohnungsbau“. Untersucht werden im Forschungsprojekt auch die Möglichkeiten, die die Digitalisierung – etwa mittels Building Information Modeling (BIM) – zur Datendokumentation und zur Kennzeichnung für Verortung und Rückverfolgung bieten [320Grad, 2020a].

Verbot der Deponierung und des Exports von Gipsabfällen

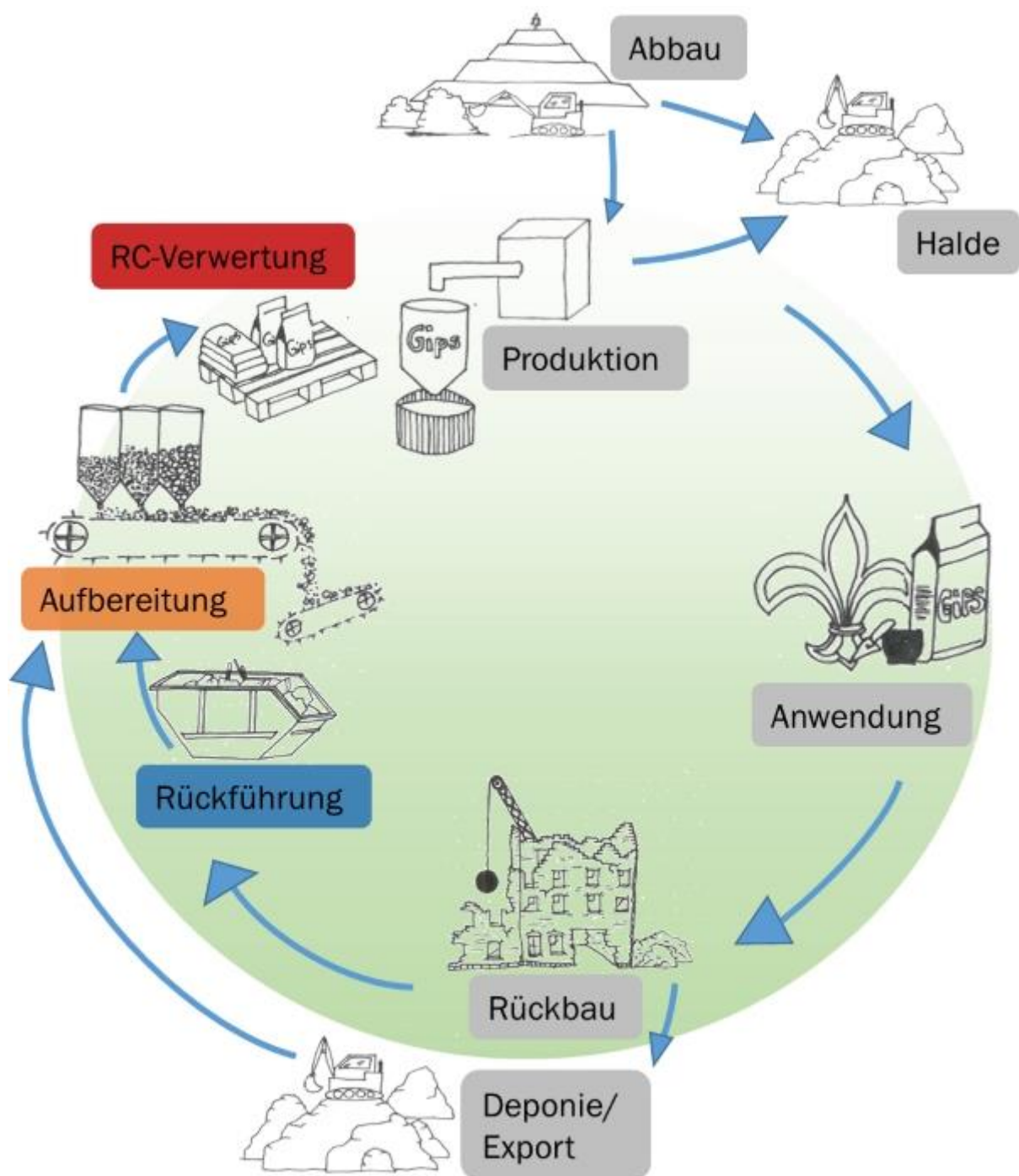
Die Deponierung und der Export recyclingfähiger Gipsabfälle für Pseudo-Verwertungswege, z.B. nach Tschechien müssen zudem gestoppt werden [EUWID, 2020b].

7.6 Fazit für das Recycling von Gipsabfällen in Deutschland

Die Experteneinschätzungen zum langfristig bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus verfügbaren Potenzial aus dem Recycling von Gipsabfällen reichen von konservativ eingeschätzten 0,5 Mio. Mg pro Jahr an Recyclinggips bis einer Menge von 1,1 Mio. Mg [UBA, Buchert, 2017] bis

optimistisch eingeschätzten bis zu maximal 2 Mio. Mg pro Jahr an Recyclinggips für die nächsten beiden Jahrzehnte ([Accenture/ Ökopool, 2017], [EUWID, 2020b]).

Abbildung 2: Theoretischer Wertstoffkreislauf des Gipses [Poerschke, et.al., 2018]



Dies ist im Kapitel 10 im Rahmen der Ausstiegsszenarien für Naturgips bis zum Jahr 2045 wieder aufzugreifen und zudem in Bezug auf die Realisierungswahrscheinlichkeit im Rahmen einer Folgenabschätzung für Deutschland zu bewerten.

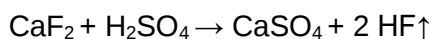
8. Gipse aus der chemischen Industrie

Bei einer Reihe chemischer Prozesse, wie z.B. bei der Herstellung von Caprolactam (Vorprodukt für hoch polymeres Gusspolyamid), Weinsäure, Zitronensäure und Oxalsäure, Phosphorsäure oder bei der Aufbereitung von Dünnsäure aus der Titandioxidherstellung, fallen gewisse Mengen von Gips an. Im Folgenden werden diese jeweiligen Prozesse mit den hierbei entstehenden Gipsmengen, soweit für Deutschland und/ oder Europa bekannt, betrachtet.

8.1 Gips aus der Flusssäureherstellung

Flusssäure ist ein vielfältig verwendbares Produkt und wird unter anderem für die Fertigung von Mikrochips, Photovoltaikkollektoren und in der Handyindustrie verwendet.

Bei der Flusssäureherstellung entsteht das Anhydrit durch die Umsetzung von Flussspat mit konzentrierter Schwefelsäure:



und anschließender Reinigung mittels Calciumoxid zur Entfernung der Schwefelsäure bei Temperaturen von etwa 200°C:



Synthetisch hergestelltes Calciumsulfat ist aus chemischer Sicht mit Gips eng verwandt. In der chemischen Formel für Gips sind im Unterschied zu Calciumsulfat zusätzlich zwei Moleküle Wasser enthalten, die dem Calciumsulfat durch Temperaturzufuhr entzogen wurden.

Calciumsulfat wird demnach als "wasserfreies Calciumsulfat" bezeichnet. Durch die Zugabe von Wasser entsteht das Reaktionsprodukt Gips. Im Unterschied zu einem Stuckgips mit einem sehr niedrigen Festigkeitsniveau entsteht bei der Reaktion von Calciumsulfat mit Wasser ein hochfester Gips mit herausragenden technischen Eigenschaften. Durch gezielte Aufmahlung des Calciumsulfats und der Zugabe eines Anregers entsteht ein hochwertiges Bindemittel.

LANXESS (Leverkusen) produziert seit mehr als 70 Jahren Flusssäure. Hierbei fallen je produziertem Mg an Flusssäure ca. 4 Mg Calciumsulfat als Nebenprodukt an. Seit 1962 wird das Anhydrit zu einem hochwertigen Bindemittel⁶ zur Herstellung von Estrichen veredelt.

HONEYWELL (Seelze), SOLVAY (Bad Wimpfen) sowie FLUORCHEMIE (Dohna, Stulln) stellen ebenfalls mehrere tausend Mg Flusssäure pro Jahr her, auch hierbei fällt Anhydrit an.

Das Aufkommen an **Flusssäure-Anhydrit** in Deutschland betrug im Jahr 2013 nach Verbandsangaben etwa 400.000 Mg pro Jahr. Damit ist die Menge im Vergleich zu den Vorjahren um etwa 50.000 Mg/a gesunken. Da für den Sekundärrohstoff Flusssäure-Anhydrit keine dezidierte Betrachtung vorgenommen werden kann, wird das Aufkommen für die Jahre von 2020 bis 2035 mit 400.000 Mg/a als konstant angenommen (Veränderung 2035/2013: ±0 %). Würde auch zukünftig die Menge an Flusssäure-Anhydrit weiter abnehmen, müsste der Rückgang anderweitig kompensiert werden.

⁶ LANXESS Calciumsulfatbinder CAB 30: Ein Baustoff, der mit geringem Energieaufwand hergestellt wird und daher die Umweltressourcen schont. Umfangreiche Eigen- und Fremdüberwachung garantieren die Einhaltung der Anforderungen der DIN-Norm für Calciumsulfatbinder DIN EN 13454, die in der Ausführungsnorm für Estriche DIN 18560 bei der Herstellung von Calciumsulfatestrich ausdrücklich verlangt wird.

8.2 Gips aus der Zitronensäureherstellung

Beim heute zur Herstellung von Zitronensäure angewendeten **Submersverfahren** könnten theoretisch aus 100 g Saccharose 123 g Zitronensäure-Monohydrat gewonnen werden. Die praktisch erzielbaren Ausbeuten liegen aber deutlich niedriger, weil zur Vermehrung und für andere Stoffwechselvorgänge des Pilzes Zucker verbraucht wird. Das Pilzmycel wird nach Beendigung der Zitronensäurebildung abgetrennt. Es ist proteinhaltig und ungiftig und dient als Futtermittel in der Tierhaltung.

Zur Gewinnung der Zitronensäure aus der verunreinigten Fermenterlösung wird die Zitronensäure durch Zugabe von Kalkmilch und Erhitzen als Calciumcitrat gefällt.



Das ausgefallene Calciumcitrat wird abgetrennt und mit verdünnter Schwefelsäure zu Zitronensäure und Gips umgesetzt.



Der ausfallende Gips wird abfiltriert. Die zurückbleibende, meist gelbliche Zitronensäure-Lösung wird zunächst durch Aktivkohle entfärbt. Die resultierende Zitronensäurelösung enthält kaum noch Verunreinigungen. Das **Aufkommen** an **Gips** aus diesem Prozess beträgt rund **50.000 Mg pro Jahr** und wird v.a. zur Deckung des **Bedarfes** an besonders hochwertigen **Dentalgipsen** verwendet.

8.3 Gips aus der Milchsäure- oder Weinsäureherstellung

Milchsäure (E270 / E325), welche zur Gruppe der organischen Säuren gehört, wird aus nachwachsenden Kohlenhydraten durch Fermentation hergestellt. Die Milchsäure und ihre Salze, die Laktate, sind klare wasserhelle bis gelbliche Flüssigkeiten oder Pulver. Sie sind in den verschiedensten Konzentrationen und Qualitäten erhältlich.

In Deutschland wird eine relativ kleine Menge Milchsäure durch die BASF erzeugt (5.000 Mg/a), die diese intern als Zwischenprodukt verwendet. Insgesamt liegt der Nettoimportbedarf Deutschlands für Milchsäure bei rund 8.000 Mg/a. Milchsäure und ihre Laktate besitzen zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, wie z.B. als Zusatzstoff in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie, aber auch in der chemisch technischen Industrie.

Das Aufkommen an Gips aus der inländischen Milchsäureherstellung (s.o.) ist nicht bekannt, jedoch durch das nur recht geringe Produktionsniveau ebenfalls sehr begrenzt.

L(+) Weinsäure und Tartrate (**E334 / E336 / E337**) sind farblose Kristalle oder weiße kristalline Körnchen. L(+) Weinsäure und Tartrate sind in verschiedenen Granulationen erhältlich.

Sie finden Anwendung u.a. als Säureregulator in der Lebensmittelindustrie, als Abbindeverzögerer für Gips in der Bauindustrie oder als Trägerstoff in der Pharmaindustrie u.v.m.

Bei der Herstellung und Reinigung dieser organischen Säuren, Oxalsäure oder Weinsäure entsteht aus den Calciumsalzen dieser Säuren, neben Calciumoxalat (Oxalsäure) als Nebenprodukt Calciumsulfat-Dihydrat:



Das genaue Aufkommen an Gips aus der inländischen oder europäischen Weinsäureherstellung ist jedoch nicht bekannt, aber als sehr begrenzt einzuschätzen.

8.4 Gips aus der Aluminiumoxidherstellung („Rotschlammgips“)

Rotschlamm ist ein Nebenprodukt der Aluminiumherstellung. Ausgangsstoff ist das aluminiumhaltige Erz Bauxit, das neben Aluminium- auch Eisen- und Titansalze sowie Siliziumverbindungen (Kieselsäure) enthält, d.h. Siliziumdioxid, Calciumoxid, Titandioxid und Natriumoxid. Zunächst sind dies allesamt harmlose Stoffe, aber auch geringe Mengen an giftigen Schwermetallen wie Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Vanadium oder Quecksilber stecken in Bauxit und finden sich im Rotschlamm wieder. Gefährlich wird es vor allem durch stark ätzende Natronlauge, die im Bayer-Verfahren unter sieben hPa Druck und bei etwa 170 °C zugesetzt wird. Die Lauge löst die Aluminiumverbindungen aus dem Bauxit heraus, so dass sie vom Rest abgetrennt werden können. Später gewinnt man aus dem Aluminiumhydroxid durch spezielle Kalzinierungsverfahren zuerst Aluminiumoxid und schließlich in weiteren Verfahrensschritten das reine Aluminiummetall.

Beim Lösen des Bauxits mit Natronlauge ist aber als Nebenprodukt der ätzend-alkalische und schwermetallhaltige Rotschlamm mit bis zu 1,5 Mg pro Mg Aluminium entstanden, der durch die enthaltenen Eisenverbindungen rostrot gefärbt ist. Nun versuchen die Aluminiumhersteller, Entsorger und Behörden, dem Rotschlamm zumindest das Ätzende (enthaltene 5-8% Natronlauge) zu nehmen, indem sie neutralisierenden Gips darauf streuen. **Hierdurch entsteht der sogenannte „Rotschlammgips“, der jedoch nicht für eine Gipsverwendung geeignet ist.**

In Deutschland verarbeitet nur noch die Aluminium Oxid Stade GmbH Bauxit als Rohstoff für die Aluminium-Produktion, dessen Rotschlammdeponie liegt bei Bützflethermoor in Niedersachsen. Bei ihr wurde die Natronlauge vor der Deponierung aus dem Rotschlamm gewaschen. In jüngerer Zeit wird gereinigter Rotschlamm auch als Füllstoff im Straßenbau verwendet sowie als Ausgangsmaterial für keramische Produkte genutzt. Weitere Einsatzmöglichkeiten von Rotschlamm als Rohstoff wurden erörtert, erwiesen sich bisher aber als zu aufwändig und nicht gewinnbringend [Muster, 2007].

8.5 Gips aus der Titandioxidherstellung („Titandioxidgips“)

Die Herstellung von Titandioxid ist über zwei Verfahrensalternativen, dem Sulfat- oder dem Chloridverfahren möglich. Das Sulfatverfahren wird v.a. noch verbreitet in China eingesetzt, während in anderen Teilen der Welt nach beiden Verfahren produziert wird.

Titandioxid wird in Deutschland insgesamt an vier Standorten produziert, wobei drei Werke nur das Sulfatverfahren (Kronos Titan GmbH & Co. OHG in Nordenham, LANXESS Deutschland GmbH in Uerdingen, Sachtleben AG in Duisburg) und ein Werk sowohl das Sulfat- als auch das Chloridverfahren (Kronos Titan GmbH & Co. OHG in Leverkusen) anwenden.

Sulfatverfahren zur Titandioxidherstellung

Hierbei wird das feingemahlene und angereicherte Titaneisenerz **Ilmenit** eingesetzt und mit konzentrierter Schwefelsäure aufgeschlossen. Dabei reagiert das im Erz enthaltene Eisenoxid zu Eisensulfat sowie das Titanerz zu Titanoxidsulfat TiOSO_4 .

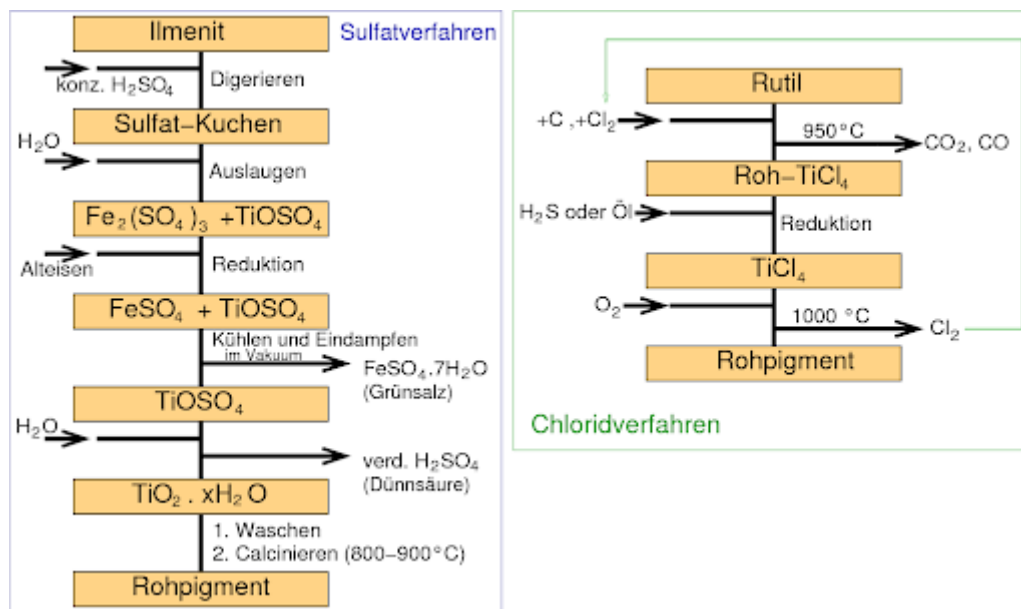
Der Grundstoff Ilmenit, formal FeTiO_3 , wird mit konzentrierter Schwefelsäure zu Eisensulfat und Titanoxidsulfat umgesetzt. Da das Eisen zum Teil dreiwertig als Fe^{3+} vorliegt, muss die Aufschlusslösung mit reinem Eisenschrott als Reduktionsmittel versetzt werden, um

ausschließlich zweiwertiges Eisen Fe^{2+} zu erhalten. Dieses kann anschließend als sogenanntes Grünsalz aus der Lösung auskristallisiert werden.

Das in Lösung verbleibende Titanoxidsulfat kann durch Hydrolyse als schwerlösliches Titanoxidhydrat ausgefällt und abgetrennt werden. Nach mehreren Filtrations- und Waschvorgängen muss das Titanoxidhydrat bei 800 bis 950 °C gegläht werden, um Titandioxid (TiO_2) zu erhalten. Durch Zugabe von Impfkristallen und durch die Temperatur lässt sich in diesem Schritt steuern, in welcher Modifikation das TiO_2 genau produziert werden soll.

Der Sulfatprozess (links in **Abbildung 3**) eignet sich für die Herstellung sowohl der Anatas- als auch der Rutil-Modifikation, während das Chloridverfahren (rechts) in der Regel nur zur Produktion von reinem Rutil eingesetzt wird.

Abbildung 3: Verfahrensalternativen zur Herstellung von Titandioxid (links: Sulfatverfahren – Anatas- und Rutil-Modifikation; rechts: Chloridverfahren – nur für die reine Rutilstruktur geeignet)



Beim Aufschluss des Titaneisenerzes mit H_2SO_4 entstehen große Mengen an schwefelsäurehaltigen Rückständen, die auch als Dünnsäure, die meist mit Schwermetallsalzen, wie Blei- oder Chromsalzen verunreinigt ist, bezeichnet wird. Pro Mg produziertem Titandioxid fallen so zwischen 6 bis 8 Mg Dünnsäure an.

In den 50er Jahren wurde sie in Flüsse geleitet und ab den 60er Jahren auch in die Nordsee verklappt. Die Dünnsäure stand dort im Verdacht, bei Fischen Flossenfäule oder Geschwülste zu verursachen.

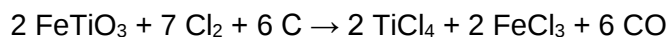
An den deutschen Produktionsstandorten wird die Gebrauchsäure nach 1990 jeweils in einer Säureaufbereitungsanlage auf eine ca. 70 bis 80-%ige H_2SO_4 aufkonzentriert und anschließend wieder zum Aufschluss der Titanrohstoffe eingesetzt. **Anstelle der Aufbereitung und Wiederverwertung wird an verschiedenen Standorten im europäischen Ausland die Gebrauchsäure auch mit Kalkmilch neutralisiert, was zur Gipsbildung führt.** Eine dritte Möglichkeit ist die Abgabe der Gebrauchsäure an die Düngemittelproduktion [UBA, 2001].

Bei der Aufbereitung der Dünnsäure fallen gewisse Mengen von Gips an [Bundesverband der Gipsindustrie, 2013], dessen Qualitäten und Mengenaufkommen für Europa

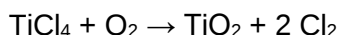
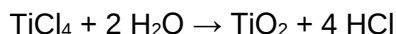
jedoch nicht bekannt ist. In Deutschland fällt beim Sulfatverfahren jedoch kein Gips als Abfallstoff an (s.o.).

Chloridverfahren zur Titandioxidherstellung

Beim Chloridverfahren, das bei Kronos Titan in Leverkusen zum Einsatz kommt, wird Rutil oder TiO_2 -Schlacke bei 800 bis 1.200 °C mit Koks und Chlor zu Titanetrachlorid umgesetzt:



Dann erfolgt die Reinigung von TiCl_4 durch Destillation mit Wasserdampf oder mit Sauerstoff und erhöhter Temperatur bei 1.000 bis 1.400 °C zu feinkörnigem Rutil [Römpf, 2020].



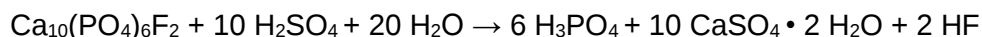
Das Chlor kann zurückgeführt und zur erneuten Chlorierung von Ilmenit/ Rutil verwendet werden.

Vorteil des Chlorid-Verfahrens ist, dass keine Dünnsäure anfällt. Außerdem wird das freiwerdende Chlor wieder in den Chlorierungsprozess zurückgeführt. Ein bedeutender Nachteil des Chlorid-Verfahrens ist, dass darüber keine Anatas-Struktur hergestellt werden kann.

8.6 Gips aus der Phosphorsäureherstellung („Phosphorgips“)

8.6.1 Ausgangssituation

Die größte Menge an Chemiegipsen entsteht bei der Umsetzung von natürlichen Phosphaten (Phosphatgestein) mit Schwefelsäure im sogenannten „Nassverfahren“. Rohphosphat (Urapatit) zersetzt sich mit der konzentrierten Schwefelsäure bei einer Temperatur von 75 bis 80 °C, und es entstehen Phosphorsäure und Calciumsulfat-Dihydrat – Phosphorgips:



Während dieses Nassproduktionsprozesses⁷ werden die Verunreinigungen je nach Art der Säure (Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure) auf die verschiedenen (Neben-)Produkte verteilt [IAEA, 2013]. Aus 1 Mg Rohphosphat entstehen hierbei 1,7 Mg Gips. So werden aus jeder Tonne P_2O_5 , die als Phosphorsäure hergestellt wird, zwischen 4 bis 5 Mg Trockenmasse an Phosphorgips produziert. Weltweit werden so jährlich zwischen 100 bis 280 Mio. Mg Phosphorgips produziert [Tayibi, et.al., 2009]. Im Jahr 2016 wurden weltweit 83 Mio. Mg Phosphorsäure mit einem P_2O_5 -Gehalt von knapp 45 Mio. Mg produziert (IFA, 2016), so dass global etwa 200 bis 225 Mio. Mg Gips angefallen sind ([UBA, 2019a], [Parreira, et.al., 2003]; [Yang, et al., 2009]). Aufgrund des Gehaltes an Radionukliden (hauptsächlich U und Th) des abgebauten Phosphatgesteins sind sowohl die erhaltene Phosphorsäure als auch der Phosphorgips schwach radioaktiv. Phosphorgips wird daher als TENORM („Technologisch verbessertes, natürlich vorkommendes radioaktives Material“) klassifiziert, der Großteil des Materials liegt jedoch unter den gesetzlichen Strahlenschutzgrenzwerten, in Deutschland festgelegt in der geltenden Strahlenschutzverordnung [StrSchV, 2018].

Nur etwa 15 % des weltweiten Phosphorgipses wird aktuell als Bodenstabilisator, landwirtschaftlicher Dünger und in der Zementindustrie wiederverwendet [Rashad, A.M., 2017]. Daher werden weltweit große Mengen an Phosphorgips abgelagert, so dass die künftige, gezielte

⁷ Hierdurch werden 71% des Phosphatgesteins weltweit verarbeitet, hingegen werden 24% des Phosphatgesteins direkt zu Düngemittel verarbeitet (also nicht mittels indirekter Herstellung über Phosphorsäure) und 5% des Phosphatgesteins werden direkt in andere Arten von Produkten umgewandelt.

Rückgewinnung dieses Chemiegipses aus den Phosphorhalden (auch sogenannte “PG-Tailings”) aus mehreren Gründen (s.u.) eine gewisse Priorität darstellt.

Die Phosphorgipshalden bilden auch eine stetig wachsende Ressource von Phosphor, REE [Brückner et.al, 2020] und anderer kritischer Metalle, die in vielen Phosphorgipshalden⁸ mit relativ geringem Kostenaufwand aus den Abraumphalden gewonnen werden könnten.

Der Sicherheitsbericht der IAEA aus dem Jahr 2013 [IAEA, 2013] macht hier einige bedeutende **Feststellungen** zur künftig möglichen Nutzung der Phosphorgipshalden, so zusammengefasst von Dr. Birky [Birky, 2018] und selber im Rahmen des Gutachtens ergänzt:

- Es gibt keine radiologischen Einwände gegen die Verwendung von Phosphorgips; einige Anwendungen brauchen einige Einschränkungen, je nach der genauen Charakterisierung der zur Nutzung in Erwägung gezogenen Phosphorgipshalden.
- Der Gehalt an Metallen und die natürliche Radioaktivität hängen von der Quelle des verwendeten Phosphatgesteins und der Verarbeitungsbedingungen ab (vergl. *Tabelle A3* [IAEA, 2013] und *Tabelle A4* [Kovacs et.al., 2017] im Anhang).
- Folglich muss darauf geachtet werden, dass eine bestimmte Quelle von Phosphorgips für die entsprechende Endverwendung geeignet ist (exemplarisch enthalten in *Tabelle A6* im Anhang).
- Die Überwachungsbehörden sollten ermutigt werden, vorteilhafte Nutzungen von Phosphorgips zu fördern, wie Alternativen zur Entsorgung, die in Übereinstimmung mit der europäischen Abfallhierarchie stehen [Chalaal et.al., 2020].
- Eine nachhaltige Verwendung ist aus ökologischer Sicht einer Haldenzwischenlagerung und Entsorgung des Phosphorgips durch Deponierung oder durch Verklappung der gipshaltigen Dünnsäure ins Meer, wie z.B. in Tunesien praktiziert, vorzuziehen.
- Dies wird auch für Baumaterialien als Ressourcen gefordert, von der UNECE [Birky, 2018], für Europa im Green Deal [EU-Kommission, 2019] oder für Deutschland im COVID19-Thesenpapier der Leopoldina vom 13. April 2020 [Leopoldina, 2020].

Die **Deponierung des Phosphorgipses** ist demnach immer als letztes Mittel zu sehen, denn:

- die unbefristete Entsorgung auf den Phosphorgipshalden erzwingt den kommenden Generationen ein Vermächtnis ab (Platzverbrauch, P-Gips-Verfrachtungen u.a.), die wir Ihnen nicht aufzwingen sollten und
- sie verstößt gegen das Prinzip des intergenerationellen Vertrauens, das im Herzen einer in den SDG`s (siehe hierzu auch im Anhang) definierten nachhaltigen Entwicklung, steht [Birky, 2018].

Je nach Lagerstätte und Ursprung wird zwischen sedimentären und magmatischen Rohphosphaten unterschieden. Der Großteil der Phosphatreserven stammt jedoch aus sedimentären Quellen (etwa 90 % aller weltweiten Vorkommen) mit höherem Radionuklidgehalt als magmatische Quellen [ITC, 2018], [Jasinski, S. M., 2018]. Allerdings weisen sedimentäre Phosphaterze einen höheren Gehalt an Verunreinigungen auf, als magmatische Lagerstätten für Phosphaterze [DECHEMA, 2017].

Die derzeit bekannten, **wirtschaftlich abbaubaren Phosphaterzreserven** befinden sich in einigen wenigen Ländern, wobei fünf Staaten (Marokko, China, Jordanien, Südafrika und die USA) über mehr als 95 % der Reserven verfügen. Marokko, mit den größten Lagerstätten, besitzt ein Großteil dieser abbaufähigen Vorkommen [Egle, et.al., 2016]. Aber auch einige eu-

⁸ PG-Tailings enthalten jedoch auch Schwermetalle (u.a. Cd, Ba, Cr, Pb, As) und Radionuklide (U, Ra, Th, K).

ropäischen Ländern, wie u.a. Spanien, Griechenland, Serbien, Slowenien und Bulgarien verfügen, wie in *Tabelle A5* im Anhang aufgelistet, aus dem früheren Phosphaterzabbau noch über ältere Phosphorgipshalden [Haschke, et.al., 2016].

Phosphorgipse werden derzeit als **TENORM** klassifiziert, die das Phosphorgipsrecycling für die Bauindustrie stark einschränkt. **Daher ist langfristig eine innovative Phosphorgipsaufbereitung erforderlich, die sowohl eine Gewinnung des Gipses als Recyclingbaumaterial, wie auch eine ressourceneffiziente Gewinnung wertvoller kritischer Metalle ermöglicht (u.a. [Brückner et.al, 2020]), um die additive Versorgung für Europas Elektro- und Elektronikindustrie zu gewährleisten.**

Zu den bisherigen Wiederaufbereitungstechnologien von **Phosphorgipsen** gehören physikalische, chemische (hydrometallurgische) und thermische Behandlungsverfahren, die eine Gewinnung von kritischen Technologieelementen und eine Radionuklidentfernung sowie eine weitere Veredelung zur Herstellung marktfähiger Produkte (z.B. REE, Y, P und Ra) neben den Phosphorgipsen ermöglichen [Brückner et.al, 2020].

Die **Phosphorgipse** liegen je nach Aufschlussverfahren als Hydrat oder Hemihydrat vor. Da er nicht nur mit Phosphat/ Phosphorsäure, sondern auch mit Verunreinigungen aus dem verwendeten Phosphatgestein kontaminiert ist, ist seine Verwendung stark eingeschränkt. **Ein Teil wird zu Gipskartonplatten verarbeitet und kommt im Innenausbau zur Anwendung. Die überwiegende Menge wird aktuell jedoch deponiert. Europäische Produzenten für Produkte aus Phosphorgips befinden sich vor allem in Belgien, Finnland und Russland. [DECHEMA, 2017].**

Die spezifischen Konzentrationen von natürlich vorkommenden Radionukliden im Phosphorgips hängen von der Herkunft und der chemischen Behandlung des Phosphaterzes ab [IAEA, 2013]. Dies ist z.B. in *Tabelle A5* (aus [Kovacs, et. al., 2017]) und *Tabelle A6* [IAEA, 2013] im Anhang für Phosphorgipse verschiedener Herkunftsländer (weltweit) dargestellt.

Während des **Nassproduktionsprozesses**, bei dem Phosphorsäure hergestellt wird, kann die Menge des Radionuklids, die in jede Fraktion gelangt, je nach verwendeter Technologie variieren. Im Allgemeinen verbleibt der größte Teil des Urans schließlich im Düngemittel, Radium ist gleichmäßiger zwischen den (Neben-)Produkten verteilt und kann teilweise innerhalb der Anlage verbleiben oder ausgefällt werden, während der größte Teil des Poloniums mit der Phosphorgipsfraktion entfernt wird [IAEA, 2013].

In der **Datenbank NORM4Building** sind insbesondere für Phosphorgips im Vergleich zu Naturgips weniger Daten für weniger Länder verfügbar [Kovacs et. al., 2017]. Was Naturgips betrifft, enthält die Datenbank Messungen, die für 502 Proben aus 16 EU-Mitgliedstaaten relevant sind. **Der Mittelwert (und die Bereiche) für Naturgips beträgt für ^{226}Ra 15 (1-70) Bq/kg, für ^{232}Th 9 (1-100) Bq/kg und für ^{40}K 91 (5-279) Bq/kg. Die Aktivitätskonzentration von natürlichem Gips ist im Allgemeinen niedriger als das durchschnittliche Niveau im europäischen Boden; daher ist dieses Material aus Sicht des Strahlenschutzes nicht das relevanteste.** Phosphorgips ist jedoch etwas radioaktiver als Naturgips oder in etwa genauso radioaktiv [Gascó, et.al., 2009], [Gascó, et.al., 2011]. Das Radium findet sich im Gitterwerk der Gipskristalle in Form von Radiumsulfat, dem Salz mit extrem geringer Löslichkeit (Kovler et. al., 2005).

Was **Phosphorgips** betrifft, so ist bekannt, dass er aufgrund seines Ursprungs hohe Konzentrationen von ^{226}Ra und niedrige Konzentrationen von ^{232}Th und ^{40}K enthalten kann (siehe *Tabellen A5* und *A7* im Anhang). Alle nationalen Durchschnittswerte von ^{226}Ra reichen von einem bis zu mehreren hundert Bq/kg, allen voran das Vereinigte Königreich mit einem

Durchschnittswert von mehr als tausend und einem Höchstwert, der höher ist als der von Beton aus Alaunschiefer (Trevisi et.al., 2012). Was ^{40}K betrifft, so sind sowohl die nationalen Durchschnittswerte als auch die Höchstwerte in vielen Fällen niedriger als die von Ziegelstein, Beton und Zement (Trevisi, et.al., 2012).

Phosphorgips wurde bisher bereits als Rohmaterial für Zement [Kendron, et.al., 1986], [Yang, et.al., 2009], [Fourati, et.al, 2016] (siehe *Tabelle A8 im Anhang*) und als Quelle für Gipskartonplatten verwendet. Andere Verwendungszwecke im Bauwesen umfassten die Herstellung von Gipsputzen [Moalla, et.al; 2018], Ziegeln [Kumar, 2000], Blöcken [Kumar, 2003], [Rouis, et.al, 2013], Fliesen, Kunststein und sogar Booten [Chang, et.al., 1983]. Zu den Ländern, die Phosphorgips - in der Regel mit gewissen Einschränkungen - für Bauzwecke verwenden, gehören Belgien, Brasilien, China und Indien. In Südafrika, wo der Bau kostengünstiger Wohnungen gefördert wird, wird Phosphorgips als potenzieller Baustoff angesehen [IAEA, 2013].

Bisher kann, bis auf wenige regionale Ausnahmen (so z.B. Belgien, s.o.) der Phosphorgips in Europa nicht weiterverwendet werden, da man nicht weiß, wie hoch dessen radioaktive Belastung genau ist, während eine jeweilige radiochemische Sanierung des gesamten Haldenmaterials an Phosphorgips i.d.R. als zu teuer erscheint.

Um nun eine sichere Verwendung von Phosphorgips (PG) zu gewährleisten, entwickelte die DMT GmbH & Co KG in den letzten Jahren ein patentiertes Fördersystem, das in der Lage ist, durch Klassifizierung, Sortierung und Trennung von nichtradioaktivem PG-Material von radioaktivem (d.h. PG-Strahlung oberhalb der gesetzlichen Strahlungsgrenzwerte für Bergematerial), kritisches von unkritischem Material zu trennen und somit eine ausgezeichnete Qualität von Phosphorgips für die weitere industrielle Nutzung zu gewährleisten.

Im Rahmen einer EU-geförderten strategischen **Machbarkeitsstudie „raPHOSafe“** wurde hierzu in den Jahren 2018/ 2019 radiumhaltiger Phosphorgips automatisch klassifiziert und sortiert in radiologisch unbedenkliches Phosphorgipsmaterial, das als Baustoff (z.B. für Trockenbaugipsplatten oder Zement) der Baustoffindustrie zugeführt werden kann und der radiumreiche Anteil des Phosphorgipses, der eine sehr gefragte Ressource für die Weiterverarbeitung in radiopharmazeutische Anwendungen als ^{223}Ra für Krebsmedikamente (z.B. bei Xofigo oder Bayer Pharmaceuticals) darstellt [Haschke, 2017].

Die hierzu für eine spätere großtechnische Anwendung notwendige Investition in eine Klassifikations- und Sortiertechnologie ist relativ gering und würde die Sortierung des Phosphorgipses nach europäischen radiologischen Grenzwerten ermöglichen. Vorläufige Einzelmessungen an europäischen Phosphorgipshalden haben gezeigt, dass große Haldenanteile deutlich unter den zulässigen Grenzwerten liegen und so ein rückstandsfreies Recycling ermöglichen können [Haschke, 2017].

Nicht nur Anteilseigner der Phosphorgipshalden⁹, sondern auch z.B. die regionale Phosphatindustrie, PG-Tailings-Verwaltungsgesellschaften, Strahlenschutzbehörden oder andere Regierungsstellen können davon profitieren, dass sie Teile des Haldenmaterials fast rückstandsfrei recyceln könnten, Umwelt- und Gesundheitsrisiken werden hierdurch minimiert und der vorwiegende Teil des Haldenmaterials kann dem Recycling für die Baustoffindustrie zugeführt werden.

⁹ PFIC-Griechenland, Agropolychim-Bulgarien und Elixir Prahovo-Serbien gehören zu den führenden Unternehmen und/ oder Institutionen für die Verarbeitung und Lagerung von Phosphorgips [Haschke, 2017].

Aber auch das separierte, leicht radioaktive Material kann noch zu einem lebenswichtigen Einsatz kommen. Das in den Phosphorgipshalden enthaltene Radium (^{226}Ra) liefert einen lebenswichtigen Ausgangsrohstoff für die pharmazeutische Industrie (s.o.). Es kann nach weiterer Aufbereitung in Radium (^{223}Ra) umgewandelt werden. Als Radiumchlorid wird dieser Wirkstoff auch in Deutschland erfolgreich in der Behandlung von bestimmten Krebsarten eingesetzt [Haschke, 2017].

NORM wird in Deutschland derzeit nicht in großem Umfang für Baustoffe verwendet. Strahlenexpositionen durch NORM-Zusätze zu Baustoffen sind auf diejenigen beschränkt, die Dosen von weniger als 1 mSv pro Jahr verabreichen. Die Beiträge der traditionellen Rohstoffe (siehe *Tabelle A5* im Anhang) selbst sind im Allgemeinen ebenfalls niedriger als 1 mSv pro Jahr, soweit nur die äußere Exposition gegenüber Gammastrahlung betroffen ist. Diese Situation ist, v.a. als Folge der neuen Vorschriften über die Verwendung von NORM in der deutschen Strahlenschutzverordnung zu sehen.

Unter diesen Umständen werden zukünftig die Vorschriften über Radioaktivität in Baumaterialien wahrscheinlich keine zusätzlichen Beschränkungen für die Verwendung traditioneller Baumaterialien in Deutschland, einschließlich NORM-Zusätze aufweisen.

8.6.2 Potenzialabschätzung für eine künftige Phosphorgipsnutzung

Für die Potenzialabschätzung der künftigen Nutzung als Sekundärrohstoff für Baumaterialien (Gipsplatten, Gipsblöcke, Gips als Abbinde für die Zementindustrie etc.) zur Verfügung stehenden jährlichen Mengen an Phosphorgips entweder aus dem laufenden Betrieb der Phosphorsäuregewinnung oder aus der Aufbereitung bestehender alter Phosphorgipshalden ergibt sich die folgende Vorgehensweise:

- Beschränkung auf das Territorium von Europa (EU27 und Resteuropa),
- 1. Präferenz auf die Länder der *Tabellen A5/ A6* im Anhang, in denen aktuell noch Phosphorsäure gewonnen wird¹⁰,
- 2. Präferenz auf die Länder der *Tabellen A5/ A6* im Anhang, in denen es noch bestehende Phosphorgipshalden gibt¹¹,
- 3. Präferenz auf die Länder aus *Tab. A5* im Anhang, mit einem I-Index¹² von max. 1,
- 4. Präferenz auf die Länder aus *Tab. A5* im Anhang, mit einem I-Index von max. 2,
- Länder außerhalb Europas oder mit einem I-Index >2 werden gar nicht berücksichtigt.

Somit ergeben sich in Summe **Potenziale** für eine künftige **Phosphorgipsnutzung** zwischen 0,75 Mio. Mg bis etwa 1,25 Mio. Mg pro Jahr, die für deutsche oder internationale Unternehmen der Gipsverarbeitung für Verarbeitungsanlagen in Deutschland mindestens zu gewinnen sind. Das abzuschätzende **maximale Potenzial** für die künftige Nutzung von Phosphorgips liegt bei mindestens 1,0 Mio. Mg bis 2,0 Mio. Mg pro Jahr oder noch darüber.

Würde man auch Länder, z.B. in Nordafrika (Marokko/ Westsahara, Tunesien) bzw. im Nahen Osten (Ägypten, Israel, Jordanien, Syrien), in denen gemäß *Tabelle A9* im Anhang in der Vergangenheit und/ oder aktuell auch Phosphat in größeren Mengen produziert wurde bzw. wird, so käme man auf noch höhere Potenziale für eine künftige Phosphorgipsnutzung in Deutschland, die sich langfristig jedoch in ihrer Größenordnung aktuell nicht seriös abschätzen lassen.

¹⁰ Belgien, Finnland, Litauen, Russland

¹¹ Griechenland, Serbien, Slowenien, Bulgarien, Tschechien, Polen, Rumänien, Spanien, Italien, Frankreich, Ungarn (in *Tabellen A5/ A6* im Anhang)

¹² I-Index-Berechnung auf Basis der [EC, 1999]; Strahlenschutzprinzipien bzgl. der natürlichen Radioaktivität von Baustoffen

9. Substitute zur Gipsverwendung im Bauwesen

In Deutschland wurde mit dem Anfang 2012 beschlossenen **Deutschen Ressourceneffizienzprogramm „ProgRess“** ein wichtiges Ziel formuliert, den Ressourcenverbrauch vom Wirtschaftswachstum zu entkoppeln und die Rohstoffproduktivität bis 2020 zu verdoppeln [BMUB 2016]. Das Ressourceneffizienzprogramm soll die Nutzung natürlicher Ressourcen nachhaltig gestalten und die damit verbundenen Umweltbelastungen weitestgehend reduzieren. 2016 hat die Bundesregierung eine Weiterentwicklung des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms (**ProgRess II**) beschlossen [BMUB 2016]¹³. Gemäß einer der vier Leitlinien von ProgRess II sollen Wirtschafts- und Produktionsweisen in Deutschland schrittweise von Primärrohstoffen unabhängiger gemacht sowie die Kreislaufwirtschaft weiterentwickelt und ausgebaut werden. Im Baubereich bedeutet dies, dass Abbruchmaterialien gezielt wiederverwendet und verwertet werden sollen.

Bereits im Jahr 2002 hatte die Bundesregierung die nationale Nachhaltigkeitsstrategie „Perspektiven für Deutschland“ verabschiedet, das im Jahr 2017 aktualisiert worden ist [Bundesregierung, 2017]. Sie enthält politische Leitlinien für eine nachhaltige Entwicklung und umfasst 21 Indikatoren zur Erfassung von Zielen und Fortschritten. Das Maßnahmenprogramm wird stetig fortgeschrieben und beinhaltet unter anderem die Ausrichtung von Bundesbauten an den Anforderungen des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB).

Bezogen auf Bundesbauten soll Nachhaltigkeit über den gesamten Lebenszyklus unter Einbeziehung ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte transparent, messbar und überprüfbar sein. Dabei sollen auch städtebauliche, gestalterische, technische und funktionale Aspekte berücksichtigt werden. Die Bewertung erfolgt auf Basis anerkannter wissenschaftlicher Methoden, wie Ökobilanzierung und Lebenszyklus-Kostenrechnung.

Neben dem BNB-Programm des Bundes betreibt die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. (DGNB) seit 2007 ein Zertifizierungssystem für private Bauten, bei dem ebenfalls die Ökobilanzierung auf Gebäudeebene angewendet und **EPD¹⁴ (Environmental Product Declarations)** als Datengrundlage genutzt werden. Für die Reduzierung der Ressourceninanspruchnahme durch Bauwerke werden i.d.R. Systeme in der Planungsphase eingesetzt, welche die ökologische Qualität von Bauwerken – auf der Basis von Nutzungsszenarien und Ökobilanzinformationen für Bauprodukte – erfassen und einordnen. Die gängigsten dieser Systeme – BNB, DGNB oder BREEAM – greifen für die Bauproduktaten auf EPDs oder Datenbanken mit vergleichbaren Informationen (vergleiche Ökobau.dat) zurück [UBA, 2014].

EPDs dokumentieren die **umweltrelevanten Merkmale** von **Bauprodukten** und liefern so die Basisinformationen für die Beurteilung der ökologischen Gebäudequalität. Diese ist für die ganzheitliche Betrachtung und damit auch für die Nachhaltigkeitsbewertung von Bauwerken wesentlich. EPDs sind als Instrumente zur Bauwerksbewertung international anerkannt. Zentrales Ergebnis der europäischen Normungsarbeiten im Bauwesen ist, dass die Beurteilung der ökologischen Gebäudequalität auf den Ergebnissen einer Ökobilanz aufbauen soll. EPDs der einzelnen Bauprodukte und deren Ökobilanzen liefern die Datengrundlagen dafür. Die Zertifizierungssysteme BNB und DGNB knüpfen daran an.

¹³ Aktuell wird das Programm überarbeitet, d.h. es existiert bereits der Entwurf für ProgRess III [BMU, 2019c]

¹⁴ EPDs sind für die Bewertung der ökologischen Qualität von Bauwerken laut EU-BauPVO das Mittel der Wahl. Von großem Vorteil ist dabei, dass EPD bereits europäisch harmonisiert wurden (EN 15804). Für den direkten Vergleich zweier verschiedener Bauprodukte können EPD jedoch nur bedingt herangezogen werden, da in der Regel keine Nutzengleichheit gegeben ist. Zudem existieren nicht für alle Bauprodukte EPDs, oder nur in unterschiedlicher Datenqualität und/ oder -tiefe (Branchendurchschnitte, Firmendurchschnitte).

Die **EPD-Programme** – ob in Deutschland, Europa oder weltweit – basieren auf der internationalen Norm ISO 14025. Sie gilt für alle Branchen, doch Vorreiter in der Anwendung ist die Baubranche. Deshalb wurden im Europäischen Komitee für Normung – genauer: im CEN/TC 350 – die Regeln für die Erstellung von EPDs über die ISO-Vorgaben hinaus konkretisiert. So trat im April 2012 die für alle Bauprodukte und Bauleistungen anwendbare europäische Norm DIN EN 15804 in Kraft. Sie liefert grundlegende **Produktkategorieregeln (PKR)** zur Deklaration von Bauprodukten und Bauleistungen aller Art und ebnet so den Weg für europaweit gültige EPDs. Nach den Maßgaben der EN 15804 haben die europäischen Programmhalter – allen voran das IBU – eine entsprechende Harmonisierung von EPDs auf europäischer Ebene vorangebracht.

Zur **Erstellung** von **ressourcenschonenderen Bauwerken** lauten die hier aus [UBA, 2014] übernommenen Definitionen auf Bauproduktebene für die folgenden Begriffe ...

... Recyclingfähigkeit:

„Recyclingfähigkeit auf Bauproduktebene liegt vor, wenn sortenrein demontierbare Bauteile und/ oder Materialien die Möglichkeit der weiteren Nutzung als Produkt bzw. Material oder einer sonstigen stofflichen¹⁵ Verwertung, bieten“.

... Dauerhaftigkeit auf Bauproduktebene:

„Die Dauerhaftigkeit spiegelt die Fähigkeit wieder, zerstörerischen Einflüssen der Umwelt stand zu halten“¹⁶.

... Umweltverträglichkeit:

„Eine umweltverträgliche Herstellung und Nutzung von Bauprodukten umfasst eine schonende Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen, sowie die Erzeugung möglichst geringer Abfall- und Reststoffströme unter Berücksichtigung der potenziellen Schadstoff-/ Umweltbelastungen über den gesamten Lebenszyklus“ (Von der Wiege bis zur Bahre).

Für den **Freistaat Thüringen** ergeben sich für die **Substitution** von **Rohstoffen** folgende Regelungen im **LEP - Landesentwicklungsprogramm Thüringen 2025** [LEP, 2014]:

„6.3 Rohstoffe - Leitvorstellung

1. *Primäre Ressourcen sollen einerseits effizient eingesetzt und andererseits bestmöglich durch sekundäre Rohstoffe im Rahmen einer wirksamen Kreislaufwirtschaft substituiert werden.*
2. *Dabei ist die Entwicklung neuer Technologien und Instrumente zur Verbesserung der Rahmenbedingungen für das Recycling von großer Bedeutung.“*

und weiter zum Themenbereich Hintergrund „...Primäre mineralische Rohstoffe, für die eine Substitution durch Sekundärrohstoffe in Betracht kommt, sind Kiessand, Hartgesteine sowie Kalksteine zur Herstellung von Schotter und Splitt sowie Gips.“

Im LEP [LEP, 2014] wird der Südharz als Raum mit besonderem Koordinierungsbedarf festgelegt. Gleichzeitig wird an mehreren Stellen im LEP darauf hingewiesen, dass die dortige Rohstoffgewinnung nur unter Berücksichtigung der Substituierungsmöglichkeiten erfolgen soll [BUND, 2018a].

¹⁵ In der Urquelle [UBA, 2014] ist hier jedoch etwas unverständlich von energetischer Verwertung die Rede. Dies wurde hier in der Definition für „Recyclingfähigkeit“ bewusst in stoffliche Verwertung geändert.

¹⁶ Die hier zugrunde gelegte Definition der Dauerhaftigkeit ist der DIN EN 15643-117 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden“ entnommen und lautet wie folgt: „Fähigkeit, die geforderte technische Qualität [...] über die Nutzungsdauer [...] beizubehalten, die einer bestimmten Instandhaltung [...] unter dem Einfluss vorhersehbarer Vorgänge unterliegt.“

Anwendungsalternativen

Wie vom Sachverständigenrat für Umweltfragen im aktuellen Gutachten [SRU, 2020] dargelegt kommt den Ersatzstoffen im Bauwesen in einer künftigen Kreislaufwirtschaft eine bedeutende Rolle zu. Deswegen ist der Bund vom Bundesrat aufgefordert worden, mehr Geld für die Forschung zu alternativen Baustoffen für Gips bereitzustellen. Der Bund solle, nach Ansicht der Thüringer Ministerin für Umwelt, Energie und Naturschutz, Frau Anja Siegesmund [EUWID, 2020a], einen besonderen Focus auf die Substitution von Gips durch andere nachhaltige Werkstoffe legen, um so insbesondere der Bauwirtschaft wirtschaftlich und ökologisch tragbare Alternativen zu eröffnen. Dies schließe eine verbesserte finanzielle Ausstattung entsprechender Forschungsvorhaben ein.

Bei der Verwendung von Materialien im Hochbau sollte vermehrt darauf geachtet werden, dass nachwachsende oder alternative Rohstoffe an Stelle der besonders energieintensiven und weniger gut wärmeisolierenden Materialien, wie Beton, Zement und Gips verwendet werden ([Pichlmeier, 2019], [BMI, 2019]). Die Bedeutung von Holzbauten, entweder im **normalen Hochbau** oder im **Fertighausbau** wird in den nächsten Jahrzehnten daher eine noch deutlichere Steigerung und stärkere Bedeutung erfahren.

Hierfür können zusammen und/ oder in Ergänzung mit Holz, v.a. die in der folgenden **Tabelle 20** aufgeführten Materialien als Substitute verwendet werden.

Tabelle 20: Alternative Substitute für traditionelle Materialien im Hochbau

Nachwachsende und alternative Rohstoffe im Bauwesen	Anwendung (Substitute v.a. für typische Beton-, Zement- und Gipsbauprodukte)
Holz (Bauholz oder Spanplatten) ^a	Statische Trägersysteme, Fertigteilsysteme, Substitute für Beton und Gipsbauplatten
Zellulose ^a	Einblasdämmung, Faserverstärkung von Gipsplatten
Stroh ^a	Wärmedämmung, Faserverstärkung von Gipsplatten
Lehm ^b	Substitute für Beton, Zement, Gipsbauplatten, Gipsputze und -mörtel
Stärke ^a	Stärkekleister als Bindemittel in Gipsplatten
Schafwolle ^a , Schilf ^a , Flachs ^a , Kokos ^a , Hanf ^a , Baumwolle ^a	Wärmedämmung, Trittschalldämmung, Raumtextilien (keine direkten Gipssubstitute)

a: nachwachsende Rohstoffe, b: alternative Rohstoffe

Bei der Verwendung von Holz als Tragkonstruktion, Holz, Stroh oder Lehm als Plattenbauelemente sowie Stroh, Schilf, Schafwolle, Flachs, Kokos, Hanf oder Baumwolle als Dämmung und Lehm als alternatives Putzmaterial können alle diese Materialien auch einer direkten Weiter- oder Wiederverwendung oder einem späteren Recyclingprozess zugeführt werden.

Einige für den Wärmehaushalt der Gebäude bedeutende Eigenschaften der einzelnen Materialien, die als Dämm- oder Baustoff eingesetzt werden zeigt die folgende **Tabelle 21**.

In Europa/ Deutschland sind moderne und innovative Bauteile, Bauelemente und Bausysteme aus Holz als umweltverträgliche Baumaterialien verfügbar. Fast alle Konstruktionsanwendungen sind möglich und erfüllen höchste Anforderungen in Bereichen wie Luftdichtigkeit, Feuchtigkeits- und Wärmeschutz, Schall- und Brandschutz. Durch die Verwendung von Holz im Konstruktionsbereich lassen sich verlässliche, kosteneffiziente sowie ansprechende und kreative Anwendungen realisieren. Produkte und Baukonstruktionen aus Holz sind umweltfreundlich, tragen als Kohlenstoffspeicher zum Klimaschutz bei und sind grundsätzlich recycelbar.

Tabelle 21: Wärmedämmstoffe/ Baustoffe und ihre Eigenschaften (Quellen: [FNR, 2017], [IpeG-Institut, 2012])

Baustoff-/ Dämmstofftyp	Wärmeleitfähigkeit	Rohdichte ρ	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ	spezifische Wärmekapazität c	Baustoffklasse	Brandverhalten nach DIN EN13501-1
	W/(m·K)	kg/m ³	-	J/kg·K	-	-
Flachmatten	0,036–0,040	30–60	1–2	1.600	B2	-
Hanfmatte	0,040–0,050	30–42	1–2	1.600–1.700	B2	E
Hanf (lose)	0,048	40–80	1–2	1.600–2.200	B2	-
Hobelspäne	0,045	75	1–2	2.100	B2	-
Holzfaserdämmplatten	0,040–0,052	140–180	2–5	2.100	B2	E
Holzfaser (lose)	0,04	30–40	1–2	2.100	B2	-
Holzwolle-Akustikplatten ¹	0,09	330–500	2–5	2.100	B1	B-s1, d0
Korkschröt (expandiert)	0,05	160	1–5	1.800	B2	-
Korkplatte	0,04	100–220	5–15	1.800	B2	E
Schafwolle	0,0326–0,040	30–90	1–5	1.720	B2	E
Schilfrohr ²	0,055	190	6,5	k.A.	B2	-
Baustrohballen	0,052–0,080	90–110	2	2.000	B2	-
Wiesengras	0,04	25–65	1–2	2.200	B2	-
Zelluloseflocken	0,04	30–55	1–2	2.100	B2	B-s2, d0
Zelluloseplatten	0,04	70	2–3	2.000	B2	E
Seegras	0,0388–0,045	65–75	1–2	2.502	B2	-
Strohwandbauplatten	0,0942–0,102	340–379	35–40	2.400	B2	-
Lehmwandbauplatten	0,35–0,44	1.440	5–10	1.000–1.100	A1	-
Konventionelle Bau-/ Dämmstoffe zum Vergleich						
Gipswandbauplatten	0,25	600–650	4–10	960	A1 / A2	A-s1, d0
Polystyrol (expandiert)	0,035–0,040	11–30	30–100	1.400	B1	-
Steinwolle	0,033–0,040	33–130	1	840–1.000	A1	A1

1: Wird vor allem als Putzträger eingesetzt.

2: Bislang ohne allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.

Erläuterung der Parameter der Dämm-/ Baustoffe der obigen Tabelle:

Wärmeleitfähigkeit in W/(m·K) Gibt die Größe des Wärmestroms an, der pro Sekunde durch 1 m² einer 1 m dicken Schicht bei einer Temperaturdifferenz von 1 K übertragen wird. Werte, die kleiner als 0,050 W/(m·K) sind, garantieren gute wärmedämmende Eigenschaften.

ρ : Rohdichte in kg/m³ Masse eines Stoffes in kg bezogen auf einen Kubikmeter.

μ : Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl. Gibt an, um wie viel der Widerstand einer Stoffschicht bezogen auf die Wasserdampfdurchlässigkeit größer ist als die gleich dicke Luftschicht. Bauteile mit niedrigen μ -Werten sind vorteilhaft, da sie ein Abtrocknen eingedrungener Raumluftfeuchte ermöglichen.

c : Spezifische Wärmekapazität in J/kg·K Gibt die Energiemenge an, die benötigt wird, um 1 kg eines Stoffes um 1°C zu erwärmen. Stoffe bzw. Bauteile mit großen c -Werten weisen ein träges Temperaturverhalten auf, d.h., Dämmstoffe mit hohen c -Werten leisten einen guten sommerlichen Wärmeschutz.

Baustoffklasse: Gibt das Brandverhalten eines Baustoffs an. B1 ist schwer, B2 ist normal entflammbar A1: nicht brennbar, A2: nicht brennbar, können aber in geringem Umfang brennbare Substanzen enthalten

A: kein Beitrag zum Brand (A1, A2), B: sehr begrenzter Beitrag zum Brand, E: hinnehmbares Brandverhalten, s1: geringe sowie s2: mittlere Rauchentwicklung, d0: kein brennendes Abtropfen/Abfallen innerhalb von 600

Zu den in Deutschland und Europa bewährten Bauweisen zählen u.a. [FNR, 2017]:

Holzrahmenbau

Der Holzrahmenbau ist die häufigste Konstruktionsweise im Holzhausbau. Ein Raster aus waagerechten und senkrechten Hölzern (Rahmen) wird mit Holzwerkstoffplatten beplankt und ergibt so steife Wandtafeln. Diese Bauweise ist sehr vielseitig und wird sowohl von Fertigbau-firmen als auch von Handwerksbetrieben angewandt.

Holzskelettbau

Der moderne Holzskelettbau ist im Wohnungsbau eher selten anzutreffen. Die tragende Kon-struktion aus Stützen und Unterzügen wird oft sichtbar gelassen. Die großen Wandfelder kön-nen vielseitig ausgefüllt oder offengelassen werden. Die Fugendichtheit ist bei dieser Bau-weise jedoch oft schwieriger zu gewährleisten als im Holzrahmenbau.

Mischbauweisen

Selten, doch manchmal konstruktiv sinnvoll sind Mischbauweisen aus Holz- und Massivbau-konstruktionen. Dabei werden z. B. die Geschossdecken und tragenden Innenwände in Beton ausgeführt, die gesamte Hüllkonstruktion des Gebäudes (Außenwände, Dächer, Erdge-schossbodenelemente) aber aus leichten, hochgedämmten Holzrahmenelementen gefertigt. Ferner gibt es auch Verbundkonstruktionen aus Holz und Beton (auch aus Anhydrit) vor allem für Geschossdeckenelemente.

Im Folgenden wird für einige bedeutende **Gipssubstitute** auf die Vor- und Nachteile der je-weiligen Baumaterialien im Vergleich zu **Gipsmaterialien** noch detaillierter eingegangen. Da-her werden zuerst einige wesentliche Merkmale für Gips als Baustoff beschrieben.

9.1 Gipswandbauplatten

Bedeutende physikalische Parameter für die Bewertung von Gipswandbauplatten, z.B. der Wärme-, der Wasserdampfdurchlässigkeit oder des Brandverhaltens sind bereits in vorheriger **Tabelle 19** enthalten.

Recyclingfähigkeit von Gipsprodukten

Die Betrachtung der Gipsprodukte erfolgt anhand von Gipsplatten. Die PKR für Gipsplatten gibt vor, dass Möglichkeiten der VDI 2243¹⁷ zur Wieder-/ Weiterverwendung und stofflichen Verwertung gegeben sind¹⁸. In der Datenbank wecobis.de¹⁹ wird unter der Kategorie Bauplat-ten aus Gips angegeben, dass ein zerstörungsfreier Rückbau nicht zuletzt durch die Art der Befestigung selten ist, so dass eine Wiederverwendung rar und somit nur unter definierten Bedingungen gewährleistet ist. Eine Weiterverwendung durch Recycling ist nur nach einem Aufmahlvorgang nach einer speziellen Aufbereitung möglich (siehe z.B. Kapitel 3). Sind viele Fremdstoffe, wie Fliesen oder ähnlichem enthalten, kann ein Recycling problematisch sein, sind nur wenige Fremdstoffe enthalten, kann der Gips jedoch gut recycelt werden.

¹⁷ Recyclingorientierte Produktentwicklung, VDI 2243

¹⁸ PKR Gipsplatten, Seite 8

¹⁹ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und der bayerischen Architektenkammer, www.nachhaltigesbauen.de

Dauerhaftigkeit der Gipswandbauplatten

Das entscheidende Kriterium für Gipsprodukte ist die Wasserlöslichkeit²⁰. Diese lässt sich durch die Wasseraufnahme und die Wasserdampfdurchlässigkeit darstellen. Diese für Gipsprodukte relevanten Kriterien lassen sich unter den vorhersehbaren Vorgang „Feuchte“ zusammenfassen, da das Produkt bei vorbestimmter Verwendung im Trockeninnenausbau keinen Verlust der Dauerhaftigkeit aufgrund von Feuchte erleidet.

Umweltverträglichkeit der Gipswandbauplatten

Die Angaben zur Primärenergie lassen sich sowohl in der PKR Gipsplatten als auch auf der Informationsportal Nachhaltiges Bauen [ökobau.dat] einsehen. Dort wird der Primärenergiebedarf den erneuerbar (regenerierbar), den nicht erneuerbar (nicht regenerierbar) Brennstoffen sowie den Sekundärbrennstoffe zugeteilt. Die Angaben zur Wassernutzung sind sowohl der PKR (und somit einer EPD) und der ökobau.dat zu entnehmen. Der Stoffstromoutput wird sowohl in der PKR als auch in der [ökobau.dat] angegeben. Die Angaben teilen sich in Haus- und Gewerbemüll sowie gefährliche Abfälle und radioaktive Abfälle auf (siehe hierzu die Angaben für Gipskarton- sowie Gipsfaserplatten im Anhang – *Tabellen A10 und A11*).

Die Informationsportal Nachhaltiges Bauen [ökobau.dat] liefert Angaben der Umweltauswirkung in Form des Treibhauspotenzials (GWP), Ozonschichtabbaupotenzials (ODP), Ozonbildungspotenzials (POCP), Versauerungspotenzials (AP), des Eutrophierungspotenzials (EP), des Potenzials für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF) sowie dem Potenzial für die Verknappung von abiotischen nicht fossiler Ressourcen (ADPE) (Daten für Gipskarton- sowie Gipsfaserplatten im Anhang in den *Tabellen A10 und A11*).

9.2 Holzbauplatten

Holzbauplatten aus Vollholz werden anhand von Brettschichtholz (z.B. 3-5-Schicht Massivholz) betrachtet.

Recyclingfähigkeit der Holzbauplatten

Die Demontierbarkeit von Brettschichtholz wird in keiner der herangezogenen Quellen angegeben. Es gilt hier zu berücksichtigen, dass dies von dem Einsatz des Produktes und der Konstruktion abhängig ist. Eine Wieder- und Weiterverwendung gemäß der VDI 2243²¹ und eine Wieder- und Weiterverwertung gemäß selber VDI Richtlinie ist nach der entsprechenden PKR möglich. Die EPD konkretisiert dies indem sie angibt, dass es bei einem selektiven Rückbau problemlos der Wiederverwendung zugeführt werden kann.

Im Falle einer mangelnden Wiederverwertungsmöglichkeit ist das Holz auf energetische Art zu verwerten²². Aufgrund des Heizwertes lassen sich so Prozesswärme und Strom erzeugen, was auch in der wecobis.de Datenbank angegeben ist.

Dauerhaftigkeit der Holzbauplatten

Verweise zur Dauerhaftigkeit von Vollholz ergeben sich in den folgenden Normen: EN 335-1, Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Definition der Gebrauchsklassen - Teil1: Allgemeines, EN 335-2, Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Definition der Gebrauchsklassen - Teil 2: Anwendung bei Vollholz, EN 350-2, Dauerhaftigkeit von Holz und Holzpro-

²⁰ Baustoffkenntnis, Scholz/ Hiese, Werner Verlag, 2003, Seite 153

²¹ Recyclingorientierte Produktentwicklung, VDI 2243

²² PKR Vollholzprodukte, Seite 10

dukten -- Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz - Teil 2: Leitfaden für die natürliche Dauerhaftigkeit und Tränkbarkeit von ausgewählten Holzarten von besonderer Bedeutung in Europa.

Diese sind im Rahmen des Projektes untersucht worden. Die Kriterien, welche den vorhersehbaren Vorgängen Feuchte/ Wasser zuzuordnen sind, spiegeln sich in den Gebrauchsklassen der EN 335-1:2006 (D)²³ wider. Hier werden Expositionen bzgl. der zu erwartenden Belastung durch Feuchte/ Wasser oder durch Erdkontakt beschrieben und in Klassen eingeteilt, zum Beispiel „Gebrauchsklasse 1: Situation, in der sich das Holz oder Holzprodukt unter Dach befindet, nicht der Witterung und keiner Befeuchtung ausgesetzt ist“¹⁹ und Gebrauchsklasse 5: Situation, in der das Holz oder Holzprodukt ständig Meerwasser ausgesetzt ist“¹⁹. Die weco-bis.de Datenbank macht nur die Angabe, dass die Beständigkeit von der Holzfeuchte abhängig ist. Wenn die Bauteile nicht feucht werden, ist auch laut der Datenbank kein Pilzbefall zu befürchten. Der biologische Angriff wird hier auf die natürliche Dauerhaftigkeit bezogen²⁴. Die natürliche Dauerhaftigkeit von Holz ist die eigene Widerstandsfähigkeit gegen einen Angriff durch holzerstörende Organismen²⁵. Diese wird dem biologischen Angriff der vorhersehbaren Vorgänge zugeschrieben und beinhaltet holzerstörende Pilze, Trockenholz zerstörende Käfer, Termiten und Holzschädlinge im Meerwasser²¹. Die Beständigkeit des Holzes gegenüber den holzerstörenden Organismen wird in Dauerhaftigkeitsklassen angegeben (1 (sehr dauerhaft) bis 5 (nicht dauerhaft))²⁶.

Umweltverträglichkeit der Holzbauplatten

Die aufgewendete Primärenergie wird gemäß der PKR in der EPD in erneuerbare und nicht erneuerbare Energie sowie in Energie aus Sekundärbrennstoffen aufgezeigt. Die [ökobau.dat] bietet ebenfalls diese Informationen. Die in der PKR nur optionale Angabe beschreibt das Kriterium des Einsatzes von nachhaltig bewirtschafteten Stoffen. Es können hier Angaben zum Zertifizierungssystem und zur Beschreibung der Maßnahmen im Rahmen des Umweltschutzes gemacht werden. Die EPD konkretisiert dies mit der Angabe bzgl. der nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder. Die Angabe zum Wasserverbrauch ist in der PKR, der EPD und der ökobau.dat zu finden. Die Erfassung des Stoffstromoutputs erfolgt kategorisiert in der PKR und folglich in der EPD (hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, gefährliche Abfälle und radioaktiver Abfall, alle auf die abgelagerten Abfälle bezogen).

Die PKR und die EPD sagen aus, dass bei bestimmungsgemäßer Anwendung eine Gefährdung für Wasser, Luft und Boden nach heutigem Erkenntnisstand nicht besteht. DIN EN 14080:2005-09 gibt die Anmerkung bzgl. zur Freisetzung gefährlicher Stoffe, dass es noch weitere Anforderungen durch europäische Gesetze und nationale Gesetze, Rechts- und Verwaltungsvorschriften an die Produkte geben kann, die ebenfalls einzuhalten sind. Die PKR, die EPD und die [ökobau.dat] geben das Treibhauspotenzials (GWP), Ozonschichtabbaupotenzials (ODP), Ozonbildungspotenzials (POCP), Versauerungspotenzials (AP), des Eutrophierungspotenzials (EP), des Potenzials für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF) sowie dem Potenzial für die Verknappung von abiotischen nicht fossiler Ressourcen (ADPE) - (siehe hierzu die Daten aus der Ökobau-Datenbank im Anhang – *Tabelle A12*).

23 EN 335-1:2006 (D), Seite 5

24 Eine Verwendung von Schutzmitteln bewirkte eine Verbesserung der Dauerhaftigkeit, jedoch nimmt es keinen Einfluss auf die Kriterien.

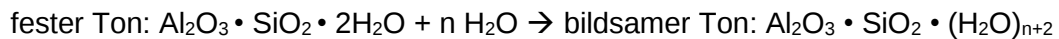
25 EN 350-2:1994, Seite 3

26 EN 350-2:1994, Seite 4

9.3 Lehmbauplatten

Lehm ist einer der ältesten Bindemittel und Baustoffe der Welt. Aus ökologischer Sicht gerät er nunmehr für den Innenausbau verstärkt wieder in den Fokus.

Lehm selber besteht aus sehr feinkörnigem Material (Durchmesser: $<2\ \mu\text{m}$), die ihn im lufttrockenen Zustand recht hart werden lassen. Die Tonbestandteile des Lehms liegen dann als Aluminiumsilikathydrat vor. Zusätzliches Wasser wird vom Ton als Hydratwasser gebunden und macht ihn bildsam:



Der Vorgang ist reversibel. Lehmbausteine aber auch -bauplatten, -putze und -mörtel, die fest bleiben sollen, sind daher unbedingt vor Feuchtigkeit zu schützen und können daher nur im Innenausbau verwendet werden.

Lehmbauplatten bestehen aus Ton mit Beimengungen von Sand, Strohhäkssel und Mineral-/Glasfaserputzgeweben oder ggf. anderem (Kokosfasern, Hanf etc.).

Deutschlandweit gibt es wesentlich mehr potentielle Standorte für den **Lehmabbau** als für den Gipsabbau, so dass sich die Last des auch hier notwendigen Landschaftseingriffes auf mehr Standorte mit geringerem Natureingriff verteilen lassen würde.

Bedeutende physikalische Parameter für die Bewertung z.B. der Wärme-, Wasserdampfdurchlässigkeit oder des Brandverhaltens von **Lehmbauplatten** sind bereits in vorheriger **Tabelle 21** enthalten.

Recyclingfähigkeit von Lehmprodukten

Die Betrachtung der Lehmprodukte erfolgt anhand von Lehmbauplatten (so wie z.B. in [IpeG-Institut, 2012] wiedergegeben). Grundsätzlich sind für Lehm als Baustoff Möglichkeiten zur Wieder-/ Weiterverwendung sowie auch zur stofflichen Verwertung gegeben. Jedoch dürften die Möglichkeiten eines zerstörungsfreien Rückbaus nicht zuletzt durch die Art der Befestigung der Lehmbauplatten nur selten gegeben sein, so dass eine Wiederverwendung rar und somit nur unter definierten Bedingungen gewährleistet ist. Eine Wiederverwendung durch Recycling ist nur nach einem Aufmahlvorgang sowie nach einer speziellen Aufbereitung des Lehms möglich, für den es aktuell in Deutschland aber noch keinen Markt gibt.

Dauerhaftigkeit der Lehmbauplatten

Das entscheidende Kriterium für Lehmprodukte ist die Wasserlöslichkeit. Diese lässt sich durch die Wasseraufnahme und die Wasserdampfdurchlässigkeit darstellen, die recht ähnliche Werte, wie bei den Gipswandbauplatten aufweisen. Diese für Lehmprodukte relevanten Kriterien lassen sich unter den vorhersehbaren Vorgang „Feuchte“ zusammenfassen, da das Produkt bei vorbestimmter Verwendung im Trockeninnenausbau keinen Verlust der Dauerhaftigkeit aufgrund von Feuchte erleidet.

Umweltverträglichkeit der Lehmbauplatten

Die Angaben zur Primärenergie lassen sich auch der ökobau.dat Datenbank einsehen. Dort wird der Primärenergiebedarf den erneuerbar (regenerierbar), den nicht erneuerbar (nicht regenerierbar) Brennstoffen sowie den Sekundärbrennstoffe zugeteilt. Die Angaben zur Wassernutzung sowie zum Stoffstromoutput sind auch in der ökobau.dat angegeben. Die Angaben teilen sich in Haus- und Gewerbemüll sowie gefährliche Abfälle und radioaktive Abfälle auf (siehe hierzu die Daten im Anhang in *Tabelle A13*).

Die ökobau.dat liefert hier die Angaben der Umweltauswirkung in Form des Treibhauspotenzials (GWP); Ozonschichtabbaupotenzials (ODP); Ozonbildungspotenzials (POCP); Versauerungspotenzials (AP), des Eutrophierungspotenzials (EP), des Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF) sowie dem Potenzial für die Verknappung von abiotischen nicht fossiler Ressourcen (ADPE) (siehe hierzu die Daten im Anhang – *Tabelle A13*).

9.4 Strohbauplatten

Strohbauplatten sind ein gängiges Bauprodukt, das u.a. in der Auflistung [IpeG-Institut, 2012] enthalten ist.

Bedeutende physikalische Parameter für die Bewertung z.B. der Wärme-, der Wasserdampfdurchlässigkeit oder des Brandverhaltens von Strohbauplatten sind daher auch bereits in vorheriger **Tabelle 21** enthalten gewesen.

Recyclingfähigkeit von Strohbauprodukten

Die Betrachtung der Strohprodukte erfolgt anhand von Strohbauplatten (so wie z.B. in [IpeG-Institut, 2012] wiedergegeben). Grundsätzlich sind für Stroh als Baustoff Möglichkeiten zur Wieder-/ Weiterverwendung sowie auch zur stofflichen Verwertung gegeben. Jedoch dürften die Möglichkeiten eines zerstörungsfreien Rückbaus nicht zuletzt durch die Art der Befestigung der Strohbauplatten nur selten gegeben sein, so dass eine Wiederverwendung rar und somit nur unter definierten Bedingungen gewährleistet ist. Eine Wiederverwendung durch Recycling, nach einer speziellen Aufbereitung ist möglich, für diese Prozesse und deren Produkte gibt es aktuell in Deutschland aber noch keinen Markt.

Dauerhaftigkeit der Strohbauplatten

Das entscheidende Kriterium für Strohbauprodukte ist die Wasserlöslichkeit. Diese lässt sich durch die Wasseraufnahme und die Wasserdampfdurchlässigkeit darstellen, die recht ähnliche Werte, wie bei den Gipswandbauplatten aufweisen. Diese für Strohprodukte relevanten Kriterien lassen sich unter den vorhersehbaren Vorgang „Feuchte“ zusammenfassen, da das Produkt bei vorbestimmter Verwendung im Trockeninnenausbau keinen Verlust der Dauerhaftigkeit aufgrund von Feuchte erleidet. Diese Werte sind in vorheriger **Tabelle 21** enthalten.

Umweltverträglichkeit der Strohbauplatten

Die ökobau.dat liefert hier leider keine Angaben zur Primärenergie sowie zur Wassernutzung und zum Stoffstromoutput. Die ökobau.dat liefert hier aber leider keine Angaben der Umweltauswirkung in Form des Treibhauspotenzials (GWP), Ozonschichtabbaupotenzials (ODP), Ozonbildungspotenzials (POCP), Versauerungspotenzials (AP), des Eutrophierungspotenzials (EP), des Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF) sowie dem Potenzial für die Verknappung von abiotischen nicht fossiler Ressourcen (ADPE).

9.5 Platten aus sonstigen nachwachsenden Rohstoffen

Zu diesen Platten aus weiteren nachwachsenden Rohstoffen zählen u.a. die folgenden Produkte: Holzweichfaserplatten, Korkplatten sowie Holzwolle-Leichtbauplatten für die weitreichende Angaben zur Umweltverträglichkeit der Produkte im Anhang enthalten sind.

Auch für diese und noch für weitere nachwachsende Baustoffe sind einige bedeutende physikalische Parameter für die Bewertung, z.B. der Wärmedurchlässigkeit, der Wasserdampfdurchlässigkeit oder des Brandverhaltens bereits in vorheriger **Tabelle 21** enthalten.

Recyclingfähigkeit der Produkte aus sonstigen nachwachsenden Rohstoffen

Grundsätzlich sind für diese Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen Möglichkeiten zur Wieder-/ Weiterverwendung sowie auch zur stofflichen oder energetischen Verwertung gegeben. Jedoch dürften die Möglichkeiten eines zerstörungsfreien Rückbaus nicht zuletzt durch die Art der Befestigung der Wandbauplatten nur selten gegeben sein, so dass eine Wiederverwendung rar und somit nur unter definierten Bedingungen gewährleistet ist. Eine Wiederverwendung durch Recycling, nach einer speziellen Aufbereitung ist möglich, für diese Prozesse und deren Produkte gibt es aktuell in Deutschland aber noch keinen Markt.

Dauerhaftigkeit der Produkte aus sonstigen nachwachsenden Rohstoffen

Das entscheidende Kriterium für diese Produkte ist die Wasserlöslichkeit. Diese lässt sich durch die Wasseraufnahme und die Wasserdampfdurchlässigkeit (vergl. **Tabelle 21**) darstellen. Diese für diese Produkte relevanten Kriterien lassen sich unter den vorhersehbaren Vorgang „Feuchte“ zusammenfassen, da die Produkte bei vorbestimmter Verwendung im Trockeninnenausbau keinen Verlust der Dauerhaftigkeit aufgrund von Feuchte erleiden.

Umweltverträglichkeit der Produkte aus sonstigen nachwachsenden Rohstoffen

Die Angaben zur Primärenergie lassen sich auf der ökobau.dat Datenbank einsehen. Dort wird der Primärenergiebedarf den erneuerbar (regenerierbar), den nicht erneuerbar (nicht regenerierbar) Brennstoffen sowie den Sekundärbrennstoffen zugeteilt. Die Angaben zur Wassernutzung sind der ökobau.dat zu entnehmen. Der Stoffstromoutput wird auch in der ökobau.dat angegeben. Die Angaben teilen sich in Haus- und Gewerbemüll sowie gefährliche Abfälle und radioaktive Abfälle auf (siehe hierzu die *Tabellen A14 bis A16* im Anhang).

Die ökobau.dat liefert hier Angaben der Umweltauswirkung in Form des Treibhauspotenzials (GWP), Ozonschichtabbaupotenzials (ODP), Ozonbildungspotenzials (POCP), Versauerungspotenzials (AP), des Eutrophierungspotenzials (EP), des Potenzials für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF) sowie dem Potenzial für die Verknappung von abiotischen nicht fossiler Ressourcen (ADPE) - siehe hierzu die *Tabellen A14 bis A16* im Anhang.

9.6 Photovoltaikplatten als Wandbauplatten

Die Fassadenhaut wurde speziell für die Anwendung an einem Wohnhaus entwickelt. Es handelt sich um eine matte Photovoltaikplatte, welche als Fassadenplatte vollflächig verbaut wird. Ein Photovoltaik-Element dient also nicht mehr nur als Energielieferant, sondern ist vielmehr eine matte Bauplatte, die mindestens so gut in Erscheinung tritt, wie eine Faserzementplatte mit dem Unterschied der parallelen Stromproduktion. Bereits bei Sonnenaufgang wird die gesamte Gebäudeoberfläche aktiv und produziert Energie auch ohne direktes Sonnenlicht [Schmid, 2015]. Im ersten energie-autarke Mehrfamilienhaus – Konzeption und Architektur von René Schmid, Architekt in Zusammenarbeit mit Basler & Hofmann AG, Zürich und CSEM, (Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA), Neuchâtel wurde die Photovoltaikplatte auf die Anforderungen der Architektur weiter entwickelt.

9.7 Ökobilanzdaten für ausgewählte Baustoffe/ Dämmstoffe

Verschiedene im Internet verfügbare Datenbanken, v.a. ökobau.dat oder wecobis.de, auf die auch im Leitfaden des BMI vom Januar 2019 zum Thema „Leitfaden Nachhaltiges Bauen - Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden“ [BMI, 2019] verwiesen wird, weisen Ökobilanzdaten für Baumaterialien/ Bauprodukte aus. Hierauf ist in den vorherigen Unterkapiteln auch bereits hinreichend verwiesen worden. Ausgewählte Ökobilanzdaten zu den insbesondere angesprochenen Bauprodukten:

- Gipswandbauplatten,
- Holzbauplatten,
- Lehmbauplatten,
- Strohbauplatten,
- Platten aus verschiedenen, weiteren nachwachsenden Rohstoffen

finden sich in den Tabellen im Anhang (*Tabellen A10 bis A16*).

Weitere Vergleiche zu **nachhaltigen Bauprodukten** sind darüber hinaus in der Literatur zu finden, so z.B. in der vom IFEU-Institut (Heidelberg) und natureplus Im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt sowie dem Umweltministerium Baden-Württemberg gemeinsam durchgeführten „Ganzheitlichen Bewertung von verschiedenen Dämmstoffalternativen“ [ifeu/natureplus, 2019], in der vom Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) sowie Intecus (Dresden) gemeinsam durchgeführten Studie „SEROBAU – Energie- und Materialflüsse entlang der Herstellung und des Einsatzortes von Sekundärstoffen aus dem Hochbau für den Baubereich“ vom Juni 2019 [IÖR/ Intecus, 2020] oder der vom Dachverband Lehm e.V. im Dezember 2018 veröffentlichten Studie „Entwicklung von Rahmenbedingungen zur Erstellung von Muster UPD für Lehmbaustoffe“ [UPD Lehmmörtel].

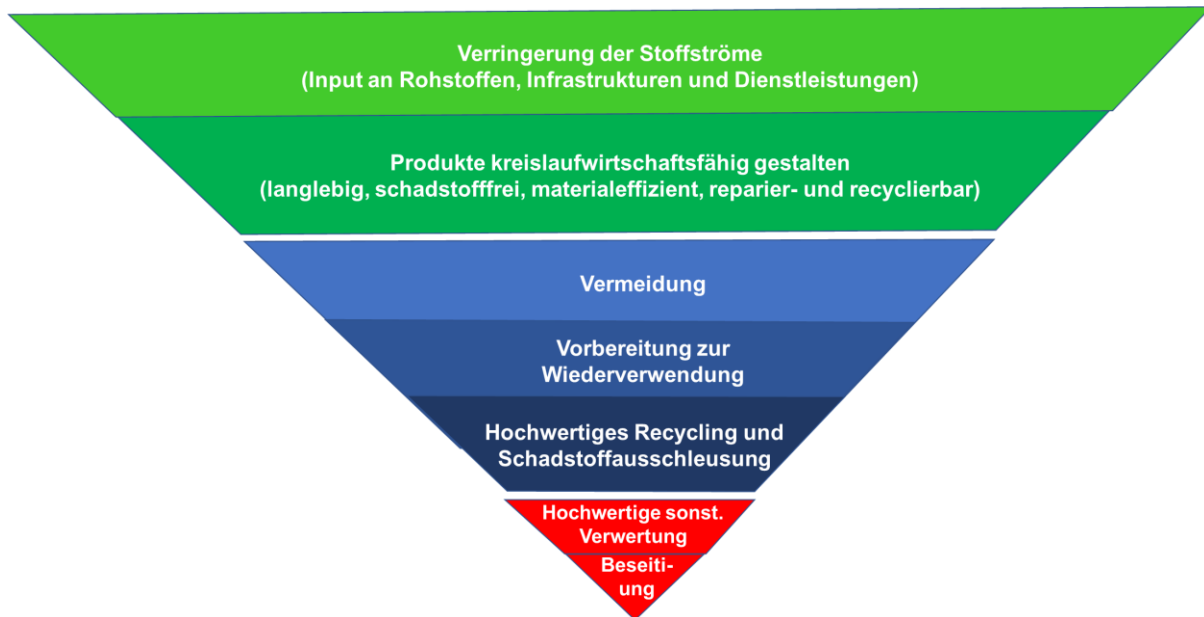
Die letztgenannte Studie führt auch einen Vergleich verschiedener Putzbaustoffe auf Kalk-/ Zement-, Gips- oder Lehmbasis durch und kommt auf der Basis der Daten aus der ökobau-Datenbank des Bundesbauministeriums [ökobau.dat] zu dem Ergebnis, dass die Lehmputze die umweltverträglicheren Baustoffe darstellen.

„Die Projektergebnisse der Studie von Schröder ebnen langfristig den Weg für eine normkonforme ökologische Bewertung aller genormten Lehmbaustoffe in qualitativer und quantitativer Hinsicht“ [UPD Lehmmörtel].

10. Naturgipsausstiegszenarien für die nächsten 25 Jahre

Wirtschaft und Gesellschaft in Deutschland nutzen nach wie vor zu viele Rohstoffe und verursachen damit gravierende Umweltbelastungen. Das neue Gutachten des SRU empfiehlt daher „Stoffströme müssen verringert und es muss eine konsequente Produktpolitik implementiert werden, damit mehr Rohstoffe im Kreislauf geführt werden können“ [SRU, 2020]. „Es ist wichtig, dass Produkte langlebig, reparaturfreundlich, recyclinggerecht und schadstofffrei sind.“ Der SRU empfiehlt daher, die Abfallhierarchie zu einer Kreislaufwirtschaftshierarchie weiterzuentwickeln, um diese Aspekte zu verankern. Dies ist in der folgenden **Abbildung** veranschaulicht.

Abbildung 4: Erweiterung der Abfallhierarchie zu einer Kreislaufwirtschaftshierarchie
(gemäß dem Text des Gutachtens im grünen Bereich modifiziert [SRU, 2020])



Aufgrund der Notwendigkeit gesellschaftliche Stoffströme stärker als bisher zu steuern, sollte die **fünfstufige Abfallhierarchie** (blau und rot in **Abbildung 4**) um **zwei Produktstufen** ergänzt werden (grün in **Abbildung 4**). Der SRU schlägt daher ein neues, erweitertes Zielsystem vor. Hieran sollten sich künftige Maßnahmen und Instrumente ausrichten [SRU, 2020].

Für Thüringen ist die Situation wie folgt zu werten: Im Thüringer LEP [LEP, 2014] steht nicht, dass für 25 Jahre ein Rohstoffabbau für Gips gewährleistet sein soll; es sollen die Investitionen der rohstofffördernden Betriebe für diesen Zeitraum gesichert werden.

*"Die für eine wirtschaftliche Gewinnung der Rohstoffe erforderlichen **Investitionen und laufenden Ersatzinvestitionen** erfordern in der Regel eine Laufzeit von mindestens 25 Jahren. Dies gilt es, insbesondere bei der Bemessung der Größe der Vorranggebiete „Rohstoffgewinnung“, zu berücksichtigen."*

Eine Investitionssicherung kann nach Ansicht des BUND besonders durch technische Innovation gewährleistet werden [BUND, 2018a].

Eine lineare Fortschreibung des Naturgipsverbrauches für die nächsten 25 Jahre widerspricht dem Wort und Geist des LEP [LEP, 2014]. Um ihre Bedarfe an Naturgips zu untermauern, muss die Gipsindustrie ein nachvollziehbares Ausstiegszenario aus der Naturgipsverwendung unter Berücksichtigung von Substitutionsmöglichkeiten vorlegen. Daraus würde ein sinkender jährlicher Bedarf an Naturgips resultieren, der bei der Berechnung der benötigten Abbauflächen zu berücksichtigen wäre [BUND, 2018a].

Um diese **25-jährige Planungsperiode** abzudecken ist es von Nöten den Zeitstrahl ausgehend von der aktuellen Situation, einer „Corona bedingten Wirtschaftskrise“ abzubilden, die exemplarisch für weitere denkbare, zukünftige globale Krisen steht, die wirtschaftlicher, epidemiologischer, klimatischer oder anderer Natur sein können.

Wenn wir den Blick jedoch über den Tellerrand der aktuellen Pandemie lenken, empfangen wir unklare Bilder der kurz-, mittel- und langfristigen Zukunft²⁷. Wir wissen: Vieles wird in dieser langen Periode von 25 Jahren anders werden. Szenarien können hier helfen, den Blick auch weit in die Zukunft zu lenken, Szenarien nehmen die Zukunft aber nicht vorweg, sie geben uns Hinweise auf das, was möglicherweise zu unserer neuen Zukunft²⁸ wird.

Dabei helfen können uns die **Megatrends**²⁹ (ausführlich dargestellt siehe im Anhang ab Seite 131). Als Konstanten des Wandels liegt in ihnen jene Zukunft festgelegt, mit der wir uns als Gesellschaft offenbar schon längst angefreundet haben. Sicherheit zum Beispiel, oder neuerdings auch Neo-Ökologie, die Urbanisierung, die Globalisierung und die Gesundheit. Megatrends begleiten den langsamen Wandel der Gesellschaften. Daher sind Megatrends nie neu. Sie sind wie alte Bekannte - man lebt mit Ihnen, reibt sich an ihnen und lernt sich und die Welt dadurch besser kennen [Gatterer, 2020].

Fünf robuste Megatrends: Die Brücken in die nahe und ferne Zukunft

In der vernetzten Analyse zeigt sich, dass 5 der 12 Megatrends für alle Szenarien von zentraler Bedeutung sind. An diesen fünf Megatrends werden sich die robusten Brücken in die Zukunft errichten lassen. Dabei handelt es sich um die beiden Megatrends Sicherheit und Gesundheit; gefolgt von Konnektivität wie auch Individualisierung und Globalisierung. An diesen Megatrends wird sich die Zukunft jedenfalls ausrichten. Man kann sie lesen wie das strategische 1x1 der kommenden 25 Jahre. Wir werden als Gesellschaft Antworten brauchen für den Umgang mit diesen Megatrends. Sowohl in kultureller und technischer Hinsicht als auch im Regelwerk, auf das sich die Gesellschaft und ihre Bürgerinnen verlässlich beziehen kann [Gatterer, 2020].

Drei treibende Megatrends: Die Change-Motoren der Zukunft

Im Epizentrum des Corona-Desasters stehen drei Megatrends, die sich in den kommenden Jahren als wahre **Innovationstreiber** herausstellen können. Denn diese Megatrends sind besonders stark betroffen von der Corona-Krise. Daher werden sie auch zu Change-Motoren unserer Gesellschaft und Wirtschaft. New Work: Denn die Frage, wie und wo wir arbeiten, verhandelt sich nun, fast im Sekundentakt. Viel wurde beraten darüber, wie sie aussehen könnte, diese neue Arbeit. Nun folgt der Übergang vom Wort zur Tat: Jetzt kommt es darauf an, dass neue Muster der Arbeit, v.a. Homeoffice flächendeckend eingeführt werden.

Silver Society. Das Virus Covid-19 hat uns deutlich vor Augen geführt, wie schwerfällig unser Umgang mit dem Alter ist. Wir schätzen und schützen „die Alten“, aber haben wir sie dadurch schon reintegriert in unsere hektische Gesellschaft? Die letzten Jahre waren geprägt von einer Anti-Aging-Haltung. Die Zukunft einer älteren Gesellschaft gehört dem Pro Aging.

²⁷ Im Rahmen dieses Gutachtens bedeutet kurzfristig: 2020 bis 2030; mittelfristig: 2030 bis 2038; langfristig: 2038 bis 2045

²⁸ Das Zukunftsinstitut hat hierzu in vier Szenarien Möglichkeitsräume ausgeleuchtet, die im Anhang wiedergegeben sind.

²⁹ Das Zukunftsinstitut hat in 12 Megatrends, die im Anhang enthalten sind, die Zukunft beschrieben [Gatterer, 2020].

Nicht zuletzt wird sich der Change auch am mächtigsten Megatrend unserer Zeit messen: der Neo-Ökologie. Die Corona bedingte Wirtschaftskrise hat den Planeten durch den globalen Zwangsstopp zum Durchatmen gebracht: Flüge sind gestrichen, Fabriken stehen still. Die Umwelt erholt sich³⁰, die CO₂-Emissionen gehen zurück. Was nun folgen wird, ist ein schierer Run auf das Neubewusstsein im Umgang mit unserem Planeten - haben wir schon final verstanden, dass auch wir „nur“ Natur sind [Gatterer, 2020].

Vier ambivalente Megatrends: Die Sprungbretter zur Innovation

Die übrigen vier Megatrends sind weder robuste Säulen der Veränderung noch sind sie die Treiber des Wandels, was diese in eine interessante Lage bringt: Sie können zu entscheidenden **Innovationstreibern**, v.a. für die langfristige Entwicklung werden. Wer braucht in Zeiten von Corona schon den Gender Shift? Wie wichtig kann die Wissenskultur sein, wenn Leben auf dem Spiel stehen? Wie viel mehr Mobilität brauchen wir noch, wenn doch alle oder zumindest viel mehr zu Hause arbeiten? Oder warum sollten wir noch mehr Urbanisierung wollen, wenn wir doch erstmal mit dem Globalen hadern? Diese Megatrends scheinen ein bisschen außen vor zu sein, aus der Zukunft nach der Pandemie. Und genau deshalb haben sie viel Kraft und eine hohe Bedeutung [Gatterer, 2020].

In verschiedenen **Wirtschaftsprognosen**³¹, die sich ganz aktuell mit den Folgen der aktuellen Pandemie auf die Wirtschaftsleistung (BIP) in Deutschland beschäftigen sind verschiedene Wege aus der Krise thematisiert. So zeigt z.B. die gemeinsame Analyse von Agora Energiewende/ Agora Verkehrswende vom Mai 2020 [Agora Energiewende/ Verkehrswende, 2020] drei alternative Wege für die deutsche Wirtschaft auf:

- **V-Verlauf:** „Ausbreitung des Virus unter Kontrolle, starkes Wirtschaftswachstum“,
- **U-Verlauf:** „Ausbreitung des Virus unter Kontrolle, schwaches Wirtschaftswachstum“³²,
- **L-Verlauf:** „Pandemische Eskalation, andauernde Wirtschaftskrise ohne Belebung“

Die Chance, dass sich die Wirtschaftskraft mit einem „V“-Verlauf rasch wieder erholt sind die eine denkbare Variante, es könnte aber auch mit einem langgestreckten „U“ (alternativ mit einem „W“) oder sogar mit einer mehrjährigen Rezession („L“-Verlauf) bei der wirtschaftlichen Entwicklung zu rechnen sein. Dies hätte nicht nur dauerhaft eine höhere Arbeitslosigkeit zur Folge. Es drohen auch auf Jahre Mittel zu fehlen, die schon vor der aktuellen Krise als dringend nötig erachtet wurden, um in Deutschland die Infrastruktur zu erneuern und in Zukunftsaufgaben wie den Klimaschutz zu investieren [IW/IMK, 2019] oder die nötig wären, um unsere Gesellschaft widerstandsfähiger gegen solche Schocks zu machen. Es gilt daher, der deutschen Wirtschaft möglichst zügig aus dem Tal der aktuellen Pandemie wieder herauszuhelfen.

Die Aufgabe wird in vielerlei Hinsicht der ähneln, die hinter dem New Deal des US-Präsidenten Franklin D. Roosevelt zur Überwindung der Weltwirtschaftskrise in den 1930er-Jahren stand. Auch damals ging es darum, eine tiefe wirtschaftliche Krise zu überwinden, die sich zu einer Depression ausgeweitet hatte und das Land strukturell zu modernisieren sowie resilienter gegen neue Schocks zu machen. Roosevelt schlug hierzu Relief-, Recovery- und Reform-Maßnahmen vor, die übertragen auf die aktuelle Situation, wie folgt aussehen:

Relief-Maßnahmen zur Milderung der ökonomischen Folgen der Corona-Krise sind bereits angelaufen. Der Bundestag hat im März 2020 als „Schutzschild“ für die deutsche Wirtschaft

³⁰ Der Himmel über China und Indien (Himalaya u.a.) ist wieder zu sehen. Das Meerwasser an unseren Küsten und das Wasser der Flüsse ist wieder klar (Delphine und Robben sind an den Küsten zurück). Seesterne an den Stränden von Thailand sind wieder da, wo vorher „nur“ Touristen waren, u.v.m.

³¹ Internationaler Währungsfonds (IWF): -7% für Deutschland, BMWI-Frühjahrsprojektion: -6,3% für Deutschland

³² Alternativ ist auch ein „W-Verlauf“ mit einer 1- bis mehrmaligen Auf- und Abwärtsbewegung des BIP denkbar

ein Maßnahmenprogramm in Höhe von über 350 Milliarden Euro beschlossen, das unter anderem Liquiditätshilfen, Bürgschafts- und Zuschuss-Programme enthält.

Recovery-Maßnahmen zur Belebung der Wirtschaft werden folgen, wenn die Kontaktbeschränkungen wieder soweit aufgehoben werden, dass die Wirtschaft entsprechende Aufträge annehmen und umsetzen kann. Sie müssen schnell umsetzbar und großvolumig sein, um zu wirken. Die Lehren aus den Konjunkturprogrammen I und II in der Weltwirtschaftskrise 2008/2009 sollten dabei beachtet werden.

Reform-Maßnahmen für tiefgreifende Strukturreformen, die in einem New Deal münden sind langfristig angelegt und zielen auf den strukturellen Wandel. Sie sollten alle Bereiche betreffen, die die Wirtschaft und Gesellschaft vor weiteren Schocks schützen und resilienter machen. Dazu werden Beschlüsse im Gesundheitssektor zählen. Genauso wichtig werden aber Antworten auf die Herausforderungen der Digitalisierung und des Klimaschutzes sein. Denn gerade beim Klimawandel drohen ebenfalls unkontrollierte Schocks mit ihren fatalen Folgen.

Mit dem **European Green Deal** [EU-Kommission, 2019 und 2020] ist in Europa bereits ein klares Konzept für den Zeitraum bis zum Jahr 2030 benannt, das einen großen Investitionsschub bedeutet, ähnlich wie in den 30er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts. Während es damals den Aufbau neuer Infrastruktur und die Elektrifizierung der Gesellschaft beinhaltete, sind es heute vor allem gewünschte Investitionen in Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, grünen Wasserstoff und die Kreislaufwirtschaft [Agora Energiewende/ Verkehrswende, 2020].

10.1 Grundannahmen für die Ausstiegsszenarien bis 2045

In diesem Kapitel werden im Folgenden ein Ausstiegsszenarien für den Naturgipsabbau in Deutschland bzw. im Südharz für die nächsten 25 Jahre, d.h. exakter bis zum Jahr 2045 erarbeitet.

Ausgehend von der Ist-Situation der Gipsnutzung insgesamt in Deutschland (Ergebnisse aus Kapitel 2) und dem Wegfall des REA-Gipses aus der Kohleverstromung in Deutschland bis spätestens zum Jahr 2038 (Ergebnis aus Kapitel 3) wird ein Konzept vorgeschlagen, wie diese Mengen sukzessive innerhalb der nächsten 25 Jahre ersetzt werden können.

Hierzu werden die Ergebnisse aus den Kapiteln 4 bis 9 Eingang finden, in denen zum einen **Alternativen der aktuellen Gipserzeugung für Deutschland** beschrieben werden: Dies kann z.B. durch eine optional stärkere Gewinnung von Anhydrit (Kapitel 4), durch bessere Nutzung der auf Halden zwischengelagerten Gipsmengen (v.a. REA-Gips) in Kapitel 5 und/ oder durch eine Steigerung der Importmengen an REA-Gips und/ oder an Naturgips aus dem Ausland in der Zukunft (Kapitel 6) erfolgen.

Zum anderen wird in Kapitel 7 eine Betrachtung der Optionen zum Gipsrecycling für die künftige Gipsnutzung in Deutschland vorgenommen. Das Kapitel 8 befasst sich mit den Potenzialen für eine Gipsnutzung aus der chemischen Industrie, inkl. v.a. der Möglichkeiten einer stärkeren Gewinnung von Phosphorgips für den deutschen Bausektor als Markt in der Zukunft.

Im Kapitel 9 erfolgt eine Beschreibung der bestehenden Alternativen für eine künftige Verwendung von Substituten für Gipsprodukte im Bauwesen, denen eine zentrale Rolle bei der künftigen Entwicklung nachhaltiger Baumethoden und -prozesse sowie der Verwendung von insgesamt nachhaltigen Produkten im Bauwesen zukommt.

Die jeweiligen **Erkenntnisse** aus **den Kapiteln 2 - 9** stehen in ihrem hier jeweils dargestellten inhaltlichen Kontext bisher jedoch noch weitgehend isoliert nebeneinander und müssen in diesem Kapitel in Ausstiegsszenarien für den Naturgipsabbau in Deutschland bzw. im Südharz in Folgeabschätzungen für die Entwicklung in den nächsten 25 Jahre zusammengeführt werden.

Hierzu bietet sich für die argumentative Unterlegung dieser Folgenabschätzungen zu den Perspektiven der Gipsnutzung in Deutschland über die nächsten 25 Jahre aus gutachterlicher Perspektive zum einen eine zeitliche Differenzierung in drei Zeitkorridore an:

- Kurzfristiger wirtschaftlicher Zeitkorridor (Dekade zwischen 2020 bis 2030),
- Mittelfristiger wirtschaftlich-gesellschaftlicher Zeitrahmen (Dekade von 2030 bis 2038),
- Langfristiger wirtschaftlich-gesellschaftlicher Zeitkorridor (Dekade nach 2038 bis 2045).

Diese Unterteilung ist geprägt von folgenden zeitlich gestuften, **prioritären Leitgedanken**:

Dekade zwischen 2020 bis 2030

Dieser **Zeitraum** der kommenden 10 Jahre **bis zum Jahr 2030** ist zum einen noch stark vom der aktuellen Wirtschaftssituation in Deutschland geprägt, die zum einen wirtschaftlich-gesellschaftliche Grunddaten für das vergangene Jahr 2019 beinhaltet aber zum anderen auch bereits einen so deutlichen Wirtschaftsabschwung für Deutschland durch die „Corona-Krise (COVID19-Virus)“ für das laufende Jahr 2020 offenbart, wie es ihn über mehrere Jahrzehnten noch nie seit Bestehen der Bundesrepublik Deutschland gegeben hat. Zum anderen kann die Entwicklung der kommenden 10 Jahre aber noch am besten und konkretesten beschrieben werden, weil gerade für diesen Zeitraum einige wesentliche politisch-konzeptionelle Grundannahmen vorliegen (so u.a. European Green Deal, Kohleausstiegsgesetz für Deutschland), auf die sich die Annahmen für die künftige Wirtschaftsleistung und damit auch der Gipsnutzung in Deutschland konkret stützen können ([EU-Kommission, 2019 und 2020], [UBA, 2020c]). Diese müssen jedoch mit der für die kommenden Jahre in Folge der aktuellen Pandemie nunmehr zu erwartenden Wirtschaftssituation in Deutschland einer

- „**V-Kurve**“ mit einem steilen Wiederaufschwung nach dem „Lockdown“/ Abschwung,
- „**U-Kurve**“ mit einem Aufschwung erst nach dem längeren Verharren auf einem niedrigeren Grundniveau (BIP) nach dem Abschwung oder gar einem langfristigen Verbleiben auf einem deutlich niedrigeren Wirtschaftsleistungsniveau (BIP) in Deutschland als noch im Jahr 2019 (alternativ ist auch eine „**W-Kurve**“ mit einer angenommenen 2. COVID19-Welle sowie einer 1- oder 2-maligen Auf- und Abwärtstendenz bei BIP denkbar)

in eine Balance für die Zukunft gebracht werden (Frage: Was bringen spezielle konjunkturelle Programme für einzelne Wirtschaftssektoren bzw. für den Gesamtkonsum der Bürger für die Zukunft? Haben aktuelle politische Maßnahmen/ Effekte im „Lockdown“ auch Folgeeffekte für andere Wirtschaftssektoren, wie z.B. für den Immobilien- oder den Bankensektor zur Folge?).

Ich werde mich im Rahmen dieses Gutachtens trotz der dargestellten, sehr vielfältigen Megatrends (siehe Anhang) daher auf lediglich **zwei Grundscenarien** zur Beschreibung dieser künftigen optionalen Entwicklungen für diese Dekade beschränken:

- **Worst-Case Szenario** (pessimistisches Wirtschaftsszenario – „U-Kurve“/ „W-Kurve“),
- **Best-Case Szenario** (optimistisches Wirtschaftsszenario – „V-Kurve“).

Dekade zwischen 2030 bis 2038

Für diesen Zeitraum sind die konzeptionellen Planungsperspektiven für Deutschland und auch für Europa weniger konkret bzw. noch weniger stark ausgeprägt. Es müssen im Rahmen

dieser Folgenabschätzung für die Gipsnutzung der Zukunft insgesamt betrachtet schon wesentlich diffusere Annahmen getroffen werden als für den vorherigen Zeitraum bis 2030.

Für einzelne Sektoren, wie z.B. den **Energiesektor** ist jedoch auch für diesen Zeitraum eine recht klare Beschreibung der Optionen bzw. der Korridore möglich, weil das Kohleausstiegsgesetz [Kohleausstiegsgesetz, 2020] auch für diese Periode sehr klare inhaltliche Vorgaben macht. Insofern ist es auch nicht Aufgabe dieser Folgenabschätzung, sich mit Fragen bzw. Optionen zu befassen, die als eher politisch unwahrscheinlich einzustufen sind, wie z.B. einen Verzicht in Deutschland auf den schon für die nächsten 4 Jahre politisch beschlossenen Ausstieg aus der Kernenergie mit einer Abschaltung der Atomkraftwerke.

Ich schlage daher vor, sich im Rahmen dieses Gutachtens auch für diesen Zeitkorridor auf **zwei Grundszenarien** zur Beschreibung der künftigen Entwicklungen, die ansonsten vom politisch-wirtschaftlich-gesellschaftlichen Gesamtbild betrachtet, äußerst vielfältig sein könnten, zu beschränken:

- **Worst-Case Szenario** (pessimistisches Szenario – „Mehr Souveränität der Akteure“),
- **Best-Case Szenario** (optimistisches Szenario – „Green Deal“ weiter klar im Fokus),

Das **Best-Case Szenario** ist u.a. als Fortsetzung des Green Deal-Ansatzes der EU-Kommission für Europa zu sehen, d.h. der Umbau der deutschen und europäischen Wirtschaft hin zu einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Wirtschaftsweise, auf dem Weg zu einem klimaneutralen Europa bis spätestens zum Jahr 2050, wird hier sehr konsequent weiterverfolgt.

Das **Worst-Case Szenario** lässt hier u.a. als Folge der stärkeren Wirtschaftsdepression im Zeitraum zwischen 2020 und 2030 auch in dieser Dekade noch stärkere Abweichungen hin auf einem Weg zu einer ressourcenschonenden und klimaneutralen Gesellschafts- und Wirtschaftsstruktur in der mittelfristigen Zukunft für Europa zu.

Dekade nach 2038 bis 2045

Dieses Gutachtens wird sich auch für diesen Zeitkorridor auf **zwei Grundszenarien** zur Beschreibung der künftigen Entwicklungen, die ansonsten vom politisch-wirtschaftlich-gesellschaftlichen Gesamtbild her, sehr vielfältig sein könnten, beschränken:

- **Worst-Case Szenario** (pessimistisches Gesellschaftsszenario – „Mit Nachholeffekten“),
- **Best-Case Szenario** (optimistisches Gesellschaftsszenario – „Klimaneutralität erreicht“),

Das **Best-Case Szenario** stellt das insgesamt positiv/ optimistische Gesellschaftsszenario für Deutschland dar und ist als konsequente Fortsetzung des Green Deal-Ansatzes der EU-Kommission für Europa aus den 2020er-Jahren zu sehen. Der Umbau der deutschen und europäischen Wirtschaft hin zu einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Wirtschaftsweise, auf dem Weg zu einem klimaneutralen Europa ist in dieser Dekade bereits weitgehend abgeschlossen und die Klimaneutralität der deutschen Gesellschaft ist bis 2045 nahezu erreicht.

Das **Worst-Case Szenario** als das pessimistische Gesellschaftsszenario lässt auch in dieser Dekade noch stärkere Abweichungen hin auf einem Weg zu einer ressourcenschonenden und klimaneutralen Gesellschafts- und Wirtschaftsstruktur für Deutschland bis zum Jahr 2050 zu, d.h. es ergeben noch nötige Nachholeffekte, um das gesteckte hohe politische Ziel auch wirklich zu erreichen.

IST-Situation für die Jahre 2018/ 2019

Die **Ausgangssituation** ist zum einen durch die **Nachfrage** nach **Gips**, i.W. als **Baumaterial**, der sich über den Verbrauch an Gipsprodukten, wie er sich in den Jahren 2018 und 2019 im Inlandsmarkt darstellt, beschrieben. Dies erfolgt in den beiden **Tabellen 22** und **23** in den beiden Unterkapiteln zum Worst-Case-Szenario (Kap. 10.2) und Best-Case-Szenario (Kap. 10.3).

Wir sehen einen Inlandsverbrauch an Gips von rund 10 Mio. Mg, v.a. über die drei Produktgruppen Gebrannte Gipsprodukte (rd. 3,3 Mio. Mg/a), Gipsbauplatten (rd. 5 Mio. Mg/a) sowie Gips/ Anhydrit als Abbinderegulierer für die Zementherstellung (rd. 1,7 Mio. Mg/a).

Dem steht bisher (Stand: 2018/ 2019) ein **Angebot** an **Gips** aus den folgenden Herkunftsbe-
reichen gegenüber:

- **Naturgips/ Anhydrit** (aus deutschlandweiter Gewinnung/ Abbau):
Inlandsabsatz: rd. 2,5 Mio. Mg/a, Export: rd. 0,7 Mio. Mg/a, Import: rd. 0,02 Mio. Mg/a,
- **Anhydrit aus der Flusssäureproduktion**: 400.000 Mg/a,
- **Gips aus der Zitronensäureproduktion**: 50.000 Mg/a,
- **REA-Gips**: 5 Mio. Mg/a, davon aus Kohlekraftwerken (5 Mio. Mg/a), aus Import (0 Mg/a),
- **Recyclinggips**: (bis zu 200.000 Mg/a),
- **Phosphorgips**: nicht bekannt, aber größer als 0 Mg/a³³.

Dies deckt in Summe im Angebot rund 95-97% der **Inlandsnachfrage** nach Gips ab, so dass der Restbedarf über zwischengelagerten Gips/ REA-Gips aus Halden bzw. niedrigere Exporte von Naturgips und damit einen leicht höheren Inlandsverbrauch gedeckt wird.

10.2 Pessimistisches Ausstiegsszenario bis zum Jahr 2045

Für das **pessimistische Ausstiegsszenario** werden die folgenden, im Szenario selber zu rechtfertigenden Grundannahmen zugrunde gelegt:

- starke globale Weltwirtschaftskrise („**U- oder W-Kurve**“ der deutschen Wirtschaftsleistung – BIP [IfW, 2020]) mit sehr bedeutenden Auswirkungen auf den deutschen Markt für Gipsprodukte, d.h. den Absatz zwischen 2020 und u.U. mindestens bis zum Jahr 2025,
- **Rückgang der Wirtschaftsleistung** der deutschen Wirtschaft im Jahr 2020 um mindestens **10 bis 15% beim BIP³⁴** (gegenüber dem Jahr 2019), nur sehr zögernde Erholung auf das Vorkrisenniveau bis 2025 oder sogar noch später (v.a. bei einer „W-Kurve“),
- besonders **starke Auswirkungen** auf die Produktgruppe **Gipsbauplatten**, etwas schwächer aber auch auf gebrannte Gipsprodukte und auf Abbinderegulierer für Zement,
- entsprechend der Maßgabe „Verringerung der Stoffströme“ aus dem SRU-Gutachten sowie den drei Megatrends (New Work, Silber Society und ProAging) wird sich der **Gipsinlandsverbrauch** bis zum Jahr 2045 in etwa halbieren (-50%),
- hierzu tragen auch **Substitute** für **Gipsbauplatten** (Holz-, Lehm-, Strohbauplatten u.a. Substitute) bei, die v.a. ab der 2. Dekade (2030/2038) aus Gründen der Nachhaltigkeit/ Klimabilanz besonders deutlich im Holzrahmeninnenausbau und auch immer stärker im Fertighausbau verwendet werden,
- Erfüllung eines übergeordneten nur „**55%-Ziels**“ („**Ziele Bundesregierung**“) für den Ausbau der Erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2030 für alle gesellschaftlichen Sektoren,

³³ Im Werk Neuss von Knauf sollen Phosphorgipse, die aus Belgien bezogen werden, eingesetzt werden.

³⁴ so u.a. Prognosen veröffentlicht von [Euler/Hermes, 2020]

- **Ausstieg** aus der **REA-Gipsnutzung**, v.a. in der 2. Dekade nach 2030 bis spätestens im Jahr 2038 vollständig erfolgt, etwa bis zum Beginn der 3. Dekade (nach 2038) ist auch die Verwendung der Reserven von „Haldengips“ zur Neuproduktion nahezu abgeschlossen,
- **Importe** von **REA-Gips**, v.a. aus Polen ab dem Jahr 2020/2021, der stetig ansteigt und erst wieder in der 3. Dekade, nach dem Jahr 2040 langsam rückläufig ist,
- Auf die **Nutzung** von **Naturgips/ Anhydrit** kann bis etwa zum Jahr 2040 in einer Größenordnung von bis zu 1,5 Mio. Mg/a noch nicht verzichtet werden, bis 2045 geht der Bedarf dann auf verbleibende etwa 0,75 Mio. Mg/a zurück,
- Die Aufbereitung/ Kreislaufführung und Nutzung von **Recyclinggips** wird v.a. in der 2. und 3. Dekade kontinuierlich und deutlich auf eine Größenordnung von 1,5 Mio. Mg/a bis zu max. 2 Mio. Mg/a im Jahr 2045 gesteigert, dies ist v.a. ab dem Jahr 2030/2035 als Substitut für REA-Gips, v.a. für Gipsbauplatten und einzelne gebrannte Gipsprodukte (z.B. Gipsputze) notwendig und auch möglich [Menz, et.al, 2020],
- **Phosphorgips** wird ab 2025 beginnend gezielt im europäischen Ausland aufbereitet und zur Nutzung nach Deutschland exportiert; die Nutzung in der Bauindustrie und als Abbin-deregulierer in der Zementindustrie steigt bis zum Jahr 2045 auf bis zu 1,25 Mio. Mg/a an.

Die zeitliche Entwicklung von Gipsverbrauch sowie Gipsverwendung in den drei Dekaden (kurz-, mittel-, langfristig) ist in der folgenden **Tabelle 22** im Überblick dargestellt.

Tabelle 22: Entwicklung der jeweiligen Gipsmengen im Zeitraum zwischen 2018/ 2019 und 2045 im pessimistischen Ausstiegsszenario (alle Angaben in Mio. Mg/a mit Ausnahme der Zeile „Erreichungsquote“ in %)

Periode	IST-SIT.		1. DEKADE			2. DEKADE		3. DEKADE		
Jahr	2018	2019	2020	2025	2030	2035	2038	2040	2042	2045
Gebr. Gipsbauprodukte	3,27	3,37	3,02	2,72	2,42	2,12	1,94	1,82	1,70	1,52
Gipsbauplatten	5,00	5,10	4,50	3,90	3,40	2,90	2,60	2,40	2,30	2,00
Gips Zement	1,71	1,73	1,58	1,58	1,56	1,59	1,58	1,55	1,53	1,48
Gipsverbrauch Gesamt	9,98	10,20	9,10	8,20	7,38	6,61	6,12	5,77	5,53	5,00
Naturgips/Anhydrit	3,20	3,20	3,00	2,50	2,00	1,50	1,50	1,50	1,25	0,75
Naturgips Export	0,67	0,70	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naturgips Import	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naturgips Insgesamt	2,55	2,52	2,51	2,50	2,00	1,50	1,50	1,50	1,25	0,75
Anhydrit a. Flusssäureprod.	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Gips aus Zitronensäureprod.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
dt. REA-Gips Gesamt	6,50	6,50	5,75	4,50	3,00	2,00	1,00	0,50	0,25	0,00
aus lf. Stromproduktion	4,50	4,50	4,20	3,07	1,65	1,38	0,65	0,00	0,00	0,00
aus Haldennutzung	2,00	2,00	1,55	1,43	1,35	0,62	0,35	0,50	0,25	0,00
REA-Gips-Export	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
REA-Gips-Import	0,00	0,00	0,10	0,20	0,60	0,80	0,90	0,75	0,70	0,55
Recyclinggips	0,16	0,18	0,25	0,50	0,80	1,10	1,40	1,60	1,80	2,00
Phosphorgips (Import)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,75	0,90	1,00	1,10	1,25
Summe Gipsangebot	9,66	9,65	9,06	8,15	7,35	6,60	6,15	5,80	5,55	5,00
Erreichungsquote	97%	95%	100%	99%	100%	100%	101%	100%	100%	100%

Der **Verbrauch** an **Gipsprodukten** sinkt in der 1. Dekade, v.a. aufgrund der Corona-induzierten bedeutenden und langanhaltenden Weltwirtschaftskrise stark sowie in den beiden folgenden Dekaden danach etwas weniger stark. Besonders deutlich fällt der Rückgang mit etwa einem Drittel bei den Gipsbauplatten aus, weil hier die konjunkturellen Einbrüche der

Bauwirtschaft in den Jahren 2020 bis mindestens 2025 sich besonders stark im Absatz bemerkbar machen. Gegenüber dem Ausgangsjahr 2019 wird sich der Gipsverbrauch bis zum Jahr 2045 in etwa halbieren.

Der Bedarf an **Naturgips/ Anhydrit** wird auch bis zum Jahr 2045 nicht komplett auf null absinken, sondern bei rund 1 Mio. Mg/a bis 0,75 Mio. Mg/a verharren.

Die Nutzung von inländischem **REA-Gips** geht bis zum Jahr 2045 auf null zurück. Etwa ab dem Jahr 2026 machen sich hier auch die bestehenden und zudem auf der Zeitachse bis 2045 weiter neu entwickelten Substitute für Gipsprodukte, v.a. im Innenausbau stark bemerkbar und es wird besonders nach 2030 auch immer stärker im Rahmen der Verwendung deutlich, dass REA-Gips aus den Kohlekraftwerken immer weniger als Ausgangsmaterial für Gipsbauplatten zur Verfügung steht. Mit etwa 0,6 Mio. Mg/a bis 1 Mio. Mg/a sind ab dann auch **Importe** an **REA-Gips**, vorwiegend aus Polen, zur Bedarfsdeckung v.a. bei den Gipsbauplatten notwendig.

Die **Haldennutzung** von **REA-Gips** wird bis etwa 2040 eine bedeutende Rolle spielen und danach Auslaufen, da die rund 16 Mio. Mg Haldengips der Braunkohlegewinnung und weiterer Haldenabraumgips der Naturgipsgewinnung dann aufgebraucht sind.

Recyclinggips nimmt sukzessive über die Jahre, erst noch recht vorsichtig bis zum Jahr 2035 auf rund 1 Mio. Mg/a zu, um danach bis zum Jahr 2045 auf bis zu 2 Mio. Mg/a anzusteigen.

Die Importe von **Phosphorgips** aus dem europäischen Ausland nehmen ab 2025 von 0,25 Mio. Mg/a langsam zu und landen in der 3. Dekade schließlich bei rund 1 Mio. Mg/a bis 1,25 Mio. Mg/a.

10.3 Optimistisches Ausstiegsszenario bis zum Jahr 2045

Für das **optimistische Ausstiegsszenario** werden die folgenden Grundannahmen berücksichtigt:

- Zwar starke globale Weltwirtschaftskrise („**V-Kurve**“ der deutschen Wirtschaftsleistung - BIP) auch mit bedeutenden Auswirkungen auf den deutschen Markt für Gipsprodukte, d.h. den Absatz zwischen 2020 und wahrscheinlich mindestens bis zum Jahr 2025, aber ein erwarteter steilerer Wiederanstieg der Wirtschaftseffekte in Form einer V-Kurve,
- **Rückgang** der **Wirtschaftsleistung** der deutschen Wirtschaft im Jahr 2020 um mindestens **5 bis 10% beim BIP** (gegenüber dem Jahr 2019 [IWF, 2020], [BMWI, 2020], [IWH, 2020]), recht zügige Erholung auf das Vorkrisenniveau bis etwa zum Jahr 2022/2023 oder sogar noch früher,
- besonders **starke Auswirkungen** auf die Produktgruppe **Gipsbauplatten**, etwas schwächer aber auch auf gebrannte Gipsprodukte und auf Abbinderegulierer für Zement,
- entsprechend der Maßgabe „Verringerung der Stoffströme“ in Verbindung mit „kreislaufwirtschaftsfähig gestalteten Produkten“ aus dem SRU-Gutachten sowie den vier Megatrends (Gender Shift, Wissenskultur, Mobilität und Urbanisierung) wird sich der **Gipsinlandsverbrauch** bis zum Jahr 2045 jedoch auf etwas mehr als ein Drittel reduzieren,
- hierzu tragen auch **Substitute** für **Gipsbauplatten** (Holz-, Lehm-, Strohbauplatten u.a. Substitute) bei, die v.a. ab der 2. Dekade aus Gründen der Nachhaltigkeit/ Klimabilanz für die Bauprodukte besonders stark im Holzrahmeninnenausbau und auch immer stärker im Fertighausbau Verwendung finden werden,
- Mindesterfüllung eines „**65%-Ziels**“ für den Ausbau der Erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2030,

- **Ausstieg** aus der **REA-Gipsnutzung**, v.a. in der 2. Dekade nach 2030 bis spätestens im Jahr 2035 vollständig erfolgt, etwa bis zum Beginn der 3. Dekade ist auch die Verwendung von Reserven an „Haldengips“ zur Neuproduktion nahezu vollständig abgeschlossen,
- **Importe** von **REA-Gips**, v.a. aus Polen ab dem Jahr 2030, der stetig ansteigt und erst wieder in der 3. Dekade, nach dem Jahr 2038 auf dann noch verbleibende 0,15 Mg im Jahr 2045 wieder rückläufig ist,
- Auf die **Nutzung** von **Naturgips/ Anhydrit** kann in einer Größenordnung von etwa 2Mi. Mg/a bis 1,6 Mio. Mg in der 2. Dekade und bis zu 1 Mio. Mg/a im Jahr 2040 noch nicht verzichtet werden, bis 2045 geht der Bedarf an Naturgips dann aber auf 0 Mg/a zurück,
- Die Aufbereitung/ Kreislaufrführung und Nutzung von **Recyclinggips** wird v.a. in der 2. und 3. Dekade kontinuierlich und deutlich auf eine Größenordnung von bis zu 1,4 Mio. Mg/a im Jahr 2045 gesteigert, dies ist v.a. ab dem Jahr 2030/2035 als Substitut für REA-Gips, v.a. für Gipsbauplatten und einzelne gebrannte Gipsprodukte (z.B. Gipsputze) notwendig und auch möglich [Menz, et.al, 2020],
- **Phosphorgips** wird ab spätestens 2030 gezielt im europäischen Ausland aufbereitet und zur Nutzung nach Deutschland exportiert; die Nutzung v.a. als Abbinderegulierer in der Zementindustrie steigt kontinuierlich bis zum Jahr 2045 auf bis zu 1,5 Mio. Mg/a an.

Die zeitliche Entwicklung von Gipsverbrauch sowie Gipsverwendung in den drei Dekaden ist in der folgenden **Tabelle 23** im Überblick dargestellt.

Tabelle 23: Entwicklung der jeweiligen Gipsmengen im Zeitraum zwischen 2018 und 2045 im optimistischen Ausstiegsszenario (alle Angaben in Mio. Mg/a mit Ausnahme der Zeile „Erreichungsquote“ in %)

Periode	IST-SIT.		1. DEKADE			2. DEKADE		3. DEKADE		
Jahr	2018	2019	2020	2025	2030	2035	2038	2040	2042	2045
Gebr. Gipsbauprodukte	3,27	3,37	2,97	2,47	2,22	1,97	1,90	1,80	1,70	1,55
Gipsbauplatten	5,00	5,10	4,50	3,50	2,75	2,25	2,00	1,80	1,40	1,00
Gips Zement	1,71	1,73	1,53	1,40	1,28	1,15	1,08	1,03	0,99	0,95
Gipsverbrauch Gesamt	9,98	10,20	9,00	7,37	6,25	5,37	4,97	4,62	4,08	3,49
Naturgips/Anhydrit	3,20	3,20	3,10	2,50	2,00	1,60	1,45	1,00	0,00	0,00
Naturgips Export	0,67	0,70	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naturgips Import	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naturgips Insgesamt	2,55	2,52	2,60	2,50	2,00	1,60	1,45	1,00	0,00	0,00
Anhydrit a. Flusssäureprod.	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Gips aus Zitronensäureprod.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
dt. REA-Gips Gesamt	6,50	6,50	5,75	4,00	2,50	0,80	0,25	0,30	0,30	0,00
aus lf. Stromproduktion	4,50	4,50	4,00	2,70	1,10	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
aus Haldennutzung	2,00	2,00	1,75	1,30	1,40	0,60	0,25	0,30	0,30	0,00
REA-Gips-Export	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
REA-Gips-Import	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,75	0,60	0,60	0,75	0,15
Recyclinggips	0,16	0,18	0,25	0,50	0,75	1,00	1,20	1,24	1,28	1,37
Phosphorgips (Import)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,85	1,00	1,10	1,30	1,50
Summe Gipsangebot	9,66	9,65	9,05	7,45	6,30	5,45	4,95	4,69	4,08	3,47
Erreichungsquote	97%	95%	101%	101%	101%	101%	100%	101%	100%	99%

Der **Verbrauch** an **Gipsprodukten** sinkt in der 1. Dekade, v.a. aufgrund der Corona-induzierten bedeutenden Weltwirtschaftskrise kurzfristig stark sowie in den beiden folgenden Dekaden danach etwas weniger stark. Besonders deutlich fällt der Rückgang mit rund 80% bis zum Jahr

2045 bei den Gipsbauplatten aus, weil hier zuerst die konjunkturellen Einbrüche der Bauwirtschaft in den Jahren 2020 bis mindestens zum Jahr 2023 sich besonders stark im Absatz bemerkbar machen. Aber auch gebrannte Gipsprodukte sowie der Bedarf für Abbinderegulierer in der Zementindustrie werden sich bis 2045 jeweils etwa halbieren.

Der Bedarf an **Naturgips/ Anhydrit** wird bis zum Jahr 2045 auf null absinken. Etwa ab dem Jahr 2023/2025 machen sich dann auch die bestehenden und zudem auf der Zeitachse bis 2045 weiter neu entwickelten Substitute als Produkte, v.a. im Innenausbau und Fertighausbau stark bemerkbar und es wird zudem besonders nach 2030 immer stärker deutlich, dass REA-Gips aus den Kohlekraftwerken im Inland oder aus Polen immer weniger als Ausgangsmaterial für Gipsbauplatten zur Verfügung steht.

Die Nutzung von **REA-Gips** geht bis zum Jahr 2035/ 2040 auf 0,5 Mio. Mg/a und dann bis 2045 auf null Mg/a zurück. Etwa ab dem Jahr 2026 machen sich hier auch die bestehenden und zudem auf der Zeitachse bis 2045 weiter neu entwickelten Substitute für Gipsprodukte, v.a. im Innenausbau stark bemerkbar und es wird besonders nach 2030 auch immer stärker im Rahmen der Verwendung deutlich, dass REA-Gips aus den Kohlekraftwerken immer weniger als Ausgangsmaterial für Gipsbauplatten zur Verfügung steht.

Die **Haldennutzung** von **REA-Gips** wird bis etwa 2040 eine bedeutende Rolle spielen und danach Auslaufen, da die rund 16 Mio. Mg Haldengips der Braunkohlegewinnung und weiterer Haldenabraumgips der Naturgipsgewinnung dann aufgebraucht sind.

Mit etwa 0,75 Mio. Mg/a sind ab dann auch **Importe** an **REA-Gips**, vorwiegend aus Polen, zur Bedarfsdeckung v.a. bei den Gipsbauplatten notwendig, auf diese kann erst 2045 fast vollständig verzichtet werden kann.

Recyclinggips nimmt sukzessive über die Jahre, erst noch recht deutlich bis zum Jahr 2035 auf etwa 1,0 Mio. Mg/a zu, um danach bis zum Jahr 2045 nur noch langsam auf knapp 1,4 Mio. Mg weiter anzusteigen.

Die Importe von **Phosphorgips** aus dem europäischen Ausland nehmen ab dem Jahr 2030 von 0,5 Mio. Mg/a langsam zu und landen zwischen 2040 und 2045 bei rund 1,1 Mio. Mg/a bis 1,5 Mio. Mg/a.

10.4 Gesamtbewertung der Annahmen für die nächsten 25 Jahre

Neu sind die Ideen zu einem **nachhaltigen Stoffstrommanagement** nicht: Bereits in den 1990er-Jahren hat die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des deutschen Bundestages einen Bericht zu „Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen“ verfasst [Enquete-Kommission, 1994]. Mit dem Rückenwind durch den European Green Deal [EU-Kommission, 2019] und dem dort verankerten New Circular Economy Action Plan [EU-Kommission, 2020] hat sich ein weites Handlungsfenster geöffnet, Kreislaufwirtschaft endlich von der Rhetorik in die Praxis umzusetzen. Dies wird im neuen SRU-Gutachten sehr deutlich, wissenschaftlich begründet, dargelegt [SRU, 2020].

„Die **Kreislaufwirtschaft** ist Teil einer ressourceneffizienten, nachhaltigen Lebens- und Wirtschaftsweise, welche die Umsetzung der Agenda 2030 für eine nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen fördert und planetare Grenzen respektiert“ [UBA, 2020a].

„In einer Kreislaufwirtschaft tragen alle Akteure innerhalb von **Produktlebenszyklen** und entlang von **Materialwertschöpfungsketten** eine Verantwortung für das Erreichen der Ziele der

Kreislaufwirtschaft. Die Übernahme der Verantwortung muss rechtlich sichergestellt werden, sofern diese anderenfalls nicht hinreichend wahrgenommen wird“ [UBA, 2020a].

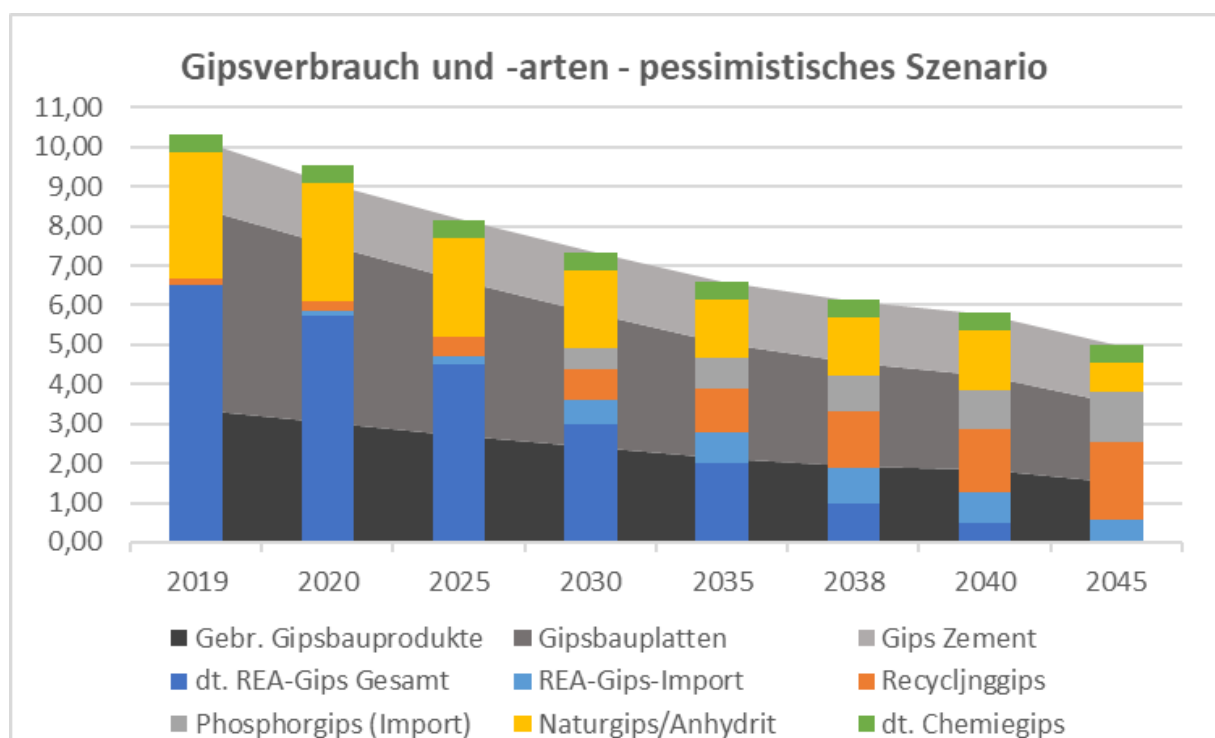
Die Vorhersage der künftigen Entwicklung in einer **Folgenabschätzung für Gips** über die kommenden 25 Jahre ist vor dem Hintergrund der aktuellen Pandemie sehr herausfordernd.

Dies ist in den vorherigen Unterkapiteln 10.1 bis 10.3 nach bestem Wissen und Gewissen erfolgt und so umfassend wie möglich im Rahmen des Gutachtens beschrieben.

Die **beiden Szenarien** zur Entwicklung der jeweiligen Gipsmengen im Zeitraum zwischen 2019 und 2045 zeigen auf, dass eine **Wende der Rohstoffstrategie** für gipshaltige Baumaterialien in Deutschland sowohl im pessimistischen, besonders aber im optimistischen Szenario innerhalb der nächsten 25 Jahre möglich ist. Beide Szenarien folgen hier zuallererst der Maßgabe aus dem Thüringer LEP³⁵ [LEP, 2014] sowie neuer Leitlinien des SRU oder der EU-Kommission.

Die folgenden **Abbildungen 5 und 6** zeigen sowohl die Entwicklungen der Gipsmengen im Verbrauch (Gipsbauplatten, gebrannte Gipsprodukte und Gips im Zement) als auch der Hauptnutzungsarten (siehe beide Abbildungen) im pessimistischen und optimistischen Ausstiegsszenario.

Abbildung 5: Entwicklung der Gipsmengen für Verbrauch und Nutzung im Zeitraum zwischen 2019 und 2045 im pessimistischen Ausstiegsszenario

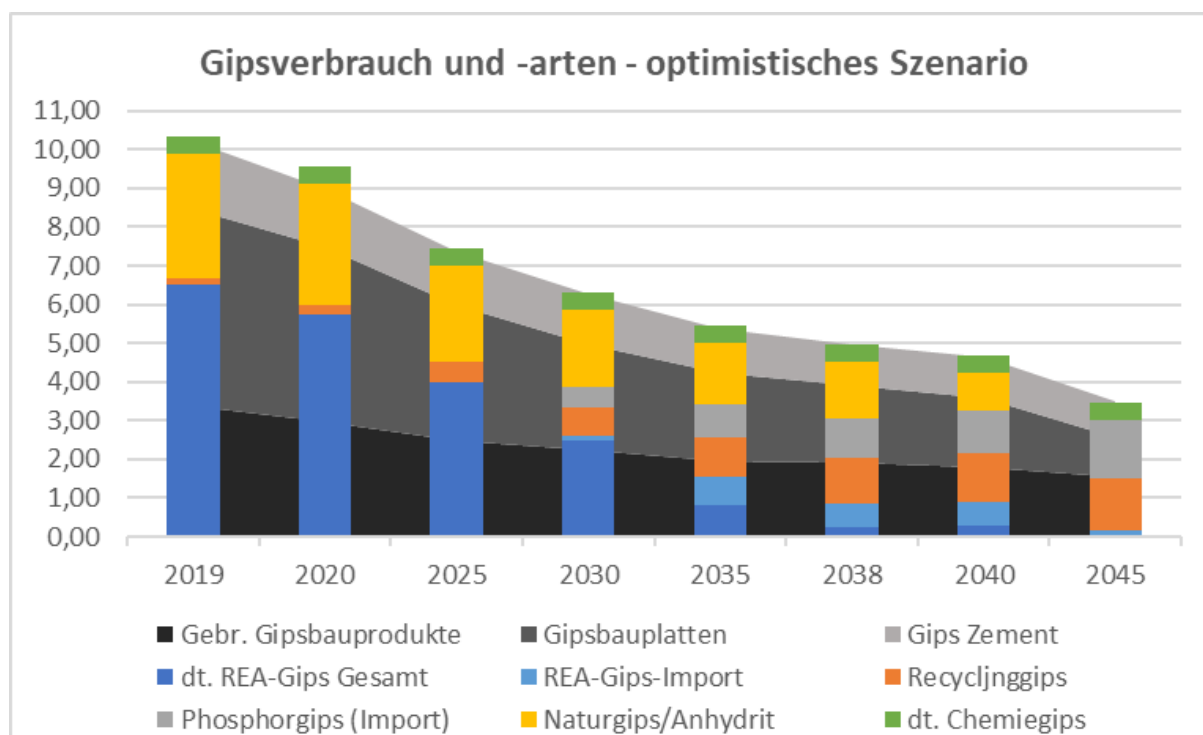


Die **Nutzung von Naturgips/ Anhydrit** in Deutschland geht im **pessimistischen Szenario** bis zum Jahr 2045 um über zwei Drittel auf verbleibende **0,75 Mio. Mg/a** zurück. Im **optimistischen Szenario** kann die inländische Nutzung von **Naturgips/ Anhydrit** bis zum Jahr 2045 sogar ganz auf **null Mg/a** gesenkt werden.

³⁵ Die für eine wirtschaftliche Gewinnung der Rohstoffe erforderlichen **Investitionen und laufenden Ersatzinvestitionen erfordern in der Regel eine Laufzeit von mindestens 25 Jahren**. Dies gilt es, insbesondere bei der Bemessung der Größe der Vorranggebiete „Rohstoffgewinnung“, zu berücksichtigen.“

Hierfür sind ganz im Sinne des SRU-Umweltgutachtens [SRU, 2020] jedoch erhebliche **Anstrengungen** aller Akteure und hier v.a. der Baustoffindustrie notwendig, um neben dem Rückgang des REA-Gips aus der inländischen Stromerzeugung auf null bis spätestens zum Jahr 2038 durch den parallelen Aufbau von Alternativen zu gipshaltigen Baumaterialien für die Bauprodukte mindestens zu einer Halbierung des inländischen Gipsverbrauches bis zum Jahr 2045 zu kommen.

Abbildung 6: Entwicklung der Gipsmengen für Verbrauch und Nutzung im Zeitraum zwischen 2019 und 2045 im optimistischen Ausstiegsszenario



Dies ist im pessimistischen Szenario mit einem **inländischen Bedarf an Gips von 5 Mio. Mg** im Jahr 2045 sowie im optimistischen Szenario mit einem **Gipsbedarf von 3,5 Mio. Mg** im Jahr 2045 angenommen. Dies ist auch deshalb unerlässlich, da nicht nur die Abbauflächen, sondern auch der Naturgips/ natürliche Anhydrit selbst endlich sind.

Ein **Ende des Gipsabbaus im Südharz** ist jedoch möglich, wenn die Baustoffindustrie noch stärker als bisher auf Alternativen, wie **vergleichbare Baustoffe** (Holz-, Lehm- oder andere nachwachsende Rohstoffe u.a.), das **Gipsrecycling** sowie die Nutzung inländischer noch nicht genutzter Mengen an **Naturgips** aus den **Abraumhalden** sowie vorhandener ausländischer Ressourcen, v.a. des europäischen und ggf. auch außereuropäischen **Phosphorgipses** setzt.

Die bereits zum **Naturgipsabbau** vorhandenen und genutzten Flächen sichern schon heute einen Abbau für die weiteren Jahrzehnte. Es besteht somit gar **kein Bedarf** an neuen **Flächen**. Zudem stehen bereits die geplanten Neuausweisungen im aktuellen Entwurf des Regionalplans Nordthüringen im Widerspruch zu dem Gutachten des Sachverständigenbüro Reyer [Reyer, 2017]. Selbst dieses Gutachten sieht keinerlei Notwendigkeit neuer Abbauflächen für die Naturgips- und Anhydritgewinnung im Südharz.

11. Zusammenfassung

Es wurde ein Gutachten erstellt, in dem alle bekannten Alternativen zum übertägigen Naturgipsabbau in Deutschland und der Südharzregion benannt, auf ihre Tauglichkeit untersucht, deren Stoffströme für Deutschland bilanziert und anschließend bewertet wurden.

Die Bilanzierung der Stoffströme wurde bezogen auf das gesamte Bundesgebiet erstellt. Dabei wurden die verschiedenen Qualitätsanforderungen, die an Gipsprodukte gestellt werden müssen, für die Bilanzierungen in Betracht gezogen.

Es wurden sowohl kurzfristig verfügbare Alternativen betrachtet und benannt, sowie Alternativen, bei denen noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht, so v.a. bei den Themen „Ausbau des Recyclings für Gips in Deutschland“, „Nutzung von Phosphorgips“ sowie „bestehenden Substitute für Gips als Baustoff“ einbezogen. Insgesamt wurden im Rahmen des Gutachtens ein Zeitraum bis zum Jahr 2045 in Zukunftsszenarien und Prognosen abgebildet.

Aktuelle Gipserzeugung und -nutzung im Jahr 2018/ 2019

Die in Deutschland gewonnene **Menge** an **Naturgips/ Anhydrit** betrug im Jahr 2018 rund **4,55 Mio. Mg** [BGR, 2019].

Diese Menge an **Naturgips und Anhydrit** wurde zu 53% für Gipserzeugnisse im Bausektor, zu 30% als Gips für die inländische Zementherstellung, zu 3% in übrigen inländischen Sektoren sowie zu 14% für Exporte verwendet (eigene Berechnungen auf Basis der Daten der BGR [BGR, 2019] und von Exportdaten – siehe *Tabelle A1* und *A2* im Anhang).

Naturgipse und **Anhydrite** für die übrigen Sektoren, die z.T. sehr geringe Verunreinigung aufweisen und für die Herstellung von Spezialgipsen, u.a. für Stuck-, Modell-, Hartform-, Dental-, Beton-, Putz- und Marmorgips, geeignet sein müssen, treten nur im Zechstein auf und auch dort nur in bestimmten Horizonten.

Darüber hinaus fielen in den **Braun- und Steinkohlekraftwerken** im Jahr 2017 (Daten aus 2018/ 2019 liegen bisher mit rd. 5 Mio. Mg für 2019 nur als Abschätzungen vor) zusammen 6,42 Mio. Mg REA-Gips an, von denen knapp 5,98 Mio. Mg, v.a. zur Produktion von Gipswandbauplatten direkte Verwendung fanden [BGR, 2019].

Somit ergibt sich eine Gesamtnutzung von **Naturgips/ Anhydrit sowie REA-Gips** im Inland von geschätzten knapp 10 Mio. Mg/a für die vergangenen zwei Jahre. Für das Jahr 2020 wird u.a. aufgrund der aktuellen wirtschaftlichen Gesamtsituation in Deutschland aufgrund der Corona-Krise mit einem Rückgang dieses Inlandsverbrauchs auf rund 9 Mio. Mg/a gerechnet.

Gips- und Anhydritstein werden in Thüringen aktuell von vier Bergwerksunternehmen abgebaut: Fa. Knauf Deutsche Gipswerke KG, Fa. CASEA GmbH, Fa. St. Gobain Formula GmbH sowie Fa. Kohnstein Bergwerks GmbH (Quelle: [Reyer, 2017]).

REA-Gipserzeugung und -nutzung bis zum Jahr 2038

Auf der Basis des am 3. Juli 2020 vom Bundestag und Bundesrat beschlossenen Kohleausstiegsgesetz [Kohleausstiegsgesetz, 2020], der auf dem Entwurf der Bundesregierung vom 24.02.2020 [Kohleausstiegsgesetz-Entwurf, 2020] beruht, wurden in diesem Gutachten **zwei Szenarien** zu den Auswirkungen des Kohleausstiegsgesetzes bis zum Jahr 2038 auf den künftigen **REA-Gipsanfall** erarbeitet, mit:

- Mindestannahmen nach dem Kohleausstiegsgesetz bis zum Jahr 2038 (Szenario 1),
- einem Marktszenario für ein schnelleres Herunterfahren der ineffizienten Kohlekraftwerksblöcke bis zum Jahr 2032 bzw. dem Jahr 2035 (Szenario 2).

Die Ergebnisse der beiden Szenarien für das **REA-Gipsaufkommen** zeigt die folgende Übersicht (**Tabelle 24**) im Vergleich zu den Ergebnissen der Kohlekommission der Bundesregierung (veröffentlicht in [BGR, 2019]).

Tabelle 24: Ergebnisse der REA-Gipsmengen im Szenario 1 und Szenario 2

Jahr	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030	2035	2038	2039
Einheit	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg
REA-Gips im Szenario 1	6,48	6,42	6,19	5,00	4,70	3,57	2,15	1,38	0,65	0,00
REA-Gips im Szenario 2	6,48	6,42	6,19	5,00	4,00	2,70	1,10	0,20	0,00	0,00
BR-Kohlekommission*	6,50	-	-	-	5,20	3,80	2,70	1,00	-	-

*: Auswirkungen der Empfehlungen der Kohlekommission auf REA-Gips, veröffentlicht in [BGR, 2019]

Im Vergleich zu den Zukunftseinschätzungen der Kohlekommission der Bundesregierung aus dem Jahr 2019 liegen die eigenen **Prognosen** zum **REA-Gipsaufkommen** im Jahr 2020 bis 2030 für das **Szenario 1** jeweils um 0,23 Mio. Mg bis zu 0,55 Mio. Mg unter diesen Annahmen, um dann im Jahr 2035 mit 0,38 Mio. Mg über diesen Annahmen zu liegen.

Im **Szenario 2** liegen die eigenen **Prognosen** zum **REA-Gipsaufkommen** im Jahr 2020 um 1,2 Mio. Mg, im Jahr 2025 um 1,1 Mio. Mg, im Jahr 2030 um 1,6 Mio. Mg und im Jahr 2035 dann um 0,8 Mio. Mg jeweils unter diesen Annahmen der Kohlekommission und gehen im **Szenario 2** somit von einem deutlich schnelleren marktseitig motivierten Rückgang des REA-Gipsaufkommens aus den deutschen Kohlekraftwerken aus [Agora Energiewende, 2020d].

Zwischenlagerung von Naturgips oder REA-Gips

An **Naturgips** und **Anhydrit** sind keine Mengen bekannt, die in den letzten 10 bis 20 Jahren deutschlandweit für eine spätere Nutzung zwischengelagert worden sind.

In Deutschland wurden in den letzten 20 Jahren aber erhebliche Mengen v.a. an **REA-Gips** auch zwischengelagert. Im Durchschnitt sind dies pro Jahr etwa 0,8 Mio. Mg gewesen. Somit beträgt die insgesamt auf **Halde** liegende **Menge** an **REA-Gips** („Zwischenlagerung im Depot“) zwischen mindestens **14 bis ca. 16 Mio. Mg**, wenn die nicht bekannten Mengen der Jahre 2001, 2003 und 2019 hierbei mit zusammen mindestens 2 Mio. Mg geschätzt werden.

Es kann für die Rückgewinnung von Naturgips aus der **Abraumhaldenrückgewinnung**, wie aktuell z.B. bei der Fa. Casea in Ellrich, konservativ für die Bundesrepublik Deutschland für die kommenden 10 bis 25 Jahr eingeschätzt werden, dass insgesamt mehrere Millionen Mg an Gips aus diesen Verfahren erzielt werden können [Poerschke, et.al., 2018]. Somit liegt die insgesamt nutzbare Menge an **Natur-** und **REA-Gips** aus der Zwischen- und Abraumlagerung bei ca. **20 Mio. Mg** oder sogar darüber.

Künftig mögliche Importe von REA-Gips nach Deutschland

Bei der aktuellen **REA-Gipserzeugung** und -verwendung in den **Nachbarländern** zu Deutschland ergeben sich nur für **Polen** und **Tschechien** höhere REA-Gipsmengen aus den dortigen Kohlekraftwerken im Vergleich zum abgeschätzten jeweiligen Inlandsverbrauch in der Bauindustrie. Somit steht aktuell für einen direkten REA-Gipsexport nach Deutschland eine in den kommenden Jahren jedoch auch dort stetig geringer werdende, nicht genau bezifferbare und daher nur grob abzuschätzende Menge an REA-Gips theoretisch zur Verfügung.

Alle **anderen Nachbarländer** haben jeweils nur ein geringes REA-Gipsaufkommen oder sogar gar keinen REA-Gips, so dass ein Importpotenzial für REA-Gips nach Deutschland somit weder aktuell und auch nicht künftig bestehen wird. In diesen Ländern ist auch künftig mit keinen neuen Kohlekraftwerken zu rechnen und die Kohleverstromung wird auch hier in den kommenden Jahren weiter abnehmen [Agora Energiewende, 2020d].

Gewinnung und Nutzung von Recyclinggips

Ein zunehmend an Bedeutung gewinnendes Thema kommt dem **Recycling** von **Gipsabfällen** zur Gewinnung von „**Recyclinggips**“ zu. Die Experteneinschätzungen zum langfristig bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus verfügbaren Potenzial aus dem Recycling von Gipsabfällen reichen von konservativ eingeschätzten 0,5 Mio. Mg pro Jahr an Recyclinggips bis zu einer Menge von 1,1 Mio. Mg [UBA, Buchert, 2017] bis maximal 2 Mio. Mg pro Jahr an Recyclinggips für die nächsten Jahrzehnte ([Accenture/ Ökopol, 2017], [EUWID, 2020b]). Für solche Mengenszenarien sind jedoch für die Zukunft unterstützend sowohl die planerischen als auch die rechtlichen und organisatorischen Voraussetzungen zu schaffen, so wie es z.B. in einer Reihe neuerer Veröffentlichungen bzw. Forschungsvorhaben (so u.a. [BMI, 2019], [IÖR/ Intecus, 2020], [320Grad, 2020], [KNBau, 2018]) erfolgt ist.

Gewinnung von Gips aus der chemischen Industrie („Phosphorgips“)

Aus der chemischen Industrie ergeben sich drei Herkunftsbereiche, in denen Gipse für eine weitere industrielle Nutzung im Bauwesen oder in sonstigen Bereichen zur Verfügung stehen:

- **Anhydrit** aus der **Flusssäureproduktion**: ca. 400.000 Mg/a,
- **Gips** aus der **Zitronensäureproduktion**: ca. 50.000 Mg/a,
- **Gips** aus der ausländischen **Phosphorsäureherstellung** („Phosphorgips“): aktuell 0 Mg/a (künftige Szenarien: siehe folgende Ausführungen).

Für die Abschätzung der künftig für eine Nutzung als Sekundärrohstoff für Baumaterialien (Gipsplatten, Gipsblöcke, Gips als Abbinder für die Zementindustrie etc.) zur Verfügung stehenden jährlichen Mengen an **Phosphorgips** ergeben sich in Summe **Potenziale** für eine künftige Phosphorgipsnutzung zwischen 0,75 Mio. Mg bis etwa 1,25 Mio. Mg pro Jahr, die für deutsche oder internationale Unternehmen der Gipsverarbeitung für Verarbeitungsanlagen in Deutschland mindestens zu gewinnen wären. Das optimistisch abzuschätzende **maximale Potenzial** für die Nutzung von Phosphorgips liegt bei 1,0 Mio. Mg bis 2,0 Mio. Mg pro Jahr.

Künftige Substitute für Gips als Bauprodukte

Wie vom Sachverständigenrat für Umweltfragen im aktuellen Gutachten [SRU, 2020] dargelegt kommt den Ersatzstoffen im Bauwesen in einer künftigen Kreislaufwirtschaft eine bedeutende Rolle zu. Auch deswegen ist der Bund vom Bundesrat aufgefordert worden, mehr Geld für die Forschung zu alternativen Baustoffen für Gips bereitzustellen. Der Bund solle einen besonderen Fokus auf die Substitution von Gips durch andere nachhaltige Werkstoffe legen, um so insbesondere der Bauwirtschaft wirtschaftlich und ökologisch tragbare Alternativen zu eröffnen. Dies schließe eine verbesserte finanzielle Ausstattung entsprechender Forschungsvorhaben ein [EUWID, 2020a].

Bei der Verwendung von Materialien im Hochbau sollte vermehrt darauf geachtet werden, dass nachwachsende oder alternative Rohstoffe an Stelle der besonders energieintensiven und weniger gut wärmeisolierenden Materialien, wie Beton, Zement und Gips verwendet werden ([Pichlmeier, 2019], [BMI, 2019]). Die Bedeutung von Holzbauten, entweder im **normalen Hochbau** oder im **Fertighausbau** wird in den nächsten Jahrzehnten daher eine noch

deutlichere Steigerung erfahren. Damit nehmen auch die alternativ möglichen Nutzungen unterschiedlicher anderer Baustoffe und -produkte zu. Ausgewählte Ökobilanzdaten zu solch alternativen Bauprodukten, wie:

- Holzbauplatten,
- Lehmbauplatten,
- Strohbauplatten,
- Platten aus verschiedenen, weiteren nachwachsenden Rohstoffen (Holzweichfaserplatten, Korkplatten sowie Holzwolle-Leichtbauplatten)

im Vergleich zu Gipsprodukten (Gipskarton- und Gipsfaserplatten) sind im Anhang zum Gutachten vollumfänglich dargestellt. Dies dokumentiert, dass ökologische Alternativen für die Verwendung von Gipsprodukten in ausreichendem Maße vorhanden sind und genutzt werden können.

Ausstiegsszenarien für die Naturgipsverwendung in Deutschland bis 2045

Die Vorhersage der künftigen Entwicklung in einer **Folgenabschätzung für Gips** über die kommenden 25 Jahre ist vor dem Hintergrund der aktuellen weltweiten „Corona-Krisensituation“, die stellvertretend für künftige Krisensituationen (Pandemien) steht, sehr herausfordernd.

Die **beiden Szenarien** (siehe die beiden **Abbildungen 5 und 6**) zur Entwicklung der jeweiligen Gipsmengen im Zeitraum zwischen 2019 und 2045 zeigen auf, dass eine **Wende der Rohstoffstrategie** für gipshaltige Baumaterialien in Deutschland sowohl im pessimistischen, besonders aber im optimistischen Szenario innerhalb der nächsten 25 Jahre möglich ist. Beide Szenarien folgen hier zuallererst der Maßgabe aus dem Thüringer LEP [LEP, 2014] sowie neuer Leitlinien des SRU [SRU, 2020] oder der EU-Kommission [EU-Kommission, 2019 und 2020] und des aktuellen Positionspapiers des Umweltbundesamtes [UBA, 2020c].

Die **Nutzung von Naturgips/ Anhydrit** in Deutschland geht im **pessimistischen Szenario** bis zum Jahr 2045 um über zwei Drittel auf verbleibende **0,75 Mio. Mg/a** zurück. Im **optimistischen Szenario** kann die inländische Nutzung von **Naturgips/ Anhydrit** bis zum Jahr 2045 sogar ganz auf **null**, v.a. durch die umfassende Nutzung von ökologischen Alternativen von Bauprodukten für die bisher eingesetzten Gipsbauplatten und Gipsputze sowie durch die umfassende Verwendung von Recyclinggips und Phosphorgips, gesenkt werden.

12. Literaturverzeichnis

Accenture Strategy/ Ökopool [Accenture/ Ökopool, 2017]: Chancen der Kreislaufwirtschaft für Deutschland, Rat für Nachhaltige Entwicklung, c/o GIZ (Hrsg.), Berlin, 2017

AG Energiebilanzen [AG Energiebilanzen, 2020]: Jährliche Energiebilanzen zwischen den Jahren 2010 bis 2019 (für 2019 mit vorläufigen Daten veröffentlicht am 25. März 2020)

Agora Energiewende/ Wattsight GmbH [Agora Energiewende, 2020a]: Die Ökostromlücke, ihre Strommarkteffekte und wie sie gestopft werden kann - Effekte der Windenergiekrise auf Strompreise und CO₂-Emissionen sowie Optionen, um das 65-Prozent-Erneuerbare-Ziel 2030 noch zu erreichen, Berlin/ Brüssel, 03/2020 (177/02-S-2020/DE)

Agora Energiewende [Agora Energiewende, 2020b]: Auswirkungen der Corona-Krise auf die Klimabilanz Deutschlands Eine Abschätzung der Emissionen 2020, Berlin/ Brüssel, 03/2020 (178/03-A-2020/DE)

Agora Energiewende [Agora Energiewende, 2020c]: Winterstürme und Corona prägen das erste Quartal in der Stromerzeugung, Blogbeitrag von Fabian Hein vom 24. April 2020

Agora Energiewende/ Aurora Energy Research/ Forum Energii [Agora Energiewende, 2020d]: Modernising the European lignite triangle Towards a safe, cost-effective and sustainable energy transition, September 2020

Agora Energiewende und Agora Verkehrswende [Agora Energiewende/ Verkehrswende, 2020]: Der Doppelte Booster Vorschlag für ein zielgerichtetes 100-Milliarden Wachstums- und Innovationsprogramm, Studie/ Pressebriefing, Berlin, Mai 2020 (Pressebriefing vom 11.5.2020)

Agora Energiewende/ Sandbag [Agora Energiewende, 2019]: The European Power Sector in 2018 Up-to-date analysis on the electricity transition – Analysis, Berlin/ Brüssel, 2019

Agora Energiewende, The German Lignite Industry [Agora Energiewende, 2017]: Historical developments, Resources, Technology, Economic structures and Environmental impacts, Berlin, 2017

Alwast, H. [Alwast, 2014]: Supply of Gypsum to industry in the context of the “energy turnaround” in Europe: Prognos-Report (Multi-Client-Study), Ashtrans Europe, Berlin, 2014, http://ashtrans.eu/onewebmedia/9%20%20%20%20%20Prognos%20study%20Ash-trans_HAL_FINAL.pdf (11.11.2018)

Arendt, M. [Arendt, 2001]: Kreislaufwirtschaft im Baubereich: Steuerung zukünftiger Stoffströme am Beispiel Gips, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, 2001

BAUPRODUKTEVERORDNUNG [Bauprodukte-VO, 2011]: Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates (ABl. L 88 vom 4.4.2011, Seite 5)

BBS- Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. [BBS, 2016]: Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine-und-Erden-Industrie bis 2035 in Deutschland, Berlin, 2016

Beckert, J.; Einbrodt, H.J.; Fischer, M. [Beckert, 1995]: 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, 1995

BGR [BGR, 2017a]: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Heimische mineralische Rohstoffe – unverzichtbar für Deutschland! Hannover, 2017

BGR [BGR, 2017b]: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Deutschland – Rohstoffsituation 2016, Hannover, 2017

BGR [BGR, 2018]: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Deutschland – Rohstoffsituation 2017, Hannover 2018

BGR [BGR, 2019]: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Deutschland – Rohstoffsituation 2018, Hannover 2019

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [BGR 2019a]: Energiestudie 2018. Daten und Entwicklungen der deutschen und globalen Energieversorgung; Hannover. – URL [Stand: 15.08.2019]: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/energiestudie_2018.pdf

Bimesmeier et.al. [IÖR/ Intecus, 2020]: Sekundärstoffe aus dem Hochbau (SEROBAU) – „Energie- und Materialflüsse entlang der Herstellung und des Einsatzortes von Sekundärstoffen aus dem Hochbau für den Baubereich“, IÖR und Intecus, Dresden, Stand: Juli 2019, veröffentlicht 2020

Birky, B., Dr. [Birky, 2018]: Phosphogypsum in the Circular Economy, Florida Industrial and Phosphate Research Institute auf der AAPFCO, Ft. Lauderdale, 2018

BJV - Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz [StrSchV, 2018]: Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 27. März 2020 (BGBl. I S. 748)

BMI - Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat [BMI, 2019]: Leitfaden Nachhaltiges Bauen Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden, www.nachhaltiges-bauen.de, Berlin, Januar 2019

BMI - Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat [ökobau.dat]: Informationsportal Nachhaltiges Bauen, www.oekobaudat.de, ökobau.dat: akt. Version: 2020-II vom 03.04.2020

BMUB - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit [BMUB, 2016]: Deutsches Ressourceneffizienzprogramm **ProgRess II** - Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Dokumentation, Berlin, 2016, vom Bundeskabinett am 2. März 2016 beschlossen: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_ii_broschuere_bf.pdf

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit [BMU, 2019c]: Referentenentwurf für die Fortschreibung des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms **ProgRess III**, Berlin, BMU (24.01.2020): https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Glaeserne_Gesetze/19_Lp/progress_iii/Entwurf/progress_iii_refe_bf.pdf

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit [BMU, 2020]: Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerke (Ersatzbaustoffverordnung) – Entwurf (Bearbeitungsstand: 19.03.2020)

BMWI – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWI, 2020]: Frühjahrskonjunkturprojektion 2020, April 2020
https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/G/gesamtwirtschaftliches-produktionspotenzial-fruehjahrsprojektion-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=6

BUNDESREGIERUNG [Kohleausstiegsgesetz, 2020]: „Kohleausstiegsgesetz“ (Entwurf), Drucksache der Bundesregierung 19/17342 vom 24.02.2020, Berlin; endgültige Fassung: Bundesrat vom 03.07.2020

BUNDESREGIERUNG [Bundesregierung, 2017]: Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Neuauflage 2016. Stand: 1. Oktober 2016, Kabinettsbeschluss vom 11. Januar 2017, Berlin

Bremer, Thomas [Bremer, 2007]: Gipsprodukte Umwelt-Produktdeklaration. Darmstadt: Forschungsvereinigung der Gipsindustrie e.V. 2007

Brückner, L., Elwert, T., Schirmer, T. [Brückner, et.al, 2020]: Extraction of Rare Earth Elements from Phospho-Gypsum: Concentrate Digestion, Leaching, and Purification, funded by Federal Ministry of Education and Research, grant number 033R187B, Januar 2020

Büchner W., Schliebs R., Winter G., Büchel K.H. [Büchner, et.al., 1986]: Industrielle Anorganische Chemie; Zweite durchgesehene Ausgabe; VCH mbH, 1986

BUND/DIW [BUND/DIW, 2020]: Klimaschutz statt Kohleschmutz: Woran es beim Kohle-ausstieg hakt und was zu tun ist; DIW Berlin: Politikberatung kompakt 148, Berlin, 02/2020

BUND [BUND, 2020]: Investitionen in eine zukunftsfähige Wirtschaft; April 2020

BUND [BUND, 2018]: Schwarzbuch Gips; November 2018 (<https://www.bund-thueringen.de/service/publikationen/detail/publication/schwarzbuch-gips-raubbau-in-der-suedharzer-gipskarstlandschaft-thueringens/>)

BUND [BUND, 2018a]: Stellungnahme zum 1. Entwurf zum Regionalplan Nordthüringen, 4. November 2018

BUNDESVERBAND DER GIPSINDUSTRIE e.V. [Bundesverband der Gipsindustrie, 2013]: Gips Datenbuch, Berlin, 2013

BUNDESVERBAND DER GIPSINDUSTRIE [Bundesverband der Gipsindustrie, 2014]: Mitgliederbefragung zu den geförderten Naturgips- und Anhydritmengen im Jahr 2013, Berlin, 2014

Bunzel, J.-M., Wilczek M. [Bunzel, et.al., 2016]: Industrielles Recycling von gipshaltigen Abfällen, Betriebserfahrungen und Produktqualitäten der Aufbereitungsanlagen in Großpöna/Störmthal, in: Recycling und Rohstoffe: Mineralische Nebenprodukte und Rohstoffe, Band 3, Seite 487-497

CEFIC [CEFIC, 2000]: "Best available techniques for producing hydrogen fluoride"

Chalaal, O.; Madhuranthakam, M. R. C., Moussa, B., Hossain M. [Chalaal et.al., 2020]: Sustainable Approach for Recovery of Sulfur from Phosphogypsum; ACS Omega 2020, 5, Seite 8.151–8.157

Chang, W.F., Norfleet, C., Badoai, M. [Chang, et.al., 1983]: Precast ferrocement boat utilizing phosphogypsum waste, J. Ferrocement 13 3 (1983) Seite 261–264

DACHVERBAND LEHM e.V. (Schroeder H., Lemke M.) [UPD Lehmörtel, 2018]: Entwicklung von Rahmenbedingungen zur Erstellung von Muster UPD für Lehmbaumaterialien, Abschlussbericht über ein Projekt, gefördert unter dem Az: 32985 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Weimar Dezember 2018

DECHEMA e.V. - ProcessNet-Fachgruppe „Rohstoffe“ [DECHEMA, 2017]: Statuspapier Phosphatrückgewinnung, Frankfurt am Main, Oktober 2017

Deilmann, C.; Krauß, N.; Gruhler, K.; Reichenbach, J. [Deilmann et.al., 2014]: Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotential im Hochbau. Berlin: BBSR, online, 2014

Deilmann, C.; Krauß, N.; Gruhler, K.; Reichenbach, J. [Deilmann et.al., 2017]: Materialströme im Hochbau. Potenziale für eine Kreislaufwirtschaft. Berlin: BBSR, Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis, 2017

Demmich, J. [Demmich, 2014]: Von Gips zu Gips – Von der Produktion zum Recycling – Ein EU-Life+Projekt, in: Recycling und Rohstoffe: Mineralische Nebenprodukte und Rohstoffe, Seite 441-448

DESTATIS [DESTATIS, 2019a] – Statistisches Bundesamt (versch. Jg. b): Produzierendes Gewerbe – Produktion des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. – Fachserie 4 Reihe 3.1; Wiesbaden. – URL [Stand: 07.11.2019]: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/inhalt.html>

DESTATIS [DESTATIS, 2019b] – Statistisches Bundesamt (2019): Außenhandel – Gesamtentwicklung des deutschen Außenhandels ab 1950 bis 2018. – URL [Stand: 24.10.2019]: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Aussenhandel/Tabellen/gesamtentwicklung-aussenhandel.pdf>

DGNB [DGNB]: Deklaration Nachhaltigkeit, www.phase-nachhaltigkeit.jetzt

Dorn, F. [Dorn; et.al., 2020]: The economic costs of Corona shutdown for Germany: A scenario calculation, (EconPol Policy Brief 25), Institut Ifo, 22. März 2020 <https://www.ifo.de/en/publikationen/2020/economic-costs-coronavirus-shutdownselected-european-countries-scenario>

320GRAD [320Grad, 2020]: Bauprodukte im Kreislauf halten (Verbundforschung), Artikel vom 8. Mai 2020

EC - European Commission [EC, 1999]: “Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials”, Radiation Protection Report RP-112, EC, European Commission, Luxembourg, 1999 (ISBN: 92-828-8376-0)

Egle L., Amann A., Rechberger H., Zessner M. [Egle, et.al., 2016]: Phosphor: Eine kritische und zugleich unzureichend genutzte Ressource der Abwasser- und Abfallwirtschaft – Stand des Wissens und Ausblick für Österreich und Europa, Open Access Beitrag, 2016

Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ [Enquete-Kommission, 1994]: Die Industriegesellschaft gestalten. Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen. Bonn: Economica, 1994

Eßig, N.; Lindner, S.; Siegmund, L. [Eßig, et.al., 2015a] : Gütesiegel für die Nachhaltigkeitsbewertung von Ein- bis Zweifamilienwohnhäusern; in: Bundesbaublatt – Fachmedium für die Wohnungswirtschaft, Ausgabe 4; 2015; http://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb_Umweltbewusstes_Wohnen_2310705.html

Eßig, N.; Lindner, S., Siegmund; L. [Eßig, et.al., 2015b]: Nachhaltigkeitsbewertungssystem für Ein- bis Zweifamilienwohnhäuser; in: Praxischeck – Nachhaltig Bauen in der Praxis; 2015

Eßig, N. [Eßig, 2013]: Nachhaltigkeitsbewertung im Bestand – Wie kann das Facility Management zu einem nachhaltigen Betrieb eines Gebäudes beitragen? In: Tagungsband facilitymanagement 2013, Frankfurt am Main, 26. - 28.02.2013; Mesago Messe Frankfurt GmbH, Stuttgart (Hrsg.); VDE-Verlag; 26. - 28.02.2013 (ISBN 978-3-8007-3486-3), Frankfurt am Main, 2013

ENTSO-E [ENTSO-E, 2020]: Transparency Platform, (data platform), <https://transparency.entsoe.eu>, 23 April 2020

EU-ABFALLRAHMENRICHTLINIE [Richtlinie 2008/98/EG]: Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien, Brüssel, 2008

Euler/ Hermes [Euler/Hermes, 2020]: Orientierung im Sturmtief Der Wirtschaft - Ein Blick auf den Corona-Effekt und wirtschaftliche Entwicklungen - Wirtschaft im Abwärtstrend – Fakten und Perspektiven, Whitepaper, www.eulerhermes.de, Hamburg, Mai 2020

EUROPÄISCHE KOMMISSION [EU-Kommission, 2019]: The European Green Deal, Brüssel, 11.12.2019

EUROPÄISCHE KOMMISSION [EU-Kommission, 2020]: Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft - Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa (Entwurf), Brüssel, 11.03.2020

EUWID Recycling und Entsorgung [EUWID, 2020a]: Kohleausstiegsgesetz – Bundesrat fordert als Ersatz für REA-Gips mehr RC-Baustoffe, www.euwid-recycling.de, Jahrgang 30, 12.2020, erschienen am 17.03.2020

EUWID Recycling und Entsorgung [EUWID, 2020b]: Gipshersteller wehren sich: Naturgips „kein Raubbau“, www.euwid-recycling.de, Jahrgang 30, 14.2020, erschienen am 31.03.2020

EUWID Recycling und Entsorgung [EUWID, 2020]: Auf der Suche nach einem Ersatzstoff für Gips, www.euwid-recycling.de

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) [FNR, 2017]: BAUSTOFFE aus nachwachsenden Rohstoffen, 3. unveränderte Auflage, Gülzow-Prüzen, 2017

Fachverband Strohballenbau Deutschland e. V. (FASBA) (Hrsg.) [UPD Baustroh]: Umweltproduktdeklaration UPD für Baustroh nach DIN EN ISO 14025 u. DIN EN 15804. Wien, 2014

Fourati, Faouzia Charfi; Bouaziz, Jamel; Belayouni, Habib [Fourati, et.al, 2016]: Valorisation du phosphogypse de Tunisie en vue de son utilisation comme substituant au gypse naturel dans la fabrication du ciment; in: DÉCHETS - SCIENCES ET TECHNIQUES - N° 20 - 4ème trimestre 2000

Founti, M.; Marlet, Ch.; Della Sala, L.; Pichon, T. [Founti, et.al. 2015]: Gypsum to Gypsum: From production to recycling: a circular economy 91ort he European gypsum Industry with the demolition and recycling Industry. Eurogypsum. Brüssel 2015

Gatterer, H. [Gatterer, 2020]: Unsere neuen Zukunft – Mit den Mega Trends in die Post-Corona-Zeit, www.zukunftsinstitut.de, Mai 2020

Gascó, C.; et.al. [Gascó, et.al., 2009]: Advantages and Disadvantages of Using Phosphogypsum as Building Material – Radiological Aspects, 1st Spanish National Conference on Advances in Materials Recycling and Eco – Energy, Madrid, 12-13 November 2009

Gascó, C.; et.al. [Gascó, et.al., 2011]: Radiochemical Characterization of Phosphogypsum for Engineering Use, in: Journal of Environmental Protection, 2011, 2, 168-174. doi:10.4236/jep.2011.22019 (<http://www.SciRP.org/journal/jep>).

GVSS - Gesamtverband Schadstoffsanierung e.V. [GVSS, 2015]: Asbesthaltige Spachtelmasse und Fliesenkleber: Bauten vor 1995 zu mindestens einem Viertel betroffen, Pressemitteilung, Berlin, Mai 2015, http://www.gesamtverbandsschadstoff.de/files/asbesthaltige_spachtelmasse_und_fliesenkleber_in_gebuden.pdf?src=aspcu&typ=pdf&cid=4351, zuletzt aufgerufen am 18.02.2019

GEWERBEABFALLVERORDNUNG [GewAbfV, 2017]: Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen vom 18. April 2017, Inkrafttreten der letzten Änderung am 5. Juli 2017

GYPSUM TO GYPSUM [GtG, 2015]: A Circular Economy for the Construction Sector: Laymans Report, Brüssel, 2015

Haag, R., Dittert, B. [Batelle-Institut, 1985]: Möglichkeiten der Kostensenkung im Wohnungsbau durch Verwendung alternativer Baustoffe; Bericht für das Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn 1985

Hauser, G., Essig, N., Lindner, S., Mittermeier, P., Siegmund, L. & Lützkendorf, T. [Hauser et.al., 2015]: Durchführung einer Pilotphase für die Bewertungsmethode "Kleinwohnhausbauten (Ein- und Zweifamilienhäuser)". Erstanwendung und Validierung der Bewertungsmethode zur abschließenden Systementwicklung. Abschlussbericht; Fraunhofer IRB; Stuttgart; 2015

Haschke, M., Friedrich, B., Srecko, S., Panias, D., Schneider, P., Dittrich, C. [Haschke, et.al., 2016]: Extraction of critical technology elements and radionuclides from phosphogypsum tailings,

Haschke M., Dr. [Haschke, 2017]: DMT erhält EU-Fördermittel für Digitalisierungsprojekte, DMT GmbH&Co.KG; Firmeninformation, Oktober 2017

Hatzl, T. & Gehlken, P.-L. [Hatzl&Gehlken, 2001]: Gipsformen in der Dachziegelproduktion - Untersuchungen inhomogener Oberflächenbereiche mittels REM und HG-Porosimetrie.- In: DTTG-Band 8, Seite 70- 81, 10/2001

HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE [HLUG, 2006]: Rohstoffsicherungskonzept Hessen, Fachbericht Gipsrohstoffe Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie.- 22 S., Wiesbaden.

Hochschulinitiative „Moderner Aus- und Leichtbau“ [Moderner Aus- und Leichtbau, 2018]: Preisträgerprojekte und Prämierte des Hochschulwettbewerbs 2018/ 2019

IFEU/ natureplus [ifeu/natureplus, 2019]: Ganzheitliche Bewertung von verschiedenen Dämmstoffalternativen, Forschungsprojekt, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (AZ 34426_01) und dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Heidelberg / Neckargemünd, 2019

IFW - Institut für Weltwirtschaft [IfW, 2020]: Interview von Gabriel Felbermayr (Präsident des IfW) im Spiegel, veröffentlicht vom Fokus, 19. Mai 2020

INDUSTRIEVERBAND WERKMÖRTEL [Industrieverband WerkMörtel, 2009]: Daten zur deutschen Flusssäureindustrie, Duisburg 2009

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY [IAEA, 2006]: Regulatory and management approaches for the control of environmental residues containing naturally occurring radioactive material (NORM), Wien, 2013

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY [IAEA, 2013]: Radiation Protection and Management of Norm Residues in the Phosphate Industry, Safety Report Series Nr. 78 Wien, 2013

INTERNATIONAL TRADE CENTER, Market Analysis and Research Section [ITC, 2018]: Trade Map, www.trademap.org (05.11.2018)

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY [iea, 2020]: Global Energy Review 2020 - The impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO₂ emissions (www.iea.org), April, 2020

IPEG - INSTITUT GmbH [IpeG-Institut, 2012]: Übersicht zu Plattendämmstoffen, Paderborn, 2012

IWF - Internationaler Währungsfonds [IWF, 2020]: Weltwirtschaftsausblick für 2020, April 2020; <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/04/14/weo-april-2020>

IWH – Leibnitz-Institut für Wirtschaftsforschung Halle [IWH, 2020]: Konjunkturprognosen für das 3. Quartal 2020, veröffentlicht in WirtschaftsWoche: Kommt im Sommer der Aufschwung, 21. Mai 2020

IW - Institut der deutschen Wirtschaft und IMK - Institut für Makroökonomie und Konjunkturforschung [IW/ IMK, 2019]: Für eine solide Finanzpolitik: Investitionen ermöglichen, Policy-Paper 11/19, veröffentlicht vom BDI und DGB

https://bdi.eu/media/presse/presse/downloads/20191118_IW-Policy-Paper_Investitionen.pdf

Jasinski, S. M. [Jasinski, S. M, 2018]: Phosphate rock, US Geological Survey mineral commodity summaries (2018), Washington, D.C.: USGS, 2018, 122–123

Kendron, T.J., Marten, J.H., Lloyd, G.M. [Kendron, et.al., 1986]: Phosphogypsum — A problem becomes an opportunity, paper presented at the American Institute of Chemical Engineers Spring National Meeting, New Orleans, LA, 1986

KNBAU (Kommission Nachhaltiges Bauen am Umweltbundesamt) [KNBau, 2018]: Schonung natürlicher Ressourcen durch Materialkreisläufe in der Bauwirtschaft. DessauRoßlau, KNBau (10.12.2019):

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/2019_02_20_uba_knbau_bf.pdf

Koenig, H., Liu, K., Piasecki, F., Preuß, M., Maywald, J. Dr. Gawlikowska-Fyk, A., Dr. Máko-wiak-Pandera, J., Litz, P. [Koenig, et.al., 2020]: Coordinated phase out from lignite in Ger-many, Poland, and the Czech Republic favours power consumers and climate, veröffentlicht vom Forum Energii am 24. Juni 2020

Kolb, B. [Kolb, 2004]: Nachhaltiges Bauen in der Praxis. Blok Verlag, Auflage: 1, Juni 2004

[Kohleausstiegsgesetz - Entwurf, 2020]: Entwurf eines Gesetzes zur Reduzierung und Beendigung der Kohleverstromung (Drucksache der Bundesregierung 19/17342 vom 24.02.2020), Berlin, Februar 2020

[Kohleausstiegsgesetz, 2020]: Gesetzes zur Reduzierung und Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze (Drucksache der Bundesregierung 392/20 vom 03.07.2020), Berlin, Juli 2020

Krusche P.; Althans, D.; Gabriel I.; Weig-Krusche, M. [Krusche, et.al.; 1982]: Ökologisches Bauen. Hrsg.: Umweltbundesamt, Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin, 1982

Kumar, S. [Kumar, 2003a]: Fly ash–lime–phosphogypsum cementitious binder: A new trend in bricks, Materials and Structures 33 (2000) Seite 59–64

Kumar, S. [Kumar, 2003b]: Fly ash/ lime/ phosphogypsum hollow blocks for walls and parti-tions, Building and Environment 38 (2003) Seite 291–295

WSB - Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ [Kommission WSB, 2019]: Abschlussbericht. – 275 Seiten; Berlin. – URL [Stand: 15.11.2019]:

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/A/abschlussbericht-kommission-wachstum-strukturwandel-und-beschaeftigung.pdf>

Kovacs T., Doherty R. [Kovacs, et.al., 2017]: From raw materials to NORM by-products, in: Na-turally Occurring Radioactive Materials in Construction, 2017

KREISLAUFWIRTSCHAFT BAU [Kreislaufwirtschaft Bau, 2017]: Mineralische Bauabfälle Mo-nitoring 2016, Bericht zum Aufkommen und Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2016, Berlin 2017

KREISLAUFWIRTSCHAFTSGESETZ [KrWG, 2012]: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirt-schaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen, (letzte Neufas-sung vom 24.02.2012; Inkrafttreten der letzten Änderung am 29. Juli 2017)

LAGA 20 [LAGA M20, 2003]: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/ Abfällen – Technische Regeln; Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20; 5. Auflage; November 2003.

LAGA M20 [LAGA M20, 2020]: Links zu den länderspezifischen Regelungen zur Umsetzung der LAGA M20. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall. <https://www.laga-online.de/Links-51-Links-zu-M20.html>

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU [LGRB, 2013]: Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2012/ 2013. Bedarf, Gewinnung und Sicherung von mineralischen Rohstoffen. Freiburg (LGRB Information, 27), 2013

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGBAU Rheinland-Pfalz [LGB, 2015]: Nachhaltige Rohstoffsicherung in Rheinland-Pfalz. Mainz, 2015

LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE [LBEG, 2012]: Rohstoffsicherungsbericht 2012 des Nieders. Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie. Hannover, 2012

LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE [LBEG, 2018]: Rohstoffsicherungsbericht 2018 des Nieders. Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie. Hannover, 2018

Layr, K.; Hartlieb, P. [Layr, et.al., 2019]: Marktanalyse für Urban Mining von Phosphorgipshalden - Market Analysis for Urban Mining of Phosphogypsum; BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 2019, Vol.164(6), pp.245-249 [Peer Reviewed Journal]

LEOPOLDINA – Nationale Akademie der Wissenschaften [Leopoldina, 2020]: Dritte Ad-hoc-Stellungnahme: Coronavirus-Pandemie – Die Krise nachhaltig überwinden, Halle/ Berlin, 13. April 2020

LEP - Landesentwicklungsprogramm Thüringen 2025 vom 15. Mai 2014 [LEP, 2014]: GVBL Nr. 6/2014 vom 04.07.2014, in Kraft getreten am 05.07.2014

Menz, S., Breckwoldt, J., Hübner, A., Kothe, U. [Menz, et.al, 2020]: Machbarkeitsstudie – Recyclerter Gips für Gipsputz und die Verwendung von Zelluloseether, in: ZKG Cement, Lime Gypsum 3/2020

Minke, G. [Minke, 1984/1985]: Bauen mit Lehm. Heft 1: Der Baustoff Lehm und seine Anwendung (1984) sowie Heft 2: Stampflehm und seine Anwendung (1985), Grebenstein

Muster, F. [Muster, 2007]: Rotschlamm, Reststoff aus der Aluminiumoxidproduktion – Ökologischer Rucksack oder Input für Produktionsprozesse? kassel university press GmbH, Kassel, 2007

ÖKO-INSTITUT e.V. [Oeko, 2014]: Beitrag der Kreislaufwirtschaft zur Energiewende. Klimaschutzpotenziale auch unter geänderten Rahmenbedingungen optimal nutzen, Freiburg, Darmstadt, Berlin, 2014

ÖKO-INSTITUT e.V [Oeko, 2017]: Deutschland 2049 – Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft, Eigenprojekt des Öko-Instituts, Darmstadt/Berlin, 2017

Parreira, A.B., Silvestre O.B. [Parreira, et.al., 2003]: Influence of Portland Cement Type on Unconfined Compressive Strength and Linear Expansion of Cement-Stabilized Phosphogypsum, in: Journal of Environmental Engineering 129(10), October 2003

Pichlmeier F. [Pichlmeier, 2019]: Ressourceneffizienz im Bauwesen - Von der Planung bis zum Bauwerk, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH, 1. Auflage, Mai 2019

Poerschke, J, Ruff, A., Ludwig, H-M. [Poerschke, et.al., 2018]: WIR! - Gipsrecycling als Chance für den Südhaz - Entwicklung von Verfahren zur Aufbereitung von ungenutzten

Gipsabfallarten (RCGipsStartBUW) – Antrag des BMBF-Forschungsvorhabens; bewilligte Laufzeit: 1.1.2020 – 31.12.2022, mündl. Informationen hierzu von Herrn Hübner (techn. GF der Caea GmbH) vom 15.9.2020

Prof. Dr.-Ing. Stoll & Partner [SST, 2013]: Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine- und Erden-Industrie bis 2030 in Deutschland, Gutachten für die BBS - Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V., 2013

Moalla, R.; Gargouri, M.; Khmiri, F.; Kamoun, L.; Zairi, M. [Moalla, et.al; 2018]: Phosphogypsum purification for plaster production: A process optimization using full factorial design; in: Environ. Eng. Res. 2018; 23(1), Seite 36-45

Rashad, A. M. [Rashad A.M., 2017]: Phosphogypsum as a construction material, Journal of Cleaner Production 166 (2017), Seite 732–743

Rechberger, H. [Rechberger, 2011]: Graue Energie von Baustoffen - TU-Wien, Skriptum. SS, Wien 2011

Regionale Planungsgemeinschaft Nordthüringen [PRN, 2018]: Regionalplan Thüringen – Umweltbericht, PV-Beschluss Nr. 33/01/2018 vom 30.05.2018, Erfurt, 2018

Reimann, M.; Stein, V. [Reimann, et.al., 2019]: Vorkommen, Abbau und Nutzung von Gips und Anhydritstein der Trias des Germanischen Beckens. – Reimann, M. & Stein, V. (Hrsg.). Trias – Eine ganz andere Welt. München (Verlag Dr. Friedrich Pfeil), 2019

Reyer, S.; Fohlert, K. [Reyer, 2017]: Aktualisierung der „Untersuchung zur Rohstoffsicherung der Rohstoffart Gips/ Anhydrit in Nordthüringen“, Auftraggeber: Regionale Planungsgemeinschaft Nordthüringen, Erfurt, 2017

Riedel, E. [Riedel, 1990]: Anorganische Chemie; 2. Auflage; de Gruyter; 1990

RÖMPP ONLINE [Römpp, 2020]: Georg Thieme Verlag, abgerufen am 24. April 2020.

Rouis, M.; Bouchhima, L.; Choura, M. [Rouis, et.al, 2013]: Engineering Properties of Waste Sand-Lime-Cement-Phosphogypsum Building Brick Grade MW, International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249–8958, Volume-2, Issue-4, April 2013

Saadé-Sbeih, F.; Alaoui S. [Saade-Sbeih, 2019]: Life Cycle Assessment of Alternative Road Base Materials: the Case of Phosphogypsum, IOP Conf.: Earth Environ. Science 323, Graz 2019

Scheibengraf, M./ Reisinger, H. [Scheibengraf, et.al., 2005]: Abfallvermeidung und -verwertung: Baurestmassen - Detailstudie zur Entwicklung einer Abfallvermeidungs- und Abfallverwertungsstrategie für den BAWP 2006. Wien: 2005

Schmid, R. [Schmid, 2014]: Das erste energie-autarke Mehrfamilienhaus – Konzeption und Architektur; in: Terra-Institut e.V.: Die Kunst des Wandels, Magazin (2014) und Buch (2015) zum Kongress - Ansätze für die ökosoziale Transformation

Schneider, U./ Böck, M./ Mötzl, H. [Schneider, et.al., 2011]: Endbericht recyclingfähig konstruieren. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2011

Schroeder, H. [Schroeder, 2018]: Lehmhaus – Mit Lehm ökologisch planen und bauen. Springer Vieweg: Wiesbaden 2018, 3. Auflage

SRU- Sachverständigenrat für Umweltfragen [SRU, 2020]: Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa - UMWELTGUTACHTEN 2020, Berlin, Mai 2020

SRU [SRU, 2017]: Start Coal Phase Out Now, Statement; Oktober 2017

STEAG [STEAG, 2020]: STEAG reicht Eilantrag beim Bundesverfassungsgericht ein, Pressemitteilung der STEAG vom 30. Juli 2020 zum Kohleverstromungsbeendigungsgesetz (KVBG)

TERRA-INSTITUT e.V. [Terra-Institut, 2016]: Erfolgsfaktoren für Nachhaltigkeit in Großunternehmen in der Schweiz, Schriften zur Nachhaltigkeit Nr. 1, Brixen, 2016

Tayibi, H.; Choura, M.; López, F. A.; Alguacil, F. J.; López-Delgado, A. [Tayibi, et.al., 2009]: Environmental impact and management of phosphogypsum, Journal of environmental management 90 (2009), Nr. 8, Seite 2.377–2.386

ULLMANN [ULLMANN, 2002]: Encyklopädie der technischen Chemie. Verlag Chemie, 2002

UMWELTBUNDESAMT [UBA, 2001]: German Notes on BAT for the production of Large Volume Solid Inorganic Chemicals - Titandioxid, Institut für Umwelttechnik und Management an der Universität Witten/Herdecke gGmbH, Witten 2001

UMWELTBUNDESAMT [UBA, 2014]: Ressourcenschonung durch Produktkennzeichnung für Bauprodukte: Erstellung eines Kriterienkatalogs für die Stufeneinteilung von Bauprodukten in der Normung, UBA Texte 38/2014, Forschungskennzahl 3711 93 320, Dessau, April 2016

UMWELTBUNDESAMT [UBA 2015a]: Gesamtwirtschaftliche Ziele und Indikatoren zur Rohstoffinanspruchnahme, Dessau-Roßlau, 2015

UMWELTBUNDESAMT [UBA, 2015b]: Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft, UBA Texte 83/2015, Forschungskennzahl 3712 93316, Dessau, Oktober 2015

UMWELTBUNDESAMT [UBA, Buchert, 2017]: Ökobilanzielle Betrachtung des Recyclings von Gipskartonplatten, UBA Texte 33/2017, Forschungskennzahl 3715 34 3200, Dessau, Mai 2017

UMWELTBUNDESAMT [UBA, 2019b]: Stoffstromorientierte Ermittlung des Beitrags der Sekundärrohstoffwirtschaft zur Schonung von Primärrohstoffen und Steigerung der Ressourcenproduktivität, UBA Texte 34/2019, Forschungskennzahl 3714 93 330 0, Dessau, April 2019

UMWELTBUNDESAMT [UBA, 2020a]: Leitsätze einer Kreislaufwirtschaft, Fachbereich III – Nachhaltige Produktion und Produkte, Kreislaufwirtschaft, Dessau, Februar 2020

UMWELTBUNDESAMT [UBA, 2020b]: Prozesskettenorientierte Ermittlung der Material- und Energieeffizienzpotentiale in der Zementindustrie, UBA Texte 48/2020, Forschungskennzahl 3716 36 320 0, Dessau, März 2020

UMWELTBUNDESAMT [UBA, 2020c]: Nachhaltige Wege aus der Wirtschaftskrise - Umwelt und Klima schützen, Beschäftigung sichern, sozialverträgliche Transformation einleiten; Positionspapier des Umweltbundesamtes, Dessau, Mai 2020

VCI - Verband der Chemischen Industrie e.V. [VCI, 2017]: Daten und Fakten 2017, Rohstoffbasis der chemischen Industrie. – URL [Stand 15.1.2019]: <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/top-thema/daten-fakten-rohstoffbasis-chemieindustrie.pdf>

VDZ – Verein Deutscher Zementwerke e.V. (Hrsg.) [VDZ, 2019]: Zementindustrie im Überblick 2919/2020. – 36 S.; Berlin, 2019

VDZ – Verein Deutscher Zementwerke e.V. [VDZ]: Zahlen und Daten der Zementindustrie in Deutschland. – Düsseldorf. (verschiedene Jahre)

Volhard, F. [Volhard, 1983]: Leichtlehbau - alter Baustoff, neue Technik. Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1983

Winnacker & Küchler [WINNACKER & KÜCHLER, 1983]: Chemische Technologie. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1983

Yang J., Lia, W., Zhang, L., Xiao, B. [Yang, et.al., 2009]: Preparation of load-bearing building materials from autoclaved phosphogypsum, Constr. Build. Mater. 23 (2009) 687–693

ZUKUNFTSINSTITUT GmbH [Zukunftsinstitut, 2020]: Der Corona Effekt - Vier Zukunftsszenarien (White Paper), Frankfurt am Main, März 2020

13. Anhang

Tabelle A1: Exporte von Produkten aus gebranntem Gips in der EU28 zwischen den Jahren 2013 und 2018 (Angaben in Mg/a) – Quelle: EUROSTAT.....	99
Tabelle A2: Importe von Produkten aus gebranntem Gips in der EU28 zwischen den Jahren 2013 und 2018 (Angaben in Mg/a) – Quelle: EUROSTAT.....	100
Tabelle A3: Chemische Hauptbestandteile von Phosphorgips.....	101
Tabelle A4: Schwermetalle und REE-Metalle in Phosphorgips.....	102
Tabelle A5: NORM-Radionuklidaktivitäten in Phosphorgips verschiedener Herkunftsländer.....	104
Tabelle A6: Radioaktivität in Phosphorgips (nach Staaten - Ort der Halden und Ursprungsquelle), [IAEA, 2013].....	106
Tabelle A7: Beispiele für Aktivitätskonzentrationen (in Bq/kg) für einige Baustoffe.....	108
Tabelle A8: Bedeutende Inhaltsstoffe von Phosphorgips aus Tunesien im Vergleich zu Naturgips und Zement	109
Tabelle A9: Phosphatproduktion und noch verfügbare Reserven an Phosphat in verschiedenen Ländern der Erde.....	110
Tabelle A10: Umweltindikatoren für <u>Gipskartonplatten</u> (aus dem Informationsportal Nachhaltiges Bauen), [ökobau.dat].....	111
Tabelle A11: Umweltindikatoren für <u>Gipsfaserplatten</u> (aus dem Informationsportal Nachhaltiges Bauen), [ökobau.dat].....	112
Tabelle A12: Umweltindikatoren für <u>Massivholzplatten</u> (aus dem Informationsportal Nachhaltiges Bauen), [ökobau.dat].....	113
Tabelle A13: Umweltindikatoren für <u>Lehmbauplatten</u> (aus dem Informationsportal Nachhaltiges Bauen), [ökobau.dat].....	114
Tabelle A14: Umweltindikatoren für <u>Holzwolle-Leichtbauplatten</u> (aus dem Informationsportal Nachhaltiges Bauen), [ökobau.dat].....	115
Tabelle A15: Umweltindikatoren für <u>Zellulosefaserplatten</u> (aus dem Informationsportal Nachhaltiges Bauen), [ökobau.dat].....	116
Tabelle A16: Umweltindikatoren für <u>Korkfaserplatten</u> (aus dem Informationsportal Nachhaltiges Bauen), [ökobau.dat].....	117
Anhang: Substitute im Bauwesen.....	118
Anhang: Gipsbauweisen in der aktuellen Praxis.....	119
Anhang: Lehmbauweisen in der Praxis.....	121
Anhang: Sustainable Development Goals - Was sind die SDG?.....	126
Anhang: Der Corona-Effekt - Vier Zukunftsszenarien.....	128
Anhang: Fünf robuste Megatrends - Die Brücken in die Zukunft.....	132
Anhang: Leitsätze der Kreislaufwirtschaft – Überblick.....	135

Tabelle A1: Exporte von Produkten aus gebranntem Gips in der EU28 zwischen den Jahren 2013 und 2018 (Angaben in Mg/a) – Quelle: EUROSTAT

Land /	Jahr	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Deutschland		1.163.724	1.171.074	1.086.379	1.139.626	1.412.120	1.357.862
Spanien		193.121	155.846	174.241	176.845	284.897	324.402
Frankreich		242.996	270.093	252.985	249.641	251.240	261.682
Italien		139.635	186.856	216.726	87.129	38.702	80.648
Österreich		75.787	76.483	69.281	62.844	33.597	46.149
Polen		68.369	77.477	62.582	53.409	52.337	45.480
Tschechien		3.421	2.983	3.024	3.576	3.592	42.354
Ungarn		2.635	3.422	4.847	3.722	4.486	39.027
Lettland		40.708	38.755	32.174	31.943	33.308	32.633
Vereinigtes Königreich		19.481	19.027	20.146	20.575	26.365	32.011
Irland		16.699	18.723	20.636	22.967	25.637	26.550
Rumänien		12.839	14.794	13.981	14.121	13.159	12.933
Bulgarien		3.345	3.828	5.542	6.393	6.253	6.683
Portugal		31.967	25.829	14.043	11.722	12.468	6.368
Griechenland		3.415	3.660	3.169	4.513	4.154	4.175
Niederlande		2.086	2.548	1.424	1.807	2.483	1.757
Kroatien		22	581	805	361	178	958
Luxemburg		1.595	606	516	474	3.037	936
Litauen		600	644	176	305	483	535
Slowenien		244	292	255	285	289	481
Schweden		253	460	430	349	351	480
Estland		660	230	74	231	223	360
Slowakei		199	22	29	267	25	330
Dänemark		1.544	1.837	494	114	609	300
Finnland		38	36	37	30	21	20
Belgien		0	0	0	0	0	0
Malta		0	0	0	0	0	0
Zypern		0	0	0	0	0	0
EU28		2.025.382	2.076.105	1.983.995	1.893.249	2.210.012	2.325.112

Produkte aus gebranntem Gips: Putze, die aus kalzinierem Gips oder Kalziumsulfat bestehen, einschließlich zur Verwendung im Bauwesen, zur Verwendung bei der Behandlung von Geweben oder Papier für die Oberflächenbehandlung, zur Verwendung in der Zahnmedizin.

Für Länder mit Mengenangabe null sind keine Exporte registriert.

Tabelle A2: Importe von Produkten aus gebranntem Gips in der EU28 zwischen den Jahren 2013 und 2018 (Angaben in Mg/a) – Quelle: EUROSTAT

Land / Jahr	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Vereinigtes Königreich	33.620	30.802	26.660	96.760	820.059	814.303
Belgien	422.056	397.181	368.566	399.890	399.814	399.247
Portugal	122.843	129.594	114.163	139.360	171.249	139.173
Niederlande	392.783	187.489	192.343	203.277	193.965	116.770
Frankreich	100.735	101.775	97.897	90.275	98.867	89.456
Deutschland	94.230	86.622	76.002	75.843	98.233	86.138
Österreich	70.372	88.126	77.341	96.616	82.738	74.903
Rumänien	36.964	61.893	61.387	62.918	66.158	69.302
Polen	43.160	50.997	58.430	49.396	64.668	58.428
Dänemark	11.670	13.249	13.338	13.189	17.459	57.300
Tschechien	34.648	54.368	31.415	33.582	35.543	55.338
Ungarn	32.006	36.760	38.382	43.068	42.189	51.272
Litauen	19.504	25.502	29.713	31.030	31.891	31.120
Luxemburg	20.465	17.306	16.130	17.939	26.343	27.078
Bulgarien	32.855	35.069	29.388	27.331	27.508	24.450
Italien	18.326	20.917	22.124	22.692	26.335	24.442
Irland	8.939	8.368	9.755	9.874	10.696	12.112
Spanien	12.354	14.797	9.178	13.715	7.368	10.693
Estland	8.330	7.897	8.680	3.275	5.825	10.549
Finnland	7.061	7.728	7.839	8.294	9.644	9.994
Kroatien	9.542	10.276	10.197	8.659	10.262	8.727
Malta	6.079	7.502	9.195	23.887	7.435	8.523
Slowakei	15.341	15.346	20.732	17.836	10.332	8.454
Schweden	60.280	64.080	67.716	36.780	8.263	6.872
Lettland	1.918	3.153	3.375	3.752	4.494	4.601
Slowenien	5.355	5.811	5.231	4.745	4.425	4.578
Griechenland	740	901	772	964	920	830
Zypern	0	0	0	0	0	0
EU28	1.622.175	1.483.507	1.405.949	1.534.946	2.282.683	2.204.654

Produkte aus gebranntem Gips: Putze, die aus kalziniertem Gips oder Kalziumsulfat bestehen, einschließlich zur Verwendung im Bauwesen, zur Verwendung bei der Behandlung von Geweben oder Papier für die Oberflächenbehandlung, zur Verwendung in der Zahnmedizin.

Für Länder mit Mengenangabe null sind keine Importe registriert.

Zur Bandbreite der Hauptbestandteile von Phosphorgips gibt die IAEA an [IAEA, 2013]:

Tabelle A3: Chemische Hauptbestandteile von Phosphorgips

[Originalquellen: unter der Tabelle]

Elemente	Konzentration (%)	
	Minimum	Maximum
CaO	24	34
SO ₄	48	58
SiO ₂	0,5	18
Na ₂ O	0,12	10
C (organik)	0,1	2,5
F	0,1	1,8
P ₂ O ₅	0,05	8
Al ₂ O ₃	0,05	0,6
Cl	0,035	0,045
MgO	0,01	0,54
Fe ₂ O ₃	0,01	0,25

Quellen der Daten in Tabelle A3:

[48] VAN DER WESTHUIZEN, A.J., Foskor Limited, Phalaborwa, South Africa, personal communication, 2002

[85] POFFIJN, A., Federal Agency for Nuclear Control, Brussels, personal communication, 2002

[133] TAHA, R., SEALS, R.K., "Engineering properties and potential uses of by-product phosphogypsum", Utilization of Waste Materials in Civil Engineering Construction (Proc. Conf. New York, 1992), American Society of Civil Engineers, New York (1992) 250–263

[205] MANGIN, S., "Généralités", Le phosphogypse: Utilisation d'un sous-produit industriel en technique routière, Bull. Liaison Lab. Ponts Chaussées, numéro spécial VII, Ch. I, LCPC, Paris (1978) 7–13

[209] GORLE, D., Le phosphogypse comme matériau de remblai routier, Rep. CR 28/85, Centre de Recherches Routières, Brussels (1985)

[217] SFAR, F.H., OUERTANI, N., CLASTRES, P., BENOUEZDOU, M., Amélioration des caractéristiques du phosphogypse en vue de son utilisation en technique routière, Déchets, Sciences et Techniques 28 (2002) 21–25

[325] SIMON, S., Commission chargée de contrôler l'évolution de la pollution en estuaire et en Baie de Seine, Brochure, Cellule de Suivi du Littoral Haut-Normand, Le Havre (1990)

[326] COLOMBEL, J.H., "Etude d'une grave-laitier activée au gypsonat", Le phosphogypse: utilisation d'un sous-produit industriel en technique routière, Bull. Liaison Lab. Ponts Chaussées, numéro spécial VII, Ch. II.3, LCPC, Paris (1978) 50–53

[327] SNC-LAVALIN, Etude de l'impact sur l'environnement des rejets de phosphogypse des unités SIAPE et SAEPA à Gabès (Tunisie), Phase 1: étude préliminaire, Société Industrielle d'Acide Phosphorique et d'Engrais, Rapport technique, vol. 1, Société Arabe des Engrais Phosphatés et Azotés, Tunis, Tunisia (1993)

[328] SINGH, M., GARG, M., VERMA, C.L., HANDA, S.K., KUMAR, R., An improved process for the purification of phosphogypsum, Constr. Building Mater. 10 8 (1996) 597–600

[329] SINGH, M., Influence of blended gypsum on the properties of Portland cement and Portland slag cement, Cem. Concr. Res. 30 8 (2000) 1185–1188

[330] SINGH, M., Treating waste phosphogypsum for cement and plaster manufacture, Cem. Concr. Res. 32 7 (2002) 1033–1038

Tabelle A4: Schwermetalle und REE-Metalle in Phosphorgips

[Quellen: unter der Tabelle]

Element	Konzentration (ppm)		Maximum 2 ^a
	Minimum	Maximum	
Ti	26	470	k.A.
V	2	40	190
Cr	1,6	75	594
Mn	3,5	20	k.A.
Co	0,05	2,3	k.A.
Ni	1,7	250	k.A.
Cu	2	195	508
Zn	4	315	351
As	1	42	k.A.
Se	0,5	75	249
Sr	10	1.118	1.606
Y	2	156	k.A.
Zr	10	110 ^b	398
Mo	1	16	k.A.
Ag	0,4	5	73
Cd	0,8 ^c	40	k.A.
Ba	20	236	810
Hg	0,005	10	k.A.
Pb	0,5	16	73
Th	0,4	4	75
U	0,5	13,8	19
La	42	90	419
Ce	21	143	425
Nd	30	67	352
Sm	5	13	60
Eu	1,1	3	15
Yb	2,1	3,2	21
Lu	0,3	0,4	2

a Values in Maximum 2 are values reported for the fine fraction (<20 µm) [138, 139]

b A value of 700 ppm was reported for phosphogypsum of igneous origin [48]

c It is reported that, by adapting the parameters of the sulphuric acid digestion process, the cadmium concentration in the phosphogypsum can be reduced to less than 0.5 ppm, although this is offset by a higher cadmium concentration in the phosphoric acid [85]

Quellen der Daten in Tabelle A4:

[48] VAN DER WESTHUIZEN, A.J., Foskor Limited, Phalaborwa, South Africa, personal communication, 2002

[74] HARIDASAN, P.P., PILLAI, P.M.B., TRIPATHI, R.M., PURANIK, V.D., An evaluation of radiation exposures in a tropical phosphogypsum disposal environment, Radiat. Prot. Dosim. 135 3 (2009) 211–215

[77] RUTHERFORD, P.M., DUDAS, M.J., SAMEK, R.A., Environmental impacts of phosphogypsum, Sci. Total Environ. 149 (1994) 1–38

[85] POFFIJN, A., Federal Agency for Nuclear Control, Brussels, personal communication, 2002

[137] RUTHERFORD, P.M., DUDAS, M.J., AROCENA, A.M., Radium in phosphogypsum leachates, J. Environ. Qual. 24 (1995) 307–314

[138] AROCENA, J.M., RUTHERFORD, P.M., DUDAS, M.J., Heterogeneous distribution of trace elements and fluorine in phosphogypsum by-product, Sci. Total Environ. 162 (1995) 149–160

[139] RUTHERFORD, P.M., DUDAS, M.J., AROCENA, J.M., Heterogeneous distribution of radionuclides, barium and strontium in phosphogypsum by-product, Sci. Total Environ. 180 3 (1996) 201–209

[208] SCHAEFFNER, M., "Premiers résultats relatifs aux conditions de stockage et d'utilisation du phosphogypse dans les remblais routiers", ibid., Ch. V, pp. 80–98

- [219] CLASTRES, P., "Environmental management of the phosphogypsum of Sfax", COVAPHOS III (Proc. Conf. Marrakesh, Morocco, 2009), CER-PHOS, Casablanca, Morocco (2010)
- [325] SIMON, S., Commission chargée de contrôler l'évolution de la pollution en estuaire et en Baie de Seine, Brochure, Cellule de Suivi du Littoral Haut-Normand, Le Havre (1990)
- [326] COLOMBEL, J.H., "Etude d'une grave-laitier activée au gypsonat", Le phosphogypse: utilisation d'un sous-produit industriel en technique routière, Bull. Liaison Lab. Ponts Chaussées, numéro spécial VII, Ch. II.3, LCPC, Paris (1978) 50–53
- [327] SNC-LAVALIN, Etude de l'impact sur l'environnement des rejets de phosphogypse des unités SIAPE et SAEPA à Gabès (Tunisie), Phase 1: étude préliminaire, Société Industrielle d'Acide Phosphorique et d'Engrais, Rapport technique, vol. 1, Société Arabe des Engrais Phosphatés et Azotés, Tunis, Tunisia (1993)
- [331] ABDEL-MONEIM, A., Elimination du cadmium dans l'acide phosphorique, Inf. Chim. 345 (1993) 66–67. 262
- [332] BATTELLE MEMORIAL INSTITUTE, Background Report on Fertilizer Use, Contaminants and Regulations, Rep. EPA 747-R-98-003, Environmental Protection Agency, Washington, DC (1999)

Eine Übersicht über die durchschnittlichen Aktivitätskonzentrationen von natürlich vorkommenden Radionukliden in Phosphorgips aus mehreren Herkunftsländern, die aus der NORM4Building-Datenbank entnommen wurden, ist in folgender Tabelle A5 dargestellt.

Tabelle A5: NORM-Radionuklidaktivitäten in Phosphorgips verschiedener Herkunftsländer [Originalquellen: unter der Tabelle]

Land / Staat	Konzentration der Radionuklide (Bq/kg)			I-index	Anzahl Proben	Referenzen
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K			
Australien	246	50	340	1,2	28	[1], [2], [3]
Bangladesch	234	21	108	0,9	1	[4]
Belgien	431	11	–	–	30	[5]
Brasilien	410	182	33,5	1,6	268	[6-12]
Bulgarien	209	17	3	0,8	2	[5]
Tschechien	115	31	95	0,6	22	[5]
Ägypten	322	18,8	116	0,8	27	[3], [4], [12], [13-17]
Finnland	306	23	17	1,2	17	[5]
Deutschland	305	20	110	1,2	2	[5]
Griechenland	440	12,4	235	1,5	31	[5]
Indien	233	30,3	323	0,4	24	[3], [18], [19]
Iran	250	–	–	–	1	[20]
Israel	747	14	63	2,6	1	[4]
Jordanien	378	4	40	1,3	16	[21], [4]
Südkorea	618	9	24	1,1	1	[4]
Marokko	1.420	–	–	–	1	[17]
Nigeria	340	4	200	1,2	3	[22]
Norwegen	104	62	1.060	1	6	[3]
Polen	390	17	90,5	1	29	[5]
Portugal	–	–	–	–	1	[17]
Rumänien	496	42,1	95,1	1,9	75	[5]
Serbien	439	8,7	8,7	1,5	1	[3]
Slowenien	500	10	41	1,7	1	[5]
Spanien	491	31,1	68,4	1,5	54	[23], [4], [24]
Sri Lanka	35	72	585	0,7	25	[3]
Syrien	320	2,1	–	–	12	[25]
Tansania	–	140	–	–	1	[26]
Tunesien	210	150	–	–	1	[30]
Niederlande	131	32,5	305	0,7	34	[5]
Türkei	375	13,1	10,3	1,3	22	[2], [14], [27]
Großbritannien	1.020	33	130	3,6	91	[5]
USA	750	1	14	–	95	[28], [29]

Diese Werte sind die Mittelwerte der einzelnen Einträge.

Die Berechnung des **I-Index** basiert auf der Europäischen Kommission 1999; Strahlenschutz 112; Strahlenschutzprinzipien bezüglich der natürlichen Radioaktivität von Baustoffen; und der EU-Kommission.

Beachten Sie, dass der **I-Index**, wie in der Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates vorgeschlagen, nur für Baustoffe verwendet wird. Ein **I-Index**, der für ein Nebenprodukt angegeben wird, macht die unrealistische Annahme, dass 100 % des Nebenprodukts als Baumaterial verwendet wird, jedoch kann diese Annahme als Ausgangspunkt für Verdünnungsberechnungen nützlich sein.

Das "–"-Zeichen in der Tabelle zeigt an, dass keine Daten verfügbar sind.

Quellen der Daten in Tabelle A5:

- [1] Beretka, J., Mathew, P.J., 1985. Natural radioactivity of Australian building materials, waste and by-products. *Health Phys.* 48, 87–95.
- [2] Cooper, M.B., 2005. Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Australian Industries—Review of Current Inventories and Future Generation. *EnviroRad Serv.Pty. Ltd, ARPANSA, Melbourne.*
- [3] Msila, X., Labuschagne, F., Barnard, W., Billing, D.G., 2016. Radioactive nuclides in phosphogypsum from the Lowveld region of South Africa. *S. Afr. J. Sci.*
- [4] Gezer, F., Turhan, S., Ugur, F.A., Gören, E., Kurt, M.Z., Ufuktepe, Y., 2012. Natural radionuclide content of disposed phosphogypsum as TENORM produced from phosphorus fertilizer industry in Turkey. *Ann. Nucl. Energy* 50, 33–37.
- [5] Trevisi, R., Risica, S., D' Alessandro, M., Paradiso, D., Nuccetelli, C., 2012. Natural radioactivity, in: building materials in the European Union: a database and an estimate of radiological significance. *J. Environ. Radioact.* 105, 11–20.
- [6] da Conceicao, F.T., Bonotto, D.M., 2006. Radionuclides, heavy metals and fluorine incidence at Tapiraphosphaterocks, Brazil, and their industrial/byproducts. *Environ. Pollut.* 139, 232–243.
- [7] Mazzilli, B., Saueia, C., 1999. Radiological implications of using phosphogypsum as a building material in Brazil. *Radiat. Prot. Dosim.* 86, 63–67.
- [8] Santos, A.J.G., Mazzilli, B.P., Favaro, D.I.T., Silva, P.S.C., 2006. Partitioning of radionuclides and trace elements in phosphogypsum and its source materials based on sequential extraction methods. *J. Environ. Radioact.* 87, 52–61.
- [9] Saueia, C.H.R., Mazzilli, B.P., 2006. Distribution of natural radionuclides in the production and use of phosphate fertilizers, in: Brazil. *J. Environ. Radioact.* 89, 229–239.
- [10] Saueia, C.H., Mazzilli, B.P., Favaro, D.I.T., 2005. Natural radioactivity in phosphate rock, phosphogypsum and phosphate fertilizers, in: Brazil. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 264, 445–448.
- [11] Silva, N.C., Fernandes, E.A.N., Cipriani, M., Taddei, M.H.T., 2001. The natural radioactivity of Brazilian phosphogypsum. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 249, 251–255.
- [12] Xhixha, G., Bezzon, G.P., Broggin, C., Buso, G.P., Cacioli, A., Callegari, I., De Bianchi, S., Fiorentini, G., Guastaldi, E., Kaceli Xhixha, M., Mantovani, F., Massa, G., Menegazzo, R., Mou, L., Pasquini, A., Alvarez, C.R., Shyti, M., 2013. The worldwide NORM production and a fully automated gamma-ray spectrometer for their characterization. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 295, 445–457.
- [13] El Afifi, E.M., Hilal, M.A., Khalifa, S.M., Aly, H.F., 2006. Evaluation of U, Th, K and emanated radon in some NORM and TENORM samples. *Radiat. Meas.* 41, 627–633.
- [14] Hussein, E.M., 1994. Radioactivity of phosphate ore, superphosphate, and phosphogypsum, in: Abu-Zaabal phosphate plant, Egypt. *Health Phys.* 67, 280–282.
- [15] Matullah, N.A., Hussein, A.J.A., 1998. Natural radioactivity in Jordanian soil and building materials and the associated radiation hazards. *J. Environ. Radioact.* 39, 9–22.
- [16] Medhat, M.E., 2009. Assessment of radiation hazards due to natural radioactivity in some building materials used, in: Egyptian dwellings. *Radiat. Prot. Dosim.* 133, 177–185.
- [17] Moharram, B.M., Suliman, M.N., Zahran, N.F., Shennawy, S.E., El Sayed, A.R., 2012. External exposure doses due to gamma emitting natural radionuclides, in: some Egyptian building materials. *Appl. Radiat. Isot.* 70, 241–248.
- [18] Haridasan, P.P., Pillai, P.M.B., Tripathi, R.M., Puranik, V.D., 2009. An evaluation of radiation exposures in a tropical phosphogypsum disposal environment. *Radiat. Prot. Dosim.* 135, 211–215.
- [19] Shukla, V.K., Ramachandran, T.V., Chinnaesakki, S., Sartandel, S.J., Shanbhag, A.A., 2005. Radiological impact of utilization of phosphogypsum and fly ash in building construction, in: India. *Int. Congr. Ser.* 1276, 339–340.
- [20] Fathabadi, N., Farahani, M.V., Moradi, M., Hadadi, B., 2012. Estimates of the occupational exposure to TENORM in the phosphoric acid production plant in Iran. *Radiat. Prot. Dosim.* 151, 600–603.
- [21] Al-Jundi, J., Al-Ahmad, N., Shehadeh, H., 2008. Investigations on the activity concentrations of ²³⁸U, ²³²Th, ²³⁵U, ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb and ⁴⁰K in Jordan phosphogypsum and fertilizers. *Radiat. Prot. Dosim.* 13, 449–454.
- [22] Okeji, M.C., Agwu, K.K., Idigo, F.U., 2012. Assessment of natural radioactivity in phosphate ore, phosphogypsum and soil samples around a phosphate fertilizer plant in Nigeria. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 89, 1078–1081.
- [23] Bolivar, J.P., Martin, J.E., Garcia-Tenorio, R., Perez-Moreno, J.P., Mas, J.L., 2009. Behaviour and fluxes of natural radionuclides in the production process of a phosphoric acid plant. *Appl. Radiat. Isot.* 67, 345–356.
- [24] Mantero, J., Gazquez, M.J., Bolivar, J.P., Garcia-Tenorio, R., Vaca, F., 2013. Radioactive characterization of the main materials involved in the titanium dioxide production process and their environmental radiological impact. *J. Environ. Radioact.* 120, 26–32.
- [25] Al Attar, L., Al-Oudat, M., Kanakri, S., Budeir, Y., Khalily, H., Al Hamwi, A., 2011. Radiological impacts of phosphogypsum. *J. Environ. Manag.* 92, 2151–2158.
- [26] Makweba, M.M., Holm, E., 1993. The natural radioactivity of the rock phosphates, phosphatic products and their environmental implications. *Sci. Total Environ.* 133, 99–110.
- [27] Turhan, S., 2008. Assessment of the natural radioactivity and radiological hazards in Turkish cement and its raw materials. *J. Environ. Radioact.* 99, 404–414.
- [28] Hull, C.D., Burnett, W.C., 1996. Radiochemistry of Florida phosphogypsum. *J. Environ. Radioact.* 32, 213–238.
- [29] Roper, A.R., Stabin, M.G., Delapp, R.C., Kosson, D.S., 2013. Analysis of naturally-occurring radionuclides, in: coal combustion fly ash, gypsum, and scrubber residue samples. *Health Phys.* 104, 264–269.
- [30] CLASTRES, P., “Environmental management of the phosphogypsum of Sfax”, COVAPHOS III (Proc. Conf. Marrakesh, Morocco, 2009), CERPHOS, Casablanca, Morocco (2010)

Tabelle A6: Radioaktivität in Phosphorgips (nach Staaten - Ort der Halden und Ursprungsquelle), [IAEA, 2013]

(Originalquellen aus [IAEA; 2013]: unter der Tabelle)

Ort der Phosphor- gipshalden	Phosphatgesteinsquellen		Konzentration der radioaktiven Aktivität (Bq/g)								Quellen [IAEA, 2013]
	Original	Typ	²³⁸ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th	²²⁸ Ra	²²⁸ Th	
Australien		sedimentär	0,5		0,5			0,01			[13]
Belgien					0,44			<0,01			
Brasilien	Brasilien	magmatisch			<0,004–0,67	0,05–0,89	0,05–0,68	0,01–0,18			[7]
Kanada (Alberta)	Idaho	sedimentär			0,9					0,01	[14]
Ägypten	Ägypten	sedimentär	0,13		0,41			0,019			[5]
Finnland					0,18			0,012			[5]
Frankreich			0,015		0,44			0,003			[5]
Deutschland		sedimentär			0,6			<0,005			[5]
Ungarn	Syrien	sedimentär			1,1			0,07			[15]
Indien	Marokko	sedimentär	0,17		0,82						[6]
			(0,14–0,21)		(0,45–0,94)						
Italien	Gela ^a	sedimentär			0,41–0,42						[12]
Niederlande		sedimentär	0,05		0,9–1,25						[3, 8]
Nordische Länder		sedimentär			0,15–0,6	<2/2	<2/2	0,06			[3]
Südafrika	Südafrika	magmatisch	0,07 (0,05–0,07)		0,11 (0,09–0,12)	n.N. ^b	n.N. ^b	0,33 (0,13–0,59)	0,41 (0,35–0,5)	0,5 (0,24–0,63)	[3]
Südafrika	Togo und Südafrika	25% sedimentär 75% magmatisch	0,01–0,08		0,08–0,33	0,08–0,33	0,08–0,33	0,01–0,17	0,01–0,21	0,01–0,21	[3]
Spanien		sedimentär	0,02–0,2		0,17–0,6	0,16–0,8	0,17–0,8	0,01–0,02			[3, 9]
Schweden	Russland (Kola)	magmatisch			0,02			0,06			[16]
Tansania	Tansania	sedimentär	0,09	1,05	3,2			0,1		0,15	[4]
Tunesien	Tunesien (Sfax)		0,04–0,07		0,20–0,22			0,01–0,02			[10]
Großbritannien			0,13		0,63–0,78			0,01–0,02			[5]
USA (Florida)	Central Florida	sedimentär	0,08–0,2	0,1–2,9	0,3–2,1	1,3–1,4	1–1,5	0,004–0,05		0,001	[1, 17–20]
USA (Florida)	Nord Florida	sedimentär	0,005		0,50–0,55						[2]
USA			0,2		1,22–1,48			0,01			[5]
Slowenien		sedimentär			0,4						[11]

a Pa-234m: <0,01–0,025; Pb-214: 0,29–0,31; Bi-214: 0,25–0,27; Pb-212, Bi-212: 0,02.

b n.N.: unter der Nachweisgrenze

Quellen der Daten in Tabelle A6:

- [1] OSMOND, J.K., COWART, J.B., HUMPHREYS, C.L., WAGNER, B.E., Radioelement Migration in Natural and Mined Phosphate Terrains, Rep. 05-002-027, Florida Institute of Phosphate Research, Bartow, FL (1985)
- [2] ROESSLER, C.E., SMITH, Z.A., BOLCH, W.E., PRINCE R.J., Uranium and Radium-226 in Florida Phosphate Materials, Health Phys. 37 (1979) 269–277
- [3] VAN DER WESTHUIZEN, A.J., Foskor Limited, Phalaborwa, South Africa, personal communication, 2002
- [4] MAKWEBE, M.M., HOLM, E., The natural radioactivity of the rock phosphates, phosphatic products and their environmental implications, Sci. Total Environ. 133 (1993) 99–110
- [5] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, Establishment of Reference Levels for Regulatory Control of Workplaces where Materials are Processed which Contain Enhanced Levels of Naturally-Occurring Radionuclides, Radiation Protection 107, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (1999)
- [6] HARIDASAN, P.P., PILLAI, P.M.B., TRIPATHI, R.M., PURANIK, V.D., An evaluation of radiation exposures in a tropical phosphogypsum disposal environment, Radiat. Prot. Dosim. 135 3 (2009) 211–215
- [7] MAZZILLI, B., PALMIRO, V., SAUEIA, C., NISTI, M.B., Radiochemical characterization of Brazilian phosphogypsum, J. Environ. Radioactivity 49 (2000) 113–122
- [8] LARDINOYE, M.H., WETERINGS, K., VAN DE BERG, W.B., Unexpected 226Ra build-up in wet process phosphoric-acid plants, Health Phys. 42 4 (1982) 503–514
- [9] GASCÓ, C., et al., “Advantages and disadvantages of using phosphogypsum as building material — radiological aspects”, Advances in Materials Recycling and Eco-Energy (Proc. 1st Spanish Nat. Conf. Madrid, 2009) (LOPEZ, F.A., PUERTAS, F., ALGUACIL, F.J., GUERRERO, A., Eds), Spanish National Research Council, Madrid (2009) 83–86
- [10] CLASTRES, P., “Environmental management of the phosphogypsum of Sfax”, COVAPHOS III (Proc. Conf. Marrakesh, Morocco, 2009), CERPHOS, Casablanca, Morocco (2010)
- [11] KOBAL, I., BRAJNIK, D., KALUZA, F., VENGUST, M., Radionuclides in effluent from coal mines, a coal-fired power plant, and a phosphate processing plant in Zasavje, Slovenia (Yugoslavia), Health Phys. 58 1 (1990)
- [12] MORA, J.C., Preliminary test of gamp on Gela site, presentation to IAEA Technical Meeting on EMRAS II, Limoges, France, 2010
- [13] BERETKA, J., “The current state of utilization of phosphogypsum in Australia”, Third International Symposium on Phosphogypsum (Proc. Conf. Orlando, FL, 1990), Rep. 01- 060-083, Florida Institute of Phosphate Research, Bartow, FL (1990)
- [14] UTHER, S.M., DUDAS, M.J., RUTHERFORD, P.M., Radioactivity and chemical characteristics of Alberta phosphogypsum, Water, Air, Soil Pollut. 69 (1993) 277–290
- [15] FOURATI, A., FALUDI, G., Changes in radioactivity of phosphate rocks during the process of production, J. Radioanal. Nuclear Chem. 125 (1988) 287–293
- [16] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Exposure to Radiation from the Natural Radioactivity in Building Materials, OECD/NEA, Paris (1979)
- [17] HORTON, T.R., BLANCHARD, R.L., WINDHAM, S.T., Long-term Study of Radon and Airborne Particulates at Phosphogypsum Stacks in Central Florida, Rep. EPA 520/5- 88-021, Environmental Protection Agency, Montgomery, AL (1988)
- [18] MAY, A., SWEENEY, J.W., “Assessment of environmental impacts associated with phosphogypsum in Florida”, The Chemistry and Technology of Gypsum (KUNTZE, R.A., Ed.), Special Technical Publication No. 861, ASTM, West Conshohocken, PA (1984) 116–139.
- [19] MAY, A., SWEENEY, J.W., “Evaluation of radium and toxic element leaching characteristics of Florida phosphogypsum stockpiles”, *ibid.*, pp.140–159
- [20] ROESSLER, C.E., “The radiological aspects of phosphogypsum”, Characterization of Thermodynamics and Transport Properties of Polymer Systems, American Institute of Chemical Engineers National Meeting (Proc. Conf. New Orleans, 1986), AIChE, New York (1986).

Tabelle A7: Beispiele für Aktivitätskonzentrationen (in Bq/kg) für einige Baustoffe

Material	Aktivitätskonzentrationen (in Bq/kg)		
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
Beton	1–250	1–190	5–1.570
Porenbeton	11	1–220	180–1.600
Lehmziegel	1–200	1–200	60–2.000
Kalksandstein und Sandstein	18	11	5–700
Natürlicher Gips	<1–70	<1–100	7–280
Granit	100	80	1.200
Tuffstein	130	120	1.500
Bimsstein	130	130	1.100
Zement	7–180	7–240	24–850
Kacheln	30–200	20–200	160–1.410
Phosphorgips	4–700	19	25–120
Hochofenschlacke, Stein und Zement	30–120	30–220	-

Tabelle A8: Bedeutende Inhaltsstoffe von Phosphorgips aus Tunesien im Vergleich zu Naturgips und Zement und Bandbreite

Baustoff	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	SO ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	CO ₂	Cl	F	TOC	PH-Wert	Dichte	Quellen
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(%)	(%)	-	g/cm ³	
Naturgips	0,05	0,39	7,92	0,75	30,65	30,09	0,1	0,12	4,41	-	381	0,05	0,0	-	-	[1]
Phosphorgips (feucht)	1,0	0,13	0,11	0,12	45,3	31,6	0,04	0,3	2,99	-	399	1,2	0,64	4,8	2,98	[1]
Phosphorgips - Bandbreite	0,05-8	0,01-0,25	0,01-0,54	0,05-0,6	48-58	24-34		0,12-10	0,5-18	-	350-450	0,1-1,8	0,1-2,5	-	-	[2] - [13]
Zement	-	3,4	1,79	5,28	2,2	61,52	0,6	1,4	19,1	3,55	-	-	-	-	3,05	[1]

Quellen:

- [1] Fourati, Faouzia Charfi; Bouaziz, Jamel; Belayouni, Habib [Fourati, et. Al, 2016]: Valorisation du phosphogypse de Tunisie en vue de son utilisation comme substituant au gypse naturel dans la fabrication du ciment; in: DÉCHETS - SCIENCES ET TECHNIQUES - N° 20 - 4ème trimestre 2000
- [2] VAN DER WESTHUIZEN, A.J., Foskor Limited, Phalaborwa, South Africa, personal communication, 2002
- [3] POFFIJN, A., Federal Agency for Nuclear Control, Brussels, personal communication, 2002
- [4] TAHA, R., SEALS, R.K., "Engineering properties and potential uses of by-product phosphogypsum", Utilization of Waste Materials in Civil Engineering Construction (Proc. Conf. New York, 1992), American Society of Civil Engineers, New York (1992) 250–263
- [5] MANGIN, S., "Généralités", Le phosphogypse: Utilisation d'un sous-produit industriel en technique routière, Bull. Liaison Lab. Ponts Chaussées, numéro spécial VII, Ch. I, LCPC, Paris (1978) 7–13
- [6] GORLE, D., Le phosphogypse comme matériau de remblai routier, Rep. CR 28/85, Centre de Recherches Routières, Brussels (1985)
- [7] SFAR, F.H., OUERTANI, N., CLASTRES, P., BENOUEZDOU, M., Amélioration des caractéristiques du phosphogypse en vue de son utilisation en technique routière, Déchets, Sciences et Techniques 28 (2002) 21–25
- [8] SIMON, S., Commission chargée de contrôler l'évolution de la pollution en estuaire et en Baie de Seine, Brochure, Cellule de Suivi du Littoral Haut-Normand, Le Havre (1990)
- [9] COLOMBEL, J.H., "Etude d'une grave-laitier activée au gypsonat", Le phosphogypse: utilisation d'un sous-produit industriel en technique routière, Bull. Liaison Lab. Ponts Chaussées, numéro spécial VII, Ch. II.3, LCPC, Paris (1978) 50–53
- [10] SNC-LAVALIN, Etude de l'impact sur l'environnement des rejets de phosphogypse des unités SIAPE et SAEPA à Gabès (Tunisie), Phase 1: étude préliminaire, Société Industrielle d'Acide Phosphorique et d'Engrais, Rapport technique, vol. 1, Société Arabe des Engrais Phosphatés et Azotés, Tunis, Tunisia (1993)
- [11] SINGH, M., GARG, M., VERMA, C.L., HANDA, S.K., KUMAR, R., An improved process for the purification of phosphogypsum, Constr. Building Mater. 10 8 (1996) 597–600
- [12] SINGH, M., Influence of blended gypsum on the properties of Portland cement and Portland slag cement, Cem. Concr. Res. 30 8 (2000) 1185–1188
- [13] SINGH, M., Treating waste phosphogypsum for cement and plaster manufacture, Cem. Concr. Res. 32 7 (2002) 1033–1038

Tabelle A9: Phosphatproduktion und noch verfügbare Reserven an Phosphat in verschiedenen Ländern der Erde

Länder	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Reserven
Ägypten	3.000	3.300	6.000	6.000	3.000	6.500	6.000	5.500	5.500	4.400	5.000	5.000	1.300.000
Algerien	-	-	1.800	1.500	1.500	1.500	1.500	1.400	1.270	1.300	1.200	1.200	2.200.000
Australien	2.800	2.500	1.800	2.650	2.600	2.600	2.600	2.500	3.000	3.000	2.800	2.700	1.200.000
Brasilien	6.200	6.000	5.700	6.200	6.300	6.000	6.750	6.100	5.200	5.200	5.740	5.300	1.700.000
China	50.700	55.000	68.000	81.000	89.000	108.000	100.000	120.000	135.000	144.000	120.000	110.000	3.200.000
Finnland	-	-	-	-	-	-	-	-	940	980	989	1.000	1.000.000
Indien	-	-	1.240	1.250	1.260	1.270	2.100	1.500	2.000	1.590	1.600	1.600	46.000
Israel	-	-	3.090	3.000	3.000	3.500	3.600	3.540	3.950	3.850	3.550	3.500	62.000
Jordanien	6.270	6.000	6.000	6.000	6.500	5.400	6.000	8.340	7.990	8.690	8.020	8.000	1.000.000
Kazakhstan	-	-	-	-	-	1.600	1.600	1.840	1.500	1.500	1.300	1.300	260.000
Mexiko	-	-	1.510	1.620	1.700	1.760	1.700	1.680	1.700	1.930	1.540	1.500	30.000
Marokko/ Westsahara	25.000	24.000	25.800	27.000	28.000	26.400	30.000	29.000	26.900	30.000	34.800	36.000	50.000.000
Peru	-	-	791	2.540	2.560	2.580	2.600	3.880	3.850	3.040	3.900	3.700	210.000
Russland	10.400	9.000	11.000	11.200	11.300	10.000	10.000	11.650	12.400	13.300	14.000	14.000	600.000
Saudi Arabien	-	-	-	1.000	1.700	3.000	3.000	4.000	4.200	5.000	6.090	6.200	1.400.000
Senegal	700	700	950	980	980	800	700	1.240	2.200	1.390	1.650	1.600	50.000
Südafrika	2.290	2.300	2.500	2.500	2.500	2.300	2.200	1.980	1.700	2.080	2.100	1.900	1.400.000
Syrien	2.290	2.300	3.000	3.100	2.500	500	1.000	750	100	100	100	2.000	1.800.000
Togo	3.220	3.000	850	730	865	1.100	1.200	1.100	850	825	800	800	30.000
Tunesien	800	800	7.600	5.000	6.000	3.500	5.000	2.800	3.660	4.420	3.340	3.000	100.000
USA	30.200	27.200	25.800	28.100	29.200	31.200	27.100	27.400	27.100	27.900	25.800	23.000	1.000.000
Vietnam	-	-	-	-	-	2.370	2.400	2.500	2.800	3.000	3.300	5.500	30.000
Übrige Länder	7.400	7.000	6.400	6.790	6.000	2.580	2.600	2.470	1.950	1.100	970	1.000	770.000
Welt (gesamt)	161.000	158.000	181.000	198.000	210.000	225.000	220.000	241.000	255.000	269.000	249.000	240.000	69.000.000

Quellen:

U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2020

U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2019

U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2018

U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2015. Available online: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2015/mcs2015.pdf>USGS (Ed.) Mineral Resource of the Month: Phosphate Rock. December 2013. Available online: <https://www.earthmagazine.org/article/mineral-resource-month-phosphate-rock>

Tabelle A10: Umweltindikatoren für Gipskartonplatten (aus dem Informationsportal Nachhaltiges Bauen), [ökobau.dat]**Gipskartonplatten**

Dicke: 0,0125 m

Jahr	Klassenname : Hierarchieebene
2018	oekobau.dat: 1.3.13 Mineralische Baustoffe / Steine und Elemente / Gipsplatten
	Gipskartonplatte [m2]
gültig bis	- 1.0 * 1.0 qm (Fläche)
2022	Flächengewicht: 10.0 kg/m^2

Richtung	Indikator	Einheit	Herstellung A1-A3	Transport C2	Abfallbehandlung C3	Abfallbeseitigung C4
Input	Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)	MJ	10,47	0,02496	0	0,2875
Input	Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)	MJ	0	0	0	0
Input	Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)	MJ	34,85	0,4287	0	2,19
Input	Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)	MJ	0	0	0	0
Input	Einsatz von Süßwasserressourcen (FW)	m ³	0,007889	0,00002235	0	0,0005511
Output	Gefährlicher Abfall zur Deponie (HWD)	kg	0,00006671	0,00001602	0	0,00003338
Output	Entsorgter nicht gefährlicher Abfall (NHWD)	kg	0,5918	0,00007524	0	11,01
Output	Entsorgter radioaktiver Abfall (RWD)	kg	0,0003539	0,0004513	0	0,00002456
	Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	kg R11 Äquiv.	1,487E-11	1,06E-14	0	8,34E-13
	Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)	kg Ethen Äquiv.	0,0001351	-0,0000242	0	0,00007228
	Eutrophierungspotential (EP)	kg Phosphat Äquiv.	0,0008931	0,00001707	0	0,0001073
	Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	kg CO ₂ Äquiv.	1.623	0,03195	0	0,1501
	Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF)	MJ	33,96	0,4275	0	2.128
	Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE)	kg Sb Äquiv.	0,000002151	0,000002684	0	0,00001521
	Versauerungspotential (AP)	kg SO ₂ Äquiv.	0,002741	0,0000711	0	0,0009533

Tabelle A11: Umweltindikatoren für Gipsfaserplatten (aus dem Informationsportal Nachhaltiges Bauen), [ökobau.dat]**Gipsfaserplatten**

Dicke: 0,01 m

Jahr	Klassenname : Hierarchieebene
2018	ökobau.dat: 1.3.13 Mineralische Baustoffe / Steine und Elemente / Gipsplatten
	Gipsfaserplatte (m2)
gültig bis	- 1.0 * 1.0 qm (Fläche)
2022	Flächengewicht: 10.0 kg/m^2

Richtung	Indikator	Einheit	Herstellung A1-A3	Transport C2	Abfallbehandlung C3	Beseitigung C4
Input	Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)	MJ	2,716	0,02496	16,5	0,2875
Input	Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)	MJ	16,5	0	-16,5	0
Input	Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)	MJ	49,01	0,4287	0	2,19
Input	Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)	MJ	0	0	0	0
Input	Einsatz von Süßwasserressourcen (FW)	m ³	0,007168	0,00002235	0	0,0005511
Output	Gefährlicher Abfall zur Deponie (HWD)	kg	6,67E-05	0,00001602	0	0,00003338
Output	Entsorgter nicht gefährlicher Abfall (NHWD)	kg	0,5918	0,00007524	0	11,01
Output	Entsorgter radioaktiver Abfall (RWD)	kg	0,0003539	0,0004513	0	0,00002456
	Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	kg R11 Äquiv.	2,839E-11	1,06E-14	0	8,34E-13
	Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)	kg Ethen Äquiv.	0,0002534	-0,0000242	0	0,00007228
	Eutrophierungspotential (EP)	kg Phosphat Äquiv.	0,0006983	0,00001707	0	0,0001073
	Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	kg CO ₂ Äquiv.	3.186	0,03195	0	0,1501
	Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF)	MJ	47,43	0,4275	0	2.128
	Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE)	kg Sb Äquiv.	0,0004094	0,000002684	0	0,00001521
	Versauerungspotential (AP)	kg SO ₂ Äquiv.	0,002731	0,0000711	0	0,0009533

Tabelle A12: Umweltindikatoren für Massivholzplatten (aus dem Informationsportal Nachhaltiges Bauen), [ökobau.dat]**3- und 5-Schicht Massivholzplatte (Durchschnitt DE)**

Dicke: k.A.

Jahr	Klassenname : Hierarchieebene
2017	ökobau.dat: 3.2.01 Holz / Holzwerkstoffe / 3- und 5-Schichtplatten
	<u>3- und 5 Schichtplatte</u>
gültig bis	- 1.0 * 1.0 m3 (Volumen)
2022	Rohdichte: 510.45 kg/m³

Richtung	Indikator	Einheit	Herstellung A1-A3	Transport C2	Abfallbehandlung C3	Recyclingpotential D	Recyclingpotential D
						energ. Verwertung	stoffl. Verwertung
Input	Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)	MJ	1.953	0,2805	25,36	6.505	-22,87
Input	Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)	MJ	8.477	0	-8.477	0	0
Input	Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)	MJ	2.064	5.938	58.84	-5.880	-140,2
Input	Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)	MJ	178,4	0	-178,4	0	0
Input	Einsatz von Süßwasserressourcen (FW)	m³	0,7514	0,0005516	0,01722	0,7786	-0,01463
Output	Gefährlicher Abfall zur Deponie (HWD)	kg	0,0121	0,0003128	0,00004	-0.000002776	-0.000007069
Output	Entsorgter nicht gefährlicher Abfall (NHWD)	kg	1.525	0,0004528	0,05554	6.113	-0,03831
Output	Entsorgter radioaktiver Abfall (RWD)	kg	0,1202	0,0000081	0,005411	-0,397	-0,003665
	Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	kg R11 Äquiv.	0,000001152	0	0,0000000175	-0,000001267	-0,000000012
	Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)	kg Ethen Äquiv.	0,07119	-0,0007265	0,0004783	-0,04014	-0,001187
	Eutrophierungspotenzial (EP)	kg Phosphat Äquiv.	0,1233	0,0004450	0,001103	-0,07452	-0.01066
	Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	kg CO ₂ Äquiv.	-643,0	0,4228	810,5	-331,5	-10,03
	Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF)	MJ	0,00006908	0,0000262	0,000002336	-0,0001633	-0.000002248
	Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE)	kg Sb Äquiv.	1.937	5.918	45,2	-4.700	-131,0
	Versauerungspotenzial (AP)	kg SO ₂ Äquiv.	0,5516	0,0017860	0,00690	-0,4834	-0,04548

Tabelle A13: Umweltindikatoren für Lehmbauplatten (aus dem Informationsportal Nachhaltiges Bauen), [ökobau.dat]**Lehmbauplatten**

Dicke: 0,02 m

Jahr	Klassenname : Hierarchieebene
2018	ökobau.dat: 1.3.17 Mineralische Baustoffe / Steine und Elemente / Lehmsteine
gültig bis	Lehmbauplatte [m2]
2022	- 1.0 * 1.0 qm (Fläche) Flächengewicht: 14.0 kg/m²

Richtung	Indikator	Einheit	Herstellung A1-A3	Transport C2	Abfallbehandlung C3	Recyclingpotential D
Input	Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)	MJ	23,83	0,03051	0,07095	-0,01643
Input	Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)	MJ	0	0	0	0
Input	Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)	MJ	32,54	0,5241	0,8435	-0,2823
Input	Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)	MJ	0	0	0	0
Input	Einsatz von Süßwasserressourcen (FW)	m ³	0,02373	0,00002732	0,0002207	-0,00001472
Output	Gefährlicher Abfall zur Deponie (HWD)	kg	0,00004167	0,00001958	0,00001776	-0,00001055
Output	Entsorgter nicht gefährlicher Abfall (NHWD)	kg	0,01088	0,00009198	0,0002538	-0,00004954
Output	Entsorgter radioaktiver Abfall (RWD)	kg	0,0001561	0,0005517	0,000006771	-0,0002972
	Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	kg R11 Äquiv.	6,14E-15	1,29E-14	2,54E-13	-6,95E-15
	Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)	kg Ethen Äquiv.	0,0001197	-0,0000236	0,00003183	-0,00001751
	Eutrophierungspotential (EP)	kg Phosphat Äquiv.	0,001671	0,00001872	0,00007082	-0,00004103
	Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	kg CO ₂ Äquiv.	0,05309	0,03899	0,04366	-0,02056
	Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF)	MJ	32,15	0,5227	0,8264	-0,2815
	Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE)	kg Sb Äquiv.	0,0001655	0,000003281	0,00004921	-0,000001767
	Versauerungspotential (AP)	kg SO ₂ Äquiv.	0,005617	0,00007876	0,0002891	-0,0001618

Tabelle A14: Umweltindikatoren für Holzwole-Leichtbauplatten (aus dem Informationsportal Nachhaltiges Bauen), [ökobau.dat]**Holzwole-Leichtbauplatten**

Dicke: k.A.

Jahr	Klassenname : Hierarchieebene
2018	oekobau.dat: 2.7.01 Dämmstoffe / Holzwoleplatten / Holzwoleleichtbauplatten
	Holzwole-Leichtbauplatte (m3)
gültig bis	- 1.0 * 1.0 m3 (Volumen)
2022	Rohdichte: 360.0 kg/m ³

Richtung	Indikator	Einheit	Herstellung A1-A3	Transport C2	Abfallbehandlung C3	Recyclingpotential D
Input	Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)	MJ	345,1	0,7845	2,813	-348
Input	Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)	MJ	2.808	0	-2,808	0
Input	Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)	MJ	2.101	13,48	8.255	-1.216
Input	Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)	MJ	0	0	0	0
Input	Einsatz von Süßwasserressourcen (FW)	m ³	0,434	0,0007026	0,00257	0,4023
Output	Gefährlicher Abfall zur Deponie (HWD)	kg	0,000007709	0,0005036	0,000005552	-0,0006253
Output	Entsorgter nicht gefährlicher Abfall (NHWD)	kg	1.591	0,002365	0,006354	1.018
Output	Entsorgter radioaktiver Abfall (RWD)	kg	0,03762	0,00001419	0,00069	-0,04175
	Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	kg R11 Äquiv.	1,64E-09	3,32E-13	2,71E-14	-1,92E-09
	Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)	kg Ethen Äquiv.	0,01947	-0,0006067	0,00006387	-0,005568
	Eutrophierungspotential (EP)	kg Phosphat Äquiv.	0,0577	0,0004814	0,0001532	-0,007676
	Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	kg CO ₂ Äquiv.	-29,37	1.003	317,5	-113,8
	Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF)	MJ	2.006	13,44	6.513	-1.11E+3
	Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE)	kg Sb Äquiv.	0,00002543	0,00008437	0,0002534	-0,00002068
	Versauerungspotential (AP)	kg SO ₂ Äquiv.	0,2499	0,002025	0,0007756	-0,04557

Tabelle A15: Umweltindikatoren für Zellulosefaserplatten (aus dem Informationsportal Nachhaltiges Bauen), [ökobau.dat]**Zellulosefaserplatten**

Dicke: k.A.

Jahr	Klassenname : Hierarchieebene
2018	oekobau.dat: 2.11.02 Dämmstoffe / Zellulosefaser / Zelluloseplatten
	Zellulosefaserplatten (m3)
gültig bis	- 1.0 * 1.0 m3 (Volumen)
2022	Rohdichte: 80.0 kg/m ³

Richtung	Indikator	Einheit	Herstellung A1-A3	Transport C2	Abfallbehandlung C3	Recyclingpotential D
Input	Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)	MJ	1.203	0,1743	1.441	-178,5
Input	Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)	MJ	1.440	0	-1.440	0
Input	Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)	MJ	1.895	2.995	1.835	-623,4
Input	Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)	MJ	0	0	0	0
Input	Einsatz von Süßwasserressourcen (FW)	m ³	1,40	0,0001561	0,0005712	0,2063000
Output	Gefährlicher Abfall zur Deponie (HWD)	kg	0,0000106	0,0001119	0,000001234	-0,0003207
Output	Entsorgter nicht gefährlicher Abfall (NHWD)	kg	50.79	0,0005256	0,001412	0,5222
Output	Entsorgter radioaktiver Abfall (RWD)	kg	0,07546	0,000003153	0,0001533	-0,02141
	Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	kg R11 Äquiv.	2,55E-07	7,38E-14	6,02E-12	-9,86E-10
	Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)	kg Ethen Äquiv.	0,02947	-0,0001348	0,00001419	-0,002855
	Eutrophierungspotential (EP)	kg Phosphat Äquiv.	0,1818	0,000107	0,00003404	-0,003936
	Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	kg CO ₂ Äquiv.	-19,99	0,2228	176,1	-69,64
	Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF)	MJ	1.704	2.987	1.447	-569,4
	Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE)	kg Sb Äquiv.	0,0004898	0,00001875	0,00005631	-0,00001061
	Versauerungspotential (AP)	kg SO ₂ Äquiv.	0,5613	0,00045	0,0001724	-0,02337

Tabelle A16: Umweltindikatoren für Korkfaserplatten (aus dem Informationsportal Nachhaltiges Bauen), [ökobau.dat]**Korkfaserplatten - Expandierter Kork**

Dicke: k.A.

Jahr	Klassenname : Hierarchieebene
2018	oekobau.dat: 2.9.01 Dämmstoffe / Expandierter Kork / Expandierter Kork
	Expandierter Kork (m3)
gültig bis	- 1.0 * 1.0 m3 (Volumen)
2022	Rohdichte: 80.0 kg/m ³

Richtung	Indikator	Einheit	Herstellung A1-A3	Transport C2	Abfallbehandlung C3	Recyclingpotential D
Input	Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)	MJ	120,2	0,1743	1.633	-202,3
Input	Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)	MJ	1.632	0	-1.632	0
Input	Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)	MJ	530,7	2.995	1.835	-706,5
Input	Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)	MJ	0	0	0	0
Input	Einsatz von Süßwasserressourcen (FW)	m ³	0,06368	0,0001561	0,0005712	0,2338
Output	Gefährlicher Abfall zur Deponie (HWD)	kg	0,00001183	0,0001119	0,000001234	-0,0003634
Output	Entsorgter nicht gefährlicher Abfall (NHWD)	kg	0,5532	0,0005256	0,001412	0,5919
Output	Entsorgter radioaktiver Abfall (RWD)	kg	0,01069	0,000003153	0,0001533	-0,02426
	Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	kg R11 Äquiv.	1,20E-10	7,38E-14	6,02E-12	-1,12E-09
	Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)	kg Ethen Äquiv.	-3459	-0,0001348	0,00001419	-0,003236
	Eutrophierungspotential (EP)	kg Phosphat Äquiv.	0,03221	0,000107	0,00003404	-0,004461
	Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	kg CO ₂ Äquiv.	-96,9	0,2228	151,5	-38,83
	Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF)	MJ	503,8	2.987	1.447	-645,3
	Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE)	kg Sb Äquiv.	0,000003602	0,00001875	0,00005631	-0,00001202
	Versauerungspotential (AP)	kg SO ₂ Äquiv.	0,1276	0,00045	0,0001724	-0,02649

Anhang: Substitute im Bauwesen

Im Rahmen einer Studie mit dem Titel: „**Sekundärstoffe aus dem Hochbau - Energie- und Materialflüsse entlang der Herstellung und des Einsatzortes von Sekundärstoffen aus dem Hochbau für den Baubereich**“ [IÖR/ Intecus, 2020], gefördert im Forschungsprogramm „Zukunft Bau“ aus Mitteln des BBSR wurden zwischen September 2017 und April 2019 intensive Analysen zu Sekundärstoffen im Bauwesen angestellt. Hierbei ist auch Gips als Baustoff eingeschlossen gewesen.

In Deutschland wurden mit dem Deutschen Ressourceneffizienzprogramm „ProgRess I“ und „ProgRess II“ die Ziele formuliert, den Ressourcenverbrauch vom Wirtschaftswachstum zu entkoppeln, die Rohstoffproduktivität bis 2020 zu verdoppeln, die mit der Nutzung natürlicher Ressourcen verbundenen Umweltbelastungen weitestgehend zu reduzieren, sowie die Kreislaufwirtschaft weiterzuentwickeln und auszubauen [BMUB 2016].

Um im Baubereich ein annähernd kreislaufiges Wirtschaften zu ermöglichen, müssen die entsprechenden Abbruchmaterialien recyclingfähig sein und mit einer gewissen Konstanz in bestimmten Mengen anfallen. Ressourcenschonungspotenziale durch Sekundärstoffe als Massenangaben in Megagramm (Mg) sind für ausgewählte Bauproduktgruppen bekannt ([Deilmann et.al., 2014] und [Deilmann et.al., 2017]). Eine Beurteilung der Ressourcenschonungspotenziale nur auf Basis dieser Angaben in Megagramm ist jedoch zu einseitig, da energetische Aspekte unberücksichtigt bleiben.

Um die mengenorientierten Untersuchungen zu Ressourcenschonungspotenzialen um energetische Betrachtungen zu erweitern, musste im Rahmen der Studie ein Untersuchungsansatz entwickelt werden, mit dem sich wichtige mineralische und nichtmineralische Bauprodukte bezüglich ihres energetischen Aufwandes beim Recycling synoptisch darstellen und vergleichen lassen. Methodisch wurde ein einheitlicher Bilanzrahmen entwickelt, der eine gleichwertige Bearbeitung von zehn Bauproduktgruppen – Beton, Ziegel, Kalksandstein, **Gips**, Flachglas, mineralische Dämmstoffe, Kunststoffprofile, sonstige Kunststoffe, erdölbasierte Dämmstoffe und **Bauholz** – ermöglicht.

Für diese Bauprodukte werden die Herstellung von Sekundärstoffen aus Rückbaumaterialien aus dem Hochbau sowie deren Weiterverarbeitung bis zur neuen Einsatzvariante im Hoch-, Tief-, Ingenieur-, Straßenbau untersucht. Berücksichtigt werden dabei die Güte des Abbruchmaterials sowie die bei der zukünftigen Einsatzvariante geforderten Qualitätsanforderungen. Für jede Gruppe wurden instruktive Beispiele in Form charakteristischer „durchgängiger“ Prozessketten vom Rückbaumaterial bis zur Einsatzvariante analysiert und in drei Schritten bearbeitet: (1) Vom Rückbaumaterial zum Sekundärstoff, (2) Vom Sekundärstoff zum Substitut und (3) Gegenüberstellung von Substitut und Primärstoff.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Recycling i. d. R. mit einem niedrigeren energetischen Aufwand verbunden ist als die Bereitstellung von Primärstoffen. Bei den mineralischen Materialien ist ein Recycling vor allem hinsichtlich des Masseaspekts sinnvoll, da dadurch der Rohstoffabbau reduziert und Natur- bzw. Landschaftsraum geschont werden. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass die Recyclingprozessketten bis zum Erreichen der funktionalen Äquivalenz des Substituts bzw. bis zum Einsatzort gedacht werden müssen. Erst unter Berücksichtigung der Unterschiede (Rezeptur, Verfahrensschritte, Transporte) zwischen dem Standardherstellungsprozess und der Herstellung von Bauprodukten mit RC-Anteilen können Aussagen über die energetischen Vor- oder Nachteile von Recycling getroffen werden.

So hat sich beispielsweise die Vermutung verfestigt, dass Transporte einen wesentlichen und nicht vernachlässigbaren Beitrag zum Energieaufwand von Recycling und Primärstoffgewinnung leisten.

Anhang: Gipsbauweisen in der aktuellen Praxis

Naturgips als Rohstoff wird vorwiegend bergmännisch als Gipsstein gewonnen, fällt aber heute auch häufig als Nebenprodukt verschiedener chemischer großtechnischer Verfahren an. Ca. 55 % der heutigen Gipsrohstoffe werden jedoch aus der Rauchgasentschwefelung von Kohlekraftwerken gewonnen (Wagner, 2018). In Deutschland dienen vor allem Braunkohlekraftwerke als alternative Rohstoffquelle für Naturgips, da hier mit rd. 75% des REA-Gipses viel mehr Schwefel anfällt als bei Steinkohlekraftwerken mit rd. 25% REA-Gipsanfall. So konnte der Abbau von Naturgips mit der Verwendung dieses qualitativ ebenbürtigen Werkstoffs, der sonst auf Deponien entsorgt werden müsste, über die letzten Jahrzehnte in Deutschland (etwa seit Beginn der achtziger Jahre) erheblich verringert werden.

Gemäß dem Klimaschutzplan 2050 für Deutschland soll der Ausstoß von Treibhausgasen im Jahr 2050 um bis zu 95 % reduziert werden. Um die Emissionen in der Energiewirtschaft weiter zu reduzieren empfiehlt die Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ [Kommission WSB; 2019] als Abschlussdatum für die Kohleverstromung Ende des Jahres 2038. Sofern die energiewirtschaftlichen, beschäftigungspolitischen und die betriebswirtschaftlichen Voraussetzungen vorliegen, kann das Datum in Verhandlungen mit den Betreibern auf frühestens 2035 vorgezogen werden. Um die Wertschöpfungsketten der Gipsindustrie zu erhalten, sind somit bis zur zweiten Hälfte des kommenden Jahrzehnts Maßnahmen zu ergreifen, um den fortschreitenden Wegfall an REA-Gips durch eine zusätzliche umweltverträgliche Gewinnung von Naturgips [Kommission WSB; 2019] oder durch weitere Recycling- und Substituts-Maßnahmen (s. Kapitel 7 bis 10) auszugleichen.

Aus Nachhaltigkeitsgründen sowie aus Gründen einer langfristigen Rohstoffsicherung ist daher die deutsche Gipsindustrie demnach bestrebt, das Gipsrecycling zu stärken und weiterzuentwickeln.

In der heutigen modernen Bautechnik sind Gipsbaustoffe jedoch noch nicht wegzudenken. Gips dient v.a. als Grundstoff für Gipswandbauplatten (Gipskarton- oder Gipsfaserplatten) für Zwischenwände, Gipskartonplatten für den Trockenbau, verschiedene Putze und Trockenestriche als auch für Grundierungen und Füllmittel. Durch Vermengen mit Kalk wird formbarer Gipskalk für Stuckarbeiten erzeugt [IÖR/ Intecus, 2020].

Dabei soll der komplette Produktlebenszyklus von der Rohstoffgewinnung über die Produktion und den Einbau bis hin zum Rückbau und zum Recycling lückenlos realisiert werden. Ein Vorteil dabei ist, dass Gips nahezu unbegrenzt recycelt werden kann.

Aktuell werden sortenrein ausgebaute Gipsabfälle in Deutschland nicht direkt von Bauunternehmen entsorgt, sondern durch Entsorgungsunternehmen mit Containern bei den Recyclinganlagen angeliefert bzw. noch vorrangig deponiert. In anderen europäischen Ländern (z.B. Belgien, Frankreich, Niederlande, Skandinavische Länder) werden Gipsabfälle hingegen in der Regel direkt zum GipsHersteller transportiert und dort aufbereitet. Die Transportentfernungen der Gipsabfälle sind demnach sehr unterschiedlich und variieren von Land zu Land zwischen 80 bis 300 km. In Deutschland wird die durchschnittliche Entfernung auf einen Radius von 50 bis 100 km (maximal 200 km) geschätzt [Founti et al. 2015].

Betrachtungsgrenzen und qualitative Beschreibung der Prozessketten für Gips vom Rückbau bis zum Wiedereinsatz

In der vorliegenden Studie [IÖR/ Intecus, 2020] wurden für die Produktgruppe Gips die typischen Rückbauqualitäten **Gipskartonplatten (R1)** und **Gipsblöcke oder Gipswandbauplatten (R2)** untersucht. Für die Berechnung des Energieaufwands bis zum Sekundärstoff (Schritt 1) wurden

ausschließlich die Hauptprozesse in der Aufbereitungsanlage für die Berechnung mit einbezogen. Abbruchaufwendungen sowie der Transport zum Recyclinghof werden gemäß DIN EN 15804 dem vorangehenden Produktsystem zugeordnet (Modul C1 und C2). Die für bestimmte Einsatzzwecke hergestellten Substitute werden in der Regel noch weiter konfektioniert und bis zum Einsatzort transportiert. Die Unterschiede zwischen der Herstellung von Bauprodukten mit und ohne Recyclinganteil (RC Anteil) werden hinsichtlich der Aspekte a) veränderter Transportaufwand (vom Aufbereitungswerk zum Einsatzort bzw. von der Primärstoffquelle bis zum Einsatzort), b) Rezepturänderungen und c) Veränderung der Verfahrensschritte qualitativ erläutert (Schritt 2). Um eine Vergleichbarkeit von Primärstoff und entsprechendem Substitut herstellen zu können, werden die sich ergebenden energetischen Mehr- oder Minderaufwände bis zum Wiedereinsatz bereits auf Materialebene mitberücksichtigt und mithilfe von Annäherungen quantitativ bewertet (Schritt 3). Die zwei untersuchten Prozessketten wurden instruktiv entwickelt, indem typische Rückbauqualitäten, Einsatzvarianten und Aufbereitungsverfahren ermittelt und zu durchgehenden Prozessketten zusammengeführt wurden.

1. Prozesskette (R1-S1-E1):

Rückbaumaterial/ Gipsabfälle: Gipskartonplatten, Gipswandbauplatten und Gipsblöcke – R1

Substitut: Recyclinggips - RC-Gips (Dihydrat) – S1

Einsatzvariante: Gipskartonplatten nach DIN EN 520 und DIN 18180 – E1

Gipskartonplatten bestehen aus einem Gipskern und einer Ummantelung aus Karton, Gipsfaserplatten enthalten neben dem Grundstoff Gips zur Armierung 15 - 20 % Papierfasern [Kolb, 2004]. Gipskartonplattenabfälle fallen zum Großteil bei Rückbau- und Abrisstätigkeiten und nur zu kleineren Teilen bei Sanierungen und beim Neubau an. Sie sind mit anderen Stoffen (u. a. Anstrichen, Tapeeten) vermischt und verweilen zum Teil Jahrzehnte in den Gebäuden. Aufgrund der in der Regel heterogenen Herkunft der Gipsabfälle aus Abbruch- bzw. Rückbauvorhaben kann es nicht nur zu Schwankungen der Materialeigenschaften, sondern auch zu Querkontaminationen mit bautypischen Schadstoffen kommen. Schadstoffe werden u. a. durch Annahmebeschränkungen für kontaminiertes Rückbaumaterial und strenge Qualitätsempfehlungen an Recyclinggips (RC-Gips) begrenzt.

Daneben sind auch die zurzeit in der Diskussion befindlichen möglichen Verunreinigungen der Gipsabfälle mit asbesthaltigen Spachtelmassen zu berücksichtigen. Diese können vor allem durch Querkontaminationen verursacht werden. Bereits das Vorhandensein von Asbest in geringen Mengen kann dabei zum Ausschluss des Materials aus der Gipsaufbereitung führen [Beckert et al., 1995]. Kein Recycling ist möglich, wenn der Asbestgehalt in zu recycelnden Gipsabfällen den Grenzwert von 0,1 M.-% gemäß Abfall- und Gefahrstoffrecht überschreitet (Einstufung als gefährlicher Abfall).

Hinsichtlich der Frage, wann Gipsabfälle bzw. der daraus hergestellte Recyclinggips (RC-Gips) bezüglich eines Asbestgehalts in Verkehr gebracht werden dürfen, existieren unterschiedliche Rechtsauffassungen. Das BMU und auch die LAGA (z.B. in der LAGA M20 [LAGA M20]) vertreten bisher das „0-Faser-Prinzip“, d. h., keine einzige Asbestfaser für Recycling ist zulässig, absolutes Inverkehrbringungsverbot. Da dies nicht praktikabel ist, mehren sich die Auffassungen (so der AK Asbest im Rahmen der Novellierung der GefStV), dass z. B. als „Abschneidegrenze“ die Nachweisgrenze des „Verfahrens zur analytischen Bestimmung von Asbestfasern mit REM/EDX, TRGS 517 7487 BIFA“ mit 0,008 M.-% festgelegt werden sollte, bei deren Unterschreitung von „Asbestfreiheit“ auszugehen und damit Recycling möglich ist. Diese bisher fehlende Rechtssicherheit führt daher zu sehr eingeschränkten Gips-Recyclingaktivitäten. Die Aufbereitung von Gipsabfällen aus dem Baubereich findet in stationären Recyclinganlagen statt. Dabei wird das Material zerkleinert, sortiert, klassiert und vermahlen.

Qualitätsanforderungen an RC-Gipse richten sich nach dem entsprechenden Zielprodukt. Für den Wiedereinsatz von RC-Gips in der Gipskartonplattenherstellung sind die Regelwerke DIN EN 520 und DIN 18180 bezeichnend. Gipskartonplatten können aus Naturgips und/ oder REA-Gips hergestellt sein. Dabei wird der Rohgips zunächst bei Temperaturen von ca. 150°C zum sog. Stuckgips kalziniert. Schließlich wird der feingemahlene Stuckgips wieder mit Wasser vermischt und auf Bandstraßen zwischen zwei Kartonlagen aufgetragen [Bundesverband der Gipsindustrie e.V., 2013].

2. Prozesskette R2-S1-E2:

Rückbaumaterial: Gipsblöcke oder Gipswandbauplatten – R2

Substitut: Recyclinggips - RC-Gips (Dihydrat) – S1

Einsatzvariante: Zement n. DIN EN 197-1, DIN EN 14216, sowie DIN 1164, Teil 10, 11 und 12 – E2

Gipswandbauplatten sind Bauelemente aus massivem Stuckgips zum Herstellen von nichttragenden inneren Trennwänden, Schachtwänden, Vorsatzschalen oder Stützenummantelungen im Innenbereich. Die Wände werden ohne Unterkonstruktion allein mit Gipskleber errichtet. Trennwände aus Gips-Wandbauplatten benötigen keinen Putz, sie werden lediglich im Fugen- und Anschlussbereich oder ganzflächig verspachtelt, wahlweise mit dem Gipskleber selbst oder einem Flächenspachtel. Die Herstellung und Verarbeitung von Asbest sind in Deutschland zwar seit 1993 verboten, Experten stellten jedoch bei Prüfungen fest, dass asbesthaltige Spachtelmassen oder Fliesenkleber in ungefähr einem Viertel der vor 1995 errichteten Gebäude vorhanden sind [GVSS, 2015].

Die Herstellung von Recyclinggips (RC-Gips) aus Gipswandbauplatten und Gipsblöcken entspricht technologisch der Herstellung von RC-Gips aus Gipskartonplatten. Der gewonnene RC-Gips wird vornehmlich in der Gipsindustrie verwendet. Eine alternative Einsatzvariante stellt die Verwendung von RC-Gips als Zumahlstoff bei der Zementherstellung gemäß DIN EN 197-1, DIN EN 14216, sowie DIN 1164, Teil 10, 11 und 12 dar. Allerdings ist dieser Verwertungsweg noch nicht hinreichend etabliert und wird derzeit nur in sehr geringem Umfang realisiert.

Zusammenfassung zum Gips-Recycling aus der Studie [IÖR/ Intecus, 2020]

Energieverbrauch:

Der Recyclingprozess von Gips (Energieaufwand: 0,080 MJ/kg für Prozesskette R1 bzw. 0,073 MJ/kg für Prozesskette R2) ist aktuell noch energieintensiver als die Gewinnung von Natur- oder REA-Gips (Energieaufwand: 0,040 MJ/kg - n. ökobaudat - für Prozesskette R1), nicht jedoch als die Bereitstellung des Sulfatträgermixes aus je einem Drittel Anhydrit, Naturgips und REA-Gips für die Prozesskette R2 (Energieaufwand: 0,646 MJ/kg - nach ökobaudat).

Besonderheiten:

Asbestfasern in geringen Mengen führen zum Ausschluss des Materials aus der Gipsaufbereitung. Asbesthaltiger RC-Gips könnte alternativ einen Anteil des Rohmehlinputs für die Herstellung von Zement bilden (Prozesskette R2-S1-E2), da durch die Herstellung von Klinker hohe Temperaturen notwendig sind, unter denen Asbestfasern unschädlich gemacht werden. Diese Anwendung ist denkbar und technisch möglich, aktuell jedoch noch kein Standard.

Die fehlende Rechtssicherheit bezüglich eines praktikablen Grenzwertes für Asbestfasern in RC-Gips führt zu sehr eingeschränkten Gips-Recyclingaktivitäten.

Ausschleusung & Allokationen:

Je nach Ausgangsmaterial werden während des Recyclingprozesses ca. 11-18 M.-% des Materialinputs ausgeschleust. Ausgeschleustes Papier und Holz hat thermisches Energiegewinnungspotenzial. Auf Deponien zu entsorgende Stör- und Fremdstoffe fallen nicht oder nur in geringen Mengen

an. Eine weitere stoffliche Verwertung kommt nur für enthaltene Metalle infrage. Der Anteil an ausgeschleusten Metallen liegt jedoch bei max. 1%, bezogen auf den Materialinput.

Primärstoffeinsparungen:

Natur- und REA-Gips ist noch ausreichend verfügbar, wird sich jedoch durch den Rückbau der stark umweltbelastenden Kohlekraftwerke (u. a. hohe CO₂-Emissionen) bis 2035/2038 deutlich reduzieren. Der aktuelle Gipsbedarf kann nicht durch Naturgips gedeckt werden.

Flächennutzungskonflikte:

Primärstoffquellen sind aufgrund von konkurrierenden Flächennutzungsansprüchen nur begrenzt erschließbar, Flächen für Deponien können eingespart werden.

Anhang: Lehmbauweisen in der Praxis

Die folgenden Lehmbaupraktiken bzw. Anwendungsmethoden für Lehm im Trockenbau existieren in Deutschland im modernen Gebäudeinnenausbau bereits seit vielen Jahrzehnten und sind i.W. den folgenden Quellen entnommen: [Batelle-Insitut, 1985], [Krusche et.al.; 1982], [Minke, 1984/1985], [Volhard, 1983], [IpeG-Institut, 2012].

Massivbauweise: Die Druckfestigkeit des Lehms reicht aus, um die tragenden Wände auch mehrgeschossiger Häuser zu errichten. Als Massivlehm wird Baulehm mit einer Dichte von 1.700 bis 2.200 kg/m³ bezeichnet. Die wichtigsten Massivlehmtechniken sind der Lehmstein- bzw. Lehmquaderbau und der Lehmstampfbau, der als weiterentwickelte Lehmbautechnik gilt.

Da die Wände beim Lehmstampfbau unmittelbar aufgesetzt werden, ist das Stampfverfahren insgesamt weniger zeitaufwendig als das Herstellen, Trocknen und Vermauern von Lehmbausteinen. Der erdfeucht aufbereitete Lehm wird durch festes Stampfen zwischen den Brettern oder Tafeln einer Gleitschalung zu fugenlosen monolitischen Wänden verdichtet.

Es besteht eine Begrenzung der Geschoßanzahl von Gebäuden durch die erreichbare Druckfestigkeit beim Massivlehmbau.

Lehmständerbau (Skelettbauweisen): Beim Lehmständerbau wird Lehm als nichttragendes, raumabschließendes Ausfachungsmaterial verwendet. Die witterungsempfindlichen Lehmarbeiten werden durch das bereits gedeckte Dach geschützt. Dabei wird der Lehm gegen Rissbildung, Auswaschungen und zur Erhöhung der Wärmedämmung mit Strohhacksel oder geschnittenem Langstroh armiert. Als Strohlehm werden Lehmgemische mit einem Trockengewicht zwischen 1.200 und 1.700 kg/m³ bezeichnet.

Beim Geflecht mit Bewurf erhalten die Gefache aus Ständern und Riegeln ein Flechtwerk aus Staken und Weidenruten, das zuerst von innen, dann von außen mit Stroh- oder Hacksellehm beworfen und geglättet oder verputzt wird. Beim Geflecht mit Strohlehmzungen liegen die Ruten in größeren Abständen, der Strohlehm wird hineingedrückt. Dieses Verfahren ermöglicht einen höheren Strohannteil und damit eine bessere Wärmedämmung. Beim sogenannten Stakbau werden waagerechte Staken zwischen die senkrechten Ständer in Nuten eingepasst.

Zunehmend hat sich der Leichtlehmbau stärker durchgesetzt, der wegen der sehr guten Wärmedämmung besonders für unser Klima geeignet ist. Leichtlehm ist ein Gemisch aus Lehm und Stroh oder anderen Leichtzuschlägen, z.B. Blähton, die den Hauptbestandteil der Masse bilden. Der Lehm ist dabei Bindemittel der Faserstoffe. Es werden darunter alle Lehmgemische mit Leichtzuschlägen verstanden, die ein Raumgewicht von weniger als 1.200 kg/m³ haben. Je nach Lehmanteil sind Mischungen bis 300 kg/m³ möglich. Leichtlehm ist im Durchschnitt 600 bis 800 kg/m³ schwer. Im Unterschied zur Massiv- und Strohlehmtechnik wird der Lehm in flüssigem Zustand mit Stroh vermischt. Die fertige Leichtlehmmasse wird in beweglichen Schalungen unmittelbar zum Bauteil gestampft oder zur Vorfertigung von Steinen, Platten oder Blöcken verwendet, die trocken mit Mörtel vermauert werden. Leichtlehm ist Ausfachungsmaterial im lastabtragenden Holzskelett, das jedoch holzsparender ausgebildet sein kann als traditionelles Fachwerk.

Lehmbauplatten: In den beiden letzten Jahrzehnten werden zunehmend auch Lehmbauplatten unterschiedlicher Stärke/ Dicke und Festigkeit für die Verwendung im Innentrockenausbau als Alternative für eine quasi identische Anwendungsmethode, wie der Einsatz von Gipswandbauplatten (Gipskartonplatten, Gipsfaserplatten) am Markt angeboten [IpeG-Institut, 2012]. Hierauf wurde bereits im Kapitel 9.3 umfassender eingegangen.

Vor- und Nachteile von Lehm als alternativer Baustoff zu Gips:

Lehm ist im mitteleuropäischen Raum vielfach großflächig vorhanden und ist gut zugänglich.

Der Rohstoffe sind ausreichend vorhanden und ein energieaufwendiger Veredelungsprozess ist nicht erforderlich.

Schwerpunkte der Anwendung dieser Bauweisen im Neubau sind derzeit und auch mittelfristig wegen der geltenden Baubestimmungen v.a. aber nicht ausschließlich Einfamilienhäuser.

Darüber hinaus hat die Leichtlehmbauweise besondere Bedeutung im Zusammenhang mit der Modernisierung von Fachwerkhäusern.

Marktchancen und Markthemmnisse:

Die in den letzten Jahren gewonnene Publizität des Lehmbaus steht in Widerspruch zu seiner praktischen Anwendung und seiner realen Verbreitung. Der Anteil am Wohnungsbauvolumen der letzten Jahrzehnte, wie auch zwischen 2010 und 2020, ist in Deutschland noch kaum von Bedeutung.

Faktoren, die den Lehmbau in Deutschland jedoch begünstigen können, sind:

- Das zunehmend sensibilisierte Umweltbewusstsein: Präferenzen für das Bauen mit natürlichen Materialien. Die günstigen Voraussetzungen des Lehmbaus für das Bauen, verbunden mit einem hohen Anteil an Eigenleistungen durch den Bauherrn, v.a. im Modernisierungsbau.
- Lehm ist ein kostengünstiger Baustoff.
- Lehm ist ein natürlicher Rohstoff, der direkt verarbeitet werden kann, d.h. in keiner Weise denaturiert werden muss.
- Bei seiner Verwendung entstehen keinerlei schädigende Einwirkungen auf den Menschen in Form von -- Strahlungen -- Ausgasungen -- Stäuben. Sein günstiges Diffusions- und Resorptionsvermögen nimmt unter den bekannten Baustoffen eine Sonderstellung ein.
- Außerdem entsteht keine elektrostatische Aufladung. Danach entsteht ein positives Raumklima, das durch unmittelbare, den Gesichts-, Tast-, Geruchs- und Wärmesinn gleichzeitig ansprechende Reize noch gesteigert wird.
- Der Primärenergieaufwand für Lehm, der als fertiger Baustoff vorgefunden wird - der allenfalls durch Sand abgemagert werden muss, wird nahezu ausschließlich vom Transport verursacht. Er beträgt nur einen Bruchteil der "traditionellen", industriell hergestellten Materialien (2% des Primärenergiegehaltes von Beton, 1% dessen von Leichtziegeln).
- Der Rohstoff kann wiederverwendet werden oder jederzeit in den ökologischen Kreislauf wieder eingegliedert werden.
- Die seit einigen Jahren wieder mit dem Lehmbau gesammelten Erfahrungen und durch Untersuchungen gewonnene theoretische Kenntnisse.

Verarbeitungstechnische Vorteile, v.a. des Leichtlehmbaus im Innenausbau sind:

- Alle wichtigen Bauteile über dem Sockel können in ähnlicher Technik und mit dem gleichen Material ausgefacht werden - Außen- und Innenwände, Decken und Dachdämmung.
- Die erhaltene Oberfläche ist ein guter Putzgrund für jede Art von Putz.
- Die sich anpassende Ausfachtung ist fugenlos aus einem Stück. Es gibt keinen Verschnitt und keinen Abfall.
- Leichtlehm ist zugleich wärmedämmend, wärmespeichernd und schalldämmend und bietet - für Ein- und Zweifamilienhäuser ausreichend Brandschutz.

- Die Eigenschaften des Leichtlehms lassen sich durch das Stroh-Lehm-Mischungsverhältnis modifizieren. Hierdurch wird eine hohe Anpassungsfähigkeit der Bauteile an die jeweils spezifischen Anforderungen erreicht.
- Wärmedämmender Leichtlehm ($400\text{--}800\text{ kg/m}^3$) ermöglicht bei geringen Waddicken ein behagliches Raumklima mit hohen Oberflächentemperaturen.
- Die Arbeit der Ausfachung ist für jeden leicht erlernbar. Im Gegensatz zu tragenden Lehmbauweisen sind Selbsthilfearbeiten auf Ausfachungen im fertigen Holzskelett beschränkt und ohne Einfluss auf die Standfestigkeit des Gebäudes.
- Mit dem Einsatz von Baumaschinen kann der Zeitaufwand soweit reduziert werden, dass auch bei üblichen Löhnen der Leichtlehm-Bau eine konkurrenzfähige Bauweise sein kann.

Denkbare Restriktionen für das Bauen mit Lehm in der Bundesrepublik sind:

- Nach dem derzeitigen Stand der Lehm-Baupraxis sind - bezogen auf das gesamte Haus - signifikante Kosteneinsparungen noch nicht erkennbar. Dies resultiert insbesondere aus den fehlenden Erfahrungen und Kenntnissen sowie der an der "traditionellen" Bauweise orientierten Maschinen- und Geräteausstattung der Bauunternehmen. Hinzu kommen noch fehlendes Know-how bei Entwurf und Planung.
- Nach [Batelle-Institut, 1985] und [Krusche et.al.; 1982] ist es möglich, durch eine optimierte, teilmechanisierte Technik des Lehm-Baus niedrigere Kubikmeterpreise zu erreichen als beim konventionellen Bau - "vorausgesetzt die Handwerker sind erst einmal eingearbeitet und die Firmen haben Erfahrung angehäuft".
- Der Rohstoff Lehm ist teilweise noch mit einem negativen Image – z.T. als Baumaterial minderer Qualität, geringerer Haltbarkeit o.ä. belastet.
- Die Diskrepanz zwischen den Vorteilen des Lehm-Baus hinsichtlich seiner Eignung für das Bauen mit einem hohen Anteil an Eigenleistung und den gesamtwirtschaftlichen Interessen an der Auslastung der Bauwirtschaft.
- Das Thema der Resistenz gegen Wasser muss durch zusätzliche Maßnahmen (z.B. Bekleidungen) angegangen werden.

Anhang: Sustainable Development Goals - Was sind die SDG?

Sustainable Development Goals - ein gemeinsamer Rahmen für Prioritäten und Bestrebungen für nachhaltige Entwicklung

Die Sustainable Development Goals (SDG) setzen weltweit einheitliche Maßstäbe für Prioritäten und Ziele einer nachhaltigen Entwicklung bis 2030. Sie sollen die globalen Anstrengungen zum Erreichen gemeinsamer Ziele und Unterziele vorantreiben. Die SDG rufen Regierungen, Wirtschaftsunternehmen und die Zivilgesellschaft zum Handeln auf, um im Rahmen der Möglichkeiten unseres Planeten die Armut zu beseitigen und allen Menschen ein würdevolles und chancenreiches Leben zu ermöglichen. Die SDG ermutigen vor allem auch die Unternehmen, Lösungen und Technologien zu entwickeln und umzusetzen, um die weltweit drängendsten Herausforderungen für eine nachhaltige Entwicklung zu adressieren und zu zeigen, wie sie im Rahmen ihrer Tätigkeit die nachhaltige Entwicklung fördern. Dies kann durch die konsequente Minimierung negativer oder die Stärkung positiver Auswirkungen ihres Handelns auf Mensch und Umwelt geschehen.



Sustainable Development Goals (SDG; Ziele für nachhaltige Entwicklung) © www.sdgcompass.org – mit freundlicher Unterstützung von respACT, austrian business council for sustainable development

Die SDG sprechen ein breites Spektrum verwandter Themen innerhalb der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – Wirtschaft, Soziales und Umwelt – an. Es gab in der Geschichte der Vereinten Nationen wohl noch nie einen so inklusiven Prozess wie den zur Erarbeitung der SDG. We rtvoller Input dazu kam von allen Sektoren und aus allen Teilen der Welt. So brachten allein über den UN Global Compact mehr als 1.500 Unternehmen Stellungnahmen und Empfehlungen ein. Die SDG sind sowohl auf Industriestaaten als auch auf Entwicklungsländer anwendbar. Die Regierungen sollten sie in nationale Aktionspläne, Programme und Initiativen übersetzen und dabei die Bedingungen und Möglichkeiten in ihren Ländern berücksichtigen. Obwohl sie sich in erster Linie an Regierungen richten, sind die SDG doch so konzipiert, dass sie unterschiedlichste Organisationen ansprechen. Sie bilden einen gemeinsamen Rahmen für Prioritäten und Bestrebungen für nachhaltige Entwicklung und betonen vor allem die zentrale Rolle, die die Wirtschaft in diesem Zusammenhang spielen kann und muss.

1. Armut in all ihren Formen und überall beenden
2. Den Hunger beenden, Ernährungssicherheit und eine bessere Ernährung erreichen und eine nachhaltige Landwirtschaft fördern
3. Ein gesundes Leben für alle Menschen jeden Alters gewährleisten und ihr Wohlergehen fördern
4. Inklusive, gleichberechtigte und hochwertige Bildung gewährleisten und Möglichkeiten lebenslangen Lernens für alle fördern

5. Geschlechtergleichstellung erreichen und alle Frauen und Mädchen zur Selbstbestimmung befähigen
6. Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle gewährleisten
7. Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie für alle sichern
8. Dauerhaftes, breitenwirksames und nachhaltiges Wirtschaftswachstum, produktive Vollbeschäftigung und menschenwürdige Arbeit für alle fördern
9. Eine widerstandsfähige Infrastruktur aufbauen, breitenwirksame und nachhaltige Industrialisierung fördern und Innovationen unterstützen
10. Ungleichheit in und zwischen Ländern verringern
11. Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig gestalten
12. Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen
13. Umgehend Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen ergreifen
14. Ozeane, Meere und Meeresressourcen im Sinne nachhaltiger Entwicklung erhalten und nachhaltig nutzen
15. Landökosysteme schützen, wiederherstellen und ihre nachhaltige Nutzung fördern, Wälder nachhaltig bewirtschaften, Wüstenbildung bekämpfen, Bodendegradation beenden und umkehren und dem Verlust der biologischen Vielfalt ein Ende setzen
16. Friedliche und inklusive Gesellschaften für eine nachhaltige Entwicklung fördern, allen Menschen Zugang zur Justiz ermöglichen und leistungsfähige, rechenschaftspflichtige und inklusive Institutionen auf allen Ebenen aufbauen
17. Umsetzungsmittel stärken und die globale Partnerschaft für nachhaltige Entwicklung mit neuem Leben erfüllen

Von den SDGs können sie in vielfacher Weise profitieren, weil sie hierdurch:

Zukünftige Geschäftschancen erkennen

Die SDG werden öffentliche und private Investitionen so lenken, dass sie zur Lösung der von ihnen adressierten Probleme beitragen. Dadurch entstehen wachsende Märkte für jene Unternehmen, die innovative Lösungen anbieten und den gewünschten, tiefgreifenden Wandel ermöglichen.

Den Nutzen unternehmerischer Nachhaltigkeit steigern

Obgleich der Business Case für unternehmerische Nachhaltigkeit bereits gut belegt ist, können die SDG darüber hinaus wirtschaftliche Anreize für die Unternehmen schaffen, weil externe Effekte zunehmend internalisiert werden. Ein effizienterer Ressourceneinsatz oder der Umstieg auf nachhaltigere Alternativen zeigt sich somit zunehmend attraktiver.

Stakeholder-Beziehungen stärken und sich rechtzeitig auf zukünftige gesetzliche Anforderungen vorbereiten

Die SDG spiegeln die Interessen der Stakeholder und die Ausrichtung der gesetzlichen Vorgaben auf internationaler, nationaler und regionaler Ebene wider. Unternehmen, die ihre Prioritäten auf die SDG abstimmen, können Kunden, Mitarbeiter und weitere Stakeholder stärker an sich binden. Ohne Anpassung an die SDG sehen sich Unternehmen einem größeren rechtlichen bzw. Reputationsrisiko ausgesetzt.

Gesellschaften und Märkte stabilisieren

In einer instabilen Gesellschaft können Unternehmen nicht erfolgreich sein. Investitionen, die aktiv zu den SDG beitragen, stärken daher auch die Basis wirtschaftlichen Erfolgs. Dazu gehören Märkte mit klaren Regeln und ein transparentes Finanzsystem ebenso wie gut geführte und nicht korruptionsanfällige Regierungen und Institutionen.

Anhang: Der Corona-Effekt - Vier Zukunftsszenarien

Szenario 1: Die totale Isolation: Alle gegen alle

Am Anfang war der Shutdown – und der Shutdown ist zur Normalität geworden.

Es ist normal, beim Betreten der Metro den Chip im Handgelenk zu scannen oder sich vor dem ersten Date gegenseitig die Gesundheitsdaten zu schicken. Es ist normal, bei der Ausreise eine Genehmigung zu brauchen, für Länder außerhalb der EU muss sogar ein langwieriges Visumverfahren durchlaufen werden. Der globale Handel gehört weitgehend der Vergangenheit an, die Handelsabkommen einzelner Staaten untereinander gewährleisten die Grundversorgung.

Willkommen in der **Super-Safe-Society**! Die Gesellschaft definiert sich wieder ganz klar als Nation. Denn Sicherheit kann nur gewährleistet werden, indem die Grenzen der Sicherheitszone klar abgesteckt werden. Sie steht an erster Stelle. Jeder Mensch ist sich selbst der nächste, und der Staat setzt alle verfügbaren Mittel ein, um die Bürgerinnen und Bürger zu beschützen – auch, indem er tiefliegende Ängste schürt oder Lebensmittel künstlich verknappt. Menschen nutzen daher alle möglichen Freiflächen, um Obst und Gemüse anzubauen. Der Schwarzmarkt und der Tauschhandel florieren.

De-Urbanisierung: Das Land gewinnt an Macht. Wer kann, zieht raus aus der Stadt, versorgt sich selbst – und verdient gutes Geld, indem er verarmte Städter mit Lebensmitteln versorgt. Der Trend zum Single-Leben, zu immer kleineren Wohnungen und Co-Living, zur Abhängigkeit von öffentlichen Verkehrsmitteln und globalen Warenströmen hat die Stadtbevölkerung unselbstständig gemacht. Die urbanen Hipster sind zur prekären Klasse geworden.

„**Germophobia**“, die Sehnsucht nach Keimfreiheit, hat das Misstrauen gegenüber Produkten, deren Herkunft nicht klar nachverfolgbar ist, kontinuierlich anwachsen lassen. Obst und Gemüse werden vor dem Verzehr klinisch desinfiziert, an sicheren Verpackungen wird mit Hochdruck geforscht. Aus Angst, dass Keime über die Produkte aus dem Ausland eingeschleppt werden, wurde der Import beschränkt. Es gibt weniger exotische Früchte – aber vieles kann inzwischen auch hierzulande angebaut werden, dem Klimawandel sei Dank. Landwirtschaft und produzierendes Gewerbe haben einen enormen Aufschwung erlebt, Nearshoring wurde in die Tat umgesetzt.

Was mit Empfehlungen begann, Großveranstaltungen über 1.000 Personen abzusagen, hat sich zu einem Verbot von Versammlungen mit über 10 Personen entwickelt, zum Wohle der Menschen. Das öffentliche kulturelle Leben ist daher fast komplett zum Erliegen gekommen. Konzerte oder Sportevents finden noch statt, aber das Publikum sitzt zu Hause und beobachtet das Geschehen von der heimischen Couch – kostenlos, vom Staat gefördert. Einst beliebte **Third Places** wie Cafés werden gemieden, Restaurants sind zu **Ghost Kitchens** geworden, die Kundinnen und Kunden mit Mahlzeiten nach höchsten hygienischen Standards beliefern. Insbesondere für Städter haben sich die sozialen Kontakte in den virtuellen Raum verlagert.

zitiert aus:

Der Corona Effekt - Vier Zukunftsszenarien (White Paper)

Zukunftsinstitut GmbH - Internationale Gesellschaft für Zukunfts- und Trendberatung
Kaiserstr. 53
60329 Frankfurt am Main
presse@zukunftsinstitut.de
veröffentlicht am 15. März 2020

Szenario 2: System-Crash: Permanenter Krisenmodus

Das Virus hat die Welt ins Taumeln gebracht, und sie kommt nicht mehr heraus.

Die Fokussierung auf nationale Interessen hat das Vertrauen in die globale Zusammenarbeit massiv erschüttert, eine Rückkehr zu den gewohnten Routinen ist nicht mehr möglich. Die Sorge vor einer erneuten Pandemie macht jede noch so kleine lokale Verbreitung eines Virus zum Auslöser drastischer Maßnahmen, von Grenzschließungen bis zur Ressourcenverteidigung. Das verlorengegangene Vertrauen in eine solidarische internationale Kooperation verhindert nachhaltig Stabilität. So wackelt sich die Welt nervös in die Zukunft.

Friktionen in der multipolaren Weltordnung sind an der Tagesordnung: Gegenseitige Schuldzuweisungen, aggressive Drohgebärden und nervöses Handeln im Eigeninteresse wechseln mit Bestrebungen zu Offenheit und Kooperation – weil dennoch das Bewusstsein vorhanden ist, dass man aufeinander angewiesen ist. Der Neo-Nationalismus nimmt zu, es herrscht ein dauernder Spannungszustand.

Nearshoring wird mit Blick auf die nationalen Absatzmärkte zu einer auch politisch-ideologischen Prämisse. Zugleich bleibt aber die Abhängigkeit von internationalen Handelsbeziehungen und Warenströmen bestehen. Beide Tendenzen stehen dauerhaft unvermittelt nebeneinander und reiben sich. Auch Globalisierung ist nur noch Ausdruck der Unstimmigkeiten zwischen lokalen und internationalen Märkten, die ohne einander nicht können. Und Global Citys sind mehr denn je die nervösesten Orte der Welt: Hier werden die Spannungen zwischen den regionalen, nationalen und internationalen Finanz-, Dienstleistungs- und Warenströmen unablässig spürbar.

High times for **Big Data**! Je unsicherer die Zeiten, umso mehr Analyse wird verlangt. Das Sammeln und Verarbeiten großer Datenmengen erlebt einen kontinuierlichen Aufschwung. Die Entwicklung von Künstlicher Intelligenz wird forciert, nicht zuletzt für die Simulation von Krisenszenarien und die Steuerung von Krisen. Folglich nimmt auch Cybercrime im staatlichen Auftrag zu – mit dem Ziel, die internationalen Konkurrenten zu schwächen. Nach innen nutzt der Staat Technologie zur Überwachung: Predictive Analytics, die datenbasierte Vorausberechnung menschlichen Verhaltens, wird in einer permanent verunsicherten Gesellschaft immer wichtiger.

Privacy ist dementsprechend stark im Rückzug. Die individuelle Datenfreiheit wird immer stärker eingeschränkt, Datenschutz ist größtenteils abgeschafft, sowohl im internationalen Austausch als auch im Umgang mit der eigenen Bevölkerung. Gesundheitsdaten werden zur Staatsangelegenheit – und die Bevölkerung macht mit, da das Vertrauen in die staatliche Vorsorge und Betreuung schon lange geschwunden ist. Immer mehr bauen Menschen auf gesundheitliche Eigenverantwortung, auf Digital Health, kontinuierliches Self Tracking und die Überwachung ihrer Vitalwerte durch Smart Devices, die persönliche Gesundheitsdaten jederzeit in die staatlichen Datenbanken einspeisen.

zitiert aus:

Der Corona Effekt - Vier Zukunftsszenarien (White Paper)

Zukunftsinstitut GmbH - Internationale Gesellschaft für Zukunfts- und Trendberatung
Kaiserstr. 53
60329 Frankfurt am Main
presse@zukunftsinstitut.de
veröffentlicht am 15. März 2020

Szenario 3: Neo-Tribes: Der Rückzug ins Private

Nach der Coronakrise hat sich die globalisierte Gesellschaft wieder zurück zu stärker lokalen Strukturen entwickelt. Es wird mehr Wert denn je auf regionale Erzeugnisse gelegt, kleine Gemeinschaften entstehen neu und verfestigen sich – immer in vorsichtiger Abgrenzung gegen die anderen. Nachhaltigkeit und Wir-Kultur sind wichtige Werte, die aber nur lokal gedacht werden, nicht global.

Die Menschen vertrauen staatlichen Akteuren und supranationalen Bündnissen nicht mehr – und trauen ihnen auch keine Handlungsmacht mehr zu. Die Abkehr von der globalen Weltgemeinschaft mündet in eine partikularisierte Wir-Kultur und die vermehrte Bildung von **NeoTribes**. Gemeinschaft wird im Kleinen gesucht, denn im Zuge der Coronakrise ist der Trend zur **Post-Individualisierung** für eine breitere Masse attraktiv geworden.

Die Angst vor Ansteckung hat einen **Rückzug ins Private** und die Wiederentdeckung der Häuslichkeit befeuert. Großveranstaltungen gibt es praktisch nicht mehr, dafür wird viel gestreamt, denn via **Virtual Reality** kann man an Mega-Events teilnehmen, ohne dabei das sichere Zuhause verlassen zu müssen. **Nachbarschaftshilfe** wird großgeschrieben, es existieren feste Strukturen, wie man sich im Krisenfall untereinander helfen kann. Vorräte werden geteilt oder getauscht, auf die Alten und Schwachen wird besondere Rücksicht genommen. Auch ziehen Menschen vermehrt aufs Land oder in kleinere Städte – die **Progressive Provinz** hat ihren Peak erreicht.

Statt öffentliche Verkehrsmittel zu nutzen, wird immer mehr auf **Fahrrad oder E-Roller** umgestiegen. Fernreisen haben stark an Attraktivität verloren – im Gegensatz zu umliegenden Regionen oder Nachbarländern. Die massive **De-Touristifikation** führt dazu, dass sich ganze Landschaften und ehemalige Tourismus-Hotspots vom Overtourism erholen. Reisen ist nicht mehr selbstverständlich, sondern wird – wieder – als etwas Besonderes gesehen, auch weil es in Post-Corona-Zeiten eine Menge Vorsichtsmaßnahmen und viel Planung erfordert. Tourismus wird noch mehr zum **Resonanz-Tourismus**.

Der Ausfall globaler Handelsketten und das Misstrauen gegenüber bestimmten Herkunftsländern führen zu einer fundamentalen **Re-Regionalisierung**. Menschen kaufen mehr denn je lokal, die **Sharing Economy** gewinnt in regionalen Netzwerken stark an Auftrieb, traditionelle Handwerkstechniken erleben eine Renaissance. **Urban Farming** und Genossenschaften lösen kapitalistische Konsummuster ab, in regionalen Gemeinschaften erwächst eine **Circular Economy** mit autonomen Ökosystemen. Konzepte wie **Cradle to Cradle** oder **Postwachstum** sind selbstverständlich in den Alltag der Menschen eingebettet – als ebenso gewünschte wie notwendige Praktiken. Die Wirtschaft funktioniert im Regionalen vollkommen autark.

Die Coronakrise hat sich als überraschender Treiber von **New-Work-Trends** hin zu mehr **Flexicurity** erwiesen: Dadurch, dass Flexibilität am Arbeitsplatz aus der Not heraus breitflächig ermöglicht wurde, haben sich Arbeitskulturen dauerhaft verändert. **Home Office** ist nun essenzieller Bestandteil jeder Unternehmenskultur, internationale Unternehmen vereinbaren Meetings in VR-Konferenzen, Verträge werden via **Blockchain** geschlossen. Digital-Health-Anwendungen errechnen schon im Vorhinein das mögliche Risiko persönlicher Geschäftsmeetings – von denen aber ohnehin meist abgeraten wird.

zitiert aus:

Der Corona Effekt - Vier Zukunftsszenarien (White Paper)

Zukunftsinstitut GmbH - Internationale Gesellschaft für Zukunfts- und Trendberatung

Kaiserstr. 53

60329 Frankfurt am Main

presse@zukunftsinstitut.de

veröffentlicht am 15. März 2020

Szenario 4: Adaption: Die resiliente Gesellschaft

Die Weltgesellschaft lernt aus der Krise und entwickelt resiliente, adaptive Systeme. Gesellschaftliche Tiefenströmungen in Richtung Postwachstum, WirKultur, Glokalisierung und Post-Individualisierung, die bereits vor der Krise existierten, werden durch die kollektive Corona-Erfahrung von der Nische in den Mainstream katapultiert.

Das Coronavirus hat eine **Selbstreinigung der Märkte** angestoßen: eine kollektive Reflexion der Herkunft unserer Güter, die zu **neuen Konsummustern** angeregt hat. Der Ausfall globaler Produktions- und Handlungsketten hat zu einer Wiederentdeckung heimischer Alternativen geführt. Der stationäre Handel, **regionale Produkte** und Lieferketten haben einen Aufschwung erlebt. So ist nicht nur eine sinnvolle Balance zwischen online und offline entstanden, sondern vor allem ein kluger Umgang mit globalisierten Handelsketten, ein **Gleichgewicht von lokalem und globalem Handel** und eine Blüte der DirectTrade-Plattformen. Seitdem boomen Wochenmärkte, regionale Erzeuger und lokale Online-Shops. Die Monopolstellung von Online-Händlern wie Amazon und Alibaba hat sich zugunsten mehrerer kleinerer Player aufgelöst, die weniger abhängig von globalen Produktionsketten und schneller lokal verfügbar sind. Die Gesellschaft bewegt sich weg von Massenkonsum und Wegwerf-Mentalität, hin zu einem **gesünderen Wirtschaftssystem**.

Corona hat die Vision eines neuen **holistischen Gesundheitsverständnisses** wahr werden lassen: Gesundheit wird nicht länger als etwas gesehen, das nur den individuellen Körper und das eigene Verhalten betrifft. Vielmehr wird Gesundheit ganzheitlicher betrachtet: Umwelt, Stadt, Politik, Weltgemeinschaft – all das sind wichtige Faktoren für die menschliche **Gesundheit**. **Weltgesundheit und individuelle Gesundheit** werden zusammengedacht. Dieses neue Mindset krempelt das gesamte Gesundheitssystem um: Regierungen, Stadtplanung und Unternehmen kooperieren, um **gesunde Umwelten für alle** zu schaffen. Die Nutzung von DigitalHealth-Apps ist in diesem Zusammenhang selbstverständlich geworden, um Gesundheitsdaten in Echtzeit anonymisiert zu teilen. Dank **Predictive Health** können so genaue Vorhersagen, etwa über die Wahrscheinlichkeiten einer Epidemie, getroffen werden. Allen ist klar: Die individuelle Gesundheit kann nicht mehr entkoppelt von Umwelt und Gesellschaft gesehen werden.

Globale Risiken erfordern überstaatliche Akteure, die global vernetzt agieren können. So hat die Coronakrise politische Handlungsmacht neu gewichtet. Während Nationalstaaten an Relevanz verloren haben, werden **Städte und supranationale Instanzen** immer wichtiger – eine Re-Organisation im Sinne der **Globalisierung**: Die lokale Ebene (Städte, Gemeinden, Bürgermeisterinnen etc.) verknüpft sich direkt mit globalen Organisationen. So können lokale Probleme schnell und kreativ gelöst und auch globale Risiken schneller erkannt und kooperativ angegangen werden. Insgesamt nimmt die Menschheit sich seit der Pandemie stärker als **globale Gemeinschaft** wahr, die Herausforderungen gemeinsam lösen muss. Denn weder eine Epidemie noch die Klimakrise macht vor Nationalgrenzen halt. Es ist eine **globale Identität** entstanden, getragen von einem fundamentalen Wertewandel: **Solidarisierung und Wir-Kultur** nicht nur mit den Nächsten, sondern auch auf internationaler und globaler Ebene.

Die Coronakrise hat zu konkreten Learnings im **supranationalen Umgang mit Big Data**, Predictive Analytics und Frühwarnsystemen geführt. **Künstliche Intelligenz** wird nun konstruktiver eingesetzt: nicht nur, um frühzeitig Epidemien einzudämmen, sondern zur Minimierung aller möglichen Risiken, die sich nicht um Landesgrenzen scheren. Jeder Mensch ist mit **HealthTracking-Devices** ausgestattet, denn durch den globalen Austausch aktueller Gesundheitsdaten können Risiken frühzeitig erkannt werden. Das kontinuierliche Voneinander-Lernen in einer Vielzahl funktionierender Netzwerke schafft eine globale **Resilienz**. Dieser neue Spirit prägt auch die Medienlandschaft: Konstruktiver Journalismus stellt Lösungsansätze in den Mittelpunkt, statt Alarmismus und Fake News zu verbreiten. Auch das trägt dazu bei, eine **resiliente und adaptive Gesellschaft** zu erhalten, die weiß, wie sie produktiv mit Krisen umgehen kann.

zitiert aus: Der Corona Effekt - Vier Zukunftsszenarien (White Paper)

Anhang: Fünf robuste Megatrends - Die Brücken in die Zukunft

Megatrend Gesundheit

Gesundheit ist das Synonym für ein gutes Leben. Als zentrales Lebensziel hat sich der Megatrend tief in das Bewusstsein, die Kultur und das Selbstverständnis von Gesellschaften eingeschrieben und prägt sämtliche Lebensbereiche. Gesundheit und Zufriedenheit sind dabei kaum noch voneinander zu trennen. Mit selbstständig erworbenem Wissen treten Menschen dem Gesundheitssystem auf Augenhöhe gegenüber und stellen neue Erwartungen an Unternehmen und Infrastrukturen: Gesundheitsbewusste Menschen wollen sich in gesundheitsfördernden Lebenswelten bewegen und fordern dies als neuen Normalzustand ein [Gatterer, 2020].

Megatrend Globalisierung

Handelskriege, diplomatische Krisen, Cyber-Angriffe, internationale Konzernmächte – die Globalisierung wird heute allzu oft als Problem wahrgenommen. Doch die Herausforderungen, die mit einer immer komplexeren, weil zunehmend vernetzten Welt verbunden sind, dürfen nicht den Blick auf die positiven Effekte verstellen, die die Globalisierung bewirkt. Denn während die Politik noch versucht, globale Prozesse mit alten nationalstaatlichen Mechanismen zu regulieren, ist die Weltgesellschaft längst auf dem Weg in die Zukunft des 21. Jahrhunderts. Viele aktuelle Trends von der Postwachstumsökonomie über Direct Trade bis hin zum Aufstieg der Generation Global verstärken die globale Dynamik, die das internationale System in den kommenden Jahren weiter in eine progressive Richtung bewegt [Gatterer, 2020].

Megatrend Individualisierung

Individualisierung ist das zentrale Kulturprinzip der westlichen Welt und entfaltet seine Wirkungsmacht zunehmend global. Der komplexe Megatrend hat in vielen Wohlstandsnationen seinen vorläufigen Peak erreicht und ist Basis unserer Gesellschaftsstrukturen geworden. Der Megatrend codiert die Gesellschaft um: Er berührt Wertesysteme, Konsummuster und Alltagskultur gleichermaßen. Im Kern bedeutet Individualisierung die Freiheit der Wahl. Ihre Auswirkungen sind jedoch komplex und bringen sowohl scheinbare Gegentrends wie eine Wir-Kultur als auch neue Zwänge hervor. Individualisierung ist eng mit den Megatrends Urbanisierung, Gender Shift und Konnektivität verwoben [Gatterer, 2020].

Megatrend Konnektivität

Konnektivität ist der wirkungsmächtigste Megatrend unserer Zeit. Das Prinzip der Vernetzung dominiert den gesellschaftlichen Wandel und eröffnet ein neues Kapitel in der Evolution der Gesellschaft. Digitale Kommunikationstechnologien verändern unser Leben grundlegend, reprogrammieren soziokulturelle Codes und lassen neue Lebensstile und Verhaltensmuster entstehen. Um diesen fundamentalen Umbruch erfolgreich zu begleiten, brauchen Unternehmen und Individuen neue Netzwerkkompetenzen und ein ganzheitlich-systemisches Verständnis des digitalen Wandels [Gatterer, 2020].

Megatrend Sicherheit

Die Gesellschaft befindet sich im Daueralarm – eine Krise jagt die nächste: Von einem bevorstehenden globalen Handelskrieg, über die Roboter, die uns unsere Arbeit wegnehmen, bis hin zur EU-Flüchtlingskrise. Alles wird immer schlimmer und wir stehen kurz vor dem Kollaps. Doch das ist ein Trugschluss: Während unsere Wahrnehmung uns in die Verunsicherung stürzt, wird die Welt nicht immer unsicherer – ganz im Gegenteil: Wir leben in den sichersten aller Zeiten. Zugleich strebten wir aber noch nie so sehr nach Sicherheit wie heute [Gatterer, 2020].

Drei treibende Megatrends: Die Change-Motoren der Zukunft

Megatrend New Work

Die Digitalisierung wirft den Menschen auf sein Menschsein zurück – vor allem im Arbeitsleben. Wenn Maschinen künftig bestimmte Arbeiten besser verrichten können als der Mensch, beginnen wir, über den Sinn der Arbeit nachzudenken. Wenn die Arbeit uns nicht mehr braucht, wofür brauchen wir dann die Arbeit? New Work beschreibt einen epochalen Umbruch, der mit der Sinnfrage beginnt und die Arbeitswelt von Grund auf umformt. Das Zeitalter der Kreativökonomie ist angebrochen – und es gilt Abschied zu nehmen von der rationalen Leistungsgesellschaft. New Work stellt die Potenzialentfaltung eines jeden einzelnen Menschen in den Mittelpunkt. Denn Arbeit steht im Dienst des Menschen: Wir arbeiten nicht mehr, um zu leben, und wir leben nicht mehr, um zu arbeiten. In Zukunft geht es um die gelungene Symbiose von Leben und Arbeiten [Gatterer, 2020].

Megatrend Pro-Aging

Nicht Technologien, sondern vor allem die Alterung unserer Gesellschaft liefert die Chance auf eine neue Vitalität für Unternehmen. Paradox? Erst durch die neuen Free-Ager, oder anders: mit der Weisheit der Alten – können wir komplexe Herausforderungen und Krisen des 21. Jahrhunderts bewältigen. Nur die Kraft der Jugend reicht nicht aus. Das Pro-Aging wird also zum notwendigen Imperativ einer kommenden Gesellschaft und ihrer Unternehmen [Gatterer, 2020].

Megatrend Silver Society

Der Megatrend Silver Society entfaltet weltweit seine Wirkung. Rund um den Globus wird die Bevölkerung älter und die Zahl Älterer steigt. Gleichzeitig bleiben die Menschen länger gesund. Damit entsteht eine völlig neue Lebensphase nach dem bisher üblichen Renteneintritt. Dieser Lebensabschnitt verlängert sich und bietet Raum für Selbstentfaltung in neuen Lebensstilen im hohen Alter. Ein neues Mindset bereitet den Weg für eine Gesellschaft, die gerade durch die veränderte Altersstruktur vitaler wird denn je. Sie verabschiedet sich vom Jugendwahn, deutet Alter und Altern grundlegend um [Gatterer, 2020].

Vier ambivalente Megatrends: Die Sprungbretter zur Innovation

Megatrend Gender Shift

Innovation schlägt Tradition, das Geschlecht verliert das Schicksalhafte, die Zielgruppe an Verbindlichkeit. Noch nie hat die Tatsache, ob jemand als Mann oder Frau geboren wird und aufwächst, weniger darüber ausgesagt, wie Biografien verlaufen werden. Der Trend veränderter Rollenmuster und aufbrechender Geschlechterstereotype sorgt für einen radikalen Wandel in Wirtschaft und Gesellschaft. Das starke Ich schlägt das alte Frau/ Mann-Schema und schafft eine neue Kultur des Pluralismus [Gatterer, 2020].

Megatrend Neo-Ökologie

Bio-Märkte, EU-Plastikverordnung, Energiewende – der Megatrend Neo-Ökologie reicht in jeden Bereich unseres Alltags hinein. Ob persönliche Kaufentscheidungen, gesellschaftliche Werte oder Unternehmensstrategie – selbst wenn nicht immer auf den ersten Blick erkennbar, entwickelt er sich nicht zuletzt aufgrund technologischer Innovationen mehr und mehr zu einem der wirkmächtigsten Treiber unserer Zeit. Der Megatrend sorgt nicht nur für eine Neuausrichtung der Werte der globalen Gesellschaft, der Kultur und der Politik. Er verändert unternehmerisches Denken und Handeln in seinen elementaren Grundfesten [Gatterer, 2020].

Megatrend Urbanisierung

Städte sind die Staaten von morgen. Immer mehr Menschen leben weltweit in Städten und machen sie zu den mächtigsten Akteuren und wichtigsten Problemlösern einer globalisierten Welt. Doch Städte sind mehr als Orte, Urbanisierung beinhaltet mehr als den Wandel von (Lebens-)Räumen. Durch neue Formen der Vernetzung und Mobilität wird Urbanität vor allem zu einer neuen Lebens- und Denkweise [Gatterer, 2020].

Megatrend Wissenskultur

Der Megatrend Wissenskultur wirkt ungebrochen. Insbesondere das Zusammenspiel mit dem Megatrend Konnektivität verändert unser Wissen über die Welt und die Art und Weise, wie wir mit Informationen umgehen. In dezentralen Strukturen werden enorme Mengen an Wissen generiert, es entstehen neue Formen der Innovation und des gemeinsamen Forschens. Wissen verliert seinen elitären Charakter und wird zunehmend zum Gemeingut, der globale Bildungsstand ist heute so hoch wie nie. Komplexere, unvorhersehbare Anforderungen auf dem Arbeitsmarkt und neue, kollaborative Formen der Wissensaneignung verlagern zudem den Fokus: hin zum lebenslangen Lernen, zur Vermittlung von Methoden – und zu den Soft Skills [Gatterer, 2020].

Anhang: Leitsätze der Kreislaufwirtschaft - Überblick

Begriffseinordnung (1)

Die Kreislaufwirtschaft ist Teil einer ressourceneffizienten, nachhaltigen Lebens- und Wirtschaftsweise, welche die Umsetzung der Agenda 2030 für eine nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen fördert und planetare Grenzen respektiert [UBA, 2020a].

Geltungsbereich (2)

Die Kreislaufwirtschaft bezieht über die klassische Abfallwirtschaft hinaus alle Phasen von Material- und Produktlebenszyklen in die Betrachtung ein. Sie muss global, inklusive der grenzüberschreitenden Rohstoff-, Waren- und Abfallströme und damit verbundener ökologischer und sozialer Auswirkungen sowie in langfristiger zeitlicher Perspektive der Güterbestände und daraus hervorgehender Materialflüsse betrachtet werden [UBA, 2020a].

Ziele (3)

Die Kreislaufwirtschaft dient der Schonung natürlicher Ressourcen einschließlich des Klimaschutzes, dem Schutz der Umwelt und der menschlichen Gesundheit unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips. Darüber hinaus zielt sie auf die Rohstoffsicherung ab. Die Kreislaufwirtschaft soll zur Reduzierung der lebenszyklusweiten negativen Auswirkungen sowohl von Materialien und Produkten – durch Einsparung von Primärmaterialien und deren Substitution mit Sekundärmaterialien – als auch der Abfallerzeugung und Abfallbewirtschaftung beitragen [UBA, 2020a].

Aufwandsmaßstab (4)

Der Aufwand für Maßnahmen in einer Kreislaufwirtschaft soll sich am Aufwand der Primärrohstoffwirtschaft mit den dabei auftretenden Umweltwirkungen inklusive der externen sozialen und ökologischen Belastung bemessen, um die gleichen Materialien oder Materialien und Güter gleichen Nutzens bereitzustellen [UBA, 2020a].

Materialkreisläufe (5)

Kreislaufwirtschaft zielt auf eine Bewirtschaftung von Materialien in möglichst gleich- oder höherwertigen Kreisläufen ab, wodurch Primärmaterialien durch Sekundärmaterialien geeigneter Qualität substituiert und eingespart werden. Gleichwohl sind auch Kaskadennutzungen und endgültige Beseitigungen im Hinblick auf die Ziele (3) und die Aufwandsmaßstäbe (4) erforderlich [UBA, 2020a].

Vermeidung (6)

Die Vermeidung von Abfällen und Reststoffen ist der Kreislaufführung grundsätzlich vorzuziehen, da letztere immer verlustbehaftet und mit Energieaufwendungen verbunden ist. Vermeidungsmaßnahmen bemessen sich an dem Beitrag zur Zielerreichung (3) und den Aufwandsmaßstäben (4) [UBA, 2020a].

Design (7)

Design für eine Kreislaufwirtschaft bedeutet, den funktionalen und wirtschaftlichen Wert von Produkten, ihren Komponenten und Materialien so lange wie möglich zu erhalten, um auf diese Weise negative Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu minimieren. Dabei sollen die Designansätze die Neuordnung der Produktions- und Konsumformen in der Gesellschaft unterstützen. Die Optimierung

des Designs bemisst sich an dem Beitrag zur Zielerreichung (3) und den Aufwandsmaßstäben (4) [UBA, 2020a].

Schadstoffe (8)

Das Inverkehrbringen von Produkten mit Stoffen, von denen Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit speziell für die menschliche Gesundheit sowie die Umwelt ausgehen, ist zu vermeiden. Sofern derartige Stoffe nicht substituierbar, bereits enthalten sind oder sich erst im Nachhinein als solche herausstellen, so sind sie zu zerstören oder durch Ablagerung in sichere Senken auszuscheiden oder unter Abwägung der Ziele (3) und Aufwandsmaßstäbe (4) in sicheren Kreisläufen zu führen, wobei eine Schadstoffanreicherung zu verhindern ist [UBA, 2020a].

Verantwortung (9)

In einer Kreislaufwirtschaft tragen alle Akteure innerhalb von Produktlebenszyklen und entlang von Materialwertschöpfungsketten eine Verantwortung für das Erreichen der Ziele der Kreislaufwirtschaft. Die Übernahme der Verantwortung muss rechtlich sichergestellt werden, sofern diese anderenfalls nicht hinreichend wahrgenommen wird [UBA, 2020a].