



Ökologische und ökonomische Bewertung des Ressourcenaufwands

Einsatz von Trockenbauelementen



© PantherMedia / olenka-2008



© PantherMedia / alexkorai

Studie: Ökologische und ökonomische Bewertung des Ressourcenaufwands –
Einsatz von Trockenbauelementen

2., aktualisierte Auflage, November 2025
Die erste Auflage ist im Januar 2025 erschienen.

Autorinnen und Autoren:

Christian Dierks, ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
Nadine Muchow, ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
Dr. Felix Mayer, Öko-Institut e.V.
Julia Schütz, Öko-Institut e.V.
Martin Gsell, Öko-Institut e.V.

Fachliche Ansprechpartnerin:

Dr.-Ing. Ulrike Lange, VDI Zentrum Ressourceneffizienz

Wir danken Franziska Pichlmeier, Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Hochschule München, Fakultät für Architektur, Fachgebiet Baukonstruktion und Bauklimatik, für Ihre fachliche Unterstützung.

Die Studie wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz,
nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz erstellt.

Redaktion:

VDI Technologiezentrum GmbH
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

Tel. +49 30-27 59 506-505
zre-info@vdi.de
www.ressource-deutschland.de

Titelbilder: © PantherMedia / olenka-2008 (links); PantherMedia / alexkoral (rechts)

Gedruckt auf umweltfreundlichem Recyclingpapier.

VDI ZRE Publikationen: Studien

**Ökologische und ökonomische Bewertung
des Ressourcenaufwandes**

Einsatz von Trockenbauelementen

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
TABELLENVERZEICHNIS	7
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	8
KURZFASSUNG	10
1 EINLEITUNG	14
2 GIPS ALS ROHSTOFF IN DER BAUWIRTSCHAFT	17
2.1 Bedeutung von Gips im Trockenbaubereich	17
2.2 Rohstoffquellen und Senken von Gips	18
3 ALTERNATIVE TROCKENBAUELEMENTE	25
3.1 Vergleichende Übersicht	25
3.2 Technische Eigenschaften	30
3.3 Bewertung der Trockenbauelemente anhand ausgewählter Indikatoren	34
4 METHODISCHE GRUNDLAGEN	38
4.1 Ökologische Bewertung	38
4.2 Versorgungsrisiko	39
4.3 Ökonomische Bewertung	40
5 UNTERSUCHUNGSRAHMEN	41
5.1 Funktionelle Einheit	41
5.2 Systemgrenzen und Allokationsverfahren	45
5.3 Datenquellen und Abschneidekriterien	48
5.4 Betrachtete Wirkungskategorien	50

6	SACHBILANZ	51
6.1	Lebensweg von Gipskartonplatten	51
6.2	Lebensweg von Lehmplatten	55
7	ERGEBNISSE	59
7.1	Ökologische Bewertung	59
7.1.1	Erderwärmungspotenzial (GWP)	59
7.1.2	Kumulierter Energieaufwand (KEA)	61
7.1.3	Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA)	64
7.1.4	Wassernutzung	66
7.1.5	Flächeninanspruchnahme	67
7.1.6	Sensitivitätsanalysen	68
7.2	Versorgungsrisiko	76
7.3	Ökonomische Analyse	78
7.3.1	Kostenvergleichsrahmen	78
7.3.2	Datensammlung und -aufbereitung	80
7.3.3	Ergebnisse	81
7.3.4	Fazit	81
7.4	Beurteilung der Ergebnisse	82
8	SCHLUSSFOLGERUNGEN	86
	LITERATURVERZEICHNIS	90
	ANHANG	99

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Menge der zum Absatz bestimmten Produktion von Gipsplatten zwischen den Jahren 2011 und 2022	18
Abbildung 2: Sankey-Diagramm zu den Rohstoffquellen und Produkten von Gips im Jahr 2019	19
Abbildung 3: Abbaustätten für Gips und Anhydrit in Deutschland © Jentsch / Scheffler / Birth (2021)	21
Abbildung 4: Prinzipskizze der Rauchgasentschwefelung CC BY-SA 1.0 Wikimedia Commons	22
Abbildung 5: Vereinfachte schematische Darstellung des Systemmodells auf Basis von VDI 4800	47
Abbildung 6: Prozesskette und Systemgrenzen zu Gipskartonplatten	55
Abbildung 7: Prozesskette und Systemgrenzen zu Lehmplatten	58
Abbildung 8: Ergebnisse für das Erderwärmungspotenzial (GWP)	60
Abbildung 9: Ergebnisse für den kumulierten Energieaufwand (gesamt)	62
Abbildung 10: Ergebnisse für den kumulierten Energieaufwand (nicht erneuerbar)	63
Abbildung 11: Ergebnisse für den kumulierten Rohstoffaufwand	65
Abbildung 12: Ergebnisse für die Wassernutzung	66
Abbildung 13: Ergebnisse für die Landnutzung	68
Abbildung 14: Beiträge der einzelnen Positionen zu den Umweltwirkungen der Lehmplatte	69
Abbildung 15: Beiträge der einzelnen Positionen zu den Umweltwirkungen der Gips-kartonplatte ohne Recyclinganteil (RC-0) und mit 40 % Recyclinganteil (RC-40)	71

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 16: Sensitivitätsanalyse zu Transportdistanzen der Gipskartonplatten	73
Abbildung 17: Sensitivitätsanalyse zur solaren Trocknung	74
Abbildung 18: Sensitivitätsanalyse zum Einsatz erneuerbarer Energie (50 % Wind, 50 % Photovoltaik) bei der Herstellung von Trockenbauelementen	76
Abbildung 19: Untersuchungsebenen und -phasen der ökonomischen Bewertung	79

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Steckbriefe der drei Trockenbauelemente bezüglich Ökologie, Versorgungsrisiko und Ökonomie pro Quadratmeter verkleidete Wandfläche	12
Tabelle 2:	Technische Eigenschaften ausgewählter Trockenbauplatten	32
Tabelle 3:	Anwendungsmöglichkeiten ausgewählter Trockenbauplatten	33
Tabelle 4:	Bewertung von Trockenbauelementen anhand ausgewählter Indikatoren	36
Tabelle 5:	Module nach DIN EN 15804 und Beschreibung	48
Tabelle 6:	Versorgungsrisiko der Rohstoffe Gips, Lehm und Erdgas nach VDI 4800 Blatt 2	77
Tabelle 7:	Kostengrößen und -verhältnisse der Trockenbauvarianten	81
Tabelle 8:	Sachbilanzdaten zur Abbildung des Lebenszyklus einer GKP ohne Recyclinganteil bezogen auf 1 m ² Beplankung	100
Tabelle 9:	Sachbilanzdaten zur Abbildung des Lebenszyklus einer GKP mit 40 Massen-% Recyclinganteil im Gips bezogen auf 1 m ² Beplankung	105
Tabelle 10:	Sachbilanzdaten zur Abbildung des Lebenszyklus einer Lehmplatte bezogen auf 1 m ² Beplankung	112

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

a	Jahr
CO_{2e}	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
EoL	End of Life ((Produkt-)Lebensende)
FE	Funktionelle Einheit
GFP	Gipsfaserplatte
GKP	Gipskartonplatte
GWP	Global Warming Potential (Erderwärmungspotenzial)
HWL	Holzwohle-Leichtbauplatte
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KRA	Kumulierter Rohstoffaufwand
LCA	Life Cycle Assessment (Ökobilanz)
MDF	mitteldichte Holzfaserplatte
MJ	Megajoule
OSB	Oriented Strand Board (Grobspanplatte)
REA-Gips	Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen
RC-Gips	Recycling-Gips
t	Tonne(n)

TCO	Total Cost of Ownership (Vollkosten)
THG	Treibhausgas
UPD	Umweltproduktdeklaration
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
VDI TZ	VDI Technologiezentrum GmbH
VDI ZRE	VDI Zentrum Ressourceneffizienz

KURZFASSUNG

In Deutschland werden jährlich 250 Mio. m² Gipsplatten abgesetzt. Damit qualifizieren sich Gipsplatten, insbesondere in der Ausführung als Gipskartonplatten (GKP), als dominanter Plattentyp im Trockenbau. In der jüngeren Vergangenheit wird dem Rohstoff Gips innerhalb Deutschlands jedoch ein perspektivisches Versorgungsrisiko aufgezeigt, denn mit dem Ausstieg aus der Kohleverstromung bis zum Jahr 2038 entfällt auch der Synthesegips aus den Rauchgasentschwefelungsanlagen (REA-Gips). Die Kompensation über einen zusätzlichen Abbau der Naturgipsreserven wird aus naturschutzfachlicher Sicht kritisch bewertet. Der Gipsabbau geht mit Eingriffen in Karstlandschaften einher, die sich durch eine besonders hohe Artenvielfalt auszeichnen.

Mit jeweils knapp 50 % bzw. knapp 5 Mio. t Jahresproduktion sind REA-Gips und Naturgips derzeit die primären Rohstoffquellen der Gipsindustrie. Obwohl auch das Recycling von GKP mittlerweile technisch ausgereift und wirtschaftlich konkurrenzfähig ist, fließen über diesen Weg derzeit nur rund 100.000 t Recyclinggips (aus Post-Consumer-Abfälle) zurück in die Gipsindustrie. Vor diesem Hintergrund lohnt es sich, den Blick auf Alternativen für GKP im Trockenbau zu werfen.

In dieser Studie wird ein Vergleich zwischen GKP ohne und mit Rezyklatanteil und einem alternativen Trockenbauelement für einen spezifischen Anwendungsfall gezogen. Bei diesem Vergleich werden zunächst die technischen und physikalischen Eigenschaften verschiedener Trockenbauelemente gegenübergestellt. Ein alternatives Trockenbauelement, die Lehmplatte, ähnelt den technischen und physikalischen Eigenschaften der GKP so, dass ein tiefergehender Vergleich durchgeführt wurde. Die Vergleichbarkeit für das betrachtete Szenario ist hinsichtlich der Lebensdauer, des Schallschutzes, des Brandschutzes und Anwendungsbereichs grundsätzlich gegeben. Aspekten wie etwa dem Raumklima konnte keine Rechnung getragen werden. Der Vergleich bezieht sich auf die Verkleidung von einem Quadratmeter Innenwandfläche. Bezugsbasis des Vergleichs und

damit funktionelle Einheit (FE) der Bilanzierung ist die Verkleidung von 1 m² Innenwandfläche im Trockenbau.

Für die GKP und die Lehmplatte, bestehend aus 80 % Primär- und 20 % Sekundärgrubenlehm, wurden die ökonomischen Kosten und die ökologischen Wirkungen für den spezifischen Anwendungsfall quantifiziert sowie für die Produktion relevante Rohstoffe mit hohem Versorgungsrisiko identifiziert. Hinsichtlich der ökologischen Wirkungen wurden neben dem Erderwärmungspotenzial (GWP) auch Ressourcenverbräuche in Form von Wasser- und Landnutzung sowie die kumulierten Energie- (KEA) und Ressourcenaufwände (KRA) bewertet. Anschließend wurden die Trockenbauplatten einander, bezogen auf die genannten Parameter, gegenübergestellt. Die GKP wurde hierfür mit einem Recyclinggipsanteil von 40 % (derzeit technische Obergrenze)¹ und ohne Recyclinganteil betrachtet.

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der ökologischen und ökonomischen Bewertung sowie des Versorgungsrisikos für eine Lehmbauplatte und GKP mit 0 % bzw. 40 % Recyclinganteil dargestellt.

Die Ergebnisse unterscheiden sich zwischen den Wirkungskategorien. Die Lehmplatte hat geringere Umweltwirkungen bezüglich der Indikatoren GWP, des nicht erneuerbaren kumulierten Energieaufwands (KEA_{nicht erneuerbar}) und der Wassernutzung. Die GKP sind hingegen bei den Indikatoren gesamter kumulierter Energieaufwand (KEA_{gesamt}), gesamter kumulierter Rohstoffaufwand (KRA_{gesamt}) und Landnutzung im Vorteil. Interessanterweise schneidet die GKP ohne Recyclinganteil in fast allen Wirkungskategorien marginal besser ab als die GKP mit Recyclinggipsanteil, welche nur hinsichtlich des KRA vorteilhaft ist. Das ist darin begründet, dass die Aufbereitung des Recyclinggipses mit zusätzlichen Aufwendungen verbunden ist, z. B. auch durch zusätzliche Transportwege. Außerdem geht REA-Gips – als Nebenprodukt der Energiegewinnung – in dem in dieser Studie

¹ Hinweis: Der Recyclinganteil von 40 % stellt die technische Obergrenze dar. In der Praxis liegt der Anteil im einstelligen Prozentbereich.

gewählten Modellierungsansatz aktuell lastfrei (bis zur Erfassung als Nebenprodukt) in die Ökobilanzierung ein.

Tabelle 1: Steckbriefe der drei Trockenbauelemente bezüglich Ökologie, Versorgungsrisiko und Ökonomie pro Quadratmeter verkleidete Wandfläche

Parameter	Lehmplatte	GKP 40 % RC-Gips	GKP Primärgips
Ökologie			
GWP [kg CO ₂ e/FE]	5,3	6,9	6,5
KEA _{gesamt} [MJ/FE]	128	104	98
KEA _{nicht erneuerbar} [MJ/FE]	70	83	77
KRA _{gesamt} [kg/FE]	29	10	12
Wassernutzung [m ³ /FE]	532	902	854
Landnutzung [Punkte/FE]	235	92	88
Versorgungsrisiko			
Versorgungskritische Rohstoffe	Erdgas	Gips, Erdgas	Gips, Erdgas
Ökonomie			
Gesamtkosten [€/m ²]	35 – 50	*	17 – 40
Materialkostenanteil [%]	50 – 80	*	40 – 50

Grün = bester Wert; orange = schlechtester Wert; *am Markt nicht verfügbar

Die Transportdistanzen, der Energiebedarf aus Erdgas für die Trocknung der Lehmplatten und der Energiemix im Allgemeinen wurden bezogen auf das GWP als potenzielle signifikante Parameter identifiziert, weshalb diesbezüglich Sensitivitätsanalysen durchgeführt wurden.

Hinsichtlich der Transportdistanzen und Energiebereitstellung für die Trocknung der Lehmplatten sind die Ergebnisse robust. Längere Transportdistanzen sind vor allem für GKP denkbar, falls diese aus dem Ausland

importiert werden müssten. Für Lehmplatten wird dies als eher unwahrscheinlich eingeschätzt. Bei längeren Transportdistanzen der GKP fallen die Ergebnisse bezüglich des GWP zugunsten der Lehmplatten aus. Durch das Ersetzen der Wärmebereitstellung aus Erdgas durch z. B. Solartrocknung der Lehmplatten ließen sich die Emissionen der Lehmplatten deutlich auf ca. 3,5 kg CO₂e pro FE senken. Auch hier fielen die Ergebnisse hinsichtlich des GWP noch stärker zum Vorteil der Lehmplatte aus.

Eine Umstellung des gesamten Strom- und Wärmeenergiebedarfs auf Strom aus erneuerbaren Quellen für die Herstellung der GKP und der Lehmplatte würde die Emissionen für alle betrachteten Platten deutlich senken. Durch die deutlichere Reduzierung des GWPs der GKP weisen diese in dieser Sensitivität ein um ca. 0,5 bis 1 kg CO₂e pro FE geringeres GWP als die Lehmplatte auf.

Bei Lehmplatten kann auf versorgungskritische Rohstoffe verzichtet werden, sofern Erdgas als Energieträger für die Wärmebereitstellung vermieden wird – z. B. durch Solartrocknung. Gipsprodukte sind hingegen perspektivisch mit einem Versorgungsrisiko behaftet (insbesondere aufgrund des Wegfalls von REA-Gips). Lehmplatten sind allerdings wegen der derzeit hohen Materialkosten im Vergleich zu GKP bis zu doppelt so teuer.

Trotz der aktuell höheren Kosten für Lehmplatten und ihrer schlechteren Werte in einigen Wirkungskategorien ist es empfehlenswert, diese bei der Auswahl der Trockenbauelemente zur Beplankung von Wandflächen entsprechend des betrachteten Szenarios zu berücksichtigen. Diese Einschätzung liegt – ungeachtet des positiven Effekts auf das Raumklima – im geringeren GWP und geringeren Bedarf an fossiler Energie der Lehmplatten sowie in dem perspektivischen Versorgungsrisiko für Gips begründet. Aufgrund einer geringeren Verfügbarkeit von Gips und der dadurch bedingt längeren Transportwege könnten die Ergebnisse in Zukunft stärker zugunsten der Lehmplatten ausfallen.

1 EINLEITUNG

Der Begriff Trockenbau leitet sich davon ab, dass weitgehend auf wasserhaltige Baustoffe, wie z. B. Beton oder Putz, verzichtet werden kann und stattdessen trockene Bauelemente z. B. als Wand- und Deckenverkleidung für Einbauten oder Bodensysteme verwendet werden. Die daraus errichteten Trockenbauteile sind nicht tragende Bauteile in Leichtbauweise, die vor allem für den Innenausbau, z. B. zur Raumtrennung, eingesetzt werden. Dafür werden häufig plattenförmige Elemente verschraubt, vernagelt, gesteckt oder verklebt.

Gips, insbesondere in der Ausführung als Gipskartonplatte (GKP), ist ein führendes Baumaterial im Trockenbau in Deutschland. Der Werkstoff ist in Deutschland allerdings von einer drohenden Verknappung betroffen. Das liegt insbesondere an dem perspektivischen Wegfall des Gipses, der aus Rauchgasentschwefelungsanlagen von Kohlekraftwerken (sog. REA-Gips) gewonnen wird. Das Recycling von Gipsplatten ist noch in den Anfängen, sodass Recyclinggips die drohende Verknappung nicht kompensieren kann. Vor diesem Hintergrund ist es sinnvoll, den Blick auf alternative Trockenbaumaterialien zu richten.

Materialien, die neben Gips schon vielfach im Trockenbau eingesetzt werden, sind Holz (z. B. als Spanplatten) und Zement (z. B. als Faserzementplatten). Trockenbauplatten aus anderen Materialien, wie beispielsweise Lehmplatten, Strohplatten, Hanfbauplatten oder Schilfrohrplatten, konnten sich bisher nicht am Markt durchsetzen und spielen mengenmäßig in Deutschland derzeit keine Rolle.

In der vorliegenden Studie soll ein Vergleich zwischen GKP und einem alternativen Trockenbauelement für einen spezifischen Anwendungsfall durchgeführt werden:

- Für die GKP werden eine Variante ohne Recyclinganteil und eine Variante mit einem Recyclinganteil mit 40 Massen-%² betrachtet.
- Als Vertreter für ein alternatives Trockenbauelement wurde – basierend auf einer Literaturrecherche – die Lehmplatte gewählt.

Unter der Voraussetzung der funktionellen Gleichwertigkeit beleuchtet der Vergleich ökologische und ökonomische Aspekte der Trockenbauelemente sowie das Versorgungsrisiko der entsprechenden Rohstoffe. Konkret wird die Bepankung von 1 m² Innenwandfläche mit GKP mit und ohne Rezyklatanteil sowie einer Lehmplatten betrachtet.

Ziel der Studie ist es, den Ressourcenaufwand einer GKP mit und ohne Rezyklatanteil sowie einer Lehmplatte zu bestimmen und vergleichend darzustellen. Damit soll KMU ein Leitfaden an die Hand gegeben werden, der eine strukturierte Übersicht der ökologischen und ökonomischen Aspekte dreier verschiedener Trockenbaualternativen ermöglicht. Dazu werden vier Leitfragen beantwortet:

- (1) Welche Aufwendungen an Material, Energie, Wasser und Fläche müssen über den Lebensweg der Trockenbauelemente aufgebracht werden?
- (2) Welches Erderwärmungspotenzial, ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten (CO₂e), ergibt sich je Variante?
- (3) Welche versorgungskritischen Rohstoffe werden jeweils verwendet?
- (4) Welchen Kosten ergeben sich für die betrachteten Varianten?

² Die Angaben beziehen sich auf den Gipsanteil in einer GKP. Der Recyclinganteil in Höhe von 40 % stellt die technisch machbare Obergrenze dar. In der Praxis fällt dieser Anteil mit unter 10 % deutlich geringer aus.

Die Studie beleuchtet zunächst Gips als dominierenden Baustoff im Bereich des Trockenbaus (Kapitel 2). Die Quellen und Senken von Gips werden dargestellt und das Versorgungsrisiko wird beziffert. Ein Augenmerk wird in diesem Zusammenhang auch auf die Rolle von Recyclinggips gelegt. Darauf aufbauend wird ein Überblick über alternative Trockenbauelemente und deren technische Eigenschaften gegeben (Kapitel 3). Auf dieser Grundlage wird die Auswahl der Lehmplatte als zu vergleichendes alternatives Trockenbauelement begründet. Kapitel 4 gibt anschließend einen Überblick über die methodischen Grundlagen der Studie. Im Folgenden wird der Untersuchungsrahmen abgesteckt (Kapitel 5). Das schließt die Definition einer Vergleichsgröße, der sogenannten funktionellen Einheit, und die Festlegung der Systemgrenzen ein. Für die Sachbilanz (Kapitel 6) werden die Lebenswege der zu vergleichenden Trockenbauelemente beschrieben und damit verbundene Material- und Energieflüsse quantifiziert. In Kapitel 7 sind die Ergebnisse des Vergleichs der GKP (einmal mit und einmal ohne Recyclinganteil) mit der Lehmbauplatte hinsichtlich Ökologie, Ökonomie und Versorgungsrisiko dokumentiert. Kapitel 8 fasst die wichtigsten Erkenntnisse dieser Studie zusammen, um konkrete Schlussfolgerungen abzuleiten.

2 GIPS ALS ROHSTOFF IN DER BAUWIRTSCHAFT

Als Material für Trockenbauelemente können eine Vielzahl von Materialien eingesetzt werden, wie z. B. Holz, Metall, Kunststoff oder Mineralfasern. Eine führende Rolle bei der Produktion von Trockenbauelementen nimmt jedoch Gips ein. Chemisch betrachtet handelt es sich hierbei um Calciumsulfat, an das zwei Wassermoleküle gebunden sind: $\text{Ca}[\text{SO}_4]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Man spricht hier von Calciumsulfat-Dihydrat.

Durch Kalzinieren („Erhitzen“) wird die Kristallstruktur des Gipses verändert und gebundenes Wasser abgespalten. Bei Temperaturen zwischen 150 und 190 °C entsteht zunächst Calciumsulfat-Halbhydrat – sogenannter gebrannter Gips ($\text{Ca}[\text{SO}_4]\cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$) –, bei Temperaturen über 190 °C Anhydrit oder sog. totgebrannter Gips ($\text{Ca}[\text{SO}_4]$).

2.1 Bedeutung von Gips im Trockenbaubereich

Pro Jahr werden knapp 250 Mio. m² Wandbaufläche auf Gipsbasis in Deutschland produziert.³ Diese Menge blieb über die letzten zehn Jahre annähernd gleich. Abbildung 1 zeigt die Menge der zum Absatz bestimmten Produktion an Gipsbauplatten, Gipsfaserplatten (GFP) und GKP über die Jahre 2011 bis 2022. GKP sind mit fast 90 % das mengenmäßig wichtigste Produkt. Derzeit gibt es in Deutschland vier Herstellende für GKP.⁴ Innerhalb der EU ist Deutschland Marktführer für Gipsplatten: Rund 20 % aller verkauften Gipsplatten werden in Deutschland produziert.⁵

Die Mehrheit der produzierten Gipsplatten werden innerhalb von Deutschland eingesetzt; 30 bis 40 Mio. m² werden jährlich exportiert. Demgegenüber steht ein Import von etwa 10 Mio. m² pro Jahr.

³ Vgl. Statistisches Bundesamt (2023).

⁴ Vgl. Statistisches Bundesamt (2023).

⁵ Vgl. EUROSTAT (2024).

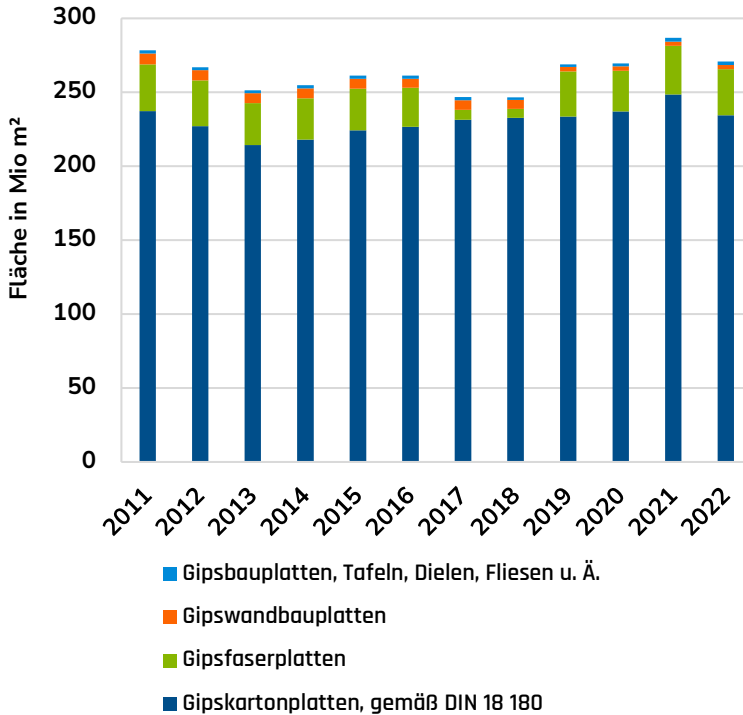


Abbildung 1: Menge der zum Absatz bestimmten Produktion von Gipsplatten zwischen den Jahren 2011 und 2022⁶

Wie das nachfolgende Kapitel zeigt, zeichnet sich jedoch ein Rückgang hinsichtlich der Gipsversorgung innerhalb Deutschlands ab.

2.2 Rohstoffquellen und Senken von Gips

Derzeit werden in Deutschland noch jährlich über 10 Mio. t Gips für gebrannte Gipsprodukte (ca. 3 Mio. t), Gipsbauplatten (ca. 5 Mio. t) und Gips in der Zementproduktion (ca. 2 Mio. t) benötigt.⁷ Dieser Bedarf wird durch vier wesentliche Rohstoffquellen gedeckt:

⁶ Eigene Darstellung auf Basis von Statistisches Bundesamt (2023).

⁷ Vgl. Alwast, H. (2020).

- (1) Chemiegips,
- (2) Naturgips,
- (3) Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen (REA-Gips) sowie
- (4) Recyclinggips.

Abbildung 2 zeigt die Rohstoffquellen und Produkte von Gips in Form eines Sankey-Diagramms.

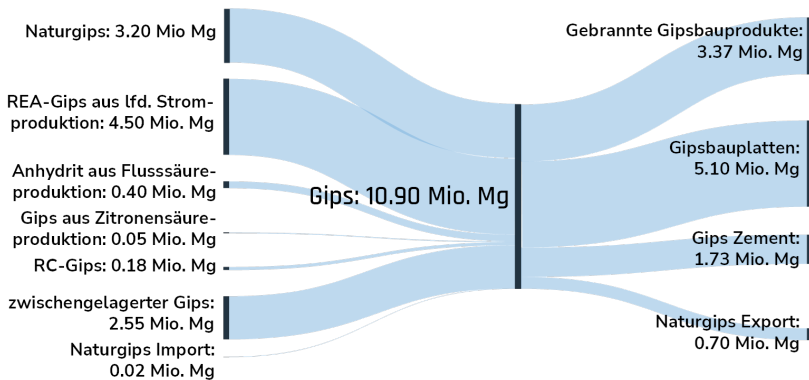


Abbildung 2: Sankey-Diagramm zu den Rohstoffquellen und Produkten von Gips im Jahr 2019⁸

Mit einem Anteil von über 90 % stellen Naturgips und REA-Gips (aus der laufenden Stromproduktion und Zwischenlagerung) die derzeit wichtigsten Rohstoffquellen dar. Recyclinggips aus Post-Industrial- und Post-Consumer-Abfällen sowie Chemiegips aus der Flusssäure- und Zitronensäureproduktion spielen als Rohstoffquellen bisher eine untergeordnete Rolle.^{9, 10}

⁸ Eigene Darstellung auf Basis von Alwast, H. (2020).

⁹ *Post-Consumer* bezieht sich auf Abfälle, die nach ihrer Verwendung durch Endverbraucher entstehen; *Post-Industrial* bezieht sich auf Abfälle, die während des Herstellungsprozesses von Industriegütern anfallen (z. B. Produktionsausschuss oder Überschussmaterial)

¹⁰ Vgl. Alwast, H. (2020).

Chemiegips

Bei der Produktion von Flusssäure und Fruchtsäure (insb. Zitronensäure, aber auch Weinsäure und Oxalsäure) entsteht als Nebenprodukt Gips bzw. Anhydrit. Letzteres fällt nur in sehr geringen Mengen an und ist „aus technischen und wirtschaftlichen Gründen als Rohstoff für die Gipsindustrie ohne Bedeutung“¹¹. Anhydrit aus der Flusssäureproduktion, sog. Fluoroanhydrit, weist eine hohe Reinheit auf und wird vollständig einer hochwertigen Verwertung zugeführt.¹² Zumeist wird er als Abbinderegler für Zement und Rohstoff für Estriche eingesetzt. Damit hat er für die Produktion von Gipsplatten keine Bedeutung.

Naturgips

Gips und Anhydrit werden in Deutschland entweder im Tagebau oder Untertage an über 75 Abbaustätten abgebaut. In wirtschaftlich förderfähigen Mengen ist Gips nur in wenigen Regionen Deutschlands abbaubar. Derzeit befinden sich rund 50 % der Abbaustätten für Naturgips im Südharz.^{13, 14} Weitere nennenswerte Abbaustätten liegen zudem in Süddeutschland, Nordosthessen und Niedersachsen. Abbildung 3 zeigt die Abbaustätten für Gips und Anhydrit in Deutschland. Der Gipsabbau geht mit Eingriffen in Karstlandschaften einher, die sich durch eine besonders hohe Artenvielfalt auszeichnen.^{15, 16}

¹¹ Bundesverband der Gipsindustrie e.V. (2013).

¹² Vgl. Hanning, A. und Ortleb, H. (2020).

¹³ Vgl. Alwast, H. (2020).

¹⁴ Vgl. Jentsch, S.; Scheffler, M und Birth, T. (2021).

¹⁵ Vgl. Buchert, M.; Sutter, J.; Alwast, H.; Schütz, N. und Weimann, K. (2017).

¹⁶ Vgl. Heßberg, A. von et al. (2023), S. 26 – 35.

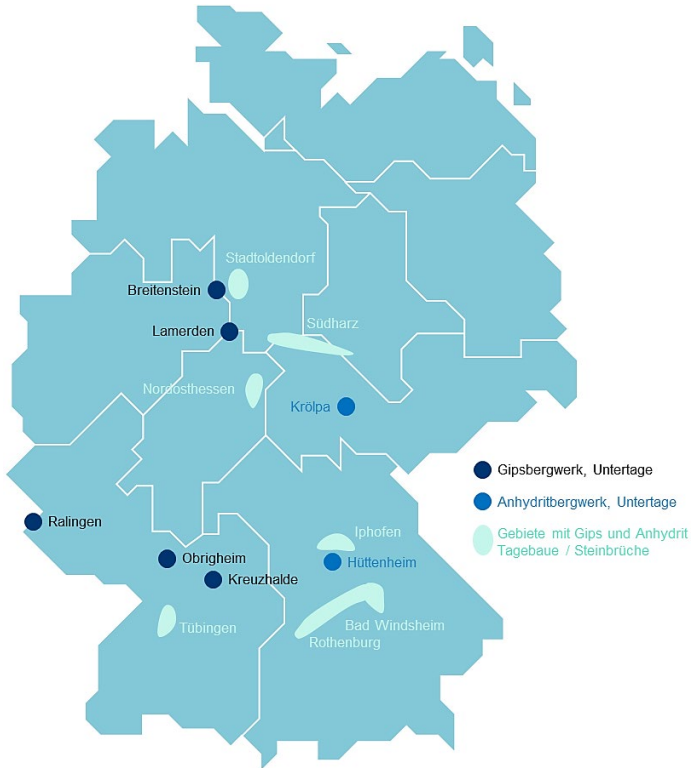


Abbildung 3: Abbaustätten für Gips und Anhydrit in Deutschland © Jentsch / Scheffler / Birth (2021)¹⁷

REA-Gips

Seit Anfang der 1980er Jahre ist in deutschen Kohlekraftwerken die Rauchgasentschwefelung vorgeschrieben. Innerhalb der REA reagiert Kalkmilch o. Ä. mit Schwefeloxiden (SO_x) aus dem Rauchgas zu Gips. Dieser wird am Sumpfboden der REA abgezogen. Abbildung 4 zeigt das Prinzip. Da Bundestag und Bundesrat im Juli 2020 mit dem Kohleausstiegsgesetz den Ausstieg aus der Kohleverstromung bis spätestens 2038

¹⁷ Vgl. Jentsch, S.; Scheffler, M. und Birth, T. (2021), S. 3.

beschlossen haben, ist mit einem sukzessiven Rückgang von REA-Gips zu rechnen. Derzeit stammen rund 84 % des REA-Gipses aus Braunkohlekraftwerken und 16 % aus Steinkohlekraftwerken.¹⁸ Prinzipiell wird auch in anderen Feuerungsanlagen, wie beispielsweise Müllverbrennungsanlagen, REA-Gips gewonnen. Diese Mengen fallen aber gegenüber denen aus der Kohlefeuerung deutlich geringer aus.

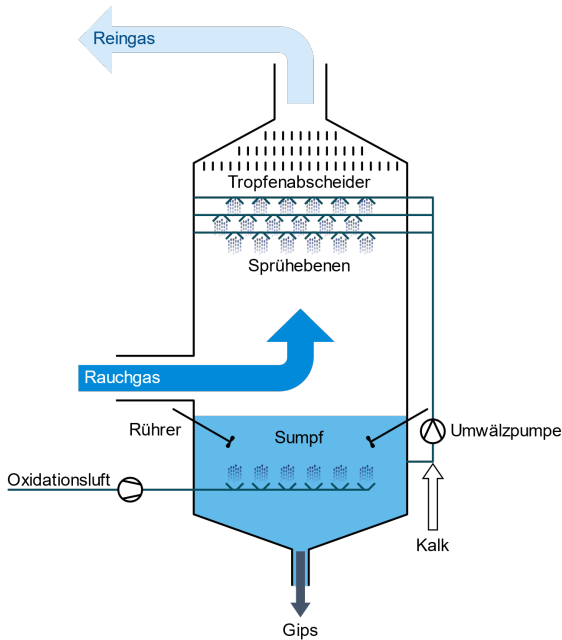


Abbildung 4: Prinzipskizze der Rauchgasentschwefelung CC BY-SA 1.0 Wikimedia Commons¹⁹

¹⁸ Eigene Berechnungen auf Basis von Fraunhofer ISE (2022) und Wernet. et al. (2016).

¹⁹ Wikimedia Commons (2010).

Recyclinggips

Der Großteil des Recyclinggipses (RC-Gips) besteht aus Gipsproduktionsresten oder Verschnitt. Diese Menge liegt in der Größenordnung von 125.000 t/a.²⁰ Gipsabfälle aus dem Post-Consumer-Bereich können ebenfalls zu RC-Gips aufbereitet werden, weisen aber teils Verunreinigungen und Fremdmaterialanhaftungen auf und bedürfen daher einer mehrstufigen Aufbereitung. Derzeit gibt es vier Aufbereitungsanlagen für GKP.²¹ Im Jahr 2023 wurden ca. 100.000 t RC-Gips aus Post-Consumer-GKP bereitgestellt.²²

Über die letzten Jahre lässt sich eine steigende Tendenz erkennen²³, die sich u. a. aus einer steigenden Wirtschaftlichkeit des Recyclingverfahrens gegenüber der Deponierung ergibt sowie einem steigenden Nachhaltigkeitsbewusstsein bei Konsumentinnen und Konsumenten. Weiterhin scheint die bisher kostengünstige Verbringung von Gipsabfällen nach Tschechien nicht mehr möglich.²⁴ Mit dem Jahr 2024 tritt außerdem die Novellierung der Deponieverordnung in Kraft, nach der „Abfälle, die zur Vorbereitung zur Wiederverwendung oder zum Recycling getrennt gesammelt werden, [...] nicht [...] einer Deponie [...] zur Ablagerung zugeführt werden [dürfen]“ (§ 7c DepV). Recyclinggips kann und wird auch in GKP eingesetzt. Ab einer Zumischung von 50 % Recyclinggipsanteil kann es in den Anlagen aber zu Problemen bei den Fördereinrichtungen kommen. Dies liegt an einem unterschiedlichen Fließverhalten von RC-Gips gegenüber Natur- bzw. REA-Gips.²⁵ Saint Gobain etwa gibt an, dass „[b]is zu

²⁰ Vgl. Eichhorn, S. (2020).

²¹ Großpösna (bei Leipzig, MUEG), Deißlingen (Strabag) – derzeit inaktiv, Gelsenkirchen (Rigips), Zweibrücken (Remondis) und Pulheim (New West Gypsum Germany GmbH).

²² Vgl. Bunzel, J.-M. (2023).

²³ Vgl. Eichhorn, S. (2020).

²⁴ Vgl. Bunzel, J.-M. (2023).

²⁵ Vgl. Bunzel, J.-M. (2023).

40 % Recyclinggips [...] in einer neuen Gipskartonplatte verarbeitet werden“²⁶ können.

Bei RC-Gips aus dem Post-Consumer-Bereich sind zudem konkrete Qualitätsanforderungen zu beachten. In Anlehnung an die für REA-Gips festgelegten technischen Parameter^{27, 28} wurden für Post-Consumer-RC-Gips Qualitätskriterien entwickelt. Über technische Parameter hinaus wurden für RC-Gips Grenzwerte erarbeitet, die Gesundheits- und Umweltparameter beinhalten. Während REA-Gips und Naturgips bekannte Eigenschaften mit nur geringen Schwankungsbreiten aufweisen, unterliegt die Qualität von RC-Gipsen einer gewissen Veränderlichkeit. Gipse aus Bauabfällen stammen i. d. R. aus unterschiedlichen Herkünften und können Querkontaminationen durch Schad- und Fremdstoffe aufweisen.²⁹ Der Bundesverband der Gipsindustrie hat dahingehend – basierend auf human-toxikologischen Erkenntnissen – Qualitätsempfehlungen für RC-Gips formuliert.³⁰

²⁶ RECYCLING magazin (2023).

²⁷ Vgl. VGB Powertech (2016).

²⁸ Vgl. Eurogypsum (2015).

²⁹ Vgl. Buchert, M.; Sutter, J.; Alwast, H.; Schütz, N. und Weimann, K. (2017).

³⁰ Vgl. Bundesverband der Gipsindustrie e.V. (2020).

3 ALTERNATIVE TROCKENBAUELEMENTE

Aufgrund der drohenden Versorgungsknappheit von Gips wird der Blick zunehmend auf alternative Trockenbauelemente gelenkt. Den Rohstoff Gips durch alternative Rohstoffe im Trockenbau zu ersetzen ist jedoch nicht trivial. Zunächst ist zu beachten, dass für den Einsatz von Bauprodukten im Trockenbau diverse Anforderungen gelten (z. B. durch die DIN 4103-1³¹). Gleichzeitig führt die Verwendung unterschiedlicher Ausgangsmaterialien auch zu unterschiedlichen Produkteigenschaften der Trockenbauplatten. Weitere Unterschiede können sich im Aufbau der Platten ergeben. So handelt es sich bei Zement- oder Lehmplatten um mineralische, nass abgebundene Platten, die ihre Festigkeit durch eine Kartonummantelung, Faserverstärkungen oder andere Armierungen erhalten. Holz- oder Strohplatten dagegen sind meist gepresste und organisch oder mineralisch gebundene Platten.

Ziel dieser Studie ist es, den Rohstoffaufwand einer GKP, einer GKP mit Rezyklatanteil und eines alternativen Trockenbauelementes zu vergleichen. Um zu entscheiden, welches alternative Trockenbauelement einer ausführlichen ökologischen und ökonomischen Bewertung unterzogen wird, werden zunächst die technischen Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten der potenziell in Frage kommenden Alternativen gegenübergestellt und mit den Eigenschaften von Gipsbauplatten verglichen. Zusätzlich werden die eingesetzten Rohstoffe sowie deren Verfügbarkeit und Marktrelevanz beschrieben und eingeordnet.

3.1 Vergleichende Übersicht

Neben Gipskartonplatten stehen auf dem Markt aktuell unterschiedliche Trockenbauelemente zur Verfügung, die alternativ als Verkleidung für nicht tragende Wände oder für die Innenverkleidung eines Daches

³¹ Vgl. DIN 4103:2015-06.

eingesetzt werden können. Das folgende Kapitel stellt die gängigsten Trockenbauelemente neben GKP vor.

Trockenbauplatten auf Holzbasis

Holzwerkstoffplatten werden aus zerkleinertem Holz zu einem plattenförmigen Endprodukt zusammengefügt. Zum Einsatz kommen Späne und Fasern, die über ein Bindemittel stabilisiert werden. Holzwerkstoffplatten sind ein wichtiges Ausgangsmaterial für die Bau- und Möbelindustrie, werden aber auch im Transportwesen weltweit genutzt.³²

Die gängigsten Varianten sind die Spanplatte, die Grobspanplatte (engl. Oriented strand board, OSB) und die mitteldichte Holzfaserplatte (MDF). Im Unterschied zur MDF-Platte, bei der feine Holzfasern verarbeitet werden, basieren die Span- und OSB-Platten auf Holzspänen, die gröber verarbeitet sind. Als Ausgangsprodukte dienen frisches Industrieholz und Sägenebenprodukte wie Hackschnitzel oder Sägespäne. Nur in den Spanplatten wird in der Produktion auch aufbereitetes Altholz eingesetzt. Der Anteil des Altholzes in Spanplatten liegt bei etwa 50 %.³³

Als Bindemittel kommen überwiegend synthetische Leime und Harze zum Einsatz. Bei im Nassverfahren hergestellten Faserplatten kann auf die Zugabe eines Bindemittels verzichtet werden. Das holzeigene Lignin wirkt hier unter Einwirkung von Feuchtigkeit und Hitze als Bindemittlersatz.³⁴

Die Platten auf Holzbasis werden überwiegend thermisch verwertet und die enthaltene Energie in Form von Strom und Wärme zurückgewonnen. Eine hochwertige stoffliche Verwertung, d. h. eine Nachnutzung des Holzes, findet in der Regel nicht statt. Die zusammengefügten Späne und Fasern lassen sich nicht wieder voneinander trennen. Für MDF-Platten gibt

³² Vgl. Fraunhofer WKI und VHI (2009).

³³ Vgl. Albrecht, M. (2023).

³⁴ Vgl. C. Doser Holzbau Zimmerei e. K. (o. D.).

es mittlerweile erste Pilotvorhaben, die eine Rückgewinnung der Fasern beim erneuten Einsatz in Holzwerkstoffen erproben.³⁵

Trockenbauplatten auf Strohbasis

Strohbauplatten sind ein genormter Baustoff, der im Innenausbau und als Dämmmaterial eingesetzt werden kann. Die Platten können mit gängigen Maschinen der Holzbearbeitung gebohrt, gefräst und gesägt werden. Die Montage erfolgt in der Regel über Verschraubung. Aufgrund ihrer Dicke und des hohen Anteils an Luftporen weisen die Platten sehr gute Schall- und Wärmedämmeigenschaften auf. Zudem wirkt das Stroh regulierend auf die Luftfeuchtigkeit und hat somit positiven Einfluss auf das Raumklima.³⁶

Für die Herstellung der Platten wird Weizenstroh mit Druck in Höhe von 200 bar bei einer Temperatur von 180 – 200 °C verpresst. Durch das enthaltene Lignin kommt es zu einem festen Verbund der Halme, sodass auch hier auf die Zugabe eines zusätzlichen Bindemittels verzichtet werden kann. Keime und Sporen werden durch die Temperatureinwirkung abgetötet. Die Denaturierung schützt gleichzeitig vor einem möglichen Schädlingsbefall. Der gepresste Strohkern wird mit recyceltem Papierkarton ummantelt, wodurch eine glatte und gipskartonähnliche Oberfläche entsteht.³⁷

Stroh, als nachwachsender Rohstoff, speichert CO₂ – ebenso wie Holz. Die Anwendungsmöglichkeiten des Nebenproduktes aus der Landwirtschaft sind vielfältig, sodass Stroh ein begehrtes Produkt ist: sowohl als Futtermittel und Einstreu in der Tierhaltung als auch als Bodenverbesserer in der Landwirtschaft oder als Ausgangsstoff für die Herstellung von

³⁵ Vgl. Albrecht, M. (2023).

³⁶ Vgl. mb-netzwerk GmbH Portal Ökologisch Bauen (o. D.).

³⁷ Vgl. mb-netzwerk GmbH Portal Ökologisch Bauen (o. D.).

Biokraftstoff. Es ist im Fall von Stroh daher von einer hohen Nutzungskonkurrenz auszugehen.³⁸

Statistische Daten über Produktions- und Einsatzmengen in Deutschland liegen indes nicht vor. Die Anwendung muss als Nischenanwendung verstanden werden, die keine Marktrelevanz besitzt. Aufgrund der steigenden Nachfrage nach alternativen und ökologischen Baustoffen ist jedoch davon auszugehen, dass der Baustoff zunehmend zur Anwendung kommen wird.

Die Entsorgung von Strohbauplatten nach dem Rückbau wird über thermische Verwertungsanlagen (Verbrennung) und voraussichtlich auch über Biogasanlagen erfolgen können. Nachverfolgbare Entsorgungsstrukturen sind noch nicht etabliert, da keine relevanten Mengen zur Entsorgung anfallen.

Trockenbauplatten auf Hanfbasis

Hanf ist eine schnell wachsende Pflanze, die nur wenig Wasser benötigt. Im Vergleich zu Holz wächst Hanf 50-mal schneller und benötigt nur etwa vier Monate, bis die Pflanze ausreichend groß ist, um Baumaterial aus ihr herzustellen. Die Pflanzen werden dabei zu verschiedenen Baumaterialien verarbeitet, darunter Hanfbeton, Hanfplatten und Dämmmaterial. Die Leichtbauplatten finden insbesondere in der Beplankung von Innen- und Trennwänden, Dachflächen, Vorsatzschalen und Deckenflächen und als nichttragende Verkleidungselemente (Putz-Farbträger) Anwendung.³⁹ Die Trockenbauplatten bestehen aus den sog. Hanfschärben⁴⁰ und Hanffasern, die mit einem mineralischen Bindemittel aus Kalk oder Lehm verpresst werden.⁴¹

³⁸ Vgl. DBFZ (2019).

³⁹ Vgl. Hochschule Merseburg (o. D.).

⁴⁰ Hierbei handelt es sich um den holzigen Teil des Stängels.

⁴¹ Vgl. Naturbaustoffhaus GmbH (o. D.).

Statistische Daten über Produktions- und Einsatzmengen in Deutschland liegen nicht vor. Die Anwendung muss somit ebenso als Nischenanwendung verstanden werden, die keine Marktrelevanz besitzt. Aufgrund der steigenden Nachfrage nach alternativen und ökologischen Baustoffen ist auch hier ein Anstieg der Absatzmenge zu vermuten.⁴²

Auch die Entsorgung von Hanfbauplatten nach einem Rückbau wird vermutlich mithilfe thermischer Verwertungsanlagen (Verbrennung) erfolgen. Ebenso ist der direkte Einsatz als „Bodenverbesserer“ denkbar. Nachverfolgbare Entsorgungsstrukturen sind noch nicht etabliert, da keine relevanten Mengen zur Entsorgung anfallen.

Trockenbauplatten auf Lehmbasis

Lehmplatten werden zur Erstellung von Wand- und Deckenverkleidungen sowie Vorsatzschalen verwendet. Mit Hilfe von Schrauben oder Nägeln können die Lehmplatten dabei auf den Stahl- oder Holzrahmenkonstruktionen fixiert werden.⁴³

Die Lehmplatten bestehen aus Lehm, Sand, Strohhäckseln sowie einer Armierung, um die Stabilität der Platte noch zu erhöhen. Als Armierungsgebe wird auf natürliche Materialien wie Schilfrohrmatten und Jutegebe zurückgegriffen. Unter Zugabe von Wasser werden die Komponenten vermischt und im Anschluss getrocknet. Ein Brennen – wie bei der Herstellung von Ziegeln – ist nicht erforderlich.⁴⁴

Als Rohstoffe verwenden die herstellenden Unternehmen u. a. Primärgrubenlehm aus Lehmabbaustätten, Presslehm, der im Zuge des Abbaus und der Aufbereitung von Kies und Sand als Neben- bzw. Abfallprodukte anfällt, oder Sekundärgrubenlehm, der als Bodenaushub bei Tiefbauarbeiten

⁴² Vgl. dena (2021).

⁴³ Vgl. Heß, T. und Schmidt, R.-I. (2024).

⁴⁴ Vgl. Grimm, R. (2021).

auftritt.⁴⁵ Presslehm und Sekundärgrubenlehm sind aufgrund ihrer Eigenschaften nicht geeignet, über klassische Absatzwege als Primärbaustoff vermarktet zu werden. Sie können auf der Deponie entsorgt oder in Renaturierungsmaßnahmen eingesetzt werden. Zu bevorzugen ist jedoch der Einsatz in Lehm- und Gipsbauplatten. Damit nutzt die Lehm- und Gipsbauplattenindustrie regionale Rohstoffe aus alternativen Quellen (nicht klassische Primärabbaustätten), die in großem Umfang zur Verfügung stehen, und schont gleichzeitig knappen Deponieraum.⁴⁶

Die Verarbeitung von Lehmplatten erfolgt analog zu Gipsbauplatten. Jedoch sind Lehmplatten deutlich schwerer: Das Gewicht bzw. die spezifische Dichte je m³ ist bei einer Lehmplatte etwa doppelt so hoch wie bei einer gipsbasierten Variante (vgl. Tabelle 2). Aufgrund ihrer hohen Masse tragen Lehmplatten daher zu einem überdurchschnittlich guten Schallschutz von Trockenbaukonstruktionen bei. Zugleich weisen Lehm- und Gipsbaustoffe aufgrund ihrer hohen Masse eine hohe Wärmespeicherfähigkeit auf und tragen zum Wärmeschutz bei. Das Material erwärmt sich nur langsam und kühlt langsam wieder ab. Weiterhin sind Lehm- und Gipsbaustoffe aufgrund ihrer Diffusionsfähigkeit in der Lage, viel Wasserdampf zu speichern und zeitversetzt wieder abzugeben. Dadurch tragen sie dazu bei, die Raumluftfeuchtigkeit zu regulieren und Schimmelbefall vorzubeugen.⁴⁷

3.2 Technische Eigenschaften

An den Einsatz von Bauprodukten und Baustoffen sowie die Errichtung von Bauteilen im Trockenbau werden im Baurecht diverse Anforderungen gestellt. Dazu zählen neben statischen Anforderungen insbesondere Anforderungen an den Brandschutz, den Schallschutz, den Wärmeschutz sowie die Feuchtigkeitsbeständigkeit. Je nach Anwendungsbereich können sich die Anforderungen dabei stark unterscheiden.

⁴⁵ Vgl. Dachverband Lehm e.V. (2023).

⁴⁶ Vgl. ClayTec GmbH & Co. KG (o. D.).

⁴⁷ Vgl. Heß, T. und Schmidt, R.-I. (2024).

Zur vergleichenden Übersicht der alternativen Trockenbauelemente werden einige grundlegende technische Eigenschaften ausgewählter Trockenbauplatten in Tabelle 2 gegenübergestellt.

Neben den grundlegenden Eigenschaften wie Dicke (mm) und Rohdichte (ρ) werden auch die für verschiedene Anwendungsbereiche relevanten Eigenschaften Wärmeleitfähigkeit (λ), Wasserdampfdiffusionswiderstand (μ), spezifische Wärmekapazität (c) sowie das Brandverhalten nach EN 13501-1 (BV) betrachtet (vgl. Tabelle 2).

Die Eigenschaften der Gips- und Lehm- bauplatten weisen ähnliche Größenordnungen auf, wobei die Lehmplatte im Vergleich zu allen anderen Platten die höchste Rohdichte zeigt. Gipsfaser- und Lehmplatte weisen zudem eine bis zu doppelt so hohe Rohdichte gegenüber der GKP auf. Aufgrund der mineralischen Rohstoffe besitzen die Gipskarton-, Gipsfaser- und Lehmplatten ein Brandverhalten von A1/A2 und leisten somit keinen Beitrag zum Brand. Dafür verfügen diese Platten über eine höhere Wärmeleitfähigkeit.

Die Holzwolle-Leichtbauplatte weist bei einem ebenfalls guten Brandverhalten von B – und damit einen sehr geringen Beitrag zum Brand – eine deutlich geringere Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit auf.

Holz-Plattenbaustoffe mit einer höheren Dichte – die OSB-, die MDF- sowie die Rohspanplatte – weisen ein Brandverhalten von D auf und leisten somit einen hinnehmbaren Beitrag zum Brand. Ihre Rohdichte entspricht in etwa den Werten der GKP.

Mit einem Brandverhalten von E zeigen Plattenbaustoffe aus Stroh, Schilfrohr und Hanf ein noch hinnehmbares Brandverhalten. Sie besitzen eine geringe Rohdichte sowie eine geringe Wärmeleitfähigkeit. Die Strohlplatte verfügt im Vergleich über die höchste Wärmespeicherkapazität.

Tabelle 2: Technische Eigenschaften ausgewählter Trockenbauplatten

	Dicke	λ	ρ	μ	c	BV
Einheit	mm	W/(m* K)	kg/m ³	-	J/(kg* K)	-
GKP ⁴⁸	9,5 – 25	0,25	600 – 650	4 – 10	960	A1/A2; A-s1, d0
GFP ⁴⁹	10 – 22	0,32	1100 – 1200	13	1.100	A1/A2; A-s1, d0
Lehmplatte ⁵⁰	16 – 22	0,35– 0,44	1.440	5 – 10	1.000– 1.100	A1
HWL ⁵¹	ab 15	0,076– 0,093	450 – 570	2 – 5	1.470	B-S1, d0
OSB ⁵²	8 – 25 (nicht tragend)	0,1	550 – 600	100 – 300	1.400	D-s2, d0
MDF ⁵³	10 – 25 (nicht tragend)	0,13	720 – 750	20–30	1.600	D-s2, d0
Rohspanplatte ⁵³	8 – 40 (nicht tragend)	0,13	600 – 700	15–50	1.500	D-s2, d0
Strohplatte ⁵⁴	38/58	0,069– 0,102	340 – 379	9,7	2.400	E/B-s1, d0
Schilfrohr- platte ⁵⁵	20/50/6 0/80	0,059	190 – 220	2	1.200	E
Hanfbau- platte ⁵⁶	14/22	0,095	600	10	1.500	E

λ = Wärmeleitfähigkeit; ρ = Rohdichte; μ = Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl;
 HWL = Holzwohle-Leichtbauplatte; OSB = Grobspanplatte; MDF = Mitteldichte Holzfaser-
 platte; c = Spezifische Wärmekapazität; BV = Brandverhalten nach DIN EN 13501-1

⁴⁸ Vgl. Alwast, H. (2020).

⁴⁹ Vgl. James Hardie Europe GmbH.

⁵⁰ Vgl. Conluto (o. D.) (a).

⁵¹ Vgl. ISOLITH M. Hattinger GmbH (2022).

⁵² Vgl. Kronospan (o. D.)

⁵³ Vgl. Kronospan (o. D.)

⁵⁴ Vgl. Ekopanely (2024).

⁵⁵ Vgl. Conluto (o. D.) (b).

⁵⁶ Vgl. Hanffaser Uckermark eG (2024).

Die gegenübergestellten technischen Eigenschaften der Trockenbauplatten beeinflussen, welche unterschiedliche Anforderungen die Platten im Trockenbau erfüllen können und für welche Anwendungsbereiche sie geeignet sind. Inwieweit sich die Platten zur Wand- oder Deckenverkleidung eignen und welche Oberflächenbehandlungen vor der Tapezier- und Streichfähigkeit nötig sind, wird folgend in Tabelle 3 gegenübergestellt.

Alle betrachteten Platten eignen sich als Wand- oder Deckenverkleidung. GKP, GFP, OSB-, MDF- und Rohspanplatten müssen im Zuge der Weiterverarbeitung mindestens an Stößen sowie an den Befestigungspunkten gespachtelt, abgeschliffen und ggf. grundiert werden, bevor sie tapezier- und streichfähig sind. Für Lehm-, Holzwolle-Leichtbau-, Stroh-, Schilfrohr- und Hanfplatten muss lediglich ein Putz, vorzugsweise aus Lehm, als Oberflächenbehandlung aufgetragen werden.

Tabelle 3: Anwendungsmöglichkeiten ausgewählter Trockenbauplatten

	Wand-/Deckenverkleidung	Oberflächenbehandlung
GKP	Ja / Ja	Stöße spachteln, schleifen
GFP	Ja / Ja	Stöße spachteln, schleifen
Lehmplatte	Ja / Ja	Stöße spachteln, Oberputz
HWL	Ja / Ja	Verputzen
OSB	Ja / Ja	Spachteln, schleifen, grundieren
MDF	Ja / Ja	Spachteln, schleifen, grundieren
Rohspanplatte	Ja / Ja	Spachteln, schleifen, grundieren
Strohplatte	Ja / Ja	Verputzen
Schilfrohrplatte	Ja / Ja	Verputzen
Hanfbauplatte	Ja / Ja	Verputzen

HWL = Holzwolle-Leichtbauplatte; OSB = Grobspanplatte; MDF = Mitteldichte Holzfasерplatte

Mit GKP, GFP, Lehm- und speziellen OSB-Platten können Bauteile hohe Feuerwiderstandsklassen erreichen. Auch Holzwolle-Leichtbau-, MDF- und Rohspanplatten können in besonderer Ausführung zur Verbesserung der Feuerwiderstandsklasse beitragen. Stroh-, Schilfrohr- und Hanfplatten sind hingegen nicht für Bereiche mit Brandschutzanforderungen geeignet.

Die aufgeführten Trockenbauelemente können des Weiteren einen Beitrag zum Schallschutz leisten, der in Abhängigkeit zur konkreten Konstruktion sowie der jeweiligen Einbausituation steht. So können Gipsplatten, Gipsvliesplatten oder Gipsfaserplatten sowie Lehm-, Holz- und Leichtbau-, Strohhaut- und Schilfrohrplatten in entsprechenden Systemaufbauten gute Schalldämmwerte erzielen.

Die Verwendbarkeit der Trockenbauelemente im Feuchtebereich ist abhängig von der Wassereinwirkungsklasse im Einsatzbereich. So kann beispielsweise die Lehmplatte im Feuchtebereich in ihrer Standardausführung eingesetzt werden; sie kann jedoch nicht gefliest werden. Gipsbaustoffe sind in den Wassereinwirkungsklassen W0-I und W1-I – wie sie auch in häuslichen Bädern vorkommen – bewährte und übliche Materialien, deren Einsatz in diesen Bereichen durch die DIN 18534-1 geregelt und bestätigt ist.

Zum Teil können Platten aus Stroh, Schilfrohr, Hanf und Holz- und Wolle aufgrund ihrer geringen Wärmeleitfähigkeit und hohen Dicken einen nennenswerten Beitrag zum Wärmeschutz leisten und direkt als verputzbare Wärmedämmung eingesetzt werden. Die Platten mit hoher Wärmeleitfähigkeit – also Gips, Lehm und Spanplatten – müssen für die Einhaltung von Wärmeschutzanforderungen immer in Kombination mit einer Wärmedämmung Verwendung finden.

3.3 Bewertung der Trockenbauelemente anhand ausgewählter Indikatoren

Die Auswahl des Trockenbauelements, welches im Vergleich zur GKP ökologisch und ökonomisch untersucht werden soll, erfolgt anhand von sechs Indikatoren. Die ausgewählten Parameter sollen gewährleisten, dass eine Trockenbaualternative ausgewählt wird, die im Arbeitsalltag von KMU entweder breite Anwendung findet oder zukünftig finden kann. Gleichzeitig werden mit Indikatoren bezüglich der Rohstoffversorgung Aspekte des nachhaltigen und zirkulären Bauens berücksichtigt.

Für die Entscheidungsfindung wurden folgende Indikatoren ausgewählt:

- **Rohstoffverfügbarkeit:** Berücksichtigung der mittel- und langfristigen Rohstoffverfügbarkeit für die Bauprodukte
- **Marktrelevanz:** Sicherstellung, dass es sich um einen relevanten Anwendungsfall für KMU handelt
- **Wachstumspotenzial:** Berücksichtigung sich abzeichnender Trends, insbesondere von Aspekten des nachhaltigen Bauens
- **Einsatz biotischer Rohstoffe:** Sicherstellung, dass das Trockenbauelement aus überwiegend nachwachsenden bzw. natürlichen Rohstoffen hergestellt wird
- **Sekundärrohstoffpotenzial:** Berücksichtigung des Einsatzes von Sekundärmaterialien als Rohstoff als Aspekt des nachhaltigen Bauens
- **Sonstige Aspekte**

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Bewertung für Trockenbauplatten auf Basis von Holz, Stroh, Hanf und Lehm zusammengestellt.

Es zeigt sich, dass Platten auf Holzbasis zwar auf eine sichere Rohstoffbasis zurückgreifen, gleichzeitig jedoch kaum Sekundärmaterialien wie Altholz eingesetzt werden. Holzplatten dominieren neben Gipsbauplatten den Markt und weisen daher nur ein geringes Wachstumspotenzial auf. Aufgrund der etablierten breiten Anwendung sind bereits zahlreiche ökologische Untersuchungen der verschiedenen Holzplattenarten – z. B. in der Ökobaudat – frei verfügbar.⁵⁷ Die Betrachtung im Rahmen dieser Studie hätte damit nur einen überschaubaren Mehrwert für KMU.

⁵⁷ Vgl. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o. D.).

Tabelle 4: Bewertung von Trockenbauelementen anhand ausgewählter Indikatoren

	Holzplatten	Strohplatten	Hanfplatten	Lehmplatten
Rohstoffverfügbarkeit	+++	+	-	+++
Marktrelevanz	+++	+	-	+
Wachstumspotenzial	+	++	+	+++
Sekundärrohstoffpotenzial	+	-	-	+++
Ausschließlicher Einsatz biotischer Rohstoffe	Je nach Plattenvariante ausschließlich oder nicht ausschließlich	Je nach Plattenvariante ausschließlich oder nicht ausschließlich	Nein	Ja
Sonstiges	Vielzahl von Ökobilanzen veröffentlicht	/	Nischenprodukt	Innovativ; klimaangepasstes Bauen

+++ hoch ++ mittel + gering - sehr gering

Die Stroh- und Hanfplatten sind als Nischenprodukt einzustufen. Das Wachstumspotenzial im Strohbau wird als günstiger eingeschätzt, da Stroh als Nebenprodukt in der Landwirtschaft in größeren Mengen anfällt. Aufgrund der Nutzung von Stroh in der Herstellung von Kraftstoff und als Bodenverbesserer unterliegt die Anwendung im Bau jedoch einer starken Nutzungskonkurrenz.

Für Lehmplatten kann auf regionale und weit verfügbare Vorkommen an Sand und Lehm zurückgegriffen werden. Primärgrubenlehm wird gezielt für den Lehmeinsatz abgebaut. Sekundärgrubenlehm fällt als Bodenaus-hub bei Tiefbaumaßnahmen an und wird üblicherweise entsorgt.⁵⁸ Durch die Verwendung von insbesondere Sekundärgrubenlehm für die Herstellung von Lehmplatten werden die Materialien stattdessen hochwertig verwertet. Aufgrund der feuchte- und wärmeregulierenden Eigenschaften des ungebrannten Lehms (vgl. Kapitel 3.1) werden Lehmbauprodukte

⁵⁸ Vgl. Dachverband Lehm e.V. (2023).

zudem zunehmend als Baustoff eines klimaangepassten Bauens wahrgenommen und bewusst eingesetzt. Die Marktrelevanz wird derzeit zwar als gering eingeschätzt, das Wachstumspotenzial hingegen als sehr groß. Insbesondere bei Fortbildungsveranstaltungen für Architekturschaffende hat das Thema Lehm- und Ziegelbau in den vergangenen Jahren stark an Bedeutung gewonnen.⁵⁹

Auf Basis dieser Bewertung sowie der sehr ähnlichen technischen Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten zur GKP (vgl. Kapitel 3.2) wird die Lehmplatte für die nun folgende vertiefte ökologische und ökonomische Betrachtung ausgewählt.

⁵⁹ Interview mit Herrn Peter Reinhardt, Geschäftsführer der Architektenkammer Baden-Württemberg und u. a. verantwortlich für das Institut Fortbildung Bau, am 06.03.2024.

4 METHODISCHE GRUNDLAGEN

GKP ohne und mit Rezyklatanteil sowie Lehmplatten sollen hinsichtlich ihrer ökologischen Aspekte, des Versorgungsrisikos und der Wirtschaftlichkeit bewertet werden. Dieses Kapitel legt die methodischen Grundlagen der Bewertung fest.

4.1 Ökologische Bewertung

Mit dem Ziel, KMU die Überprüfung der ökologischen Sinnhaftigkeit des Einsatzes der drei untersuchten Trockenbauelemente zu ermöglichen, erfolgt eine vergleichende ökologische Bewertung der drei untersuchten Produktsysteme mit der Methode der Ökobilanz. Die Ökobilanz (engl. ‚Life Cycle Assessment‘, LCA) ist eine analytische Methode zur Abschätzung potenzieller direkter und indirekter Umweltwirkungen von Produktsystemen. Sie ist in den internationalen Normen DIN EN ISO 14040/44^{60, 61} standardisiert und in der VDI-Richtlinie 4800 Blatt 1⁶² weiter konkretisiert. Eine besondere Stärke der Ökobilanz liegt in dem Lebenszyklusansatz, bei dem alle Lebensphasen von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung und Verwendung bis zum Produktlebensende berücksichtigt werden. Sämtliche relevanten Umweltwirkungen sollen dabei möglichst ganzheitlich betrachtet werden. Das ermöglicht es, Zielkonflikte bzw. Problemverschiebungen zwischen Produktlebensphasen (z. B. Herstellung versus Nutzung) oder Umweltwirkungskategorien (z. B. Klimawandel versus Landnutzung) zu erkennen.

Eine Ökobilanz umfasst nach ISO 14040/44 die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens, die Sachbilanz, die Wirkungsabschätzung und die Auswertung.^{60, 61} Diese vier Phasen bilden einen iterativen Prozess. So können z. B. Erkenntnisse aus Zwischenergebnissen der

⁶⁰ Vgl. DIN EN ISO 14040:2021-02.

⁶¹ Vgl. DIN EN ISO 14044:2021-02.

⁶² Vgl. VDI 4800 Blatt 1:2016-02.

Sachbilanz oder der Wirkungsabschätzung eine Anpassung des Untersuchungsrahmens notwendig machen. Die ökologische Bewertung der drei Produktsysteme erfolgt im Rahmen dieser Studie in Anlehnung an ISO 14040/44^{63, 64} und VDI 4800 Blatt 1⁶⁵ und VDI 4600.⁶⁶

4.2 Versorgungsrisiko

Das Versorgungsrisiko der relevantesten Rohstoffe wird nach der aktuellen VDI-Richtlinie 4800 Blatt 2⁶⁷ bewertet. Das Ziel dieser Analyse ist die Identifikation von Rohstoffen, die in den Produktsystemen genutzt werden und deren Versorgung risikobehaftet ist. Hierbei werden nur exogene Kriterien, also solche, die nicht signifikant vom untersuchten rohstoffnutzenden System beeinflusst werden können, betrachtet. Die exogenen Kriterien werden im Rahmen der Kritikalitätsdimension „Versorgungsrisiko“ dargestellt. Endogene Kriterien, die die systemspezifische Vulnerabilitätsdimension ergeben, werden nicht berücksichtigt.

Es werden folgende Kriterien der Kritikalitätsdimension Versorgungsrisiko betrachtet:

- **Geologische, technische und strukturelle Kriterien:** statische Reichweite, Koppelproduktion/Nebenproduktion, Recycling, logistische Beschränkungen, Beschränkungen durch Naturereignisse
- **Geopolitische und regulatorische Kriterien:** Länderkonzentration der Reserven, Länderkonzentration der Produktion, geopolitische Risiken der Weltproduktion, regulatorische Situation für Rohstoffprodukte
- **Ökonomische Kriterien:** Unternehmenskonzentration der globalen Produktion, globaler Nachfrageimpuls, Substituierbarkeit, Rohstoffpreisschwankungen

⁶³ Vgl. DIN EN ISO 14040:2021-02.

⁶⁴ Vgl. DIN EN ISO 14044:2021-02.

⁶⁵ Vgl. VDI 4800 Blatt 1:2016-02.

⁶⁶ Vgl. VDI 4600:2012-01.

⁶⁷ Vgl. VDI 4800 Blatt 2:2018-03.

Die entsprechenden Indikatoren werden normiert und in den Wertebereichen 0, 0,3, 0,7 und 1 angegeben, wobei je Kriterium 0 einer geringen und 1 einer hohen Kritikalität entspricht. In der VDI-Richtlinie 4800 Blatt 2 werden die folgenden Rohstoffgruppen berücksichtigt:

- biotische Rohstoffe,
- mineralische, nicht metallische Rohstoffe,
- mineralisch-metallische Rohstoffe,
- fossilorganische Rohstoffe.⁶⁸

Die Indikatorwerte wurden, sofern vorhanden, Anhang B der VDI-Richtlinie 4800 Blatt 2 entnommen oder anhand VDI 4800 Blatt 2 berechnet.

4.3 Ökonomische Bewertung

Ziel der ökonomischen Bewertung ist es, die Investitionskosten aus der Perspektive einer Investitionsentscheidung für den Einsatz der drei Trockenbauelementalternativen zu untersuchen. Die Ergebnisse der ökonomischen Bewertung bieten einen strukturierten Vergleich beim Einsatz von alternativen Trockenbauelementen für KMU.

Die Kostenbewertungen für die zu betrachtenden Lebenszyklusphasen (Erwerb, Nutzung, Wartung bzw. Betrieb und Entsorgung) sind auf der Basis öffentlich zugänglicher Daten (z. B. Destatis, Euwid, Baustoffhandel) erfolgt, Abschätzungen und Annahmen sowie Befragungen von Fachleuten wurden für die weitere Validierung herangezogen. Annahmen werden transparent dargelegt und begründet. Für eine bessere Vergleichbarkeit sollen sämtliche Kostenbewertungen (z. B. mithilfe der Barwertmethode) auf den Erwerbszeitpunkt diskontiert werden.

⁶⁸ Vgl. VDI 4800 Blatt 2:2018-03.

5 UNTERSUCHUNGSRAHMEN

Voraussetzung für eine vergleichende Bewertung ist, dass die Systeme, die gegenübergestellt werden, ein hohes Maß an funktioneller Gleichwertigkeit aufweisen. Trockenbauplatten können daher nur dann hinsichtlich ihrer ökologischen und ökonomischen Aspekte verglichen werden, wenn gewährleistet ist, dass der betrachtete Anwendungsfall mit den betrachteten Alternativen die gleichen definierten Funktionen (z. B. technische oder physikalische Eigenschaften) erfüllen kann. Dieses Kapitel legt diese Funktionen fest und leitet daraus eine sog. funktionelle Einheit (FE) ab. Anschließend werden die Systemgrenzen gezogen, um festzulegen, welche Prozesse bewertet (innerhalb der Systemgrenze) und welche ausgespart werden (außerhalb der Systemgrenze). Abschließend wird definiert, hinsichtlich welcher ökologischen Auswirkungen (Wirkungskategorien) die Trockenbauplatten verglichen werden.

5.1 Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit (FE) ist die zentrale Bezugsgröße einer Ökobilanz. Alle Umweltauswirkungen, die innerhalb einer Ökobilanz berechnet werden, beziehen sich auf diese Größe. Die FE beschreibt eine messbare Leistung oder den Nutzen eines Produktes bzw. einer Dienstleistung. Sie ist somit ein Maßstab, an dem Umweltauswirkungen für verschiedene Produkte oder Dienstleistungen gemessen werden. Sollen z. B. die Umweltauswirkungen verschiedener Baumaterialien verglichen werden, könnte die FE die Bereitstellung von 1 t Baumaterial sein, das zuvor definierten Eigenschaften genügt. Indem die Umweltauswirkungen auf eine FE bezogen werden, ermöglicht die Ökobilanz einen vergleichenden Ansatz. Dadurch lässt sich feststellen, welches Produkt oder System geringere Umweltauswirkungen pro Einheit erzeugter Leistung hat.

Wie aus Kapitel 3 ersichtlich wird, weisen die verschiedenen Trockenbauelemente unterschiedliche physikalische Eigenschaften und Qualitätsmerkmale auf – und können damit verschiedene Funktionen

unterschiedlich gut erfüllen. Weiterhin sind im Gebäudesektor viele Eigenschaften bauteilspezifisch oder sogar Gebäudespezifisch zu betrachten. Das erschwert zunächst die Vergleichbarkeit von Bauprodukten. Allerdings sind je nach Einsatz der Trockenbauelemente bestimmte Funktionen nicht von Interesse.

Im Rahmen dieser Studie werden als konkreter Anwendungsfall Trockenbauelemente aus verschiedenen Materialien für den Einsatz im Trockeninnenausbau sowohl als Verkleidung für nicht tragende Wände als auch für die Innenverkleidung des Dachs verglichen. Der primäre Nutzen, der Trockenbauelementen in dieser Studie unterstellt wird, ist somit die abschließende Verkleidung im Trockeninnenausbau. Der Trockeninnenausbau dient der Raumteilung und dem Raumabschluss. Daher bietet es sich an, die funktionelle Einheit auf eine gewisse Wandfläche zu beziehen. Als funktionelle Einheit wird daher die **Verkleidung von 1 m² Innenwandfläche im Trockenbau** gewählt. Um der funktionellen Gleichwertigkeit der Trockenbauelemente Rechnung zu tragen, wird die funktionelle Einheit um weitere Eigenschaften ergänzt. Die nachfolgend aufgeführten Aspekte müssen erfüllt sein.

Funktionelle Einheit: Verkleidung von 1 m² Innenwandfläche im Trockenbau

Folgende Randbedingungen gelten:

- Lebensdauer: 50 Jahre
- Schallschutz Bauteil: $R'_w \geq 53$ dB horizontal möglich⁶⁹
- Feuerschutzklasse Bauteil: F30 möglich
- Für einen Aufenthaltsbereich ohne besondere Anforderungen

⁶⁹ R'_w („R Strich w“) ist die bewertete bauteilbezogene Kenngröße für die Luftschalldämmung im eingebauten Zustand, gemessen unter Berücksichtigung aller Nebenwege.

Zeitlicher Rahmen

Die Trockenbauelemente sind für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren auszulegen. Trockenbauelemente würden im Rahmen der Betrachtung ausgetauscht, sofern sie eine Lebensdauer unter 50 Jahren aufweisen. In diesem Fall würden der Austausch und damit zusätzliche Trockenbauplatten modelliert. Da in dieser Studie angenommen wurde, dass alle zu vergleichenden Platten die Lebensdauer von 50 Jahren erreichen, ist dies eine rein theoretische Überlegung.

Schallschutz

Für den Schutz gegen Luftschallübertragung im Innenausbau wird gemäß VDI-Richtlinie 4100⁷⁰ und DIN 4109⁷¹ gefordert, dass Bauteile einen Wert von $R'_{w} \geq 53$ dB horizontal erreichen. Für die Vergleichbarkeit der Trockenbauelemente im Rahmen dieser Studie wird daher angesetzt, dass eine nach anerkannten Regeln der Technik ausgeführte 12,5 cm dicke Innenwand inkl. einer Dämmschicht und der betrachteten alternativen Verkleidungen diese Anforderungen erfüllt. Hierfür wird von Herstellern bei der Verwendung von Standard-GPK (12,5 mm) eine Doppelbeplankung und bei Lehmplatten eine 22 mm starke Platte empfohlen.^{72, 73, 74} Daher werden die genannten Dicken der Verkleidung für eine vergleichbare Funktion berücksichtigt und eine GPK-Doppelbeplankung mit einer Lehmplatten-Einfachbeplankung verglichen.

Brandschutz

Aufgrund der mineralischen Eigenschaften kann mit beiden betrachteten Varianten eine Feuerschutzklasse von F30 der exemplarischen Innenwand

⁷⁰ Vgl. VDI 4100:2017.

⁷¹ Vgl. DIN 4109-1:2018-01.

⁷² Vgl. ClayTec (2022).

⁷³ Vgl. Conluto (o. D.)(b).

⁷⁴ Vgl. Knauf Gips KG (o. D.).

in oben genannter Ausführung erreicht werden (vgl. Kapitel 3.2). Hier liegt also eine gleichwertige Funktion vor.

Oberflächenbehandlung

Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, werden die Oberflächen der GKP und die der Lehmplatte in der Regel auf unterschiedliche Arten weiterbearbeitet. Im Standardfall werden GKP an Stößen sowie der Befestigung verspachtelt; Lehmplatten hingegen werden verputzt. Es können je nach Qualitätsanspruch und Anwendungsbereich auch noch weitere Oberflächenbearbeitungen gewählt werden. Da eine lehmverputzte Lehmplatte einerseits und eine verspachtelte GKP andererseits jedoch nicht als funktionsgleich angesehen werden können, wird vereinfachend auf die Berücksichtigung der möglichen Oberflächenbehandlungen verzichtet.

Einsatzbereich & Handhabung

Es wird von einem Einsatz in einem Aufenthaltsbereich ohne besondere Anforderungen ausgegangen (z. B. Wohn- oder Büroräume). Für den Einsatz in Räumen mit besonderen Anforderungen, wie z. B. Feuchträumen, sind ggf. besondere Ausführungen der Platten oder weitere Alternativprodukte erforderlich (vgl. Kapitel 3.2). Größe und Gewicht der Wandbauplatten erfordern ggf. eine unterschiedliche Handhabung mit variierendem Personaleinsatz. Dieser Aspekt geht nicht in die Betrachtung ein.

Wärmeschutz & Befestigung

Beide Plattenalternativen können an verschiedene Ständerwerke geschraubt, geklammert oder an bestehende Flächen geklebt werden. Für die verkleideten Bauteile können außerdem unterschiedliche Wärmedämmmaterialien verwendet werden. Aufgrund ihrer im Vergleich zu Wärmedämmstoffen hohen Wärmeleitfähigkeit (vgl. Kapitel 3.2) spielt die Verkleidung mit Gipskarton- oder Lehmplatten in Bezug auf den Wärmedurchgang des gesamten Bauteils nur eine untergeordnete Rolle. Daher

werden Ständerwerk, Untergrund, Befestigung und Wärmedämmung im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet.

5.2 Systemgrenzen und Allokationsverfahren

Um den ganzheitlichen ökologischen und ökonomischen Vergleich der GKP mit variierendem Recyclinggipsanteil und der Lehmplatte anhand der funktionellen Einheit zu gewährleisten, müssen die zeitlichen und geographischen Systemgrenzen sowie die in den Systemgrenzen enthaltenen Prozesse festgelegt werden.

Die Systemgrenzen wurden entsprechend einer sog. Cradle-to-Grave bzw. Cradle-to-Cradle-Betrachtung gesetzt.⁷⁵ Dies umfasst alle Prozesse von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung und Nutzung bis hin zur End-of-Life-Phase (Verwertung oder Beseitigung) der entsprechenden Trockenbauplatte. Besonderes Augenmerk ist auf die Allokation innerhalb der End-of-Life-Betrachtung zu legen. Hier muss anhand attributiver Ökobilanzen eine „faire“ Aufteilung zwischen den abgebenden und aufnehmenden Systemen erfolgen. Abgebende Produktsysteme beschreiben dabei den Lebenszyklus eines Produktes, das am Ende des Lebenszyklus einen recyclingfähigen Abfallstrom für das aufnehmende System bereitstellt. Das aufnehmende System verwertet dieses recyclingfähige Material innerhalb der Produktionsphase.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wird der in Abbildung 5 dargestellte Ansatz nach VDI 4800 Blatt 1⁷⁶ befolgt:

⁷⁵ Cradle-to-Grave (C2G) und Cradle-to-Cradle (C2C) sind Konzepte des Lebenszyklusmanagements. Cradle-to-Grave beschreibt einen linearen Produktlebenszyklus, der mit der Rohstoffgewinnung beginnt und mit der Entsorgung endet. Cradle-to-Cradle hingegen steht für einen zirkulären Lebenszyklus, bei dem Produkte so gestaltet sind, dass sie nach ihrer Nutzung entweder biologisch abbaubar sind oder vollständig in den Produktionsprozess zurückgeführt werden können, wodurch Abfall vermieden wird und Ressourcen geschont werden.

⁷⁶ Vgl. VDI 4800 Blatt 1:2016-02.

- Das Recyclingmaterial tritt mit Erfassung des Abfalls in die Systemgrenze ein.
- Fällt Abfall in einem anderen System an und wird im betrachteten System genutzt, gilt: Lasten der Aufbereitung (z. B. Transport zur Aufbereitung, die Aufbereitung selbst, Verarbeitung und End-of-Life) werden dem betrachteten System angerechnet.
- Die Beseitigung von Abfall, der im betrachteten System anfällt, wird diesem angerechnet.

Abfall, der im betrachteten System anfällt, aber in einem anderen System verwertet wird, verlässt am Punkt der Erfassung das betrachtete System. Alle folgenden Prozesse, wie der Transport zur Aufbereitung, die Aufbereitung selbst oder die Verarbeitung, Nutzung und End-of-Life im folgenden Produktsystem, werden dem betrachteten System nicht angerechnet. Dieser Ansatz entspricht dem Systemmodell „Allocation, cut-off by classification“ (Cut-off) der Datenbank ecoinvent. Er unterscheidet sich von den Anforderungen an Umweltproduktdeklarationen nach DIN EN 15804 dahingehend, dass das Material am Punkt der Sammlung – und damit ggf. schon vor Ende der Abfalleigenschaft – in das System eintritt.

Der geographische Bezugsrahmen innerhalb des Vordergrundsystems der Modellierung ist Deutschland. Das bedeutet, dass die oben genannten Prozessmodule im Modell für Deutschland abgebildet sind. Es wird also für Hintergrundprozesse z. B. der deutsche Strommix angesetzt. Insbesondere für Vorprodukte, die international gehandelt werden oder für die keine Deutschland-spezifischen Datensätze verfügbar sind, wurde auf europäische oder globale Marktmixe zurückgegriffen.

Die Produktsysteme bilden den aktuellen Stand ab. Das bedeutet, dass grundsätzlich möglichst aktuelle Daten verwendet, jedoch keine Abschätzungen über zukünftige Veränderungen getroffen werden. Im Rahmen dieser Studie werden ausschließlich die Trockenbauplatten selbst betrachtet. Es wurde angenommen, dass die Befestigung der Platten an z. B. Metall- und Holzständerwerken vergleichbar ist. Auch der restliche Wandaufbau

ist von der Wahl der Platte nicht unmittelbar berührt und wird im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet.

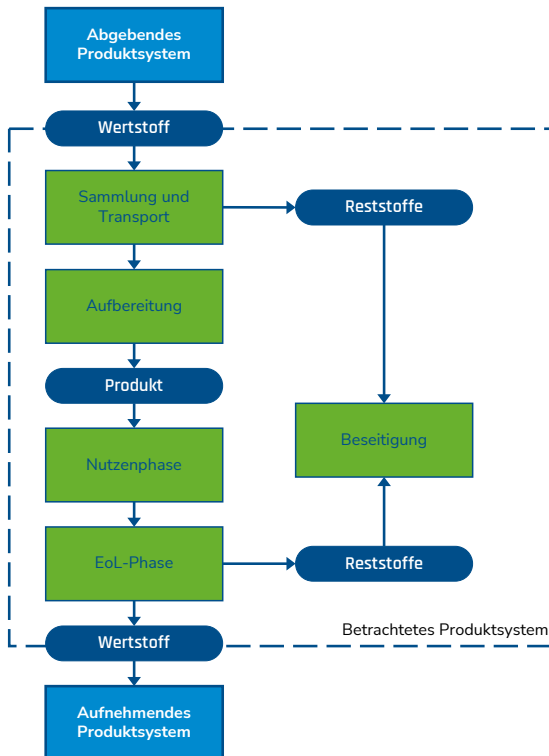


Abbildung 5: Vereinfachte schematische Darstellung des Systemmodells auf Basis von VDI 4800 Blatt 1⁷⁷

Die Lebensphasen der verschiedenen Trockenbauplatten sind in diesem Bericht, wie im Baubereich üblich, mit den jeweiligen Modulbezeichnungen nach DIN EN 15804⁷⁸ versehen und in Tabelle 5 zusammengefasst. Die betrachteten Systeme beinhalten die Herstellung und den Einbau (A1 – A5) sowie die Beseitigung (C4) inkl. Transport (C2) der Trockenbauplatten. Die Module B1 – B7 (Nutzungsphase) und C1 (Ausbau) wurden

⁷⁷ Eigene Darstellung in Anlehnung an VDI 4800 Blatt 1:2016-02.

⁷⁸ Vgl. DIN EN 15804:2022-03.

gekürzt, da sie für alle Trockenbauplatten als gleich angenommen wurden. Das Modul C2 (Transport zur Aufbereitung oder Beseitigung) ist nur für die Beseitigung enthalten. Die Module C3 (Aufbereitung des Abfallmaterials) und D (Gutschriften für zukünftiges Recycling der Platten) sind aufgrund des gewählten „Cut-off“-Ansatzes nicht in den Systemgrenzen enthalten, um eine Doppelzählung zu vermeiden. Stattdessen werden im Rahmen des Moduls A1 Vorteile der Nutzung sekundärer Rohstoffe in die Bewertung aufgenommen.

Tabelle 5: Module nach DIN EN 15804 und Beschreibung

Modul	Beschreibung
A1	Rohstoffgewinnung und -verarbeitung (auch Recyclingprozesse für Sekundärrohstoffe im Input)
A2	Transport zum herstellenden Unternehmen
A3	Herstellung
A4	Transport zur Baustelle
A5	Einbau in das Gebäude
B1 - B7	Nutzungsphase inkl. Wartung, Austausch, Modernisierung etc.
C1	Rückbau
C2	Transport zur Abfallbehandlung
C3	Aufbereitung zur Wiederverwendung oder Recycling
C4	Beseitigung
D	Gutschriften für zukünftiges Recycling

5.3 Datenquellen und Abschneidekriterien

Für die Bilanzierung des Hintergrundsystems wurde auf die Datenbank ecoinvent Version 3.9.1⁷⁹ zurückgegriffen. Im Einklang mit den Vorgaben

⁷⁹ Vgl. Wernet, G.; Bauer, C.; Steubing, B.; Reinhard, J.; Moreno-Ruiz, E. und Weidema, B. (2016).

in VDI 4800 Blatt 2⁸⁰ wurde in ecoinvent das Systemmodell „Allocation, cut-off by classification“ gewählt.

Bei der Erstellung des Vordergrundsystems der Ökobilanzen fanden sowohl generische Daten aus der ecoinvent-Datenbank als auch spezifische Daten aus den Umweltproduktdeklarationen (UPD) und gängiger Fachliteratur Einzug. Die Daten aus der ecoinvent-Datenbank wurden so gewählt, dass sie möglichst passgenau Ziel und Untersuchungsrahmen der Studie abdecken können. Die verwendeten Daten aus den UPD für Lehmplatten spiegeln den aktuellen Status quo wider und sind auf den deutschen Raum zugeschnitten.

Die Herstellung der Lehmplatte erfolgte anhand der genannten EPD und entspricht hinsichtlich zeitlicher und technologischer Repräsentativität dem Status quo. Weiterhin ist der Herstellungsprozess auf den deutschen Bezugsraum zugeschnitten.

Die Herstellung der GKP basiert auf dem ecoinvent-Prozess „gypsum plasterboard production“. Dieser wurde 2010 erstellt und gibt damit zunächst keinen aktuellen Datensatz wieder. Allerdings wurde die Prozesskette zur Bereitstellung von Gips an den Status quo angepasst. Weiterhin wurden der Strom- und Wärmemix an das Jahr 2022 und den deutschen Bezugsraum angepasst. Hinsichtlich des Bedarfs an weiteren Betriebsstoffen wie Karton oder Bindemittel ist davon auszugehen, dass sich die Zusammensetzung in den letzten Jahren nicht geändert hat. Bezüglich der Wärmebereitstellung ist unklar, wie diese innerhalb der Gipsindustrie erfolgt. Daher wurde der deutsche Wärmemix der verarbeitenden Industrie angesetzt.

Weitere Lebenszyklusphasen der Gipskarton- und Lehmplatte sind zeitlich repräsentativ und an den geographischen Bezugsraum angepasst:

⁸⁰ Vgl. VDI 4800 Blatt 2:2018-03.

- Transportdistanzen und -modalitäten sind an die heutige Infrastruktur angepasst.
- Die End-of-Life-Phase wurde so bilanziert, wie es für die Zukunft erwartbar ist (Recycling der GKP und Lehmplatte).

Bei der Bilanzierung wurden keine Abschneidekriterien definiert. In Standardwerken zur Ökobilanz oder in Ökobilanzstudien wird häufig argumentiert, dass bestimmte Inputs (Energie- oder Ressourcenverbräuche) oder Outputs (Emissionen) nicht bilanziert werden müssen, wenn sie eine geringfügigkeitsschwelle (z. B. 5 %) unterschreiten. Diese Schwelle kann sich auf eine Stoff- oder Energiemenge beziehen. Alternativ können Stoffströme vernachlässigt werden, wenn sie eine vernachlässigbare Umweltrelevanz aufweisen. In dieser Studie wurden alle In- und Outputs, soweit bekannt, bilanziert. Da in dieser Studie jedoch eine vergleichende Ökobilanz durchgeführt wurde, wurden Energie- und Stoffströme vernachlässigt, wenn sie in allen Systemen als gleich oder ähnlich betrachtet wurden (vgl. Kapitel 6).

5.4 Betrachtete Wirkungskategorien

Die im Rahmen dieser Studie betrachteten Wirkungskategorien umfassen den kumulierten Energieaufwand (KEA), den kumulierten Rohstoffaufwand (KRA) einschließlich Wasser sowie das Treibhausgaspotenzial und die Inanspruchnahme von Flächen. Eine detaillierte Beschreibung der Wirkungskategorien und wie diese abgebildet werden findet sich in Kapitel 7.1.

6 SACHBILANZ

In diesem Kapitel werden die Lebenswege der drei Trockenbauplatten beschrieben und wichtige Annahmen bezüglich der Sachbilanzen umrissen. Die vollständigen Sachbilanzen für die drei betrachteten Trockenbauplatten einschließlich aller verwendeten Datensätze können in Tabelle 8, Tabelle 9 und Tabelle 10 im Anhang der vorliegenden Studie nachvollzogen werden.

6.1 Lebensweg von Gipskartonplatten

Buchert et al. (2017)⁸¹ führen den Lebenszyklus von GKP mit und ohne anschließendes Recycling aus. Auf Basis dieser Arbeit werden die entsprechenden Prozessschritte abgeleitet.

A1 – A5: Rohstoffe der GKP sind REA-Gips und Naturgips. Derzeit betragen die jeweiligen Anteile von REA-Gips und Naturgips etwa 55 % und 45 %.^{82, 83} Zusätzlich kann die GKP einen Anteil an Recyclinggips (RC-Gips) enthalten. Um den Einfluss von Recyclinggips auf die Bilanz zu ermitteln, wird eine Variante ohne RC-Gips-Anteil (RC-0) und eine Variante mit 40 % RC-Gips-Anteil (RC-40) gerechnet.⁸⁴ Wie bereits dargestellt, ist der Anteil an RC-Gips in GKP derzeit aus anlagentechnischer Sicht auf maximal 40 % gedeckelt.⁸⁵

Für die Bereitstellung von **Naturgips** wird dessen Abbau (A1) bilanziert. Dazu wird der ecoinvent-Prozess „gypsum quarry operation | gypsum,

⁸¹ Vgl. Buchert, M. et al. (2017).

⁸² Vgl. VDPM und BV Gips (2023).

⁸³ Vgl. Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (2022).

⁸⁴ Die Anteile beziehen sich auf die Trockenmasse.

⁸⁵ In der Praxis werden geringere Anteile in der Platte verarbeitet (einstelliger Prozentbereich). Um jedoch die ökologischen Auswirkungen klar herauszuarbeiten, wurde die technische Obergrenze gewählt.

mineral-CH“ angesetzt. In dem Prozessschritt wird der deutsche Strommix hinterlegt.

REA-Gips wird als Abfallprodukt der Kohleverstromung gewertet. Lasten der Kohleverbrennung und die Produktion von Kalkmilch o. Ä. liegen außerhalb der Systemgrenze und werden vollständig der Bereitstellung von Strom aus Kohle angerechnet. Bei REA-Gips ist der erste Prozessschritt innerhalb der Systemgrenzen die Vakuumfiltration (A1). Dieser Schritt ist notwendig, um den Feuchtegehalt des nassen REA-Gips auf etwa 9 % zu reduzieren.⁸⁶ Der Energiebedarf für diese Erstbehandlung liegt bei 22 kWh_e/t Gips (feucht).⁸⁷ Da die Filtration direkt am Kohlekraftwerk stattfindet, wird für den Prozess Kohlestrom angenommen.⁸⁸

Für **RC-Gips** beginnt die Bilanz nach dem Ansatz „Cut-off by classification“ mit der Sammlung und dem Transport der EoL-GKP (A1). Da die Anzahl an Recyclinganlagen in Deutschland mit drei Stück bisher noch gering ausfällt, wird die Transportdistanz mit 200 km abgeschätzt. In der Recyclinganlage findet eine mechanische Aufbereitung statt (A1). Energieverbrauchsdaten für das Recycling werden aus Pedreño-Rojas et al. (2020)⁸⁹ entnommen und betragen ca. 30 kWh sowie ca. 30 MJ Diesel pro t RC-Gips. Innerhalb des Recyclingprozesses werden zunächst sogenannte Störstoffe ausgeschleust. GKP können Kunststoffe (z. B. Steckdosen), Metalle (z. B. Schrauben oder Leitungen) und mineralische Stoffe (z. B. Fliesen oder Porenbeton) als Störstoffe enthalten. Störstoffe werden mit einem Anteil von 2,5 % angesetzt.⁹⁰ Reststoffe, die verbrannt oder deponiert werden (mineralische Störstoffe gehen an die Deponie, Kunststoffe in die Verbrennung), liegen innerhalb der Systemgrenze. Wertstoffe, die einer stofflichen Verwertung zugeführt werden können, wie z. B. Metalle,

⁸⁶ Vgl. Buchert, M. et al. (2017).

⁸⁷ Vgl. Kreißig, J. und Stoffregen, A. (2007).

⁸⁸ 84 % aus Braunkohlekraftwerken, 16 % aus Steinkohlekraftwerken.

⁸⁹ Vgl. Pedreño-Rojas, M. A.; Fořt, J.; Černý, R. und Rubio-de-Hita, P. (2020).

⁹⁰ Vgl. Buchert, M. et al. (2017).

werden nach dem Cut-off-Ansatz nicht mehr betrachtet. Hier werden Lasten des Transports und des Recyclings von Metallen dem nachfolgenden System angerechnet. Zusätzlich wird bei der Aufbereitung die Kartonschicht der GKP „abgeschält“ und als papierreiche Fraktion ausgeschleust. Der Anteil der papierreichen Fraktion beträgt im Mittel 13 %.⁹¹ Hier wird angenommen, dass 50 % als Papierabfall an eine Verbrennungsanlage (MVA) gehen und 50 % als Konditionierungsmittel (wird nach dem Cut-off-Ansatz nicht mehr betrachtet) genutzt werden.

Naturgips, REA-Gips und RC-Gips werden – sofern notwendig – zum Gipswerk transportiert (A1). Die Lagerstätte von Naturgips befindet sich i. d. R. direkt am Gipswerk, daher wird kein Transport bilanziert. Nach Kreißig und Stoffregen (2007)⁹² liegen auch zwei Drittel der Kohlekraftwerke direkt an einem Gipswerk. Für das restliche Drittel wird ein Transport per Zug mit 275 km bilanziert. Transportdistanzen für RC-Gips wurden mit ca. 100 km bilanziert.⁹³

Angelieferter Gips wird getrocknet und durch Kalzinierung zu Halbhydrat verarbeitet. Für die Trocknung werden 920 kWh Wärmeenergie und 60 kWh Strom pro m³ verdampftes Wasser angesetzt.^{94, 95, 96} Für die Kalzinierung ergibt sich ein Energiebedarf von ca. 20 kWh Strom und ca. 225 kWh Wärme.⁹⁷ Für den bilanzierten Energieeinsatz werden der deutsche Strommix im Jahr 2022 und der deutsche Wärmemix des verarbeitenden Gewerbes angesetzt.^{98, 99} Aus Halbhydrat wird durch die Produktionsschritte „Abbinden“, „Schneiden“, „Trocknen“, „Besäumen“ und

⁹¹ Vgl. Buchert, M. et al. (2017).

⁹² Vgl. Kreißig, J. und Stoffregen, A. (2007).

⁹³ Vgl. Kreißig, J. und Stoffregen, A. (2007).

⁹⁴ Folgende Feuchtegehalte wurden für die verschiedenen Gipse angesetzt: REA-Gips: 9 % Wassergehalt, Naturgips: 1 % Wassergehalt, RC-Gips: 3 % Wassergehalt.

⁹⁵ Vgl. Bennamoun, L.; Arlabosse, P. und Léonard, A. (2013).

⁹⁶ Vgl. Heindl, A. (2016).

⁹⁷ Vgl. Kreißig, J. und Stoffregen, A. (2007).

⁹⁸ Vgl. AG Energiebilanzen (2023).

⁹⁹ Vgl. Fraunhofer ISE (2022).

„Bündeln“ unter Zugabe von Wasser, Karton und Bindemittel die GKP produziert¹⁰⁰ (A3). Zur Inventarisierung dieses Prozessschrittes wird der ecoinvent-Prozess „gypsum plasterboard production | gypsum plasterboard“ herangezogen. Dort wird der deutsche Strom- und Wärmemix hinterlegt.

Im nächsten Schritt werden jeweils 60 GKP auf eine Europalette geschichtet und mit PE-Folie abgedeckt.¹⁰¹ So verpackt werden die GKP zum Endverbrauchenden transportiert (A4). Die Transportdistanz wird konservativ mit 175 km abgeschätzt.¹⁰² Beim Einbau der Platte (A5) entsteht Verschnitt, der wiederum deponiert wird. Dieser wird mit einem Anteil von 10 % bezogen auf die GKP angesetzt.¹⁰³ Ebenso wird das Verpackungsmaterial zu Abfall und einem Entsorgungspfad zugeführt. Die Energie für den Einbau sowie etwaige Hilfsstoffe wie Spachtelmasse oder Fugenband wurden nicht bilanziert, da sie als vernachlässigbar klein und als gleich bzw. sehr ähnlich zwischen den Varianten angenommen wurde.

B1 – B7: Die Nutzenphase wird im Rahmen dieser Studie für die verschiedenen Trockenbauelemente als gleich angenommen, weshalb sie herausgekürzt wurde.

C1 – C4: Am EoL wird die GKP ausgebaut (C1). Die GKP wird dem Recycling zugeführt (siehe A1). Nach dem Cut-off-Ansatz endet die Bilanz an diesem Punkt.

Abbildung 6 veranschaulicht den Lebenszyklus anhand eines Prozessschaubilds.

¹⁰⁰ Vgl. IBU (2022).

¹⁰¹ Eine Europalette wird fünfmal genutzt und dann der Entsorgung zugeführt. Die Folie wird einmal genutzt und entsorgt.

¹⁰² In Umweltproduktdeklarationen (UPD) zu GKP des Bundesverbands der Gipsindustrie e.V. (2022) wird die Transportdistanz mit 100 km angesetzt.

¹⁰³ Dieser Wert wird in den EPD des Bundesverbands der Gipsindustrie e.V. (2022) zumeist geringer (ca. 5 %) angesetzt.

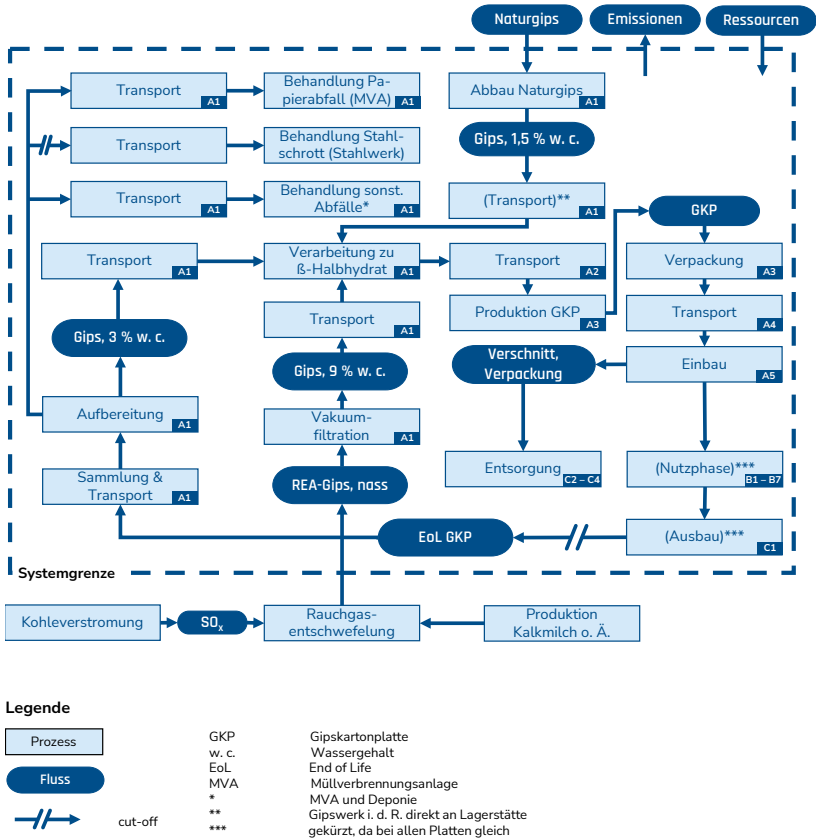


Abbildung 6: Prozesskette und Systemgrenzen zu Gipskartonplatten¹⁰⁴

6.2 Lebensweg von Lehmplatten

Die Prozesskette und die Systemgrenzen des Produktsystems Lehmplatte sind in Abbildung 7 dargestellt. Die im Folgenden beschriebene Prozesskette sowie die Sachbilanzdaten der Lehmplatte basieren auf der Muster-EPD für Lehmplatten des Dachverbands Lehm e.V.¹⁰⁵ und der EPD für

¹⁰⁴ Eigene Darstellung.

¹⁰⁵ Vgl. Dachverband Lehm e.V. (2023).

LEMIX-Lehmplatten der Hart Keramik AG¹⁰⁶. Die einzelnen Positionen dieser beiden EPDs wurden gegeneinander abgewogen und die finale Sachbilanz im Rahmen von zwei Interviews durch Fachleute aus der Lehmplatten-Branche validiert.

A1 – A5: Die durchschnittliche Lehmplatte besteht aus Primärgrubenlehm und Sekundärgrubenlehm, der als Bodenaushub bei Tiefbauarbeiten anfällt. Daher schließt die Rohstoffgewinnung (A1) die Gewinnung von Primärgrubenlehm sowie die Bereitstellung von Sekundärgrubenlehm gleichermaßen ein. In dieser Studie wird von 80 % Primär- und 20 % Sekundärgrubenlehm ausgegangen. In Einklang mit dem gewählten Modellierungsansatz tritt Sekundärgrubenlehm lastenfrei in das System ein. Da Lehmplatten noch ein junges Produkt sind, existiert bisher keine Kreislaufwirtschaft von Lehmplatten. In Zukunft ist allerdings auch die Nutzung von recyceltem Lehm aus gebrauchten Lehmplatten denkbar. Primär- und Sekundärgrubenlehm werden zur Aufbereitung transportiert (A2). Hierfür wurden aufgrund der guten Rohstoffverfügbarkeit 20 km Transportweg angesetzt.

Die Herstellung von trockenem Lehm erfolgt durch Lufttrocknung, Grob- und Feinzerkleinerung sowie Klassierung durch Sieben (A1). Hierbei werden Organik, Steine und grober Sand abgetrennt. Der trockene Lehm dient nun als Ausgangsstoff zur Herstellung der Lehmplatten (A3). Er wird mit Sand, organischen und mineralischen Zusatzstoffen sowie Wasser vermischt, bevor die Mischung in Form gebracht wird (bandgestrichen, gestampft oder stranggepresst). In dieser Studie wurde von Holzfasern und Stärke als Zusatzstoffe ausgegangen. Möglich wären z. B. auch Zusätze von Miscanthus oder Stroh. Außerdem werden die Platten mit Jutegewebe armiert. Anschließend gehen die Platten in die Trocknung. Das kann als Lufttrocknung erfolgen, durch Abwärmennutzung oder eine prozessgebundene Trocknungsanlage. Für die Produktion werden 15 kWh Wärme und 0,9 kWh Strom benötigt, bereitgestellt durch eine Gasturbine mit Kraft-

¹⁰⁶ Vgl. Hart Keramik AG (2023).

Wärme-Kopplung.¹⁰⁷ Die fertigen Platten werden mit Pappe als Kantenschutz und Plastikfolie auf Holzpaletten verpackt – 40 Lehmplatten pro Palette.^{108, 109} Die Lehmplatten haben ein Flächengewicht von 31,9 kg/m²; das entspricht ca. 25 kg pro Platte. Das Gewicht der Palette ist mit ca. 22 kg daher bei 40 Platten im Grunde vernachlässigbar. Der Transport zum Vertrieb bzw. zum Einsatzort (Annahme analog zu GKP: 175 km) erfolgt per LKW (A4). Dort werden die Lehmplatten eingebaut (A5). Auf der Baustelle fallen die Verpackungsmaterialien sowie Verschnitt als Abfall an. Auch hier werden für den Verschnitt ca. 10 % der benötigten Menge an Lehmplatten angenommen.

B1 – B7: Die Nutzenphase wird im Rahmen dieser Studie für die verschiedenen Trockenbauelemente als gleich angenommen, weshalb sie herausgekürzt wurde.

C1 – C4: Am EoL wird für die Lehmplatten angenommen, dass sie analog zu den GKP ausgebaut werden (C1), weshalb dieser Schritt herausgekürzt wurde. Der Transport zur Aufbereitung (C2) sowie die Aufbereitung zur Kreislaufführung des Materials (C3) befinden sich außerhalb der Systemgrenzen und werden dem nachfolgenden System, das die Materialien nutzt, angerechnet (siehe A1). Es wird zudem angenommen, dass eine Kreislaufführung der ausgebauten Lehmplatten erfolgt, weshalb die Beseitigung (C4) nicht modelliert wird. Da Lehmplatten noch ein junges Produkt sind, besteht zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie kein Markt für eine Kreislaufführung von Lehmplatten. Aufgrund der verwendeten Materialien ist jedoch davon auszugehen, dass eine Kreislaufführung möglich ist und sich in den kommenden Jahrzehnten etablieren wird.

¹⁰⁷ Vgl. Hart Keramik AG (2023).

¹⁰⁸ Vgl. Dachverband Lehm e.V. (2023).

¹⁰⁹ Vgl. Hart Keramik AG (2023).

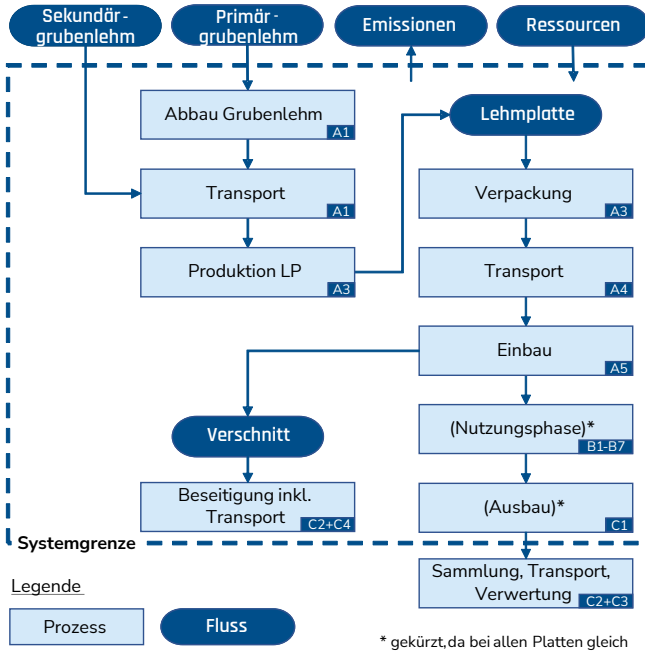


Abbildung 7: Prozesskette und Systemgrenzen zu Lehmplatten¹¹⁰

¹¹⁰ Eigene Darstellung.

7 ERGEBNISSE

Im Folgenden werden die Ergebnisse der ökologischen und ökonomischen Bewertung sowie der Identifikation potenziell mit einem Versorgungsrisiko behafteter Rohstoffe zusammengetragen und vorgestellt.

7.1 Ökologische Bewertung

Die bilanzierten Sachbilanzdaten werden in die Umweltauswirkungsindikatoren GWP, KEA, KRA, Wassernutzung und Flächeninanspruchnahme übersetzt. Die Ergebnisse sind in Herstellung (A1 – A3), Verpackung (A3), Transport zum Einsatzort (A4) und Einbau (A5) unterteilt. Die Verpackung ist separat dargestellt, um sie klar von der Herstellung und dem Transport abzugrenzen. Die Nutzenphase (B1 – B7) sowie der Ausbau (C1) der betrachteten Varianten wurden gekürzt, da diese als vergleichbar angenommen wurden. Für das End-of-Life (C2 – C4) der Trockenbauelemente wurde eine Verwertung angenommen, die nach dem hier angewendeten Modellierungsansatz außerhalb der Systemgrenzen liegt. Auch Gutschriften für durch die Verwertung einzusparende Rohstoffe und Emissionen (D) liegen außerhalb der Systemgrenze. Die Module B – D sind daher nicht in den Ergebnissen dargestellt.

7.1.1 Erderwärmungspotenzial (GWP)

Mit dem Erderwärmungspotenzial (englisch ‚Global Warming Potential‘, GWP) wird die langfristige Wirkung von Treibhausgasen (THG) auf die Umweltwirkungskategorie „Klimawandel“ quantifiziert. Sie berücksichtigt die spezifische Fähigkeit jedes Treibhausgases, Wärme in der Atmosphäre einzufangen und so zum Treibhauseffekt beizutragen. Zu den relevantesten Treibhausgasen zählen neben Kohlenstoffdioxid (CO₂) auch Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (N₂O, sogenanntes Lachgas) und Fluorkohlenwasserstoffe (FKW). Das GWP wird in CO₂-Äquivalenten gemessen. Mit dem Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) besteht zudem ein internationales Fachgremium, das sowohl die Methode als auch die entsprechenden Kennzahlen für klimawirksame Substanzen errechnet und

fortschreibt. Die Berechnung des GWP erfolgte nach den aktuellen Werten aus dem sechsten Sachstandsbericht des IPCC 2023.¹¹¹ Nichtfossiles CO₂, das von Pflanzen gebunden und am EoL wieder freigesetzt wird, wird mit "0" bilanziert. Es gibt also keine Gutschriften für aus der Atmosphäre gebundenes CO₂, das in den eingesetzten nachwachsenden Rohstoffen enthalten ist, und zugleich keine Lastschriften für dessen Emission am Lebensende.

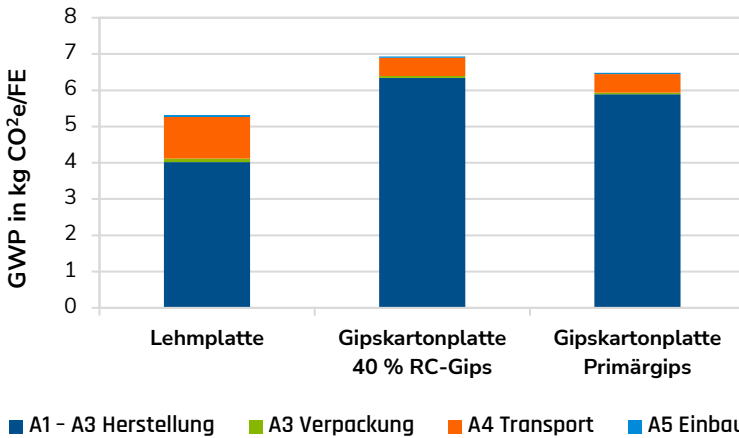


Abbildung 8: Ergebnisse für das Erderwärmungspotenzial (GWP)¹¹²

Abbildung 8 zeigt das THG-Potenzial für die drei Trockenbauelemente. Die Lehmplatte verzeichnet pro Quadratmeter verkleidete Wand ca. 5,3 kg CO₂e, die Recyclinggipsplatte etwa 7,0 kg CO₂e und die Primärgipsplatte ca. 6,5 kg CO₂e. Bei allen Trockenbauelementen ist in Bezug auf die THG-Emissionen die Herstellung dominant. Aufgrund des hohen Flächengewichts der Lehmplatten sind die THG-Emissionen des Transports hier mit über 1 kg CO₂e deutlich höher als bei den beiden Varianten der

¹¹¹ Vgl. IPCC (2023).

¹¹² Eigene Darstellung.

GKP (jeweils ca. 0,5 kg CO₂e). Verpackung und Einbau sind hinsichtlich der THG-Emissionen bei allen drei Varianten vernachlässigbar.

Bei den Lehmplatten ist die im Rahmen der Herstellung für die Trocknung benötigte Wärmebereitstellung aus Erdgas für fast ein Drittel der THG-Emissionen verantwortlich. Die Bereitstellung von elektrischer Energie, Stärke und Jutetextil trägt jeweils zu ca. 10 bis 11 % der Emissionen bei. Lehmproduktion und -transport machen gemeinsam nur etwas über 7 % der Emissionen aus. Holzfasern haben einen Beitrag von unter 5 %. Der Transport zur Baustelle (A4) hat bei der Lehmplatte einen Anteil von ca. 22 % an den THG-Emissionen.

Etwa die Hälfte der THG-Emissionen der beiden GKP geht auf den Wärmebedarf für die Herstellung zurück. Weiterhin werden jeweils etwa 15 % von dem Strombedarf und den Vorketten der Hilfsstoffe verursacht. Unter Hilfsstoffen sind z. B. Kartonagen und Bindemittel zusammengefasst. Der Transport dagegen verursacht bei der Recyclinggipsplatte mit 14 % einen höheren Anteil als bei der Primärgipsplatte mit 9 %. Dabei geht die Differenz auf zusätzliche und längere Transporte des RC-Gipses (in A1 – A3) zurück. Mit steigender Anzahl an Aufbereitungsanlagen ist jedoch absehbar, dass auch die Transportaufwendungen sinken werden. Der Abbau von Naturgips, die Erstbehandlung des REA-Gipses sowie die Aufbereitung des RC-Gipses tragen jeweils mit weniger als 5 % zu den THG-Emissionen bei.¹¹³

7.1.2 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

Der Verbrauch an energetischen Ressourcen wird über den KEA (kumulierten Energieaufwand) abgebildet. KEA ist ein Maß für den gesamten Verbrauch an energetischen Ressourcen, die für die Bereitstellung eines

¹¹³ Bei RC-40 trägt der Abbau von Naturgips zu 1 % zum GWP bei, die Erstbehandlung von REA-Gips zu 3 % und die Aufbereitung von RC-Gips ebenfalls zu 3 %.

Produktes oder einer Dienstleistung benötigt werden. Der KEA beinhaltet auch den Energiegehalt, der im Produkt selbst enthalten ist.

Über den KEA können alle nicht erneuerbaren und erneuerbaren energetischen Ressourcen als Primärenergiewerte ausgewiesen werden. Werden ausschließlich nicht erneuerbare Energien betrachtet (fossile und nukleare Energie), spricht man vom $KEA_{\text{nicht erneuerbar}}$. Werden zusätzlich erneuerbare Energien (z. B. Sonnen- und Windenergie oder Biomasse) in die Betrachtung mit eingebunden, handelt es sich um den KEA_{gesamt} . Die Bewertung des KEA erfolgt gemäß VDI 4600.¹¹⁴ Der KEA wird in MJ angegeben. Zur Berechnung wird der untere Heizwert der verschiedenen Energieträger angesetzt. Die Ergebnisse für die Kategorie KEA sind in Abbildung 9 (KEA_{gesamt}) und Abbildung 10 ($KEA_{\text{nicht erneuerbar}}$) dargestellt.

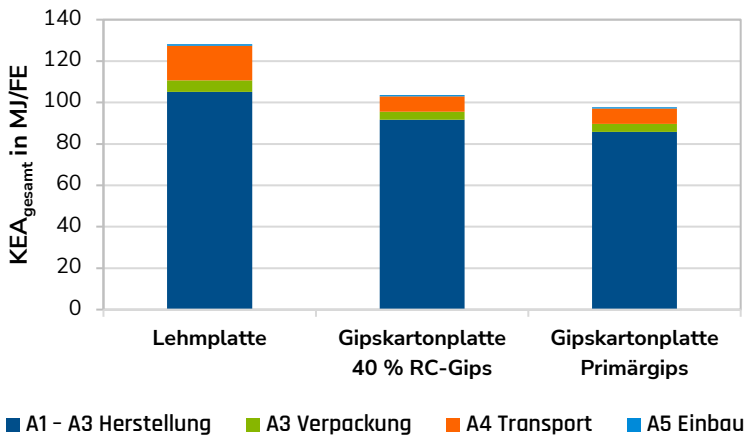


Abbildung 9: Ergebnisse für den kumulierten Energieaufwand (gesamt)¹¹⁵

Bei der Lehmplatte sind 54 % des KEA_{gesamt} auf die erneuerbaren Materialien Jute, Holz und Stärke zurückzuführen. Die Wärmebereitstellung durch

¹¹⁴ Vgl. VDI 4600:2012-01.

¹¹⁵ Eigene Darstellung.

Erdgas hat einen Beitrag von 18 % und Strom 6 %. Der Transportaufwand trägt zu 14 % zum KEA_{gesamt} der Lehmplatte bei.

Der KEA_{gesamt} der GKP mit und ohne Rezyklatanteil geht zu 55 bis 60 % auf den Verbrauch von Wärme (ca. 40 %) und Strom (ca. 20 %) zurück. Etwa weitere 20 % beruhen auf den Vorketten der teilweise organischen Hilfsstoffe. Mit jeweils weniger als 3 % weisen der Abbau von Naturgips, die Erstbehandlung des REA-Gipses und die Aufbereitung des RC-Gipses für die GKP mit Rezyklatanteil erneut einen geringen Anteil auf. Der deutlichste Unterschied zwischen der Recyclinggips- und der Primärgipsplatte zeigt sich erneut im Transport A2 (im dunkelblauen Balken enthalten) mit ca. 14 bzw. 9 %.

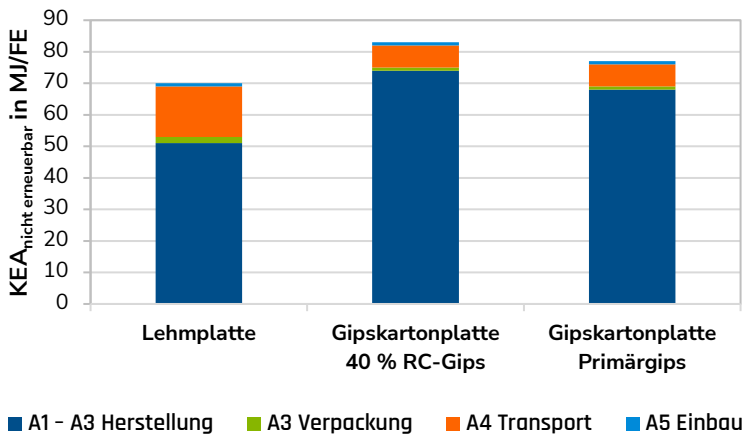


Abbildung 10: Ergebnisse für den kumulierten Energieaufwand (nicht erneuerbar)¹¹⁶

In diesen beiden Kategorien zeigt sich bezüglich der Einordnung der Lehmplatte ein gegenteiliges Bild. Die Lehmplatte liegt hinsichtlich des KEA_{gesamt} etwas über den beiden GKP, während sie beim $KEA_{\text{nicht erneuerbar}}$ am besten abschneidet. Das ist damit zu erklären, dass der Indikator

¹¹⁶ Eigene Darstellung.

KEA_{gesamt} auch die chemisch gebundene Energie der erneuerbaren Materialien Jute, Holz und Stärke einschließt, auf welche über 50 % des KEA_{gesamt} entfallen.

Bezüglich des Transports ist die Lehmplatte bei vergleichbaren Transportdistanzen aufgrund ihres höheren Gewichts auch in dieser Kategorie im Nachteil. Da THG-Emissionen zum größten Teil aus nicht erneuerbaren Energiequellen stammen, zeigt sich beim KEA_{nicht erneuerbar} eine klare Korrelation zur Kategorie Klimawandel.

7.1.3 Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA)

Analog zum KEA erfolgt die Berechnung des massenbezogenen Indikators kumulierter Rohstoffaufwand (KRA) gemäß VDI 4800 Blatt 2. Dort ist der KRA definiert als „Summe der zur Herstellung und zum Transport eines Produkts aufgewendeten Primärrohstoffe, inklusive der Energierohstoffe, entlang der Wertschöpfungskette [...]“¹¹⁷. Stoffe und Stoffgemische, die nicht wirtschaftlich verwendet werden, sind nicht im KRA enthalten.¹¹⁸ Der KRA ist ein rein massenbezogener Summenindikator, weshalb z. B. die Knappheit der Rohstoffe unberücksichtigt bleibt. Auch dient der KRA nicht als Proxy-Indikator für andere Wirkungskategorien wie den Klimawandel, da bei der Gewinnung verschiedener Stoffe sehr unterschiedliche Umweltwirkungen entstehen. Zur Berechnung des KRA wurden aktualisierte Charakterisierungsfaktoren aus der internen Datenbank des ifeu verwendet.

In Abbildung 11 sind die Ergebnisse der Kategorie „kumulierter Rohstoffaufwand“ dargestellt. Die Herstellung der Platten ist dabei der dominanteste Faktor. Der Transport zur Baustelle, der Einbau, die Nutzenphase und das End-of-Life fallen im Vergleich dazu gering aus. Die Lehmplatte schneidet bezüglich des KRA_{gesamt} mit fast 27 kg/m² beplankter Wandfläche deutlich schlechter ab als die beiden Gipsbauvarianten mit ca. 9 kg (RC-Gips) bzw. 12 kg (Primärgips). Dies liegt an dem höheren

¹¹⁷ VDI 4800 Blatt 2:2018-03.

¹¹⁸ Vgl. VDI 4800 Blatt 2:2018-03.

Flächengewicht der Lehmplatte, deren KRA zu 87 % durch die Bereitstellung von Lehm bestimmt wird. Etwa 4,5 % des KRA der Lehmplatte sind auf den Transport zur Baustelle zurückzuführen. Alle anderen Positionen liegen bei 0 bis 2 %.

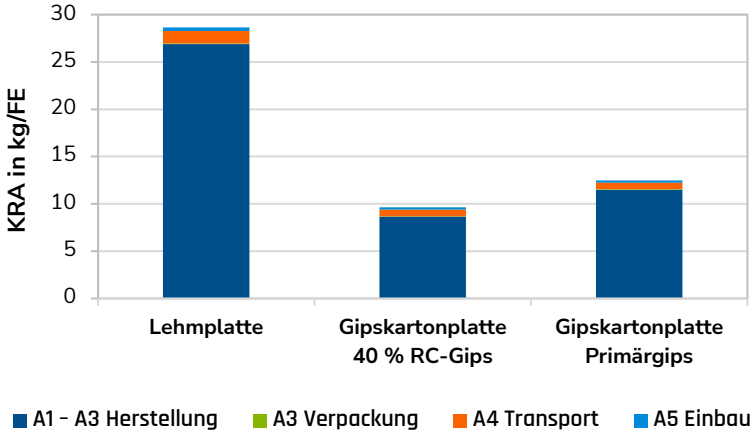


Abbildung 11: Ergebnisse für den kumulierten Rohstoffaufwand¹¹⁹

Mit ca. 55 % geht der größte Anteil des KRA der GKP auf die Vorketten der Hilfsstoffe zurück. Dazu zählen beispielsweise die Kartonummantelung und Bindemittel. Der zweitgrößte Anteil beruht mit ca. 18 % auf den für die Verpackung genutzten Holzpaletten. Der Wärmebedarf (ca. 11 %), der Strombedarf (ca. 7 %) und der Transport (ca. 7 %) weisen einen deutlich geringeren Anteil als in den Wirkungskategorien GWP und KEA auf. Der Abbau von Naturgips, die Erstbehandlung des REA-Gipses und die Aufbereitung des Recyclinggipses spielen auch hinsichtlich der Umweltwirkung KRA mit jeweils weniger als 1 % eine lediglich untergeordnete Rolle.

¹¹⁹ Eigene Darstellung.

7.1.4 Wassernutzung

Diese Wirkungskategorie bewertet die Auswirkungen der Wassernutzung entlang des betrachteten Lebenszyklus. Sie stammt aus der aktuellen Bewertungsmethode der Europäischen Kommission „Environmental Footprint 3.1“. Sie umfasst nicht nur den direkten Verbrauch von Wasser während der Herstellung, Nutzung und Entsorgung, sondern auch die indirekten Auswirkungen wie die Wasserentnahme und Verunreinigung von Gewässern. Darunter fällt ebenso die Entnahme von Wasser zur Stromerzeugung aus Wasserkraft, weshalb die Wirkungskategorie auch oft nur einen Indikator für den Anteil an Wasserkraft im Strommix darstellt. Durch die Berücksichtigung der Wassernutzung in der Ökobilanz sollen potenzielle Umweltauswirkungen wie Wasserknappheit oder die Beeinträchtigung der Wasserqualität bewertet werden.

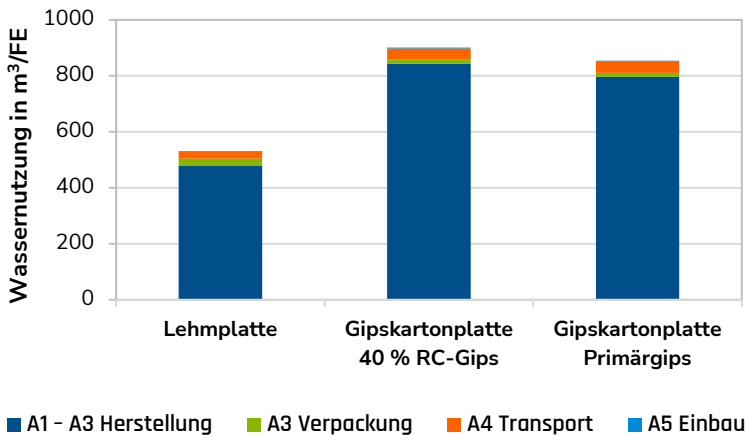


Abbildung 12: Ergebnisse für die Wassernutzung¹²⁰

Wie in Abbildung 12 zu sehen ist, liegt der Wasserverbrauch der Lehmplatte deutlich niedriger als der der GKP-Varianten. Der Wasserverbrauch der Lehmplatte wird zu ca. 66 % durch die Vorketten der Holzfaser-,

¹²⁰ Eigene Darstellung.

Stärke- und Jutegewebebereitstellung bestimmt, bei denen in der Herstellung der erneuerbaren Ausgangsmaterialien ein hoher Wasserverbrauch anfällt. Die Bereitstellung von Primärgrubenlehm sowie Wärme macht jeweils ca. 10 % des Wasserverbrauchs aus.

Bei den GKP tragen vor allem die Stromerzeugung und die Vorketten der Hilfsstoffe mit jeweils etwa einem Drittel zur Wassernutzung bei. Der Wärmeverbrauch ist auf ca. 18 % des Wasserbedarfs zurückzuführen. Der Transport bedingt im Fall der RC-Platte 9 % der Wassernutzung sowie 7 % bei der Primärplatte. Mit 4 % trägt die Aufbereitung des RC-Gipses in größerem Umfang zur Wassernutzung bei als der Abbau des Naturgipses mit 1 bis 2 % und die Erstbehandlung des REA-Gipses mit 0,3 bis 0,6 %.

7.1.5 Flächeninanspruchnahme

Für die Bewertung der Landnutzung wurde der Indikator „Soil quality index“ aus der aktuellen Bewertungsmethode der Europäischen Kommission „Environmental Footprint 3.1“, basierend auf dem LANCA®-Modell, verwendet. Dieses Modell betrachtet sowohl die temporäre Landbeanspruchung als auch eine permanente Landtransformation bezüglich der Faktoren „Erosionswiderstand“, „mechanische und physiochemische Wasserfiltrationsleistung“, „Grundwasserregenerationsleistung“ und „biotische Produktion“. Aufgrund der Betrachtung von sowohl temporärer Landbeanspruchung (Einheit: $\text{m}^2 \cdot \text{a}$) als auch permanenter Landtransformation (Einheit: m^2) muss eine Gewichtung erfolgen, weshalb die Gesamtheit der Ergebnisse in der dimensionslosen Einheit „Punkte“ dargestellt wird.

Abbildung 13 ist zu entnehmen, dass die Varianten der GKP bei der Landnutzung gegenüber der Lehmplatte deutlich im Vorteil sind. Das ist, ähnlich wie bei der Ressource Wasser, durch den Anteil erneuerbarer Materialien in der Lehmplatte bedingt, für die z. B. große Anbauflächen notwendig sind. Etwa 84 % der Umweltwirkung in dieser Kategorie sind auf Jutegewebe, Holzfaser und Stärke zurückzuführen, gefolgt von den Holzpaletten mit ca. 9 %.

Über die Hälfte der Landnutzung für die GKP geht auf die Vorketten der teilweise organischen Hilfsstoffe zurück. Die für die Verpackung genutzten Holzpaletten weisen in dieser Wirkungskategorie einen Anteil von ca. 18 % auf. Der Transport verursacht bei Recyclinggipsplatten einen Anteil von ca. 11 % der Landnutzung sowie einen Anteil von ca. 7 % im Falle von Primärgipsplatten.

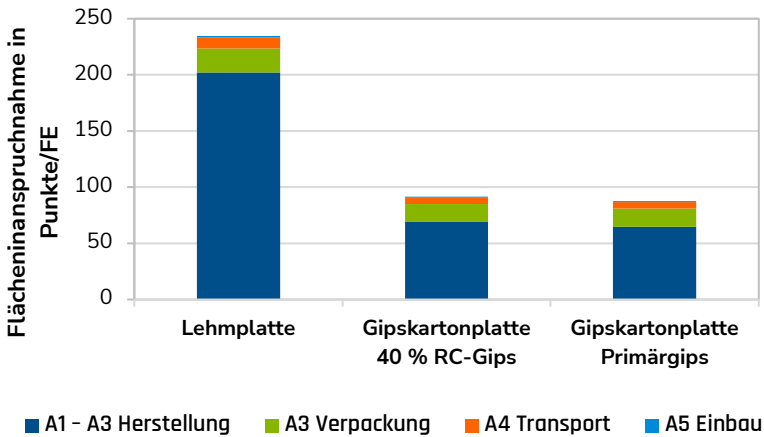


Abbildung 13: Ergebnisse für die Landnutzung¹²¹

7.1.6 Sensitivitätsanalysen

Um die Auswirkungen von Unsicherheiten oder Änderungen in bestimmten Variablen oder Parametern auf das Ergebnis der Ökobilanz zu untersuchen, werden Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Der Zweck dieser Analysen besteht darin, die Robustheit von Modellen zu überprüfen, potenzielle Risiken zu identifizieren und zu verstehen, wie sich Änderungen in den Eingangsvariablen auf die Ergebnisse auswirken können. Dazu werden im ersten Schritt sogenannte Hotspotanalysen durchgeführt. Hotspotanalysen konzentrieren sich darauf, Prozesse oder Flüsse zu

¹²¹ Eigene Darstellung.

identifizieren, an denen Änderungen in den Eingangsvariablen zu signifikanten Veränderungen oder Auswirkungen auf das Ergebnis führen. Zu diesem Zweck werden die Analyseergebnisse der verschiedenen Umweltkategorien stark disaggregiert.

Abbildung 14 zeigt die Beiträge einzelner in der Legende aufgeführter Positionen zu den Umweltwirkungen der Lehmplatte in Prozent. Es ist zu erkennen, dass die erneuerbaren Materialien Holz, Jute und Stärke bezüglich der Indikatoren Landnutzung (84 %), Wassernutzung (66 %) und KEA_{gesamt} (54 %) einen signifikanten Einfluss haben. Das ist plausibel, da erneuerbare Materialien einen großen Bedarf an Fläche und Wasser aufweisen.

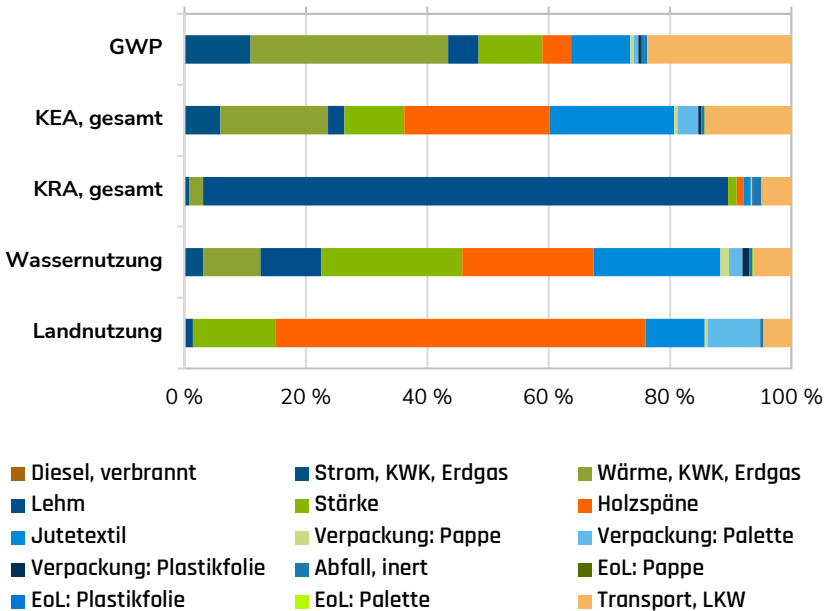


Abbildung 14: Beiträge der einzelnen Positionen zu den Umweltwirkungen der Lehmplatte¹²²

¹²² Eigene Darstellung.

Der hohe Wert für den Indikator KEA_{gesamt} ist damit zu erklären, dass dieser ebenfalls die chemisch gebundene Energie der erneuerbaren Materialien beinhaltet. Der KRA wird mit 87 % vom Rohstoff Lehm dominiert. Auch das ist plausibel, da dieser den mit Abstand größten Massenanteil der Lehmplatte hat. Bezüglich des GWP ist die Wärmebereitstellung durch Erdgas die signifikanteste Position. Die Trocknung der Lehmplatten könnte theoretisch allerdings auch mithilfe von Solarenergie oder Abwärmenutzung durchgeführt werden. Um dieser Unsicherheit Rechnung zu tragen, wird im Folgenden eine Sensitivitätsanalyse bezüglich einer möglichen solaren Trocknung der Lehmplatten durchgeführt.

Abbildung 15 zeigt die Hotspotanalyse für GKP, in der Variante mit 0 % Recyclinganteil (RC-0) und in der Variante mit 40 % Recyclinganteil (RC-40). Die Darstellung lässt erkennen, dass der Wärmeverbrauch, der für die Trocknung und Kalzinierung von Gips notwendig ist, maßgeblichen Einfluss hat. In den Kategorien GWP und KEA macht dieser Parameter etwa 40 bis 50 % des Gesamtergebnisses aus. Effizienzgewinne und eine Verschiebung hin zu umweltfreundlicheren Energieträgern können hier ansetzen, um die Umweltauswirkungen zu reduzieren.

Mit Blick auf den Stromverbrauch gilt die gleiche Argumentation. Allerdings ist der Einfluss auf das Gesamtergebnis im Vergleich zur Wärmebereitstellung um den Faktor 2 bis 3 geringer. Eine Ausnahme bildet die Kategorie Wassernutzung. Dies liegt darin begründet, dass auch die Stromproduktion durch Wasserenergie Einzug in die Kategorie Wassernutzung findet.

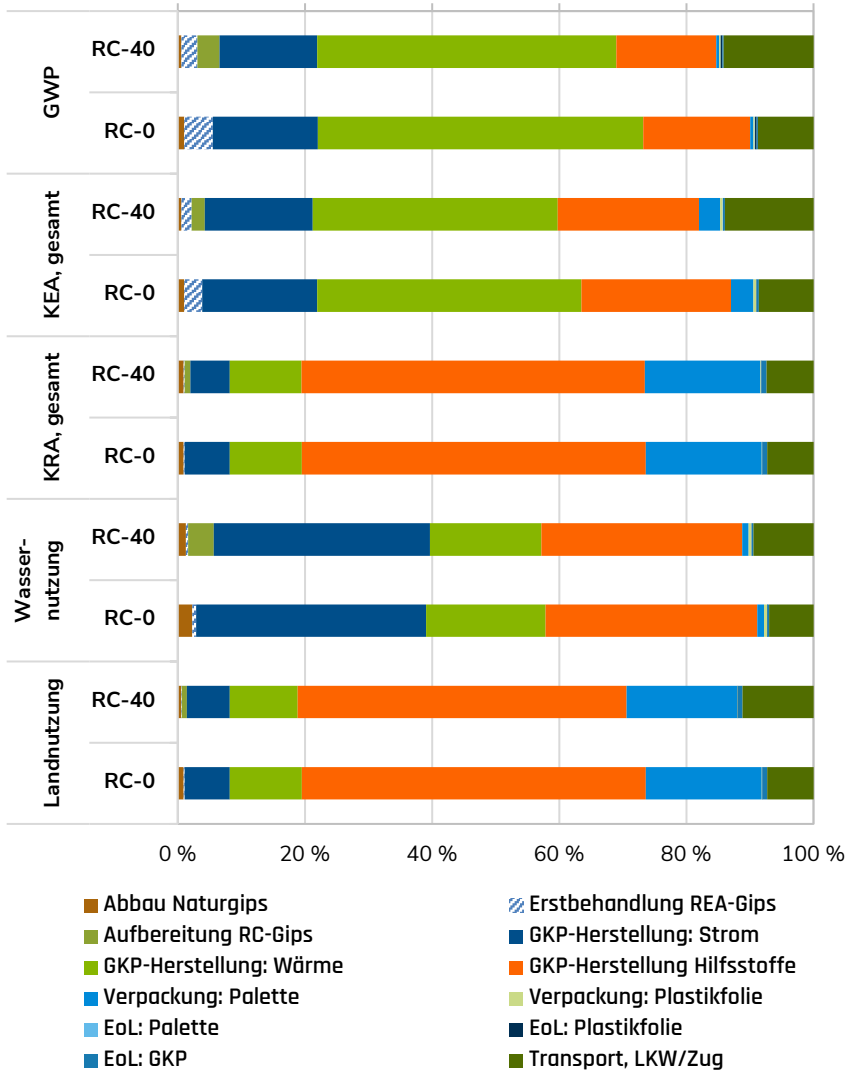


Abbildung 15: Beiträge der einzelnen Positionen zu den Umweltwirkungen der Gipskartonplatte ohne Recyclinganteil (RC-0) und mit 40 % Recyclinganteil (RC-40)¹²³

¹²³ Eigene Darstellung.

Hilfs- und Betriebsstoffe, die bei der Herstellung der GKP eingesetzt werden, können bis zu 50 % des Gesamtergebnisses ausmachen. Das lässt sich fast ausschließlich auf die Bereitstellung von Karton zurückführen. Der Einschlag von Holz, der zur Kartonproduktion notwendig ist, findet sich sowohl in der Kategorie „Landnutzung“ als auch im „Rohstoffaufwand“ wieder. Ebenso im Hinblick auf das Verpackungsmaterial macht Holz in Form von Holzpaletten etwa 10 % des Gesamtergebnisses in den Kategorien „Landnutzung“ und „Rohstoffaufwand“ aus. Die Menge an Karton und Verpackungsmaterial wird allerdings nicht als unsicherer Parameter gewertet und daher keiner Sensitivitätsanalyse unterzogen werden.

Transporte wirken sich über alle Wirkungskategorien hinweg nur in einer Größenordnung von 5 bis 15 % auf das Gesamtergebnis aus. Mit Blick auf eine Verknappung des Rohstoffes Gips ist hier aber zu erwarten, dass sich auch die Transportdistanzen zukünftig stark erhöhen.

Schließlich wird noch deutlich, dass die Bereitstellung von Gips unabhängig von der Gipsquelle (Naturgips, REA-Gips, RC-Gips) einen untergeordneten Einfluss auf die Gesamtbilanz der Trockenbauplatten hat. Anders ausgedrückt: Eine Verschiebung hin zu einem höheren RC-Gips-Anteil wird die Ökobilanz nicht negativ beeinflussen, obwohl sie mit einem höheren Aufbereitungsaufwand verbunden ist.

Transportdistanzen

In Kapitel 2 wird deutlich, dass sich die Verfügbarkeit von Gips in Deutschland in Zukunft voraussichtlich verringern wird. Daraus kann abgeleitet werden, dass entweder der Rohstoff Gips oder das fertige Produkt GKP aus dem Ausland importiert werden muss. Damit geht auch ein Transport über weitere Distanzen einher.

Als Sensitivitätsanalyse wird daher die Auswirkung veränderter Transportdistanzen der GKP auf ihr GWP betrachtet. Dafür wird das GWP für die Transportdistanzen der GKP von der Produktionsstätte bis zum Einsatzort in Höhe von 175 km, 500 km und 1000 km dargestellt und dem

GWP der Lehmplatte mit einer Transportdistanz von 175 km gegenübergestellt. Transportmittel bleibt in allen Fällen der LKW. Die Herstellung wurde nicht angepasst, da es sich nur um eine Sensitivitätsanalyse bezüglich der Transportdistanzen handeln soll.

Abbildung 16 zeigt, dass der Vorteil von Lehmplatten gegenüber GKP bezüglich der THG-Emissionen deutlich steigen würde, sofern letztere aus dem Ausland importiert werden sollten. Da Lehmplatten hinsichtlich des GWP ohnehin im Vorteil sind, ist das Ergebnis bezogen auf diese Sensitivität robust.

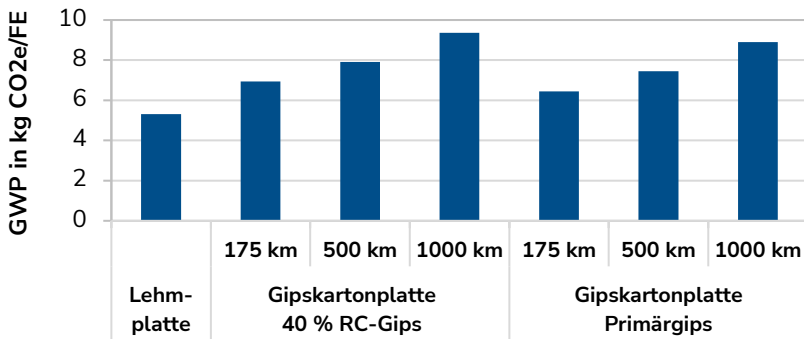


Abbildung 16: Sensitivitätsanalyse zu Transportdistanzen der Gipskartonplatten¹²⁴

Solare Trocknung

Der Wärmebedarf zur Trocknung der Lehmplatten stellt insbesondere bezüglich der Wirkungskategorie Klimawandel einen Hotspot dar. Nach Breidenbach und Lemke (2022)¹²⁵ ist es grundsätzlich möglich, Lehmplatten solar zu trocknen, wodurch der Wärmebedarf zur Trocknung aus Sonnenenergie gedeckt und Wärme aus Erdgas eingespart werden kann. Im Rahmen dieser Sensitivitätsanalyse wurde angenommen, dass der

¹²⁴ Eigene Darstellung.

¹²⁵ Vgl. Breidenbach, P. und Lemke, M. (2022).

Strombedarf für die Produktion, der bisher über Kraft-Wärme-Kopplung zusammen mit der Wärmeenergie produziert wurde, nun über das Stromnetz bezogen wird.

Das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse in Abbildung 17 zeigt, dass die THG-Emissionen der Lehmplatte mithilfe der Solartrocknung noch einmal deutlich von 5,3 kg CO_{2e} auf 3,5 kg CO_{2e} pro funktionelle Einheit verringert werden können. Die Lehmplatte würde in diesem Szenario im Vergleich zu den beiden GKP nur auf etwa die Hälfte der Emissionen kommen. Auch hier ist die Lehmplatte weiter im Vorteil, weshalb die Ergebnisse diesbezüglich als robust einzustufen sind.

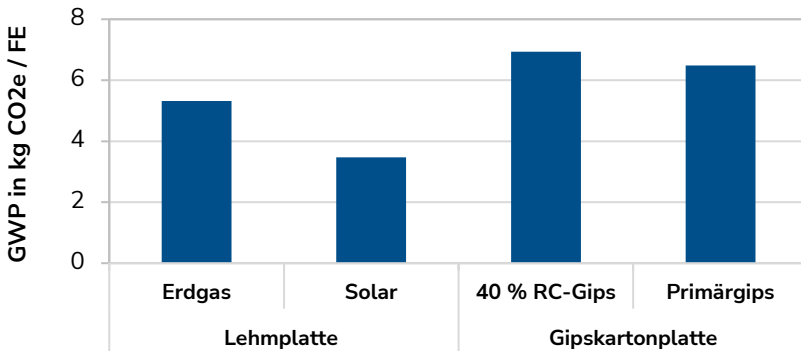


Abbildung 17: Sensitivitätsanalyse zur solaren Trocknung¹²⁶

Elektrifizierung mit erneuerbaren Energien

Energiebedarfe in Form von Strom und Wärme sind bei der Herstellung von GKP starke Treiber ökologischer Auswirkungen. Insbesondere im Hinblick auf das GWP fällt die Energiebereitstellung mit einem Anteil von über 60 % stark ins Gewicht.

Strategien der Gipsindustrie, in der Herstellung von GKP die Energiebereitstellung umweltfreundlicher zu gestalten, sehen neben einer

¹²⁶ Eigene Darstellung.

Steigerung der Energieeffizienz (z. B. durch Wärmerückgewinnungskonzepte) auch den verstärkten Einsatz regenerativer Energieträger vor. Kurzfristig ist hier angedacht, zunächst den Stromverbrauch durch erneuerbare Energien zu decken. Mittelfristig gibt es Überlegungen, Wärmeenergie vermehrt aus Biomasse oder Abfall bereitzustellen. Ein weiterer Ansatz ist die vollständige Elektrifizierung des Prozesses, um die Wärmebedarfe durch erneuerbaren Strom zu decken.¹²⁷

In dieser Sensitivität soll als „Best-Case-Szenario“ gezeigt werden, wie sich das GWP reduzieren kann, wenn sämtliche Strom- und Wärmeenergie durch Strom aus erneuerbaren Energieträgern bereitgestellt werden. Hierzu wird ein Strommix mit jeweils 50 % Strom aus Wind und Photovoltaik im Modell hinterlegt.¹²⁸ Diese Sensitivität wird zum einen bei GKP und zur besseren Vergleichbarkeit auch bei Lehmplatten angesetzt.

Wie die in Abbildung 18 grafisch dargestellten Ergebnisse zeigen, besteht durch die Umstellung auf erneuerbare Energiequellen ein großes Potenzial zur Reduzierung des GWP. Für die GKP hätte die Umstellung eine Reduzierung um etwa die Hälfte der THG-Emissionen zur Folge. Auch das GWP der Lehmplatte kann auf diese Weise um ca. 1 kg CO₂e/m² reduziert werden. Durch die deutliche Reduzierung des GWP der GKP weisen die Trockenbauelemente in dieser Sensitivität ein um ca. 0,5 bis 1 kg CO₂e/m² geringeres GWP als die Lehmplatte auf.

¹²⁷ Vgl. Eurogypsum (2023).

¹²⁸ Die eingesetzte Energiemenge bleibt unverändert. Es lässt sich nicht quantifizieren, wie stark sich die Energiebedarfe, die im Ecoinvent-Prozess hinterlegt sind, senken lassen.

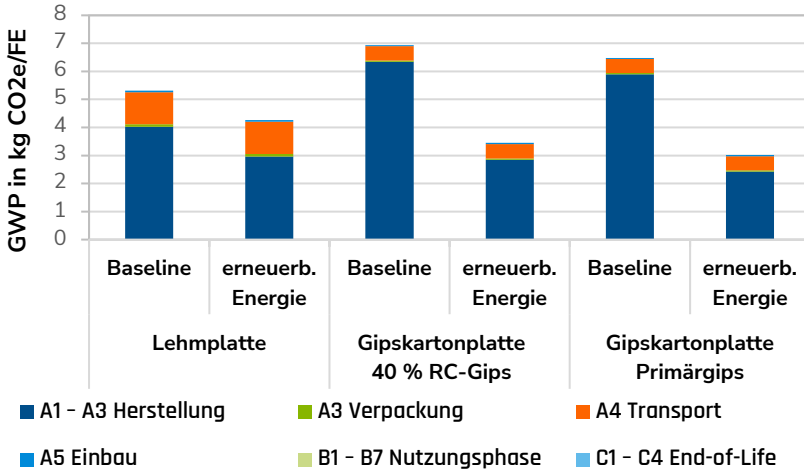


Abbildung 18: Sensitivitätsanalyse zum Einsatz erneuerbarer Energie (50 % Wind, 50 % Photovoltaik) bei der Herstellung von Trockenbauelementen¹²⁹

7.2 Versorgungsrisiko

Anhand der Sachbilanz und des Indikators KRA wurden die Rohstoffe Gips, Lehm und Erdgas als besonders relevant für das Versorgungsrisiko identifiziert. Gips und Lehm sind die Hauptmaterialien der Trockenbauplattentypen. Erdgas wird aktuell zur Wärmebereitstellung eingesetzt und ist vor allem für die Trocknung der Lehmplatten wichtig. Auch in der Herstellung der GKP erfolgt die Wärmebereitstellung teilweise mit Erdgas.

Das Versorgungsrisiko wurde nach VDI 4800 Blatt 2¹³⁰ berechnet. Zur Bewertung des Versorgungsrisikos werden die entsprechenden Indikatoren im Wertebereich 0 (geringe Kritikalität); 0,3, 0,7 und 1 (hohe Kritikalität) angegeben. Diese Indikatorwerte wurden entweder Anhang B der VDI-Richtlinie 4800 Blatt 2 entnommen oder anhand VDI 4800 Blatt 2 ermittelt. Zur Berechnung des Versorgungsrisikos wurden die Indikatorwerte für jeden Rohstoff der Größe nach geordnet. Mit folgender Formel wurden

¹²⁹ Eigene Darstellung.

¹³⁰ Vgl. VDI 4800 Blatt 2:2018-03.

Gewichtungsfaktoren für jeden Indikator berechnet (i = laufende Nummer des Indikators):

$$G_i = \frac{2^{(i-1)}}{3^i}$$

Damit werden höhere Indikatoren stärker gewichtet als niedrige. Die jeweiligen Indikatoren wurden mit ihren Gewichtungsfaktoren multipliziert und die Produkte addiert. Da die Summe der Gewichtungsfaktoren nicht genau 1 ergibt, wurde mit der folgenden Formel ein Korrekturfaktor berechnet:

$$K_j = \frac{1}{\sum_{i=1}^j G_i}$$

Die Multiplikation mit diesem Korrekturfaktor ergibt den Wert für das Versorgungsrisiko.¹³¹ Die Ergebnisse der Berechnung des Versorgungsrisikos nach VDI 4800 Blatt 2 für die drei betrachteten Rohstoffe sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Es zeigt sich, dass das Versorgungsrisiko von Gips deutlich höher liegt als das von Lehm. Das größte Versorgungsrisiko der betrachteten Rohstoffe weist unterdessen Erdgas auf.

Tabelle 6: Versorgungsrisiko der Rohstoffe Gips, Lehm und Erdgas nach VDI 4800 Blatt 2

Gips	Lehm	Erdgas
0,72	0,48	0,81

≤ 0,3 = grün; 0,31 bis 0,69 = blau; ≥ 0,7 = orange

Zur Einordnung der Ergebnisse ist es wichtig zu beachten, dass die Berechnung des Versorgungsrisikos nach VDI 4800 vor allem für Rohstoffe relevant ist, die am Weltmarkt gehandelt werden. Kriterien, die in die Berechnung eingehen, sind z. B. die globale statische Reichweite, die Länderkonzentrationen der Reserven und der Produktion sowie geopolitische

¹³¹ Vgl. VDI 4800 Blatt 2:2018-03.

Risiken der Weltproduktion. Diese sind für die Versorgung mit einem Rohstoff wie Lehm nicht aussagekräftig, da dieser in großen Mengen in Deutschland vorhanden ist und oft noch als Abfall- oder Nebenprodukt in der Kiesgewinnung oder in Form von Aushub anfällt. Der hier nach VDI 4800 Blatt 2¹³² berechnete Wert für Lehm ist daher für den Standort Deutschland als deutliche Überschätzung des Versorgungsrisikos zu bewerten.

Die Indikatorwerte für Erdgas hingegen wurden der VDI-Richtlinie 4800 Blatt 2¹³³ entnommen, welche im März 2018 veröffentlicht wurde. Die dort enthaltenen Werte für Erdgas müssten aufgrund der aktuellen geopolitischen Situation verschärft werden. Das Ergebnis für Erdgas ist daher (Stand 2024) als Unterschätzung des Versorgungsrisikos zu bewerten. Es ist empfehlenswert, den Bedarf an Erdgas zu reduzieren. In Bezug auf die Lehmplatten geht damit für die Wärmebereitstellung zur Trocknung eine Empfehlung zum Umstieg oder zumindest eine Ergänzung um z. B. Abwärmenutzung oder Solartrocknung einher.

7.3 Ökonomische Analyse

Im folgenden Abschnitt erfolgt ein Kostenvergleich zu Varianten für den Trockenbau. Verglichen wird die Beplankung von 1 m² mit GKP resp. Lehmplatten. Die Variante RC-GKP war am Markt nicht verfügbar und konnte daher nicht separat betrachtet werden.

7.3.1 Kostenvergleichsrahmen

In der ökonomischen Analyse wurden die Kosten aus Sicht der Investitionsentscheidung von KMU über den gesamten Lebensweg betrachtet. Die untersuchten Lebenszyklusphasen und dazugehörigen Wertschöpfungsebenen sowie Kostenbestandteile sind in Abbildung 19 dargestellt.

¹³² Vgl. VDI 4800 Blatt 2:2018-03.

¹³³ Vgl. VDI 4800 Blatt 2:2018-03.

Lebenszyklusphase	Wertschöpfung	Kosten
Anschaffung	Baustoffhandel	Erwerbskosten
Transport	Logistik-/ Transportunternehmen	Transportkosten
Aufbau/ Montage	Bauhandwerk	Aufbaukosten*
Nutzung/ Reparatur	Bauhandwerk	Reparaturkosten*
Demontage	Bauhandwerk	Demontagekosten*
Sammlung	Sammelstelle/ Wertstoffhof	Direkte Entsorgungskosten
Verwertung (stofflich, thermisch, Verfüllung)	Recyclingunternehmen	(Indirekte) Kosten / Verwertungserlöse
Beseitigung	Deponie	(Indirekte) Beseitigungskosten

* Arbeits- / Fahrtkosten, Betriebs- und Hilfsstoffe

Abbildung 19: Untersuchungsebenen und -phasen der ökonomischen Bewertung¹³⁴

Für die Betrachtung wurde eine vereinfachte Total-Cost-of-Ownership (TCO-) oder Vollkostenanalyse angewandt. Diese Methode ermöglicht es, bei anstehenden Investitionsentscheidungen die verschiedenen Kostenkomponenten systematisch zu erfassen und auch zukünftige

¹³⁴ Eigene Darstellung.

Folgeausgaben in den Vergleich zu integrieren. In die Analyse werden dabei folgende Kostenbestandteile einbezogen:

- Erwerbskosten bei der Anschaffung des Materials über den Baustoffhandel oder direkt über die Auftragnehmer der Leistung
- Transportkosten für den Materialtransport zur Baustelle über Logistik- oder Transportunternehmen
- Aufbaukosten (inkl. Arbeits- und Fahrtkosten) für Montage und Aufbau über das Bauhandwerk
- Zukünftige Kosten (diese Kosten fallen erst in der Zukunft an und werden entsprechend diskontiert):
 - Demontagekosten für Abbau und Demontage durch das Bauhandwerk oder durch Entsorgungsfachbetriebe
 - Entsorgungskosten (inklusive Sammlung, Verwertung und Beseitigung)

7.3.2 Datensammlung und -aufbereitung

Die Datensammlung erfolgte über Internetrecherchen und per Anfragen an KMU. Hierzu wurden bei Baustoffhandelsunternehmen, Trocken- und Lehmbauunternehmen sowie Entsorgungsbetrieben Preisangebote und Kostenvoranschläge eingeholt. Die Datengrundlage für die ökonomische Bewertung basiert auf insgesamt zehn Anfragen per E-Mail und Telefon bei Baustoff- und Trockenbaubetrieben. Diese Daten wurden zwischen März 2024 und April 2024 eingeholt. Vier Angebote konnten für die Studie berücksichtigt werden. Zusätzliche vertiefende Informationen wurden per Telefon abgefragt.

Für die KMU-Anfragen wurde ein spezifischer Anwendungsfall beschrieben, um auch Mengeneffekte bei der Bestellung und Ausführung der Arbeiten im Kostengefüge realisieren zu können. Der Use Case sah die Bepankung von 500 m² Trockenbauwand als vergleichende Ausführung in GKP oder in Lehmplatten vor. Es wurde zudem definiert, dass die

Ständerwerke bereits durch die Auftraggebenden vorbereitet werden, ebenso wie die folgenden Arbeiten zur Oberflächenbehandlung. Für die Datenaufbereitung wurden die erhobenen Informationen herangezogen, um basierend auf den Angaben des oben beschriebenen Use Cases eine Abschätzung der Kostenverteilung pro m² Trockenbauwand zu liefern.

7.3.3 Ergebnisse

Werden die Gesamtkosten über den gesamten Lebensweg betrachtet, unterscheiden sich die beiden Varianten um das 1,3- bis 2-Fache pro m² Wandfläche. Ausgehend von der Datengrundlage ergaben die totalen Kosten eine Größenordnung von 17 bis 40 €/m² Wandfläche aus GKP und 35 bis 50 €/m² Wandfläche aus Lehmplatten.

Tabelle 7: Kostengrößen und -verhältnisse der Trockenbauvarianten

Trockenbauvariante	Gesamtkosten €/m ² ¹³⁵	Gesamtkosten- verhältnis pro m ²	Materialkosten- verhältnis pro m ²	Materialkosten an Gesamtkosten (in %)	Arbeitskosten an Gesamtkosten (in %)	Entsorgungskosten (diskontiert in %)
GKP	17 – 40	1	1	40 – 50	50 – 60	1 – 2
Lehm- platte	35 – 50	1,3 – 2	3,6	50 – 80	20 – 50	0

Dabei fallen insbesondere die um den Faktor 3,6 höheren Materialkosten für Lehmplatten ins Gewicht, die 50 bis 80 % der gesamten Kosten bei Lehmplatten ausmachen können. Demgegenüber belaufen sich die Materialkosten bei GKP auf 40 bis 50 % der gesamten Kosten. Die Entsorgungskosten machen dabei 1 bis 2 % von den Gesamtkosten bei GKP aus

¹³⁵ Die Größenordnung der Kosten wurden, basierend auf eingeholten Angeboten, geschätzt (vgl. Kapitel 7.3).

und spielen somit für die Investitionsentscheidung keine Rolle.¹³⁶ Gemessen an den Gesamtausgaben liegen die Arbeitskosten bei GKP bei rund der Hälfte, wohingegen der Anteil bei Lehmplatten entsprechend den höheren Materialkosten tendenziell geringer ausfällt (vgl. Tabelle 7).

7.3.4 Fazit

Die durchgeführte Analyse zeigt, dass die Variante mit Lehmplatten im Vergleich zu GKP bis zu doppelt so hohe Kosten auslöst. Das liegt vor allem an den im Vergleich höheren Anschaffungskosten für das Baumaterial. Gleichzeitig können mit Lehmplatten ein besseres Raumklima und -gefühl realisiert werden, was den Einsatz von Lehmplatten vor allem für eine höherwertige Bauausführung durch KMU interessant macht.

7.4 Beurteilung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Robustheit der Ergebnisse und mögliche Limitationen diskutiert. Hierbei wird ein besonderes Augenmerk auf die verbleibenden Datenlücken (Vollständigkeit) gelegt. Außerdem wird eruiert, ob bei der Datenerhebung, Berechnung und Auswertung zwischen allen betrachteten Produktsystemen ein konsistentes Vorgehen verfolgt wurde (Konsistenz) und wie sich die Ergebnisse bei Veränderung eines Parameters umgestalten können (Sensitivität).

Die funktionelle Gleichwertigkeit der betrachteten Trockenbauplatten kann nicht vollständig gewährleistet werden. Einerseits wurde der feuchte-regulierenden Wirkung der Lehmplatten, die zu einer Verbesserung des Raumklimas führt, nicht Rechnung getragen. Andererseits wurde das erschwerte Handling beim Einbau (hohes spezifisches Gewicht, ggf. erhöhte Bruchgefahr) einer Lehmplatte gegenüber einer GKP nicht berücksichtigt. Auch die weitere Verarbeitung, insbesondere die Oberflächenbearbeitung, unterscheidet sich zwischen den verschiedenen Trockenbauelementen.

¹³⁶ Es wurde angenommen, dass die Entsorgungskosten in 80 Jahren (als Annahme für die Lebensdauer) anfallen und diese sich bis dahin gegenüber dem heutigen Stand verzehnfacht haben werden. Davon wurde der heutige Barwert berechnet.

Ebenfalls dieser Aspekt wurde aus Gründen der Vereinfachung aus der Betrachtung herausgenommen. Um alle Aspekte der funktionellen Gleichwertigkeit konkret zu berücksichtigen, müsste ein Vergleich kompletter Wandaufbauten mit exakt gleichen Eigenschaften stattfinden. Das würde den Umfang der vorliegenden Studie jedoch übersteigen.

Die Sachbilanzdaten und Wirkungsabschätzungsergebnisse wurden konsistent in einer einheitlichen Excel-Tabelle erfasst. Die Modellierung erfolgte für alle Trockenbauplatten in der gleichen Software (openLCA), mit derselben Hintergrunddatenbank (ecoinvent 3.9.1 Cut-off) und den gleichen Charakterisierungsfaktoren je Wirkungskategorie.

Die Modellierung fand anhand der Vorgaben der VDI-Richtlinien 4800 Blatt 1 sowie Blatt 2¹³⁷ statt. Die Richtlinie widerspricht der DIN EN 15804 teilweise in Bezug auf die Allokationsregeln. Insbesondere verlässt Abfall, der im betrachteten System anfällt, aber in einem anderen System verwertet wird, nach VDI 4800 Blatt 2¹³⁸ am Punkt der Erfassung das betrachtete System. Gleiches gilt für den Eintritt in das System hinsichtlich der Nutzung von verwertbarem Material. Nach DIN EN 15804 ist dies nicht die Sammlung, sondern der Punkt, an dem die Abfalleigenschaft endet.¹³⁹

Es wurden alle relevanten Sachbilanzdaten für die drei betrachteten Trockenbauplatten erhoben und modelliert. Kapitalgüter (z. B. Maschinen, Gebäude, Transportmittel) wurden im Vordergrundsystem vernachlässigt, weil diese erfahrungsgemäß nur einen geringen Anteil der Umweltwirkungen ausmachen. Die Datenverfügbarkeit für die Herstellung von Lehmplatten fällt derzeit gering aus. Alle darauf bezogenen Sachbilanzdaten stammen aus nur zwei Literaturquellen. Diese wurden allerdings im Rahmen dieser Studie durch Fachleute validiert. Da es bei Lehmplatten unterschiedliche Materialzusammensetzungen gibt, bietet die hier dargestellte

¹³⁷ Vgl. VDI 4800 Blatt 1:2016-02 sowie VDI 4800 Blatt 2:2018-03.

¹³⁸ Vgl. VDI 4800 Blatt 2:2018-03.

¹³⁹ Vgl. DIN EN 15804:2022-03.

Lehmplatte nur eine mögliche Zusammensetzung. Auch in Bezug auf Herstellungsverfahren gibt es Unterschiede. Besonders relevant ist hierbei der Wärmebedarf zur Trocknung, weshalb diesbezüglich eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt wurde.

Die Datenverfügbarkeit und -qualität für die Herstellung der GKP sind zunächst als sehr hoch einzuschätzen, da es sich bei der Herstellung von GKP um einen seit Jahrzehnten etablierten Prozess handelt, der im großindustriellen Maßstab durchgeführt wird. Der Fehler kann hier allerdings im Detail stecken. Wie in Kapitel 7.1 aufgezeigt, spielt insbesondere die Energiebereitstellung stark in das Gesamtergebnis hinein. Zur Zusammensetzung der Energieträger sowie zur aktuell benötigten Energiemenge gibt es keine offiziellen Literaturwerte. Hier ist es möglich, dass sich diese Mengen in der jüngeren Vergangenheit aufgrund von Effizienzgewinnen reduziert haben. Insbesondere bei der Wärmebereitstellung innerhalb der Gipsindustrie ist unklar, wie diese umgesetzt wird. Daher wurde hier der deutsche Wärmemix der verarbeitenden Industrie angesetzt. Es ist somit möglich, dass dieser Parameter nicht passgenau abgebildet wurde.

Die Sensitivitätsprüfung der Wirkungsabschätzungsergebnisse hat ergeben, dass die Umstellung auf erneuerbare Energien insbesondere die Ergebnisse für die GKP signifikant reduziert, die in diesem Fall geringere THG-Emissionen zu verzeichnen hätten als die Lehmplatte. Hinsichtlich der Transportdistanzen und möglichen Solartrocknung der Lehmplatte sind die Ergebnisse robust, da sich hier die Ergebnisse bezüglich GWP verglichen mit dem Basisszenario nur zum noch verstärkten Vorteil der Lehmplatte gegenüber den GKP verschieben.

Kosten für Transporte, Betrieb bzw. Nutzung und Demontage wurden nicht separat betrachtet, da diese für die Investitionsentscheidung keine relevanten Unterschiede zwischen den Vergleichsvarianten ergaben bzw. der Einfluss auf das Gesamtergebnis zu gering gewesen wäre. Die Kosten für die allfällige Oberflächenbearbeitung und -behandlung wurde aus dem Betrachtungsrahmen der Studie vereinfachend herausgelassen. Es

soll jedoch erwähnt werden, dass bei der Variante mit Lehmbauplatten im Vergleich erhöhte Arbeitsaufwendungen für Verputzungsarbeiten anfallen. Diese könnten jedoch nach Möglichkeit auch unter Anleitung in Eigenleistung erbracht werden.

Die Aussagen zur ökonomischen Bewertung basieren auf einer geringen Anzahl an Datenpunkten, was bei der Interpretation der Ergebnisse nur Aussagen zu groben Größenordnungen zulässt. Diese Datenpunkte stellen eine Momentaufnahme dar. Künftige Entwicklungen (z. B. höhere Skaleneffekte bei Lehmbauplatten oder höhere Gipspreise aufgrund von Verknappung) und Innovationen (z. B. hanffaserverstärkte Leichtlehmbauplatten¹⁴⁰), die sich auf das Preisgefüge auswirken können, konnten nicht berücksichtigt werden.

¹⁴⁰ Bei der Recherche konnte zum Zeitpunkt der Berichtserstellung lediglich ein Anbieter identifiziert werden. – Vgl. Naturanum (2021).

8 ERKENNTNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Im Folgenden sind die wichtigsten Erkenntnisse dieser Studie bezogen auf den betrachteten Anwendungsfall zusammengefasst. Außerdem werden Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Wichtige Erkenntnisse

- Lehmplatten sind ökologisch vorteilhaft bezüglich GWP, KEA_{nicht erneuerbar} und Wassernutzung.
- Gipskartonplatten sind ökologisch vorteilhaft hinsichtlich KEA_{gesamt}, KRA und Landnutzung.
- Trotz höheren Aufwands bei der Bereitstellung führt der Einsatz von RC-Gips in GKP nicht zu deutlichen negativen ökologischen Effekten gegenüber GKP aus Primärmaterial.
- RC-Gips wirkt sich positiv auf den Indikator KRA aus.
- Erdgas und Gips sind potenziell kritische Rohstoffe in der Herstellung von Trockenbauelementen.
- Lehmplatten sind aktuell mit höheren Kosten verbunden als GKP.

Zum aktuellen Zeitpunkt handelt es sich bei GKP um die am häufigsten eingesetzte Trockenbauplatte. Allerdings kann dem Rohstoff Gips aufgrund verschiedener Entwicklungen ein perspektivisches Versorgungsrisiko zugeschrieben werden. Daher wurden für das betrachtete Szenario ökologische und ökonomische Auswirkungen einer GKP der einer alternativen Trockenbauplatte gegenübergestellt.

Aus der vergleichenden Analyse alternativer Trockenbauelemente und deren technischen Eigenschaften in Kapitel 3 geht hervor, dass Lehmplatten den technischen Eigenschaften der Gipskartonplatten am ähnlichsten sind und sich daher als Alternative eignen. Der größte Unterschied liegt in der höheren Dichte der Lehmplatte, die das Gewicht steigert und die

Handhabung ggf. erschwert. Dafür zeichnet sich eine Lehmplatte z. B. durch eine bessere Feuchteregulierung und damit eine Verbesserung des Raumklimas aus.

Neben der Lehmplatte wurden zwei Varianten von Gipskartonplatten betrachtet. In der ersten Variante enthält die GKP keinen Recyclinganteil, während dieser in der zweiten Variante 40 % beträgt (derzeit technische Obergrenze). Für die Trockenbauplatten wurden ökonomische Kosten und ökologische Wirkungen quantifiziert sowie für die Produktion relevante Rohstoffe mit hohem Versorgungsrisiko identifiziert. Hinsichtlich der ökologischen Wirkungen wurden neben dem Erderwärmungspotenzial die Ressourcenverbräuche in Form von Wasser- und Landnutzung sowie kumuliertem Energie- und Rohstoffaufwand bewertet. Anschließend wurden die Ergebnisse hinsichtlich der genannten Parameter gegenübergestellt.

Die Ergebnisse der ökologischen Bewertung – bezogen auf den betrachteten Anwendungsfall – in Kapitel 7.1 zeigen, dass Lehmplatten bezüglich GWP, $KEA_{\text{nicht\erneuerbar}}$ und Wassernutzung mit geringeren Umweltwirkungen verbunden sind, während Gipskartonplatten bei den Indikatoren KEA_{gesamt} , KRA_{gesamt} und Landnutzung im Vorteil sind. In fast allen Kategorien weist die Primärgipsplatte etwas geringere Umweltwirkungen auf als die Recyclinggipsplatte, welche nur hinsichtlich des KRA vorteilhaft ist. Das geht auf die zusätzlichen Aufbereitungsschritte und Transporte für den Recyclinggips zurück sowie darauf, dass der REA-Gipsanteil des Primärgipses in Einklang mit dem gewählten Modellierungsansatz aktuell lastfrei in die Ökobilanzierung eingeht.

Die Hotspotanalyse der Umweltwirkungen der Gipskartonplatten zeigt, dass der größte Anteil auf den Wärmebedarf und eingesetzte Hilfsstoffe, wie Kartonagen und Bindemittel, rückführbar ist. Für die Lehmplatte sind ebenfalls die Hilfsstoffe (Holz, Jute und Stärke) sowie die Wärmebereitstellung die signifikantesten Positionen. Daher wurden in Kapitel 7.1.6 Sensitivitätsanalysen zur solaren Trocknung der Lehmplatten und zur Energiebereitstellung aus erneuerbaren Quellen für die

Wirkungskategorie Klimawandel erstellt. Außerdem wurden aufgrund der veränderten Versorgungssituation erwartbare längere Transportdistanzen für die Gipskartonplatten betrachtet. Es zeigt sich, dass der Einsatz erneuerbarer Energien die Ergebnisse signifikant reduziert.

Als potenziell mit einem Versorgungsrisiko behaftete Rohstoffe wurden Erdgas und Gips identifiziert. Lehm hingegen ist als eher unkritisch einzustufen. Bei einer Wärmebereitstellung ohne Erdgas (z. B. Solartrocknung) kann bei Lehmplatten daher auf versorgungskritische Rohstoffe verzichtet werden, während Gipsprodukte perspektivisch mit einem Versorgungsrisiko behaftet sein können.

Die ökonomische Analyse hat ergeben, dass die Beplankung mit Lehmplatten im Vergleich zu GKP mit bis zu doppelt so hohen Kosten verbunden sein kann. Dies ist vor allem auf die hohen Materialkosten zurückzuführen. Künftige Entwicklungen und Innovationen konnten bei der ökonomischen Bewertung nicht ausreichend abgebildet werden. Eine Erhöhung der Marktrelevanz für Lehmbauplatten hätte voraussichtlich erhöhte Investitionen und Kapazitätserweiterungen mit entsprechenden Skaleneffekten zur Folge. Das könnte langfristig zu einer besseren Verfügbarkeit und möglichen Preissenkungen bei den am Markt aktiven Herstellunternehmen von Lehmbauprodukten führen. Um die Skaleneffekte realisieren zu können, könnten das im Vergleich verbesserte Wohnklima und die ökologischen Vorteile von Lehmbauplatten zentrale Verkaufsargumente sein. Damit könnten insbesondere für das höherpreisige Segment flexible Angebote und Umsetzungen seitens der KMU begleitet werden. Auch im preissensiblen Segment können Lehmbauplatten bei entsprechend höherer Eigenleistung der Auftraggebenden eine gute Alternative darstellen, wenn im Angebotsportfolio der KMU auch entsprechende Beratungsleistungen abgefragt werden können. In Bezug auf das höhere Gewicht von Lehmbauplatten zeichnen sich bereits Innovationen ab (z. B.

hanffaserverstärkte Leichtlehm- bauplatten)¹⁴¹, die sich zukünftig auf das Preisgefüge in Bezug auf Transport, Anlieferung und Errichtung auswirken könnten.

Weitere Vorteile von Lehm- bauprodukten könnten sich auch hinsichtlich Arbeitsbedingungen und Gesundheitsschutz bei der Suche nach Fachkräften der KMU positiv auswirken. Der Umgang mit dem Baustoff Lehm und anderen alternativen Baustoffen könnte von den Mitarbeitenden als angenehmer empfunden werden, wie auch der geringere Staubaufall im Vergleich zu GKP bei dem Aufbau und der Verarbeitung für die Arbeitnehmenden geringere Gesundheitsgefahren mit sich bringt.

Ob diese Faktoren dazu führen werden, dass sich die bestehende Marktdominanz von GKP zukünftig zugunsten von ökologisch vorteilhafteren Baumaterialien verändern könnte, hängt auch von weiteren Faktoren ab, wie der zukünftig geringeren Verfügbarkeit von Gips als Primärrohstoff, längeren Transportdistanzen mit ggf. sich weiter verschlechternden Umweltbilanzen und kommenden politischen Regulierungen (NKWS, Ressourcenschutzgesetz etc.).

Das Angebot an alternativen Bauprodukten, wie z. B. Lehm- bauprodukten, könnte zukünftig eine größere Rolle spielen. Hierbei bestehen für KMU Chancen auf weitere Entwicklungs- und Diversifizierungsmöglichkeiten, die aus veränderten Ansprüchen von Verbrauchenden an ökologisch nachhaltige sowie höherwertigere Baustoffe (z. B. in Bezug auf das Raumklima) resultieren. KMU sollten sich frühzeitig darauf einstellen und ihr Angebot entsprechend anpassen sowie erweitern. Damit könnten KMU Wettbewerbsvorteile realisieren und von kommenden Entwicklungen profitieren. Zentrale Voraussetzung dafür ist, dass das benötigte Wissen um Verarbeitung, Demontage und Entsorgung entsprechend vorhanden ist.

¹⁴¹ Bei der Recherche konnte zum Zeitpunkt der Berichtserstellung nur ein Anbieter identifiziert werden. – Vgl. Naturanum (2021).

LITERATURVERZEICHNIS

AG Energiebilanzen e. V. (2023): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland – Daten für die Jahre von 1990 bis 2022 [online][abgerufen am: 05.04.2024], verfügbar unter: <https://ag-energiebilanzen.de/>

Albrecht, M. (2023): Interview mit dem Geschäftsführer der tretrog GmbH am 19. Oktober 2023.

Alwast, H. (2020): Gutachten: „Umweltverträgliche Alternativen zum Abbau von Naturgips“. Alwast Consulting, Berlin.

Bennamoun, L.; Arlabosse, P. und Léonard, A. (2013): Review on fundamental aspect of application of drying process to wastewater sludge. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews, 28, S. 29 – 43. ISSN 13640321. doi:10.1016/j.rser.2013.07.043

Breidenbach, P. und Lemke, M. (2022): Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung und solaren Trocknung einer Lehmplatte aus Lehm-Faser-Mischungen – Projektbericht [online][abgerufen am: 05.04.2024], verfügbar unter: <https://www.dbu.de/projektdatenbank/35520-01/>

Buchert, M.; Sutter, J.; Alwast, H.; Schütz, N. und Weimann, K. (2017): Ökobilanzielle Betrachtung des Recyclings von Gipskartonplatten. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 33/2017 [online][abgerufen am: 05.04.2024], verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekobilanzielle-betrachtung-des-recyclings-von>

Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o.D.): Ökobaudat. [online][abgerufen am: 05.04.2024], verfügbar unter: <https://www.oekobaudat.de/>

Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (2022): Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine-Erden-Industrie bis 2040 in Deutschland [online][abgerufen am: 05.04.2024], verfügbar unter: https://www.baustoffindustrie.de/fileadmin/user_upload/bbs/Bilder/Aktuelles/2022-04-20_BBS_Rohstoffstudie_01_ONLINE.pdf

Bundesverband der Gipsindustrie e.V. (2013): GIPS-Datenbuch, Berlin [online][abgerufen am: 05.04.2024], verfügbar unter:

https://www.gips.de/fileadmin/user_upload/gipsdatenbuch_2013.pdf

Bundesverband der Gipsindustrie e.V. (2020): Recyclinggips (RC-Gips) – Erstprüfung für Recyclinganlagen, Qualitätsmanagement, Qualitätsempfehlungen und Analyseverfahren [online][abgerufen am:

05.04.2024], verfügbar unter: https://www.gips.de/fileadmin/user_upload/aktuelles/Qualitaetsempfehlungen_Gipsrecycling_Analyseverfahren_Stand_Juni_2020.pdf

Bundesverband der Gipsindustrie e.V. (2022): Umwelt-Produktdeklaration der Forschungsvereinigung der Gipsindustrie e.V. [online][abgerufen am: 04.04.2024], verfügbar unter: <https://www.gips.de/downloads/umwelt-forschung/umwelt-deklarationen>

Bunzel, J.-M. (2023): Interview mit dem Geschäftsbereichsleiter TED Technology Engineering Development – MUEG am 9. Oktober 2023 zum Thema „Recycling von Gips“.

C. Doser Holzbau Zimmerei eK (o. D.): Holzweichfaserplatten – Herstellverfahren Informationen zu Material und Verwendung [online][abgerufen am: 15.07.2024], verfügbar unter: https://www.zimmerei-doser.de/fileadmin/user_upload/download/Herstellungsverfahren.pdf

ClayTec GmbH & Co. KG (2022): Ökologische Trockenbauwände im System – Nachhaltige und wohngesunde Bauweise der Zukunft [online] [abgerufen am: 05.07.2024], verfügbar unter: https://claytec.de/wp-content/uploads/2024/05/24_004_02_ClayTec_Leitfaden_Trockenbau_12_2023_DE.pdf

ClayTec GmbH & Co. KG (o. D.): Baustoff = Rohstoff [online][abgerufen am: 04.04.2024], verfügbar unter: <https://claytec.de/der-baustoff-lehm/naturrohstoff-3/>

Conluto (o. D.) (a): Schilfrohrplatten 2 cm und 5 cm [online][abgerufen am: 22.04.2024], verfügbar unter: https://nbh24.de/mediafiles/Sonstiges/ConlutoPDFs/TM/conluto_TM_Schilfrohrplatten.pdf

Conluto (o. D.) (b): Vielfalt aus Lehm, Technisches Merkplatt Lehmbauplatten [online][abgerufen am: 25.04.2024], verfügbar unter: https://nbh24.de/mediafiles/Sonstiges/ConlutoPDFs/TM/conluto_TM_Lehmbauplatte_16-22mm_einseitig_armiert.pdf

Dachverband Lehm e.V. (2023): Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaustoff. – Musterumweltproduktdeklaration für die Baustoffkategorie Lehmplatten (UPD LP) nach DIN EN 15804, Weimar.

DBFZ (2019): Der Strohmarkt in Deutschland [online][abgerufen am: 15.06.2024], verfügbar unter: https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/Broschueren/DBFZ_Strohmarkt_in_Deutschland.pdf

dena (2021): Hanf - Baustoff mit Zukunftspotenzial. Gebäudeforum Klimaneutral [online][abgerufen am: 15.06.2024], verfügbar unter: https://www.gebaeudeforum.de/fileadmin/gebaeudeforum/Downloads/Factsheet/Factsheet_Hanf_Baustoff_Gebaeudeforum_Klimaneutral.pdf

DIN 4103:2015-06: Deutsches Institut für Normung e. V., Nichttragende innere Trennwände - Teil 1: Anforderungen und Nachweise, Beuth Verlag, Berlin.

DIN 4109-1:2018-01: Deutsches Institut für Normung e. V., Schallschutz im Hochbau - Teil 1: Mindestanforderungen, Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN 15804:2022-03: Deutsches Institut für Normung e. V., Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte, Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN ISO 14040:2021-02: Deutsches Institut für Normung e. V., Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN EN ISO 14044:2021-02: Deutsches Institut für Normung e. V., Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

Eichhorn, S. (2020): Recycling von Gips [online][abgerufen am: 15.06.2024], verfügbar unter: https://www.grueneliga.de/images/Bilder/Gipspro. D.ekt/5_Dr_Simon_Eichhorn_Recycling_von_Gips.pdf

Ekopanely (2024): Bauplatte Ekopanely [online][abgerufen am: 15.06.2024], verfügbar unter: <https://www.ekopanely.de/>

Eurogypsum (2015): REA-Gips – Qualitätskriterien und Analysemethoden. VGB Powertech; ecoba [online][abgerufen am: 12.06.2024], verfügbar unter: <http://www.eurogypsum.org/wp-content/uploads/2015/04/EU-ROGYPSUMBD2.pdf>

Eurogypsum (2023): Towards Climate Neutrality with Gypsum [online][abgerufen am: 15.06.2024], verfügbar unter: <https://eurogypsum.org/towards-climate-neutrality-with-gypsum/>

EUROSTAT (2024): Sold production, exports and imports – ds-056120 [online][abgerufen am: 15.06.2024], verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ds-056120/legacyMultiFreq/table?lang=en&category=prom>

Fraunhofer-Institut für Holzforschung Wilhelm-Klauditz-Institut WKI und Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e. V. (2009): Spezial | Span- und Faserplatten, OSB [online][abgerufen am: 22.04.2024], verfügbar unter: https://informationsdienst-holz.de/fileadmin/Publikationen/3_Spezial/Spezial_Span_Faserplatten_OSB.pdf

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (2022): Energy-Charts – Nettostromerzeugung in Deutschland. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme [online][abgerufen am: 15.06.2024], verfügbar unter: https://energy-charts.info/charts/energy_pie/chart.htm?l=de&c=DE

Grimm, R. (2021): Was sind Lehmbauplatten? [online][abgerufen am: 02.04.2024], verfügbar unter: <https://www.baustoffwissen.de/was-sind-lehmbauplatten-31102023>

Hanffaser Uckermark eG (2024): Hanf- Trockenbau - Platte - HL-BP 14 / 22 [online][abgerufen am: 22.04.2024], verfügbar unter: <https://www.hanffaser.de/uckermark/index.php/trockenbauplatte>

Hanning, A. und Ortleb, H. (2020): Rohstoffversorgung mit Gips muss schon jetzt gesichert werden! [online][abgerufen am: 22.04.2024], verfügbar unter: https://www.gips.de/fileadmin/user_upload/Gips-Rohstoff-sicherung_VDPM___BV_Gips.pdf

Hart Keramik AG (2023): Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für die Baustoffkategorie Lehmplatten (PKR LP) nach DIN EN 15804. – Lemix Lehmplatten nach DIN 18948, Waldsassen.

Heindl, A. (2016): Praxisbuch Bandtrocknung – Grundlagen, Anwendung, Berechnung, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, ISBN 978-3-642-53904-6.

Heß, T. und Schmidt, R.-I. (2024): Lehmbauplatten: So geht ökologischer Trockenbau – Das Haus Online [online][abgerufen am: 15.06.2024], verfügbar unter: <https://www.haus.de/bauen/lehmbauplatten-30532>

Heißberg, A. von; Knispel de Acosta, S.; Möller, B.; Schuchardt, M. A. und Jentsch, A. (2023): Steinreich? Artenreich! Zur Bedeutung von Gipsabbau-Folgelandschaften für den Arten- und Biotopschutz. In: Naturschutz und Landschaftsplanung. Bd. 55 (2023) Heft 9, ISSN 0940-6808, S. 26 – 35.

Hochschule Merseburg (o. D.): Studierende der Hochschule Merseburg im Rahmen des Theorie-Praxis – Seminars „Highline“ bei Fr. Prof. Dr. Gundula Barsch: Hanf als Baustoff [online][abgerufen am: 03.04.2024], verfügbar unter: https://www.hs-merseburg.de/fileadmin/Hochschule/Pro. D.ekte/Hanf/hanf-als-baustoff_klein.pdf

IBU (2022): Umwelt-Produktdeklaration: Gipsplatte-Trockenestrich. Institut Bauen und Umwelt e.V., EPD-BVG-20210341-IBE1-DE [online][abgerufen am: 03.04.2024], verfügbar unter: https://www.gips.de/fileadmin/user_upload/download/umwelt_und_forschung/umwelt_deklarationen/Aktuelle_EPDs/EPD_-_GIPSPLATTE_-_TROCKENESTRICH_04.04.22-03.04.27.pdf

IPCC (2023): Climate change 2022 – Mitigation of climate change : Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, ISBN 9781009157926.

ISOLITH M. Hattinger GmbH (2022): Holzwolle-Leichtbauplatte LP. Produktdatenblatt [online][abgerufen am: 22.04.2024], verfügbar unter: https://www.isolith.com/wp-content/uploads/2022/02/Iso-lith_DB_LP_2022-02.pdf

James Hardie Europe GmbH (o. D.): fermacell® Gipsfaserplatte [online][abgerufen am: 15.04.2024], verfügbar unter: <https://www.fermacell.at/at/produkte/fermacell-gipsfaserplatten/gipsfaser-platte>

Jentsch, S.; Scheffler, M. und Birth, T. (2021): Zukunft der REA-Gips-Produktion nach dem Kohleausstieg [online][abgerufen am: 14.04.2024], verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/351009723_Zukunft_der_REA-Gips-Produktion_nach_dem_Kohleausstieg

Knauf Gips KG (o. D.): Detailblatt W11.de Knauf Metallständerwände [online][abgerufen am: 17.04.2024], verfügbar unter: <https://s7g10.scene7.com/is/content/knauf/1112.pdf>

Kreißig, J. und Stoffregen, A. (2007): Datenprojekt Grunddatensätze Gips und Gipsprodukte im Netzwerk Lebenszyklusdaten – Projektbericht [online][abgerufen am: 17.04.2024]. PE International GmbH, Leinfelden-Echterdingen, verfügbar unter: https://www.wecobis.de/fileadmin/images/Grundstoffe/bindemittel/Grunddatens%C3%A4tze_Gips_Gipsprodukte.pdf

Kronospan (o. D.): Datenblatt Kronobuild [online][abgerufen am: 15.04.2024], verfügbar unter: <https://media.hornbach.de/hb/datasheet/as.79161125.pdf>

mb-netzwerk GmbH Portal Ökologisch Bauen (o. D.): Trockenbau und Dämmung mit Stroh. Ökologisch Bauen [online][abgerufen am: 02.04.2024], verfügbar unter: <https://www.oekologisch-bauen.info/baustoffe/trockenbaustoffe/strohbauplatte/>

Naturanum (2021): Schleusner Leichtlehmbauplatte. Technisches Merkblatt - D22 mm [online] [abgerufen am 22.04.2024], verfügbar unter: <https://www.naturanum.de/media/pdf/02/65/06/Technisches-Datenblatt-D22mm-2021.pdf>

Naturbaustoffhaus GmbH (o. D.): Hanf-Lehm Bauplatte, 14/22 mm [online] [abgerufen am: 03.04.2024], verfügbar unter: <https://nbh24.de/Hanf-Lehm-Bauplatte-14-22-mm>

Pedreño-Rojas, M. A.; Fořt, J.; Černý, R. und Rubio-de-Hita, P. (2020): Life cycle assessment of natural and recycled gypsum production in the Spanish context. In: Journal of Cleaner Production, 253, S. 120056. ISSN 09596526. doi:10.1016/j.jclepro.2020.120056

RECYCLING magazin (2023): Österreich: Erstes Gips-zu-Gips-Recyclingwerk [online][abgerufen am: 02.04.2024], verfügbar unter: <https://www.recyclingmagazin.de/2023/10/04/oesterreich-erstes-gips%E2%80%90zu%E2%80%90gips%E2%80%90recyclingwerk/>

Statistisches Bundesamt (2023): Produktion im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Jahre, Güterverzeichnis [online][abgerufen am: 22.04.2024], verfügbar unter: https://www.destatis.de/SiteGlobals/Forms/Suche/Expertensuche_Formular.html?templateQueryString=Produktion+im+Verarbeitenden+Gewerbe&documentType_=genericchart

VDPM (2023): Trotz ausreichender Gips-Vorkommen: Rohstoffversorgung mit Gips ist in Gefahr! [online][abgerufen am: 22.04.2024], verfügbar unter: <https://www.vdpm.info/2023/trotz-ausreichender-gips-vorkommen-rohstoffversorgung-mit-gips-ist-in-gefahr/>

VDI 4600:2012-01: Verein Deutscher Ingenieure e. V., Kumulierter Energieaufwand (KEA) - Begriffe, Berechnungsmethoden Beuth Verlag, Berlin.

VDI 4800 Blatt 1:2016-02: Verein Deutscher Ingenieure e. V., Ressourceneffizienz - Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien, Beuth Verlag, Berlin.

VDI 4800 Blatt 2:2018-03: Verein Deutscher Ingenieure e. V., Bewertung des Rohstoffaufwands, Beuth Verlag, Berlin.

VDI 4100:2017: Verein Deutscher Ingenieure e. V., Schallschutz im Hochbau – Wohnungen, Beuth Verlag, Berlin.

VGB Powertech (2016): Analyse von REA-Gips [online][abgerufen am: 22.04.2024], verfügbar unter: <https://www.vgb.org/shop/technical-rules/merkblatter/m701-ebook.html>

Wernet, G.; Bauer, C.; Steubing, B.; Reinhard, J.; Moreno-Ruiz, E. und Weidema, B. (2016): The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. In: The International Journal of Life Cycle Assessment, 21 (9), S. 1218–1230. ISSN 0948-3349. doi:10.1007/s11367-016-1087-8

Wikimedia Commons (2010): Schematischer Aufbau des Absorbers einer Rauchgasentschwefelungsanlage mit Kalkwäsche [online][abgerufen am: 22.04.2024], verfügbar unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flue_gas_desulfurization_unit_DE.svg

ANHANG

In den folgenden Tabellen sind die in dieser Studie verwendeten Sachbilanzdaten dokumentiert. Inputs der Prozesse haben ein (I) vorangestellt, Outputs ein (O). Referenzflüsse sind **fett** gedruckt dargestellt. Sachbilanzdaten aus der ecoinvent-Datenbank sind geschwärzt. Die Quellen der hier aufgezeigten Daten sind in der Sachbilanz dargestellt.

Tabelle 8: Sachbilanzdaten zur Abbildung des Lebenszyklus einer GKP ohne Recyclinganteil bezogen auf 1 m² Beplankung

Prozess	Material- oder Energiefluss	Datensatz/Prozess	Menge	Einheit
(1.1) Abbau Naturgips	(I) Gips, mineralisch	market for gypsum, mineral - RER	8,31	kg/m ²
	(O) Naturgips, 1 % freies Wasser, ab Lagerstätte	Referenzfluss	8,31	kg/m²
(1.2) Erstbehandlung REA-Gips	(I) Elektrizität	electricity production, hard coal - DE	0,04	kWh/m ²
	(I) Elektrizität	electricity production, lignite - DE	0,20	kWh/m ²
	(O) REA-Gips, 9 % freies Wasser, ab Kohlekraftwerk	Referenzfluss	11,05	kg/m²
(2.1) Transport Naturgips - kein Transport notwendig	(I) Naturgips, 1 % freies Wasser, ab Lagerstätte	siehe (1.1)	8,31	kg/m ²
	(O) Naturgips, 1 % freies Wasser, ab Gipswerk	Referenzfluss	8,31	kg/m²
(2.2) Transport REA-Gips	(I) REA-Gips, 9 % freies Wasser, ab Kohlekraftwerk	siehe (1.2)	11,05	kg/m ²
	(I) Transport, Zug	market for transport, freight train - Europe without Switzerland	1,01	t*km/m ²
	(O) REA-Gips, 9 % freies Wasser, ab Gipswerk	Referenzfluss	11,05	kg/m²

(3) Trocknung und Kalzinierung von Gips zu β -Halbhydrat	(I) Elektrizität	Strommix DE, eigene Modellierung	3,94E-01	kWh/m ²
	(I) REA-Gips, 9 % freies Wasser, ab Gipswerk	siehe (2.2)	11,0	kg/m ²
	(I) Naturgips, 1 % freies Wasser, ab Gipswerk	siehe (2.1)	8,31	kg/m ²
	(I) Wärme	Wärmemix DE, eigene Modellierung	4,46	kWh/m ²
	(I) Industriemaschine	industrial machine production, heavy, unspecified - RER	2,14E-03	kg/m ²
	(I) Schmieröl	lubricating oil production - RER	2,77E-05	kg/m ²
	(O) β-Hemihydrat, ab Gipswerk	Referenzfluss	15,4	kg/m²
	(O) Inertter Abfall	treatment of inert waste, sanitary landfill - Europe without Switzerland	2,00E-03	kg/m ²
	(O) Siedlungsabfall	market for municipal solid waste - DE	3,08E-04	kg/m ²
(O) Wasserdampf	Elementarfluss	3,95	kg/m ²	
(4) Transport zur GKP-Produktionsstätte - kein Transport notwendig	(I) β -Hemihydrat, ab Gipswerk	siehe (3)	15,4	kg/m ²
	(O) β-Hemihydrat, ab GKP-Produktionsstätte	Referenzfluss	15,4	kg/m²

(5) Produktion der GKP	(I) Alkylbenzen-Sulfonat	alkylbenzene sulfonate production, linear, petrochemical - RER	■	kg/m ²
	(I) Karton	market for corrugated board box - RER	■	kg/m ²
	(I) Elektrizität	Strommix DE, eigene Modellierung	■	kWh/m ²
	(I) Glasfasern	glass fibre production - RER	■	kg/m ²
	(I) Wärme	Wärmemix DE, eigene Modellierung	■	MJ/m ²
	(I) Kleber	potato starch production - DE	■	kg/m ²
	(I) Silikonprodukt	market for silicone product - RER	■	kg/m ²
	(I) Wasser	market for tap water - Europe without Switzerland	■	kg/m ²
	(I) Fabrikgebäude	wooden board factory construction, organic bonded boards - RER	■	Item(s)/m ²
	(I) β-Hemihydrat	siehe (4)	■	kg/m ²
	(I) Wasser, nicht spezifizierter natürlicher Ursprung	Elementarfluss	■	m ³ /m ²
	(O) Gipskartonplatte, unverpackt, ab Werk	Referenzfluss	19,00	kg/m ²
(O) Wasser, Emission	Elementarfluss	1,04E-02	m ³ /m ²	
(6) Verpackung der GKP, Palette und	(I) Gipskartonplatte, unverpackt, ab Werk	siehe (5)	19,00	kg/m ²
	I) EUR-Palette	market for EUR-flat pallet - RER	5,45E-03	Item(s)/m ²

Folienabdeckung	(I) Kunststoffverpackung	market for packaging film, low density polyethylene - GLO	5,02E-03	kg/m ²
	(O) Gipskartonplatte, verpackt, ab Werk	Referenzfluss	19,6	kg/m²
(7) Transport zu den Kundinnen/Kunden	(I) Gipskartonplatte, verpackt, ab Werk	siehe (6)	19,6	kg/m ²
	(I) Transport, LKW	market for transport, freight, lorry, unspecified - RER	3436	kg*km/m ²
	(O) Gipskartonplatte, bei Kundin/Kunden	Referenzfluss	19,6	kg/m²
(8) Einbau der GKP	(I) Gipskartonplatte, bei Kundin/Kunden	siehe (7)	19,6	kg/m ²
	(O) Kunststoffabfall	market for waste polyethylene DE	5,02E-3	kg/m ²
	(O) Altholz (EUR-Palette)	market for waste wood, untreated - DE	1,25E-2	kg/m ²
	(O) GKP an Recycling (am Lebensende)	kein nachfolgender Prozessschritt, Cut-off	1,44	kg/m ²
	(O) GKP an Deponie (Verschnitt)	GKP an Deponie, siehe (11)	0,21	kg/m ²
	(O) Gipskartonplatte, verbaut	Referenzfluss	17,1	kg/m²
(9) Nutzungsphase	Keine Umweltwirkungen bilanziert			
(10) Manueller Ausbau, keine Lasten	(I) Gipskartonplatte, verbaut	siehe (8)	17,1	kg/m ²

(11) Transport an Deponie	(I) Gipskartonplatte, EoL	siehe (10)	17,1	kg/m ²
	(I) Transport, LKW	market for transport, freight, lorry, unspecified - RER	855	kg*km/m ²
	(O) GKP, an Aufbereitungsanlage	Referenzfluss	17,1	kg/m²
(12) Deponierung	(I) GKP, an Aufbereitungsanlage	Referenzfluss	17,1	kg/m²
	(O) Inerter Abfall	treatment of inert waste, inert material landfill - CH	0,342	kg/m ²
	(O) Gipsabfall	50 % treatment of waste gypsum, sanitary landfill - Europe without Switzerland; 50 % treatment of waste gypsum, inert material landfill - Europe without Switzerland	14,4	kg/m ²
	(O) Kartonabfall	treatment of waste paperboard, inert material landfill - CH	2,22	kg/m ²
	(O) Kunststoffabfall	treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill - CH	8,55E-02	kg/m ²

Tabelle 9: Sachbilanzdaten zur Abbildung des Lebenszyklus einer GKP mit 40 Massen-% Recyclinganteil im Gips bezogen auf 1 m² Beplankung

Prozess	Material- oder Energiefluss	Datensatz / Prozess	Menge	Einheit
(1.1) Abbau Naturgips	(I) Gips, mineralisch	market for gypsum, mineral - RER	4,98	kg/m ²
	(O) Naturgips, 1 % freies Wasser, ab Lagerstätte	Referenzfluss	4,98	kg/m²
(1.2) Erstbehandlung REA-Gips	(I) Elektrizität	electricity production, hard coal - DE	0,02	kWh/m ²
	(I) Elektrizität	electricity production, lignite - DE	0,12	kWh/m ²
	(O) REA-Gips, 9 % freies Wasser, ab Kohlekraftwerk	Referenzfluss	6,63	kg/m²
(1.3) Gips aus EoL GKP	(I) EoL-GKP (lastenfrei)		8,92	kg/m ²
	(I) Diesel, verbrannt	diesel, burned in building machine - GLO	0.20	MJ/m ²
	(I) Elektrizität	Strommix DE, eigene Modellierung	0.21	kWh/m ²
	(I) Transport, LKW	market for transport, freight, lorry - RER	1.84	t*km/m ²
	(O) RC-Gips, 3 % freies Wasser, ab Recyclinganlage	Referenzfluss	7.54	kg/m²
	(O) Inerter Abfall	treatment of inert waste, sanitary landfill - Europe without Switzerland	0.09	kg/m ²

(1.3) Gips aus EoL GKP	(O) Kartonabfall	treatment of waste paper-board, municipal incineration - CH	0.58	kg/m ²
	(O) Kunststoffabfall	treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration - CH	8.92	kg/m ²
(2.1) Transport Naturgips - kein Transport notwendig	(I) Naturgips, 1 % freies Wasser, ab Lagerstätte	siehe (1.1)	4,98	kg/m ²
	(O) Naturgips, 1 % freies Wasser, ab Gipswerk	Referenzfluss	4,98	kg/m²
(2.2) Transport REA-Gips	(I) REA-Gips, 9 % freies Wasser, ab Kohlekraftwerk	siehe (1.2)	6,63	kg/m ²
	(I) Transport, Zug	market for transport, freight train - Europe without Switzerland	608	kg*km/m ²
	(O) REA-Gips, 9 % freies Wasser, ab Gipswerk	Referenzfluss	6,63	kg/m²
(2.3) Transport RC-Gips	(I) RC-Gips, 3 % freies Wasser, ab Recyclinganlage	siehe (1.3)	7.54	kg/m ²
	(I) Transport, LKW	market for transport, freight, lorry, unspecified - RER	603	kg*km/m ²
	(O) RC-Gips, 3 % freies Wasser, ab Gipswerk	Referenzfluss	7.54	kg/m²

(3) Trocknung und Kalzinierung von Gips zu β -Halbhydrat	(I) Elektrizität	Strommix DE, eigene Modellierung	3,81E-01	kWh/m ²
	(I) REA-Gips, 9 % freies Wasser, ab Gipswerk	siehe (2.2)	6,63	kg/m ²
	(I) Naturgips, 1 % freies Wasser, ab Gipswerk	siehe (2.1)	4,98	kg/m ²
	(I) RC-Gips, 3 % freies Wasser, ab Gipswerk	siehe (2.3)	7,54	kg/m ²
	(I) Wärme	Wärmemix DE, eigene Modellierung	4,27	kWh/m ²
	(I) Industriemaschine	industrial machine production, heavy, unspecified - RER	2,14E-03	kg/m ²
	(I) Schmieröl	lubricating oil production - RER	2,77E-05	kg/m ²
	(O) β-Hemihydrat, ab Gipswerk	Referenzfluss	15,4	kg/m²
	(O) Inerter Abfall	treatment of inert waste, sanitary landfill - Europe without Switzerland	2,00E-03	kg/m ²
	(O) Siedlungsabfall	market for municipal solid waste - DE	3,08E-04	kg/m ²
(O) Wasserdampf	Elementarfluss	3,74	kg/m ²	
(4) Transport zur GKP-Produktionsstätte - kein Transport notwendig	(I) β -Hemihydrat, ab Gipswerk	siehe (3)	15,4	kg/m ²
	(O) β-Hemihydrat, ab GKP-Produktionsstätte	Referenzfluss	15,4	kg/m²

(5) Produktion der GKP	(I) Alkylbenzen-Sulfonat	alkylbenzene sulfonate production, linear, petrochemical - RER	■	kg/m ²
	(I) Karton	market for corrugated board box - RER	■	kg/m ²
	(I) Elektrizität	Strommix DE, eigene Modellierung	■	kWh/m ²
	(I) Glasfasern	glass fibre production - RER	■	kg/m ²
	(I) Wärme	Wärmemix DE, eigene Modellierung	■	MJ/m ²
	(I) Kleber	potato starch production - DE	■	kg/m ²
	(I) Silikonprodukt	market for silicone product - RER	■	kg/m ²
	(I) Wasser	market for tap water - Europe without Switzerland	■	kg/m ²
	(I) Fabrikgebäude	wooden board factory construction, organic bonded boards - RER	■	Item(s)/m ²
	(I) β-Hemihydrat	siehe (4)	■	kg/m ²
	(I) Wasser, nicht spezifizierter natürlicher Ursprung	Elementarfluss	■	m ³ /m ²
	(O) Gipskartonplatte, unverpackt, ab Werk	Referenzfluss	19,00	kg/m²
	(O) Wasser, Emission	Elementarfluss	1,04E-02	m ³ /m ²

(6) Verpackung der GKP, Palette und Folienabdeckung	(I) Gipskartonplatte, unverpackt, ab Werk	siehe (5)	19,00	kg/m ²
	(I) EUR-Palette	market for EUR-flat pallet - RER	5,45E-03	Item(s)/m ²
	(I) Kunststoffverpackung	market for packaging film, low density polyethylene - GLO	5,02E-03	kg/m ²
	(O) Gipskartonplatte, verpackt, ab Werk	Referenzfluss	19,6	kg/m²
(7) Transport zu den Kundinnen/Kunden	(I) Gipskartonplatte, verpackt, ab Werk	siehe (6)	19,6	kg/m ²
	(I) Transport, LKW	market for transport, freight, lorry, unspecified - RER	3436	kg*km/m ²
	(O) Gipskartonplatte, bei Kundin/Kunden	Referenzfluss	19,6	kg/m²
(8) Einbau der GKP	(I) Gipskartonplatte, bei Kundin/Kunden	siehe (7)	19,6	kg/m ²
	(O) Kunststoffabfall	market for waste polyethylene DE	5,02E-3	kg/m ²
	(O) Altholz (EUR-Palette)	market for waste wood, untreated - DE	1,25E-2	kg/m ²
	(O) GKP an Recycling (am Lebensende)	kein nachfolgender Prozessschritt, Cut-off	1,44	kg/m ²
	(O) GKP an Deponie (Verschnitt)	GKP an Deponie, siehe (11)	0,21	kg/m ²
	(O) Gipskartonplatte, verbaut	Referenzfluss	17,1	kg/m²

(9) Nutzungsphase	Keine Umweltwirkungen bilanziert			
(10) Manueller Ausbau, keine Lasten	(I) Gipskartonplatte, verbaut	siehe (8)	17,1	kg/m ²
	(O) Gipskartonplatte EoL	kein nachfolgender Prozessschritt, Cut-off	17,1	kg/m ²
(11) Transport an Deponie	(I) GKP an Deponie (Verschnitt)	siehe (8)	17,1	kg/m ²
	(I) Transport, LKW	market for transport, freight, lorry, unspecified - RER	855	kg*km/m ²
	(O) GKP, an Aufbereitungsanlage	Referenzfluss	17,1	kg/m²
(12) Deponierung	(I) GKP, an Aufbereitungsanlage	Referenzfluss	17,1	kg/m²
	(O) Inerter Abfall	treatment of inert waste, inert material landfill - CH	0,342	kg/m ²
	(O) Gipsabfall	50 % treatment of waste gypsum, sanitary landfill - Europe without Switzerland; 50 % treatment of waste gypsum, inert material landfill - Europe without	14,4	kg/m ²

(12) Deponierung	(O) Kartonabfall	treatment of waste paper-board, inert material landfill - CH	2,22	kg/m ²
	(O) Kunststoffabfall	treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill - CH	8,55E-02	kg/m ²

Tabelle 10: Sachbilanzdaten zur Abbildung des Lebenszyklus einer Lehmplatte bezogen auf 1 m² Beplankung

Prozess	Material- oder Energiefluss	Datensatz / Prozess	Menge	Einheit
(1) Abbau Lehm	(I) Primärgrubenlehm, feucht	clay pit operation - RoW	24,4	kg
	(I) Sekundärgrubenlehm, feucht	lastenfrei, da aus Abfallprodukt	6,1	kg
	(I) Transport, LKW	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 - RER	0,61	t*km
	(O) Baulehm	Referenzfluss	30,5	kg
(2) Herstellung	(I) Baulehm	Abbau Lehm	30,5	kg
	(I) Holzfasern	market for wood chips, dry, measured as dry mass - RER	4,2	kg
	(I) Stärke	market for potato starch - GLO	0,34	kg
	(I) Jutegewebe	market for textile, jute - GLO	0,22	kg
	(I) Wärme	heat and power co-generation, natural gas, 1MW electrical, lean burn - Europe without Switzerland	59	MJ
	(I) Elektrizität	Strommix DE, eigene Modellierung	3,4	MJ
	(I) Diesel, verbrannt	market for diesel, burned in building machine GLO	0,0021	MJ
	(O) Inerter Abfall	market for inert waste, for final disposal - RER	0,046	kg

(3) Verpackung	(I) EURO Palette	market for EUR-flat pallet - RER	0,0070	Stück
	(I) Verpackungsfolie	market for packaging film, low density polyethylene - GLO	0,0070	kg
	(I) Karton als Kantenschutz	market for corrugated board box - RER	0,028	kg
(4) Transport	(I) Transport, LKW	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 – RER	6,3	t*km
(5) Einbau	(O) Abfall, Verpackung, PE	market for waste polyethylene - DE	0,0070	kg
	(O) Abfall, Karton	market for waste paperboard - DE	0,028	kg
	(O) Altholz (EUR-Palette)	market for waste wood, untreated - DE	0,16	kg
	(O) Verschnitt	market for inert waste, for final disposal - RER	3,2	kg

VDI Zentrum Ressourceneffizienz (VDI ZRE)
Bülöwstraße 78
10783 Berlin
Tel. +49 30-2759506-505
zre-info@vdi.de
www.ressource-deutschland.de

