



INSTITUT FÜR ENERGIE-
UND UMWELTFORSCHUNG
HEIDELBERG

Ziegel – Roadmap zur Ressourceneffizienz

Nadine Muchow, Florian Knappe, Joachim Reinhardt

Heidelberg, Dezember 2024



A handwritten signature in black ink, appearing to read "N. Muchow". The signature is written in a cursive style with a prominent loop at the end. To the right of the signature, there is a faint, light-colored rectangular stamp or mark.

Dip.-Ing. Nadine Muchow
Leiterin des Teams Kreislaufwirtschaft, Fachbereich Ressourcen
Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Ziel der Studie	8
2 Methodisches Vorgehen	9
3 Status Quo des Ressourceneinsatzes	18
3.1 Herstellungsverfahren von Dach- und Mauerziegeln	18
3.2 Stoffstrombilanz Dachziegel	20
3.3 Stoffstrombilanz Vormauerziegel und Klinker	23
3.4 Stoffstrombilanz Hintermauerziegel	24
3.5 Bewertung des Status Quo des Ressourceneinsatzes	26
3.5.1 Ressourceneffizienz der Produktionsprozesse	28
3.5.2 Ressourceneffizienz der Rohstoffversorgung	29
4 Aufkommen und Entsorgung von Ziegelabfällen	33
4.1 Das Aufkommen von getrennt erfassten Ziegelabfällen	33
4.2 Die Erfassung von Ziegelabfällen im Bauabfallgemisch	35
4.3 Verhältnis von Dachziegeln und Mauerziegeln in den Abfallfraktionen	37
4.4 Entsorgungswege von Ziegelabfällen	39
4.5 Die Behandlung in Bauschuttzubereitungsanlagen	42
5 Ansätze zur Optimierung der Ressourcennutzung	47
5.1 Einsatz von Recyclingmaterial	47
5.2 Einsatz von Sekundärrohstoffen	50
5.3 Ressourceneinsparung	55
6 Ökologische Bewertung	57
6.1 Ökologische Bewertung der Produktionsprozesse	57
6.2 Ökologische Bewertung der Entsorgungswege	60
6.3 Gesamtbetrachtung der Szenarien	64
6.4 Ökologische Effekte durch Materialeinsparung	68
6.5 Fazit und Empfehlungen an die Ziegelindustrie	70
7 Indikatoren der Nachhaltigkeitsbewertung	72
7.1 Verwertungsquote gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz	72

Inhalt

7.2	Baustoffspezifische Substitutionsquoten	74
7.3	Gebäudezertifizierungssysteme	75
7.4	Gebäuderessourcenpass	77
7.5	Material Cycle Status	78
7.6	Fazit und Empfehlungen an die Ziegelindustrie	80
8	Lösungsansätze zur Förderung der Ressourceneffizienz außerhalb der Ziegelindustrie	82
8.1.1	Deponierungsverbot für Bauabfälle – Beispiel Österreich	82
8.1.2	Überarbeitung der Abfallverzeichnisverordnung zur Einstufung von Abfällen	83
8.1.3	Verbesserung der Getrennthaltung durch Vollzug der Gewerbeabfallverordnung	84
8.1.4	Umsetzung von flankierenden Maßnahmen – Wer ist wie in der Pflicht?	85
	Literaturverzeichnis	88

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Prozessschritte der Ziegelproduktion	18
Abbildung 3-2: Stoffstrombilanz des Herstellungsprozesses von Dachziegeln	21
Abbildung 3-3: Stoffstrombilanz des Herstellungsprozesses von Vormauerziegel (VMZ) und Klinker	23
Abbildung 3-4: Stoffstrombilanz des Herstellungsprozesses von Hintermauerziegel (HMZ)	25
Abbildung 4-1: Aufkommen der Bauabfallfraktionen in Deutschland im Jahr 2019	33
Abbildung 4-2: Aufkommen und Entsorgung von Mauer- und Dachziegeln in Deutschland im Jahr 2019	34
Abbildung 4-3: Aufkommen und Entsorgung von gemischtem Bauschutt in Deutschland im Jahr 2019	36
Abbildung 4-4: Aufkommen von Mauer- und Dachziegeln in sortenrein erfassten Ziegelabfällen	38
Abbildung 4-5: Aufkommen von Mauer- und Dachziegeln im gemischten Bauschutt	38
Abbildung 4-6: Entsorgungswege Ziegel	39
Abbildung 4-7: In- und Outputströme in Bauschuttrecyclinganlagen in Deutschland im Jahr 2018	43
Abbildung 6-1: Treibhauseffekt bei Einsatz von Recyclingmaterial und Sekundärrohstoffen im Ziegelproduktionsprozess	58
Abbildung 6-2: Gesamter kumulierter Energieaufwand für den Einsatz von Recyclingmaterial und Sekundärrohstoffen im Ziegelproduktionsprozess	59
Abbildung 6-3: Mineralischer kumulierter Rohstoffaufwand für den Einsatz von Recyclingmaterial und Sekundärrohstoffen im Ziegelproduktionsprozess	60
Abbildung 6-4: Treibhauseffekt für die Entsorgung des Ziegelabfalls	62
Abbildung 6-5: Gesamter kumulierter Energieaufwand (KEA) für die Entsorgung des Ziegelabfalls	63
Abbildung 6-6: Mineralischer kumulierter Rohstoffaufwand (KRA) für die Entsorgung des Ziegelabfalls	64
Abbildung 6-7: Summe der über die Szenarien Status-Quo, Technik und Ressourceneffizienz erzielten Einsparungen; rot: ohne Zementklinkereinsparung, grün: mit Zementklinkereinsparung	65
Abbildung 6-8: Ausdifferenzierung der über die Szenarien Status-Quo, Technik und Ressourceneffizienz erzielten Einsparungen nach	

Produktionsprozessen, Entsorgung und den Produkten Dach-
und Mauerziegel 67

Abbildung 6-9: Mit der jährlichen Ziegelproduktion verbundene Umweltlasten 69

Abbildung 7-1: Die 5-stufige Abfallhierarchie nach Kreislaufwirtschaftsgesetz 72

Abbildung 7-2: Material-Cycle-Status für Ziegel-Hochlochmauersteine gemäß
Atlas Recycling 79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Für die ökologische Bewertung genutzte Datensätze	17
Tabelle 3-1: Sekundärrohstoffquoten für Dach-, Vor- und Hintermauerziegel laut Szenarien der „Roadmap für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie in Deutschland“	27
Tabelle 5-1: Ressourcen- und Energieeinsparpotenziale laut der „Roadmap für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie in Deutschland“	55
Tabelle 6-1: Summe der über die Szenarien Status-Quo, Technik und Ressourceneffizienz erzielten Einsparungen, auf Einwohnerdurchschnittswerte (EDW) normiert*; ohne Zementklinkerersatz	65
Tabelle 6-2: Summe der über die Szenarien Status-Quo, Technik und Ressourceneffizienz erzielten Einsparungen, auf Einwohnerdurchschnittswerte (EDW) normiert; mit Zementklinkerersatz	66
Tabelle 8-1: Zentrale Lösungsansätze entlang der Akteurskette zur Optimierung des Verwertungsprozesses von Bau- und Abbruchabfällen	85

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
DZ	Dachziegel
EPD	Umweltproduktdeklaration
EPS	Expandiertes Polystyrol
EWD	Einwohnerdurchschnittswerte
GK	Gesteinskörnung
HMZ	Hintermauerziegel
KEA	kumulierter Energieaufwand
KRA	kumulierter Rohstoffaufwand
R-Beton	ressourcenschonender Beton
t	Tonne (1.000 kg)
VMZ	Vormauerziegel
%	Masse-%

1 Ziel der Studie

Generell sind der Abbau von mineralischen Rohstoffen und die Produktion von Baustoffen mit erheblichen Eingriffen in die natürliche Umwelt und klimaschädlichen Emissionen verbunden. Ziele des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms des Bundes ProgRess III sind u.a. die Rohstoffentnahme vom Wirtschaftswachstum zu entkoppeln und den Einsatz primärer Rohstoffe möglichst gering zu halten. Ausdrücklich betont wird der Zusammenhang zwischen Ressourcenschutz und Klimaschutz.

Die deutsche Ziegelindustrie ist bereit, sich den speziellen klima- und ressourcenrelevanten Fragen der Ziegelherstellung zu stellen und so einen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele zu leisten. Das seit Jahrhunderten von Mauer- und Dachziegeln geprägte Bild der gebauten Umwelt soll erhalten bleiben und auch zukünftig ein nachhaltiges und verantwortungsvolles Bauen ermöglichen.

Mit der „Roadmap für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie in Deutschland“ hat der Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. im Jahr 2021 ein Konzept vorgelegt, wie die Transformation der Branche in Richtung Treibhausgasneutralität bis 2050 umgesetzt werden kann¹. Im Fokus der umzusetzenden Maßnahmen standen dabei die energieintensiven Trocknungs- und Brennprozesse sowie die CO₂-Rohstoffemissionen, die sich durch den Einsatz der kalk- und kohlenstoffhaltigen Rohstoffe ergeben. Durch die Substitution von Primärton durch Recyclingmaterial lassen sich die Rohstoffemissionen in kleineren Anteilen mindern, so dass die Roadmap den Einsatz von kohlenstofffreiem Recyclingmaterial (gebranntes Ziegelmaterial) und biogenen Porosierungsmitteln als flankierende Handlungsoptionen mit aufgreift. Die Recyclingquoten sollen bis 2050 ambitioniert gesteigert werden.

Analog zu der Roadmap Klimaneutralität gilt es nun den Rohstoffeinsatz der Ziegelindustrie und die Möglichkeiten der Kreislaufführung und Wiederverwendung von ziegelhaltigen Abfällen in der vorliegenden Studie detailliert zu betrachten. Aufgezeigt werden Möglichkeiten, die Ziegelproduktion durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen ressourceneffizienter zu gestalten und nicht zu vermeidende Ziegelabfälle hochwertig zu verwerten. Je nach Produktgruppe ergeben sich unterschiedliche Substitutionspotentiale für Sekundärrohstoffe und technische Grenzen für den Einsatz von Recyclingmaterial in der Ziegelproduktion. Daher werden auch über die Ziegelproduktion hinaus Verwertungswege aufgezeigt, in denen Bauabfälle aus Ziegeln als Rohstoffsubstitut eingesetzt werden können. Die Verwertungsoptionen werden hinsichtlich der Hochwertigkeit der Verwertung anhand der 5-stufigen Abfallhierarchie nach Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) (siehe Abbildung 7-1) und aus ökologischer Sicht mithilfe der Indikatoren Treibhausgaspotenzial (CO₂-Äquivalente) und Ressourcenverbrauch bewertet.

¹ (Geres et al. 2021)

2 Methodisches Vorgehen

Als unabhängiges Forschungsinstitut wurde das ifeu Heidelberg beauftragt, Grundlagen und Bausteine zu erarbeiten, die als Maßnahmen in eine Roadmap zur Ressourceneffizienz für die Ziegelindustrie überführt werden können.

Zur fachlichen Abstimmung wurde ein Begleitkreis eingebunden, der aus Vertreterinnen und Vertretern des Bundesverbandes und der dort organisierten Unternehmen zusammengesetzt war². Im Projektverlauf wurden 4 Sitzungen durchgeführt, in denen methodische und technische Fragestellungen diskutiert sowie die Zwischen- und Endergebnisse präsentiert worden sind.

Die Studie umfasst 5 Arbeitspakete, deren Themenschwerpunkte wie folgt festgesetzt und bearbeitet worden sind:

AP 1: Stoffstrombilanz der Ziegelproduktion: Rohstoffeinsatz und Verbleib von Reststoffen

Ziel des AP 1 ist die Erhebung der Massenströme, die im Rahmen der Ziegelproduktion in Deutschland eingesetzt und im Herstellungsprozess selbst erzeugt werden. Getrennt nach den Produktbereichen Hintermauerziegel, Vormauerziegel und Dachziegel wird der Status Quo des Rohstoffeinsatzes in der Ziegelproduktion ermittelt. Berücksichtigt werden die Eigen- und Fremdtone sowie die weiteren mineralischen und nicht mineralischen Rohstoffe, die bspw. als Zuschlagsstoffe und Magerungsmittel verarbeitet werden. Die bei der Herstellung anfallenden produktionsspezifischen Reststoffe werden bezüglich der Eignung als Sekundärrohstoff und der derzeitigen Entsorgungswege unter Umweltaspekten bewertet. Baustellenrückläufe aus Bruch und Verschnitt werden nach Rückführung in die Produktion bewertet.

Für die Erarbeitung und Datenerhebung wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- Fachaustausch und Besichtigung von Produktionsanlagen

7 Produktionsanlagen (2x Dachziegel, 2x Vormauerziegel, 3x Hintermauerziegel) sowie eine Recyclinganlage für Hintermauerziegel sind im Februar und März 2022 besichtigt worden, um das Verständnis für die Produktionsprozesse, die eingesetzten Rohstoffe sowie die Abfall- und Nebenproduktströme zu vertiefen. Die ausgewählten Unternehmen stellten einen repräsentativen Querschnitt bezüglich der aktuellen

² K. Armbrecht (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V.), R. Borrmann (Röben Tonbaustoffe GmbH), Dr. M. Frederichs (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V.), Dr. T. Fehlhaber (Unipor Ziegel Marketing GmbH), Dr. V. Heizinger (LEIPFINGER-BADER GmbH), C. Kuhlemann (Deutsche POROTON GmbH), H. Paselt (JUWÖ Poroton-Werke Ernst Jungk & Sohn GmbH), W. Riebesecker (Girnghuber GmbH), D. Rosen (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V.), A. Staniszewski (THERMOPOR GmbH), Dr. A. Stoll (ERLUS AG), M. Venus (Tonwerk Venus GmbH & Co. KG)

Produktionstechniken dar. Die Erkenntnisse dienen der weiteren Datenerhebung, insbesondere der Entwicklung des Fragebogens zur Erhebung der In- und Outputströme in die Ziegelproduktion.

- Datenerhebung für die Stoffstrombilanzen (Fragebogen)

Auf Basis der Erkenntnisse des oben beschriebenen Fachaustausches wurde ein Fragebogen entwickelt (s. Anlage 1). Ziel war es, die Rohstoffflüsse und deren Herkunft sowie den Verbleib der Reststoffe (Produkte und Abfälle) zu ermitteln.

Bilanziert werden die mineralischen Rohstoffe, die für die Ziegelproduktion benötigt werden und in den Brennprozess gehen. Die zu verarbeitenden Rohstoffe werden als Trockenmasse erhoben, darunter ist die Masse des Rohstoffes abzüglich des Wassergehaltes zu verstehen. Dies ermöglicht einen direkten Vergleich zu den Massen der Outputfraktionen (gebrannte Ziegelprodukte und Brennbruch), die durch den Brennprozess kein Wasser mehr enthalten. In den Stoffstrombilanzen sind die Angaben auf die Summe der Outputfraktionen (Ziegelprodukt plus Abfallfraktionen = 100 %) normiert.

In der Stoffstrombilanz nicht betrachtet werden Abfälle, die durch das Verpacken und den Transport der Waren entstehen ebenso wie Rückstände aus der Rauchgasreinigung, Betriebsmittel wie Öle und Fette oder sonstige betriebliche Abfälle.

Die Datenerhebung erfolgte bei 12 ausgewählten Unternehmen, die den Status Quo der Ziegelproduktion abbilden (3x Dachziegel, 4x Vormauerziegel, 5x Hintermauerziegel). Die Daten und Ergebnisse werden ausschließlich aggregiert und nicht mit Firmenbezug dargestellt und ausgewertet und können nicht zurückgerechnet werden. Die Ergebnisse sind in den Kapiteln 3.2 bis 3.4 dargestellt. Ausgehend von einer Jahresproduktion von knapp 9,4 Mio. t Mauer- und Dachziegel, sind 20 % der Jahresproduktion über die Datenerhebung erfasst. Auf Ebene der 3 Produktgruppen sind 23 % der Jahresproduktion von Hintermauerziegel, 15 % der Vormauer- und 18 % der Dachziegelproduktion erfasst. Die Repräsentativität der Daten lässt daher branchenweite Aussagen und Rückschlüsse zu.

AP 2: Aufkommen von Ziegelabfällen – Welchen Anteil haben Ziegel in den Bau- und Abbruchabfällen?

Ziel des AP 2 ist es, das Abfallaufkommen von Ziegeln aus dem post-consumer Bereich zu ermitteln. Dafür werden die Ziegelanteile in den unterschiedlichen Bauabfallfraktionen abgeschätzt. Daraus ergibt sich ein Abfallaufkommen aus Ziegelmaterial, das je nach Eigenschaft und Qualität als sekundärer Rohstoff verwertet werden kann. Zusätzlich werden auf Basis der im Bauwerksbestand (anthropogenes Lager) verbauten Materialien ziegelhaltige Massen und Massenströme abgeschätzt.

Für die Darstellung des Status Quo des Abfallaufkommens wird die Statistik „32111-0004: Abfallentsorgung: Deutschland, Jahre, Anlagenart, Abfallarten“ für das Jahr 2019 ausgewertet. Die Erhebungen erfolgen jährlich über die Statistischen Landesämter und werden vom Statistischen Bundesamt über die Online-Datenbank GENESIS-Online veröffentlicht³. Die Statistiken zur Abfallentsorgung sind dem Bereich Wohnen/Umwelt -> Umwelt -> Abfallwirtschaft zugeordnet. Im Folgenden werden diese Daten als (DESTATIS 2021a) zitiert.

³ <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>

Die Statistik erlaubt die Auswertung der Bauabfallfraktionen auf Ebene der Abfallschlüsselnummern nach Abfallverzeichnisverordnung (AVV). Jährlich werden die Abfallmengen erhoben, die bestimmten Anlagentypen zugeführt werden. Dazu zählen Deponien, übertägige und untertägige Abbaustätten, thermische Behandlungsanlagen und eine Vielzahl von verschiedenen Sortier- und Behandlungsanlagen. Bei letztgenannten Sortier- und Behandlungsanlagen ist aus den verfügbaren Informationen nicht nachvollziehbar, wo und wie die Abfälle nach der dortigen Behandlung entsorgt werden. Die Anlagen können sowohl spezialisierte Recyclinganlagen darstellen, als auch Anlagen, die Abfälle für die Entsorgung auf Deponien, Verfüllstätten und Verbrennungsanlagen umschlagen oder vorkonditionieren. Die Statistik erlaubt es daher nur nachzuvollziehen, welchem Anlagentyp die Abfälle als erstes zugeführt werden. Die Aussagekraft der Statistik ist auch dahingehend begrenzt, dass Anlagen zur Annahme von Abfällen befragt werden, die unter der Kategorie „sonstige Behandlungsanlagen“ zusammengefasst werden. In den Erläuterungen und den allgemeinen Angaben zur Statistik werden keine weiterführenden Angaben zu den sonstigen Behandlungsanlagen gemacht, so dass unklar ist, welche Anlagentypen in der Datenerhebung inbegriffen sind⁴.

Die in Bauschuttrecyclinganlagen behandelten Abfallströme werden über die Statistik der Abfallentsorgung nicht erfasst. Diese werden alle 2 Jahre über die Statistik „32141-0001: Bauschuttzubereitungsanlagen, Asphaltmischanlagen: Deutschland, Jahre, Abfallarten“ erhoben. Die Datenerfassung erfolgt für die geraden Jahre und ist zuletzt für das Berichtsjahr 2018 veröffentlicht. Der Bereitstellung erfolgt ebenfalls über die Online-Datenbank GENESIS-Online des Statistischen Bundesamtes. Die Datengrundlage wird im Folgenden als (DESTATIS 2021b) zitiert.

Insgesamt ist die Aussagekraft der verfügbaren Daten zum Aufkommen von Bau- und Abbruchabfällen von Unsicherheiten geprägt. Eine vollständige Erhebung des Aufkommens wäre nur durch die Erhebung direkt an der Anfallstelle möglich. Insbesondere die Vielzahl der Baustellen steht dem jedoch entgegen. Als Gesamtaufkommen werden daher die Bau- und Abbruchabfälle verstanden, die in Summe an den Entsorgungs-, Bauschuttzubereitungs- und Asphaltmischanlagen als Abfälle angenommen werden⁵.

Berechnungen zum Materialbestand des anthropogenen Lagers und den darauf aufbauenden Abfallmassenströmen werden auf Basis der Ergebnisse des Projektes „Kartierung des Anthropogenen Lagers III“ durchgeführt, das vom ifeu im Auftrag des Umweltbundesamtes 2021 abgeschlossen worden ist⁶.

AP 3: Verwertungsoptionen für Altziegel: Status Quo und Potenziale in der Zukunft

Ziel des AP 3 ist die Erarbeitung von Stoffstrombilanzen für die Verwertungsoptionen der ziegelhaltigen Abfallmassenströme. Zusätzlich zum Status Quo der Entsorgung werden Stoffstromprognosen für die zukünftige Entsorgung erstellt. Die derzeitigen und zukünftigen Verwertungsoptionen werden hinsichtlich der Substitutionserfolge und des Umweltentlastungspotentials bewertet.

Um die Verwertbarkeit von Bauabfällen zu beurteilen, ist es nicht ausreichend, die Abfälle ausschließlich über die Abfallschlüsselnummer zu charakterisieren. Die Einstufung zu Abfallschlüsselnummern kann je nach Zusammensetzung und Region unterschiedlich erfolgen. Anhand der Praxiserfahrungen des ifeu wird abgeschätzt, in welcher Zusammensetzung und

⁴<https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1655222976183&code=32111&option=table&info=on#breadcrumb>

⁵ (Werner et al. 2022, S. 73 f.)

⁶ (Dr. Buchert et al. 2022)

Qualität die Abfallfraktionen vorliegen können und welche Auswirkungen dies auf die Entsorgung hat.

AP 4: Bodenaushub als Rohstoff in der Ziegelindustrie

Ziel des AP 4 ist es, das Aufkommen von Böden als Abfall zu erfassen. Großbaustellen, bei denen mittelfristig Bodenaushub anfällt, sowie sich in Planung befindliche Vorhaben, werden soweit möglich recherchiert. Bodenaushubmaterial fällt in großem Umfang zur Entsorgung an. Jeder Boden besteht grundsätzlich aus den Korngruppen Kies/Steine, Sand und Lehm/Schluff/Ton. Da dies die zentralen Rohstoffe der Baustoffindustrie sind, liegt es auf der Hand zu prüfen, inwieweit sich Böden so aufbereiten und nach Korngruppen klassieren lassen, dass daraus wertvolle Rohstoffe für die Baustoffbranche bereitgestellt werden können.

Für die Erarbeitung und Datenerhebung wurden insbesondere folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- Recherche und Analyse der derzeitigen Rohstoffversorgung der Ziegelindustrie im Rahmen der Datenerhebung für AP 1
- Recherche nach Beispielen aus der Praxis für den Einsatz von Bodenaushubmassen
- Analyse und Bewertung der Verfügbarkeit primärer Rohstoffe und der Erfahrungen in der Ausweisung neuer Rohstoffgewinnungsflächen
- Bezifferung der Potenziale : Ausgehend von den obigen Überlegungen und Erkenntnissen werden aus dem Aufkommen an Bodenaushubmassen diejenigen Anteile beziffert, die sich aufbereiten und u.a. auch in einen für die Ziegelindustrie geeigneten Rohstoff klassieren lassen.

AP 5: Handlungsoptionen aus gesamtökologischer Sicht

Für die ökologische Bewertung werden 3 Szenarien angesetzt und entwickelt. Als Stell-schrauben werden

- der Rohstoffeinsatz in der Ziegelproduktion sowie
- die Verwertungs- und Entsorgungswege der ziegelhaltigen post-consumer Abfälle
- Einsparung jährliche produzierte Menge (bspw. durch Verlängerung Lebensdauer und Materialeinsparung im Produktdesign)

anhand unterschiedlicher Parameter modelliert. Die getroffenen Annahmen werden nachfolgend benannt.

Einen Effekt in den nachfolgenden Szenarien haben die Tone und deren Substitute: Der Kohlenstoffgehalt für die bei der Produktion von Dach- und Vormauerziegeln sowie Hintermauerziegeln eingesetzten Tone bedingen Kohlendioxid-Rohstoffemissionen in der Produktion, welche durch den Einsatz kohlenstoffärmerer Tonsubstitute reduziert werden können. In der Produktion von Hintermauerziegeln werden kalk- und damit kohlenstoffreichere Tone eingesetzt. Für die nachfolgenden Szenarien wird davon ausgegangen, dass 20 % der jährlichen rohstoffbedingten CO₂-Emissionen aus der Roadmap den Dach- und Vormauerziegeln

und 80 % den Hintermauerziegeln zugeordnet werden können⁷. Die damit jeweils resultierenden Rohstoffemissionen werden dann durch die zugehörige Summe aus jeweils Ton-, Lehm- und (bei Hintermauerziegeln) Mergelinput dividert, um die spezifischen Rohstoffemissionen bzw. Tongehalte des kohlenstoffärmeren durchschnittlichen Tons für Dach- und Vormauerziegel und des kohlenstoffreicheren für Hintermauerziegel zu ermitteln. Diese werden für die Berechnung der Effekte durch die Substitution der jeweiligen Tone in den nachfolgenden Szenarien angesetzt.

Annahmen Szenario Status Quo

Annahmen zum Rohstoffeinsatz:

- Einsatz von Brennbruch bzw. Recyclingmaterial:
 - 0 % in der Dachziegelproduktion, 3,0 % des mineralischen Gesamtrohstoffbedarfs der Vormauerziegelproduktion, 5,7 % Hintermauerziegel
 - Lasten: Mahlen
 - substituiert wird: Sand (Magerungsmittel) bzw. bei einer über die Sandmenge in der Rezeptur hinausgehende Recyclingmaterialmenge dann Ton inkl. Transport sowie bei Hintermauerziegeln kohlenstoffreicheren Ton
- Sekundärrohstoffe (Filterkuchen, Bodenaushub):
 - Einsatz nur in der Produktion von Hintermauerziegeln: 1,4 % des mineralischen Inputs werden über Filterkuchen gedeckt, 5,1 % des mineralischen Inputs wird über Bodenaushub aus Baustellen gedeckt
 - Lasten: keine bei Bodenaushub, weil Boden als Abfall anfällt, Bodenaufbereitung bei Filterkuchen, jeweils ohne Transport, weil dieser sowieso stattfinden müsste; Kohlenstoffgehalt wie Ton für Dach- und Vormauerziegel;
 - substituiert wird: Ton inkl. Antransport sowie bei Hintermauerziegeln kohlenstoffreicheren Ton
- Keine Veränderung beim Einsatz der Porosierungsmittel

Annahmen zu den Entsorgungsoptionen:

Der Status Quo der Entsorgungswege der ziegelhaltigen Abfälle wird entsprechend der Ergebnisse des Projektes „Kartierung des Anthropogenen Lagers III“⁸, das im Auftrag des Umweltbundesamtes erarbeitet wurde, modelliert.

- Lasten für gesamten Input: Bauschutttaufbereitung
- Anteil Richtung Vegetationssubstrat: Dachziegel 45 % → substituiert: Primärsplitt inkl. 20 km Antransport
- Anteil Richtung Straßen- und Wegebau: Dachziegel 28 % → substituiert: Primärsplitt inkl. 20 km Antransport

⁷ Zuordnung basiert auf einer Einschätzung des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie e.V.

⁸ (Dr. Buchert et al. 2022), S. 233-234

- Anteil Richtung Deponiebau und Verfüllungen: Dachziegel 12 %, Vor- und Hintermauerziegel jeweils 81 % → substituiert nichts, weil sonst anderer Abfall der Deponie dafür genutzt würde, Primärmaterial käme stattdessen nicht zum Einsatz
- Anteil zur Deponierung: Dachziegel 15 %, Vor- und Hintermauerziegel jeweils 19 % → zusätzliche Lasten: Deponierung; substituiert nichts (Dachziegel fallen teilweise wie Mauerziegel mit im Bauschutt an und werden beim Bauschuttrecycler behandelt, wobei u.a. ein Anteil als Vorsiebmaterial anfällt, das deponiert werden muss)

Annahmen Szenario Technik

Annahmen zum Rohstoffeinsatz:

- Für den Einsatz von Brennbruch bzw. Recyclingmaterial werden die in der Roadmap Klimaneutralität genannten Sekundärrohstoffquoten im Technologiepfad 2050 angesetzt:
 - 1 % des mineralischen Gesamtrohstoffbedarfs der Dachziegelproduktion, 6 % Vormauerziegel, 10 % Hintermauerziegel.
 - Lasten: Mahlen
 - substituiert wird: Sand (Magerungsmittel) bzw. bei einem über die Sandmenge in der Rezeptur hinausgehende Recyclingmaterialmenge dann Ton inkl. Transport sowie bei Hintermauerziegeln Ton mit noch höheren Kohlenstoffgehalten.
- Sekundärrohstoffe (Filterkuchen, Bodenaushub) werden nur in der Produktion von Hintermauerziegeln eingesetzt.
 - 5 % des mineralischen Inputs werden über Filterkuchen gedeckt. 10 % des mineralischen Inputs wird über Bodenaushub aus Baustellen gedeckt.
 - Lasten: keine bei Bodenaushub, weil Boden als Abfall anfällt, Bodenaufbereitung bei Filterkuchen, jeweils ohne Transport, weil dieser sowieso stattfinden müsste; Kohlenstoffgehalt wie Ton für Dach- und Vormauerziegel
 - substituiert wird: Ton inkl. Antransport sowie bei Hintermauerziegeln kohlenstoffreicheren Ton.
- Einsatz von Porosierungsmitteln:
 - 80 % der bisher nicht biogenen Porosierungsmittel (Papierschlämme anteilig, EPS, sonstige = wie EPS angenommen) werden energieäquivalent (Basis Heizwert) jeweils durch biogene Porosierungsmittel ersetzt, so dass die CO₂-Rohstoffemissionen aus Porosierungsmitteln entsprechend der Roadmap um 80 % sinken
 - Lasten: Bereitstellung Sägemehl als Sekundärprodukt der primären Holzproduktion (kleiner Anteil der Holzproduktion; im Sägemehl enthaltene Energie auf Basis Heizwert)
 - substituiert wird: Abfälle ohne Bereitstellungslasten bzw. im Falle von EPS hälftig Primärmaterial mit Energiegehalt auf Basis Heizwert und jeweils ohne Transport, weil biogene Porosierungsmittel genauso weit transportiert werden müssen

Annahmen zu den Entsorgungsoptionen:

entsprechend der im Projekt „Kartierung des Anthropogenen Lagers III“ für die zukünftige Perspektive abgeleitete Aufteilung auf die Entsorgungsprodukte bezogen auf den nicht auf der Baustelle verbleibenden Anteil⁹:

- Lasten für gesamten Input: erweiterte Bauschuttzubereitung
- Anteil Richtung Vegetationssubstrat: Dachziegel 81 %, Vormauer- und Hintermauerziegel jeweils 33 % → substituiert: Primärsplitt inkl. 20 km Antransport
- Anteil Richtung Straßen- und Wegebau: Dachziegel 5,6 %, Vormauer- und Hintermauerziegel jeweils 5 % → substituiert: Primärsplitt inkl. 20 km Antransport
- Anteil Richtung R-Beton: Vormauer- und Hintermauerziegel jeweils 10 % → substituiert: Primärkies inkl. 10 km Antransport
- Anteil Richtung Deponiebau und Verfüllungen: Dachziegel 2,4 %, Vorder- und Hintermauerziegel jeweils 36 % → substituiert nichts, weil sonst anderer Abfall der Deponie dafür genutzt würde, Primärmaterial käme stattdessen nicht zum Einsatz
- Anteil zur Deponierung: Dachziegel 11 %, Vor- und Hintermauerziegel jeweils 16 % → zusätzliche Lasten: Deponierung; substituiert nichts (Dachziegel fallen teilweise wie Mauerziegel mit im Bauschutt an und werden beim Bauschuttrecycler behandelt, wobei u.a. ein Anteil als Vorsiebmaterial anfällt, das deponiert werden muss)

Annahmen Szenario Ressourceneffizienz

Annahmen zum Rohstoffeinsatz:

- Für den Einsatz von Brennbruch bzw. Recyclingmaterial werden die in der Roadmap Klimaneutralität genannten Sekundärrohstoffquoten im Klimaneutralitätspfad 2050 angesetzt:
 - 3 % des mineralischen Gesamtrohstoffbedarfs der Dachziegelproduktion, 15 % Vormauerziegel, 25 % Hintermauerziegel
 - Lasten: Mahlen
 - substituiert wird: Sand (Magerungsmittel) bzw. bei einem über die Sandmenge in der Rezeptur hinausgehende Recyclingmaterialmenge dann Ton inkl. Antransport sowie bei Hintermauerziegeln Ton mit noch höheren Kohlenstoffgehalten
- Sekundärrohstoffe (Filterkuchen, Bodenaushub) werden in der Produktion von Hintermauerziegeln und Vormauerziegeln eingesetzt.
 - HMZ: 10 % des mineralischen Inputs werden über Filterkuchen gedeckt. 15 % des mineralischen Inputs wird über Bodenaushub aus Baustellen gedeckt
 - VMZ: 3 % des mineralischen Inputs werden über Filterkuchen gedeckt.
 - Lasten: keine bei Bodenaushub, weil Boden als Abfall anfällt, Bodenaufbereitung bei Filterkuchen, jeweils ohne Transport, weil dieser sowieso stattfinden müsste; Kohlenstoffgehalt wie Ton für Dach- und Vormauerziegel

⁹ (Dr. Buchert et al. 2022), S. 233-234

- substituiert wird: Ton inkl. Antransport sowie bei Hintermauerziegeln kohlenstoffreicheren Ton
- Einsatz von Porosierungsmitteln:
 - 100 % der bisher nicht biogenen Porosierungsmittel (Papierschlämme, EPS, sonstige = wie EPS angenommen) werden energieäquivalent (Basis Heizwert) durch biogene Porosierungsmittel ersetzt, so dass die CO₂ Rohstoffemissionen aus Porosierungsmitteln entsprechend der Roadmap um 80 % sinken
 - Lasten: Bereitstellung Sägemehl als Sekundärprodukt der primären Holzproduktion (kleiner Anteil der Holzproduktion; im Sägemehl enthaltene Energie auf Basis Heizwert);
 - substituiert wird: Abfälle ohne Bereitstellungslasten bzw. im Falle von EPS hälftig Primärmaterial mit Energiegehalt auf Basis Heizwert und jeweils ohne Transport, weil biogene Porosierungsmittel genauso weit transportiert werden müssen

Annahmen zu den Entsorgungsoptionen:

Auf Basis der im Projekt „Kartierung des Anthropogenen Lagers III“ für die zukünftige Perspektive abgeleiteten Aufteilung auf die Entsorgungsprodukte bezogen auf den nicht auf der Baustelle verbleibenden Anteil (s. Szenario Technik oben). Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass beim Bauschuttrecycling 12 % Brechsand für den Einsatz in der Zementindustrie entsteht, nichts mehr verfüllt oder deponiert wird und gleichzeitig der Anteil Vegetationssubstrat gegenüber Straßen- und Wegebau sowie R-Beton steigt; der vormals im Szenario Technik noch deponierte und verfüllte Anteil wird entsprechend dem Vegetationssubstrat aufgeschlagen und der verbleibende Rest auf Straßen- und Wegebau und R-Beton aufgeteilt:

- Lasten für gesamten Input: erweiterte Bauschuttzubereitung
- Anteil Richtung Vegetationssubstrat: Dachziegel 88 %, Vormauer- und Hintermauerziegel jeweils 85 % → substituiert: Primärsplitt inkl. 20 km Antransport
- Anteil Richtung Straßen- und Wegebau: Vormauer- und Hintermauerziegel jeweils 1 % → substituiert: Primärsplitt inkl. 20 km Antransport
- Anteil Richtung R-Beton: Vormauer- und Hintermauerziegel jeweils 2 % → substituiert: Primärkies inkl. 10 km Antransport
- Anteil Richtung Zementindustrie (Mauerwerksbrechsand): Dachziegel sowie Vormauer- und Hintermauerziegel jeweils 12 % → substituiert Zementklinker; zusätzliche Lasten: feineres Aufmahlen des verbleibenden Zementklinkeranteils (90 %)

Zusätzlich kann die Lebensdauer von Ziegelprodukten verlängert werden. Recyclingprodukte wie Kaltziegel sind auf dem Markt verfügbar (siehe 4.4), die auf Altmaterial als Rohziegel zugreifen. Als Dämmmaterial wird auf wiedergewonnenes Dämmmaterial zurückgegriffen.

Datenbasis für die ökologische Bewertung

In folgender Tabelle 2-1 sind die Daten aufgeführt, die zur Abbildung der Lasten herangezogen werden. Es handelt sich um Lasten, die mit der Bereitstellung von Recyclingmaterial und

Sekundärrohstoffen verbunden ist, womit wiederum Lasten aus der Herstellung des dadurch substituierten Primärmaterials eingespart werden.

Tabelle 2-1: Für die ökologische Bewertung genutzte Datensätze

Lasten/substituierte Lasten	Datenquelle
Bauschuttrecycling	ifeu-Daten ¹⁰
Bauschuttrecycling erweitert	ifeu-Daten ¹¹
Aufbereitung Boden (Filterkuchen, Bodenaushub)	ifeu-Daten ¹²
Deponierung	ecoinvent 3.8: treatment of inert waste, inert material landfill
Strombedarf für Mahlen Ziegelbruch für Einsatz in Produktion	Approximiert über gemahlene Kalkstein aus ecoinvent 3.8: 0,032 kWh/kg
Strombedarf für zusätzliches Aufmahlen Klinker, damit Mauerwerksbrechsand Klinker substituieren kann	ifeu-Daten
Deutscher Netzstrommix 2019	ifeu-Daten
Sand und Kies	Kieswerk Aigle ¹³
Splitt	Kieswerk Brunnen (Splittabbau) ¹⁴
Ton	ecoinvent 3.8: market for clay [RoW]
Sägemehl	ecoinvent 3.8: sawdust suction [EuropewithoutSwitzerland]
EPS	Ecoinvent 3.8: polystyrene production, expandable [RER]
Zementklinker	ecoinvent 3.8: market for clinker [Europe without Switzerland]
Dachziegelproduktion	EPD-BDZ-20210268-IBG1-DE
Vormauerziegelproduktion	EPD-ZWM-20210148-ICG1-DE
Mauerziegelproduktion (Hintermauerziegel)	EPD-BDZ-20210066-ICG1-DE
Dämmstoffe in Hintermauerziegeln	Gefüllte Mauerziegel (EPD-BDZ-20210071-ICG1-DE) abzüglich ungefüllter Mauerziegel (EPD-BDZ-20210066-ICG1-DE)

Als weiterer Recyclingweg ist auch die Produktion von Kaltziegel zu nennen. Aus ökologischer Sicht ist das bei der derzeitigen Datenlage dazu aber nicht abbildbar. Dadurch können mineralische Ressourcen entsprechend dem Altziegelanteil eingespart werden.

¹⁰ (Böing et al. 2022)

¹¹ (Böing et al. 2022)

¹² (Feeß et al. 2020)

¹³ (Bischof 2010)

¹⁴ (Bischof 2010)

3 Status Quo des Ressourceneinsatzes

Im folgenden Kapitel werden als Basiswissen die Produktionsweisen von Dach- und Mauerziegeln beschrieben und die Hauptunterschiede herausgearbeitet. Anschließend werden die Ergebnisse der Stoffstrombilanzierung der In- und Outputströme der Produktionsanlagen dargestellt und ausgewertet. Abschließend wird auf Ebene der Produktgruppen der Einsatz von Recyclingmaterial und Sekundärrohstoff bewertet und die Rahmenbedingungen bezüglich des Einsatzes spezifiziert.

3.1 Herstellungsverfahren von Dach- und Mauerziegeln

Die moderne Ziegelherstellung ist ein vollständig automatisiertes und hochtechnisiertes Produktionsverfahren. Die Rezepturen sind komplex und die technischen Anforderungen an die Produkte in den letzten Jahrzehnten stark gestiegen. Trotz der übereinstimmenden Ausgangsmaterialien Ton, Lehm, Mergel und Sand haben die Ziegelprodukte unterschiedliche Eigenschaften zu erfüllen. Während Dachziegel u.a. Wind- und Schneelasten aufnehmen und regendicht sein müssen, werden von Mauerziegeln insbesondere statische Eigenschaften sowie gute Schallschutz- und Wärmedämmeigenschaften gefordert. Die einzelnen Prozessschritte der Dach- und Mauerziegelherstellung sind jedoch vergleichbar. Die Verfahrensschritte sind schematisch in Abbildung 3-1 dargestellt und können untergliedert werden in: Aufbereitung, Formgebung, Trocknung, Brennverfahren.

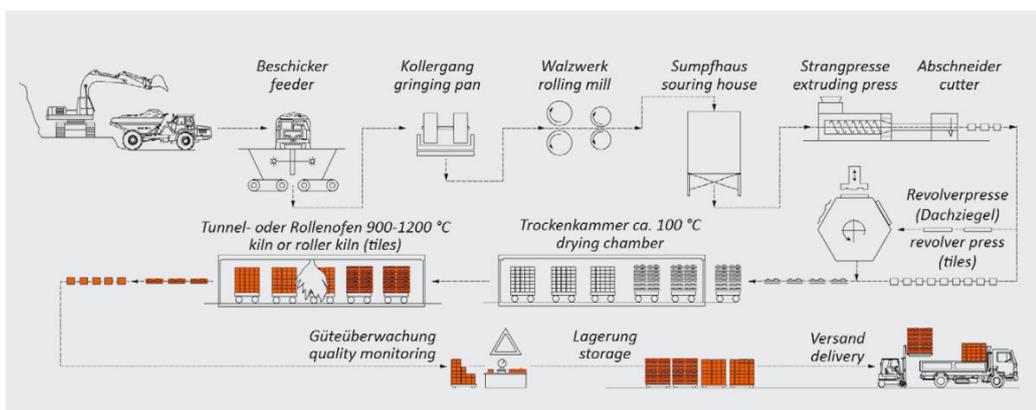


Abbildung 3-1: Prozessschritte der Ziegelproduktion

Quelle: Bundeverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V.

Die Aufbereitung ist geprägt von der Zerkleinerung und der Homogenisierung der mineralischen Betriebsmasse. Über den Kollergang und mehrere Walzwerke werden die Rohstoffe fein zerkleinert und zermahlen, bis die richtige Korngröße zur Ziegelproduktion erreicht ist. Das zerkleinerte Ton-/Lehmgemisch wird anschließend im Sumpfhaus zwischengelagert. In

der festgelegten Ruhezeit wird die Betriebsmasse gleichmäßig durchfeuchtet und durch die systematische und lagenweise Einlagerung entsprechend der Produktrezeptur gemischt.

Die Formgebung der Mauerziegel erfolgt über eine Strangpresse, deren Mundstück der Lochgebung und Größe des jeweiligen Ziegeltyps entspricht. Über einen feinen Stahldraht werden Ziegel vom Strang abgeschnitten. Diese Formlinge haben die Form des fertigen Ziegels, sind jedoch um das Schwindmaß (ca. 5 - 10 %) größer als das Endprodukt. Dachziegel werden in Gipsformen in Revolver- oder Drehtischpressen in die gewünschte Form gebracht.

Vor dem Brennvorgang werden die Ziegel auf eine Restfeuchte von 2 - 3 % getrocknet, um einen qualitativ hochwertigen Brand zu ermöglichen. Betrieben wird der Trockner mit der Abwärme des Ofens. Die Oberflächen der Dachziegel werden in der Regel nach der Trocknung mit Engoben oder Glasuren veredelt. Dies sind rein optische Ergänzungen, die Wetterfestigkeit ist auch ohne eine Oberflächenbehandlung gegeben.

Anschließend werden die getrockneten Rohlinge im Tunnelofen bei 900 – 1.200°C gebrannt. Das Temperaturniveau unterscheidet sich je nach Produktgruppe. Dachziegel und Klinker werden bei Temperaturen von über 1.100°C gebrannt, da der Schmelzprozess auf der Oberfläche erst ab dieser Temperatur einsetzt. Dadurch erhalten die Baustoffe, die im ungeschützten Bereich den Witterungsbedingungen ausgesetzt sind, deren charakteristische Eigenschaften: hohe Druckfestigkeit, besonders geringe Wasseraufnahmefähigkeit und einen hohen Frostwiderstand. Hintermauerziegel werden bei 950 – 1.050°C gebrannt, da sie nur im geschützten Mauerwerk verbaut werden.

Die Verweilzeit im Ofen ist abhängig von den eingesetzten Rohstoffen und der Ziegelart und liegt zwischen 6 und 70 Stunden¹⁵. Zweck des Brennvorganges ist der irreversible keramische Scherbenbildungsprozess (chemische Umbildung der Silicate), durch den die Ziegel ihre charakteristische Festigkeit, Form und Farbe erhalten. Die Brennprogramme der Öfen sind immer individuell auf die Rohstoffmischungen abgestimmt und können nicht von einem Ziegelwerk auf ein anderes übertragen werden. Aufgrund des Sintervorganges ist es technisch nicht möglich, die Rohstoffe Ton, Lehm oder Mergel vollständig durch bereits gebranntes Ziegelmaterial (Recyclingmaterial) zu ersetzen.

Je nach Ziegelart erfolgt nach dem Brennvorgang die Weiterverarbeitung. Mauerziegel werden ggf. zur Verbesserung der Dämmeigenschaften mit Dämmstoffen gefüllt. Zum Einsatz kommen Stecklinge, Fasern und Flocken aus Mineralwolle, Holz, Perlit und Kunststoffen. Wichtig ist, dass die Dämmstoffe durch Formschluss in den Kammern und Lochungen fixiert sind, d.h. Keramik und Dämmstoff lassen sich im Recyclingprozess voneinander trennen. Mauerziegel werden auf beiden Seiten millimetergenau als Planziegel geschliffen, um die Verwendung von Dünnbettmörteln zu ermöglichen. Die Fuge verringert sich dadurch auf etwa 1 mm, was sowohl den Ressourceneinsatz beim Mörtel verringert als auch die Schwachstellen für Wärme- und Schalldämmung reduziert.

Prozessbedingte Emissionen und Massenverluste durch den Brennvorgang

Beim Brennvorgang von Ziegeln entstehen rohstoffbedingte CO₂-Emissionen, die auf die chemische und mineralogische Zusammensetzung der Rohstoffe zurückzuführen sind. Die mineralischen Rohstoffe enthalten Kalk (Karbonate) und Kohlenstoff, die beim Erhitzen u.a. zu gasförmigem Kohlenstoff (CO₂) umgewandelt werden. Die eingesetzten Porosierungsmittel (Papierfasern, Holz, Kunststoffe) sind organischen Ursprungs und verbrennen während

¹⁵ <https://www.ziegel.de/produkte#ziegelherstellung>

des Brennprozesses vollständig unter der Bildung von CO₂ und Wasserdampf. Auch das in kristallinen Festkörpern gebundene Kristallwasser wird durch die Temperatureinwirkung in Wasserdampf überführt.

Der Masseverlust während des Brennvorgangs ergibt sich also aus der Umwandlung von Wasser, Kalk und Kohlenstoff in gasförmige Stoffe. Die festen Ausgangsstoffe sind sowohl in der Mineralik als auch in den Porosierungsmitteln enthalten.

Quarzsprung

Während des Brenn- bzw. Sinterprozesses kommt es bei 573°C zum sogenannten Quarzsprung. Dieser Begriff beschreibt die reversible Umwandlung der kristallinen Struktur von Quarz, die jeweils mit einer sprunghaften Veränderung des spezifischen Volumens verbunden ist. Steigt die Temperatur auf über 573°C wird das Alpha-Quarz zu Beta-Quarz und das spezifische Volumen nimmt um 0,8 % zu¹⁶. Für die Ziegelherstellung ist dies handhabbar, da die Rohmasse noch kein festes Gefüge besitzt und die Volumenzunahme abfangen kann. Fällt die Temperatur des bereits gesinterten Ziegelmaterials während des Abkühlungsprozesses jedoch auf unter 573°C, wird der Beta-Quarz wieder zum Alpha-Quarz transformiert. Die damit verbundene sprunghafte Volumenreduktion kann zu Sprüngen und Rissen am Ziegel führen. Die Temperaturprogramme der Öfen durchlaufen den Bereich von 573°C im Abkühlprozess daher besonders langsam, um den sogenannten Kühlbruch der Ziegel zu vermeiden.

3.2 Stoffstrombilanz Dachziegel

Die Stoffstrombilanz des Herstellungsprozesses für Dachziegel, die auf Grundlage der über die Fragebögen erhobenen Daten (vgl. Kapitel 2) erstellt wurde, ist in Abbildung 3-2 dargestellt. Links sind die mineralischen Rohstoffe für die Ziegelproduktion entsprechend ihrer Massenanteile aufgeführt, unterschieden nach primären und sekundären Quellen. Rechts sind die Anteile des Ziegelprodukts sowie die bei der Herstellung anfallenden Abfallfraktionen inkl. der Verwertungswege dargestellt. Normiert sind die Massenanteile auf die Outputfraktionen (Summe der Outputfraktionen = 100 %).

Für die Dachziegelproduktion wird auf Ton und Lehm als mineralische Hauptkomponenten zurückgegriffen. Im Durchschnitt werden 3/4 dieser Rohstoffe aus den unternehmenseigenen Tongruben gedeckt. Die Anteile variieren unternehmensintern jedoch stark zwischen 15 und 90 %. Die Rezepturen bestehen zu 99 % aus Ton und Lehm und zu 2 % aus Sand, das als Magerungsmittel eingesetzt wird.

¹⁶ <https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Beta-Quartz>

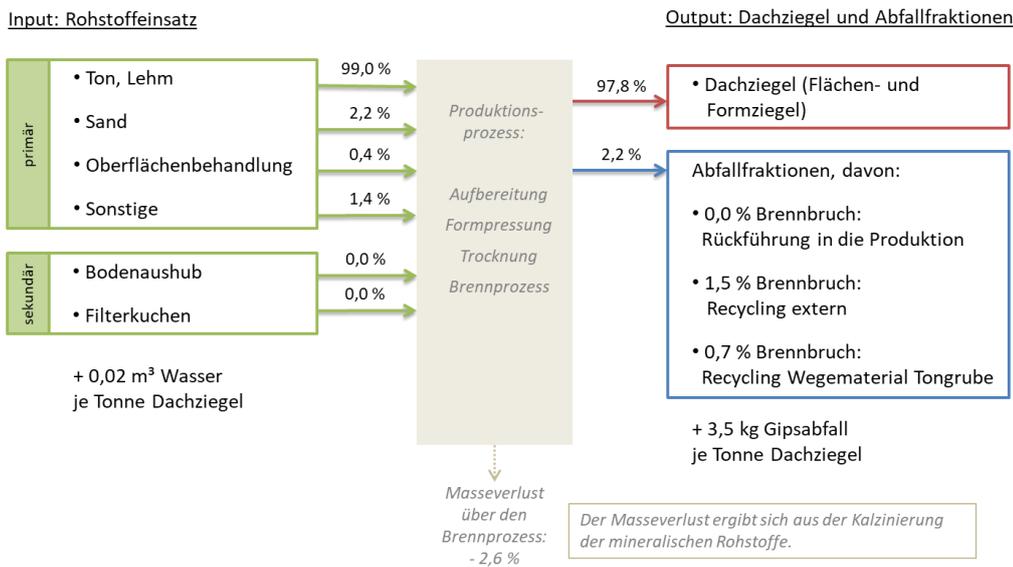


Abbildung 3-2: Stoffstrombilanz des Herstellungsprozesses von Dachziegeln

Quelle: ifeu Heidelberg gGmbH

Die Stoffstrombilanz zeigt, dass ausschließlich primäre Rohstoffe verwendet werden. Rohstoffe aus sekundären Quellen wie Bodenaushub von Baustellen, Filterkuchen aus der Sand- und Kieswäsche oder Dachziegel, die auf Baustellen als Übermengen oder bei Rückbaumaßnahmen anfallen, werden nicht eingesetzt. Auch der produktionseigene Brennbruch wird nicht in die Dachziegelproduktion zurückgeführt. Der Brennbruch wird extern hochwertig verwertet. Er wird für die Herstellung von Tennisplatzbelegen, im Wegebau oder der Herstellung von Schamott verwendet und substituiert so primäre mineralische Rohstoffe.

Dachziegel werden vor der Trocknung und dem Brennvorgang in ihre spätere Form gepresst. Branchenweit werden dafür Pressformen aus Gips genutzt, die in den werkseigenen Formgießereien hergestellt werden. Dafür wird mit Wasser abgebundener Trockengips in flüssigem Zustand in metallische Modellformen gegossen und härtet aus. Die Gipsformen erzielen durch die Saugfähigkeit des Materials zwar eine bestmöglich konturentreue und Oberflächenbeschaffenheit, sind gleichzeitig jedoch extrem verschleißanfällig. Die Standzeiten der Gipsformen geben die Hersteller für die Oberseite der Ziegel mit ca. 1 Betriebsstunde bzw. rund 1.200 Pressungen an. Da die Unterseiten der Dachziegel geringeren optischen und technischen Anforderungen unterliegen, ist die Standzeit der Gipsformen für die Unterseite beträchtlich höher. Nach Herstellerangaben können die Gipsformen rund 24 Betriebsstunden bzw. für rund 80.000 Pressungen verwendet werden.

Daraus wird klar, dass bei der Dachziegelproduktion erhebliche Mengen gipshaltige Abfälle anfallen. Die Daten aus der Fragebogenerhebung ergeben ein durchschnittliches Aufkommen von 3,5 kg gipshaltigem Abfall je Tonne verkaufsfähig produzierter Dachziegel. Ausgehend von etwa 2,2 Mio. Tonnen jährlich produzierter Dachziegel in Deutschland entspricht dies einem jährlichen Abfallaufkommen von 7.700 Tonnen Gipsabfall, der extern entsorgt werden muss.

Die Entsorgung der ca. 1.200 Tonnen gipshaltiger Abfälle, die in den befragten Produktionsanlagen anfallen, erfolgt zu 71 % in Zementwerken, in denen Gips als Erstarrungsregulator

dem Zementklinker zugesetzt wird. Die ausgedienten Pressformen ersetzen Naturgips, so dass eine hochwertige stoffliche Verwertung (Recycling) der gipshaltigen Abfälle erfolgt. 29 % der Gipsabfälle werden auf Deponien beseitigt.

In der Vergangenheit wurden mehrere Forschungsvorhaben durchgeführt, um ein geeignetes alternatives Pressformmaterial zu finden, das längere Standzeiten als die Gipsformen ermöglicht. Versuche mit metallischen oder kunststoffbasierten Formen führten jedoch nicht zu ausreichend zufriedenstellenden Ergebnissen. Insbesondere die Saugfähigkeit des Gipses wird nicht erreicht, was zu Qualitätseinbußen führt. Versuche mit Leichtbeton sind derzeit noch nicht abgeschlossen.

Die Abwasseraufbereitung des Engobenwaschwassers aus der Oberflächenbehandlung führt je nach eingesetztem Aufbereitungsverfahren zu weiteren Abfällen. Bei Nutzung eines Sedimentationsbeckens wird das abgesetzte Material im Abstand von mehreren Jahren ausgehoben und wieder der Produktion zugeführt. Mengenangaben konnten dafür nicht zur Verfügung gestellt werden. Werden die Waschwässer abgereinigt und die Schlämme über Kammerfilterpressen entwässert, fallen Filterkuchen an, die auf der Deponie beseitigt werden. Aufgrund des geringen Anteils des Materialeinsatzes für die Oberflächenbehandlung am Herstellungsprozess der Dachziegel von < 1 %, ist dieser Massenstrom aus Ressourcensicht kaum relevant.

Die Bilanzierung der Inputströme der Dachziegelproduktion ergibt folgende Kernerkenntnisse:

- Die Rohstoffversorgung wird ausschließlich über primäre Rohstoffe gedeckt. Sekundärrohstoffe werden nicht eingesetzt.

Folgende zusammenfassenden Kernerkenntnisse können aus der Bilanzierung der Output- und Abfallströme der Dachziegelproduktion abgeleitet werden:

- Fehlerhafte Rohlinge und überschüssige Betriebsmasse werden in den Produktionsprozess zurückgeführt. Es entstehen keine Abfälle aus ungebrannten tonhaltigen Rohstoffen.
- Brennbruch wird nicht in die Produktion zurückgeführt. Es entstehen keramische Abfälle und Nebenprodukte, die außerhalb des Produktionsprozesses hochwertig stofflich verwertet werden.
- Insgesamt werden 96 % der entstehenden mineralischen Abfälle und Nebenprodukte hochwertig stofflich verwertet. 4 % werden auf Deponien beseitigt (gipshaltige Abfälle aus der Formpressung).
- Durch die Formgebung der Dachziegel entstehen gipshaltige Abfälle, die extern entsorgt werden. 71 % der bilanzierten Gipsabfälle werden einer stofflichen Verwertung in der Zementproduktion zugeführt. 29 % werden auf der Deponie beseitigt.
- Als Abfall zur Beseitigung fällt ausschließlich gipshaltiger Abfall an. Da dieser zum überwiegenden Anteil einer Verwertung in der Zementproduktion zugeführt wird, ist die grundsätzliche Eignung für eine stoffliche Verwertung gegeben, da sich diese Gipsabfälle nicht von Produktionsanlage zu Produktionsanlage unterscheiden. Daher besteht das Potential, den Anteil der hochwertig verwerteten Abfälle aus der Dachziegelproduktion auf 100 % zu steigern bzw. den Anteil der zu beseitigten Abfälle auf 0 % zu minimieren.

3.3 Stoffstrombilanz Vormauerziegel und Klinker

Die Stoffstrombilanz des Herstellungsprozesses für Vormauerziegel und Klinker, die auf Grundlage der über die Fragebögen erhobenen Daten (vgl. Kapitel 2) erstellt wurde, ist in Abbildung 3-3 dargestellt. Links sind die mineralischen Rohstoffe für die Ziegelproduktion, unterschieden nach primären und sekundären Quellen, entsprechend ihrer Massenanteile aufgeführt. Rechts sind die Anteile des Ziegelprodukts sowie die bei der Herstellung anfallenden Abfallfraktionen inkl. der Verwertungswege dargestellt. Normiert sind die Massenanteile auf die Outputfraktionen (Summe der Outputfraktionen = 100 %).

Für die Herstellung von Vormauerziegeln und Klinker wird auf Ton als mineralische Hauptkomponente zurückgegriffen. Die Rezepturen bestehen zu rund 96 % aus Ton und Lehm. Zudem werden in etwa gleichen Anteilen Sand und Schamotte eingesetzt. Im Durchschnitt werden 50 % dieser Rohstoffe aus den unternehmenseigenen Tongruben gedeckt. Die Anteile variieren unternehmensintern jedoch stark zwischen 13 und 100 %.

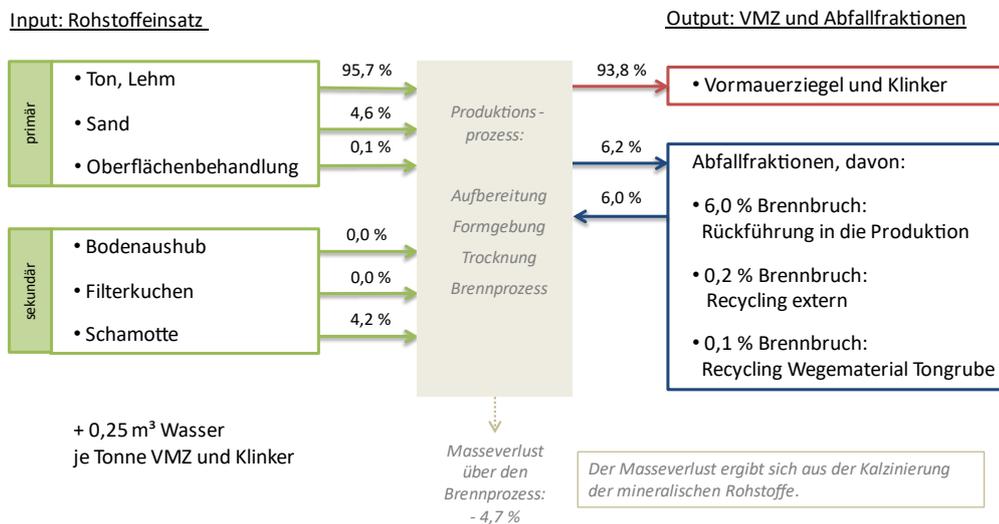


Abbildung 3-3: Stoffstrombilanz des Herstellungsprozesses von Vormauerziegel (VMZ) und Klinker

Quelle: ifeu Heidelberg gGmbH

Die Stoffstrombilanz zeigt, dass neben den primären Rohstoffen auch Sekundärrohstoff verwendet wird. Zum Einsatz kommt gemahlene Schamotte, die aus gebranntem und feuerfestem Ziegelmaterial besteht. Bodenaushub von Baustellen, Filterkuchen aus der Sand- und Kieswäsche oder Mauerziegel, die auf Baustellen als Übermengen oder bei Rückbaumaßnahmen anfallen, werden nicht eingesetzt.

Der Brennbruch wird in allen befragten Unternehmen und fast vollständig in die unternehmenseigene Ziegelproduktion als Magerungsmittel und Oberflächengranulat zurückgeführt. Kleinstmengen werden hochwertig extern recycelt oder in den Tongruben als Wegematerial intern verwertet.

Die Bilanzierung der Inputströme der Vormauerziegel- und Klinkerproduktion ergibt folgende Kernerkenntnisse:

- Die Rohstoffversorgung wird zu 96 % über primäre Rohstoffe gedeckt. Sekundärrohstoffe werden nur in bereits gebrannter Form über Schamotte eingesetzt.
- Für die Produktion von Vormauerziegel und Klinker werden überwiegend feinkörnige (tonige) Rohstoffe eingesetzt.

Folgende zusammenfassenden Kernerkenntnisse können aus der Bilanzierung der Output- und Abfallströme der Vormauerziegelproduktion abgeleitet werden:

- Fehlerhafte Rohlinge und überschüssige Betriebsmasse werden in den Produktionsprozess zurückgeführt. Es entstehen keine Abfälle aus ungebrannten tonhaltigen Rohstoffen.
- Brennbruch wird fast vollständig in die Produktion zurückgeführt.
- 100 % der mineralischen Abfälle werden hochwertig stofflich verwertet.
- Es fallen keine mineralischen Abfälle zur Beseitigung an.

3.4 Stoffstrombilanz Hintermauerziegel

Die Stoffstrombilanz des Herstellungsprozesses für Hintermauerziegel ist in Abbildung 3-4 dargestellt. Sie ist auf Grundlage der über die Fragebögen erhobenen Daten (vgl. Kapitel 2) erstellt worden. Links sind die mineralischen Rohstoffe, die Dämm- und Porosierungsmittel für die Ziegelproduktion, unterschieden nach primären und sekundären Quellen, entsprechend ihrer Massenanteile aufgeführt. Rechts sind die Anteile des Ziegelprodukts sowie die bei der Herstellung anfallenden Abfallfraktionen inkl. der Verwertungswege dargestellt. Normiert sind die Massenanteile auf die Outputfraktionen (Summe der Outputfraktionen = 100 %).

Für die Herstellung von Hintermauerziegel wird auf Ton und Lehm als mineralische Hauptkomponenten zurückgegriffen. Im Durchschnitt werden 50 % dieser Rohstoffe aus den unternehmenseigenen Tongruben gedeckt. Die Anteile variieren unternehmensintern nur gering. Die Rezepturen für die Ziegelrohmasse bestehen zu rund 86 % aus Ton, Lehm und Mergel sowie zu 4 % aus Sand. Für die Absenkung der Wärmeleitfähigkeit des Ziegelsteins werden in Summe knapp 13 % unterschiedliche Porosierungsmittel eingesetzt. Die Dämmstofffüllungen entsprechen knapp 2 % des Rohstoffeinsatzes.

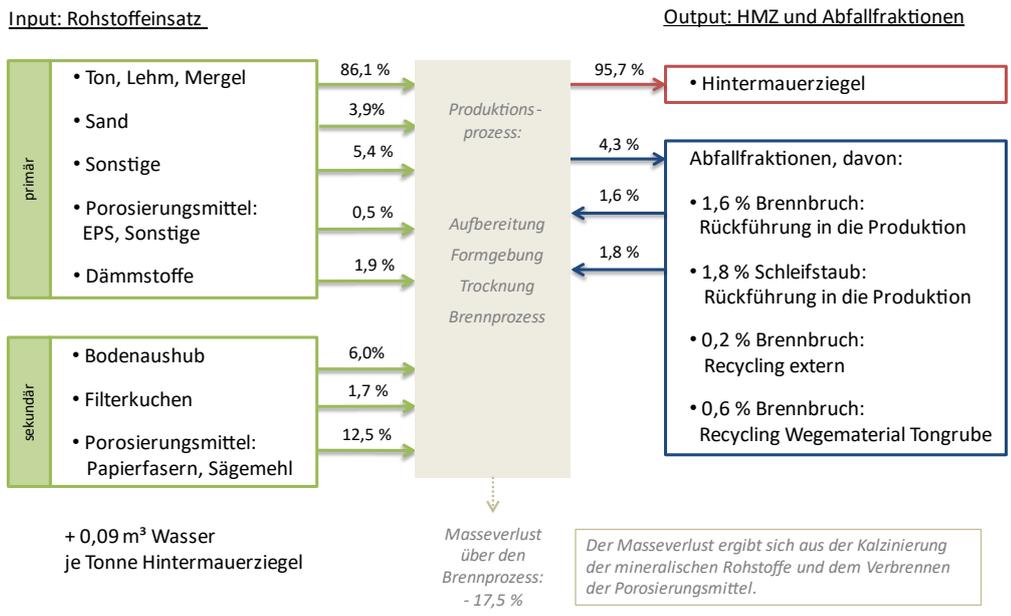


Abbildung 3-4: Stoffstrombilanz des Herstellungsprozesses von Hintermauerziegel (HMZ)

Quelle: ifeu Heidelberg gGmbH

Die Stoffstrombilanz zeigt, dass neben den primären Rohstoffen auch Rohstoffe aus sekundären Quellen verwendet werden. Dazu zählen Bodenaushub von Baustellen, Filterkuchen aus der Sand- und Kieswäsche und Abfälle aus der Papierindustrie, die als Porosierungsmittel eingesetzt werden. In Summe werden aktuell 20 % der eingesetzten Rohstoffe über Sekundärrohstoffe gedeckt. Der Brennbruch wird in allen befragten Unternehmen und fast vollständig in die unternehmenseigene Ziegelproduktion zurückgeführt. Ebenso wird der Schleifstaub, der durch das Schleifen der Planziegel entsteht, erfasst und in die Produktion zurückgeführt. Kleinstmengen des Brennbruchs werden hochwertig extern als Dachgranulat recycelt oder in den Tongruben als Wegematerial intern verwertet.

60 % der eingesetzten sekundären Rohstoffe sind Abfallstoffe aus der Papierindustrie. Die Papierfasern werden als Porosierungsmittel genutzt. Mit etwa 92 % stellen sie den größten Anteil der Porosierungsmittel dar. 8 % der Porosierungsmittel sind Sägemehl, die als Produkt und nicht als Abfall angenommen werden. EPS stellen mit < 0,5 % nur einen untergeordneten Anteil der Porosierungsmittel dar. Der Einsatz der Papierabfälle ist Stand der Technik – alle befragten Ziegelhersteller im Bereich der Hintermauerziegel setzten Papierfasern als Porosierungsmittel ein. Dem Einsatz als Porosierungsmittel liegen laut den immissionschutzrechtlichen Genehmigungsbescheiden produktionstechnische Belange zu Grunde (Erzeugung von Mikroporen im Ziegelscherben), so dass die Nutzung als eine hochwertige stoffliche Verwertung einzustufen ist. Der Einsatz in der Ziegelindustrie ist also weder eine thermische Behandlung, noch eine Abfallbeseitigungsmaßnahme.

40 % der Sekundärrohstoffe sind mineralische Rohstoffe, die als Substitut für Ton, Lehm oder Mergel eingesetzt werden. Dies entspricht knapp 7 % des Gesamtrohstoffbedarfs bzw. knapp 8 % des Bedarfs an mineralischen Rohstoffen. Unternehmensintern werden Substitutionsquoten von 4 bis 17 % des Gesamtrohstoffbedarfs erreicht.

Der Bodenaushub stammt sowohl aus Großbaustellen wie bspw. aus dem Tunnelbau der Deutschen Bahn, aber auch aus der Erschließung von Baugebieten bis hin zu Baugruben von einzelnen Gebäuden.

Die Bilanzierung der Inputströme der Produktion von mit Dämmstoffen gefüllten und nicht gefüllten Hintermauerziegel ergibt folgende Kernerkenntnisse:

- Die Rohstoffversorgung wird zu 16 % über Rohstoffe gedeckt, die aus nicht primären Quellen stammen. Davon werden 60 % als Porosierungsmittel eingesetzt.
- 40 % der Sekundärrohstoffe sind mineralische Sekundärrohstoffe, wobei mineralische Rohstoffe 88 % des Gesamtrohstoffbedarfs ausmachen.
- Alle befragten Produzenten von Hintermauerziegel setzen Abfälle aus der Papierindustrie als Porosierungsmittel ein und führen diese so einer stofflichen Verwertung zu.
- 80 % der befragten Ziegelhersteller setzen Bodenaushub - als Substitut für Ton oder Lehm - ein.
- 60 % der befragten Ziegelhersteller setzen Filterkuchen aus der Natursteinindustrie - als Substitut für Ton oder Lehm - ein.

Folgende zusammenfassenden Kernerkenntnisse können aus der Bilanzierung der Output- und Abfallströme der Hintermauerziegelproduktion abgeleitet werden:

- Fehlerhafte Rohlinge und überschüssige Betriebsmasse werden in den Produktionsprozess zurückgeführt. Es entstehen keine Abfälle aus ungebrannten tonhaltigen Rohstoffen.
- Brennbruch wird fast vollständig in die Produktion zurückgeführt.
- Schleifstaub wird vollständig in die Produktion zurückgeführt.
- 100 % der mineralischen Abfälle werden hochwertig stofflich verwertet. Dazu zählen auch die Dämmstoffe, die aus gefüllten Hintermauerziegeln in spezialisierten Aufbereitungsanlagen repariert werden.
- Es fallen keine mineralischen Abfälle zur Beseitigung an.

3.5 Bewertung des Status Quo des Ressourceneinsatzes

Die in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Stoffstrombilanzen der Ziegelproduktion zeigen, dass je nach Produktgruppe in unterschiedlichem Maße

- gebranntes Ziegelmaterial (Recyclingmaterial) in die Produktion zurückgeführt werden kann und
- Rohstoffe eingesetzt werden, die nicht aus den klassischen primären Rohstoffabbaustätten stammen (Sekundärrohstoffe).

Der Einsatz von gebranntem Ziegelmaterial in einem zweiten Brennvorgang ist grundsätzlich möglich, jedoch aus verfahrenstechnischen Gründen begrenzt. Die Eigenschaften der Scherben lassen es zu, dass damit Sand als Magerungsmittel substituiert werden kann. Die Eigenschaften von Ton oder Lehm, die aktiv am Sinterprozess beteiligt sind, können von dem gebrannten Ziegelmaterial nicht erfüllt werden. Die deutlich unterschiedlichen Freiheitsgrade, gebranntes Ziegelmaterial in den Produktionsprozessen von Dach-, Vor- und Hintermauerziegel einzusetzen, zeigen sich auch in den Recyclingquoten, die im Rahmen der „Roadmap

für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie in Deutschland“ festgesetzt worden sind (Tabelle 3-1).

An dieser Stelle ist zu beachten: **Im Folgenden wird, der in der Roadmap für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie definierte Begriff „Recyclingquote“ durch den Begriff „Sekundärrohstoffquote“ ersetzt.** In der Roadmap ist der Begriff definiert als „der Einsatz von kohlenstofffreiem Recyclingmaterial als Rohstoff“¹⁷. Gemeint ist hier gebranntes Ziegelmaterial, das im Herstellungsprozess als Rohstoff verwendet wird. In der Abfallwirtschaft wird der Begriff Recyclingquote für den Stoffstromanteil einer Abfallfraktion verwendet, der einem Recyclingverfahren zur Entsorgung zugeführt wird. In Kapitel 7 wird der Begriff im Kontext der Abfallentsorgung angewandt. Um Ungenauigkeiten und Missverständnisse zu vermeiden, wird der Begriff daher wie oben beschrieben angepasst.

Mit den in der Roadmap genannten Sekundärrohstoffquoten wird das Ziel verfolgt, die CO₂-Rohstoffemissionen durch den Einsatz von kohlenstofffreiem Recyclingmaterial zu reduzieren (Technologiepfad) bzw. vollständig zu vermeiden (Klimaneutralitätspfad). Je höher die Sekundärrohstoffquoten in den Szenarien angesetzt werden, desto höher sind der Aufwand und die Investitionskosten für deren Umsetzung. Die Höhe der Quoten im Klimaneutralitätspfad bewertet der Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. als sehr ambitioniert. Hier wird noch Bedarf an Forschungs- und Entwicklungsarbeit gesehen.

Die Herkunft des Recyclingmaterials ist theoretisch nicht nur auf pre-consumer Abfälle (Brennbruch als Produktionsabfall) beschränkt, sondern umfasst auch Mauer- und Dachziegel, die auf Baustellen anfallen. Dazu gehören sowohl saubere Übermengen von noch nicht verbauter Ware sowie rückgebaute Ziegelabfälle, die nach ihrer Nutzungszeit als post-consumer Abfälle anfallen (vgl. Kapitel 4).

Tabelle 3-1: Sekundärrohstoffquoten für Dach-, Vor- und Hintermauerziegel laut Szenarien der „Roadmap für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie in Deutschland“¹⁸

	2020 nach EPDs	2050 Referenzpfad	2050 Technologiepfad	2050 Klimaneutralitätspfad
Dachziegel	0 %	0 %	1 %	3 %
Vormauerziegel	3 %	3 %	6 %	15 %
Hintermauerziegel	3 %	3 %	10 %	25 %

Das größte Potential für den Einsatz von Recyclingmaterial besteht bei der Produktion von Hintermauerziegeln. Laut der Roadmap für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie soll die Sekundärrohstoffquote bis 2050 möglichst auf 25 % gesteigert werden. Der Einsatz in der Produktion von Vormauerziegeln wird auf max. 15 % abgeschätzt. Für die Dachziegelproduktion wird im Klimaneutralitätspfad nur eine max. Sekundärrohstoffquote von 3 % angesetzt. Die Sekundärrohstoffquoten des Referenzpfades bzw. des Status Quo sind den jeweiligen Umweltproduktdeklarationen (EPDs) entnommen. Für die Dachziegelproduktion wird die aktuelle Sekundärrohstoffquote von 0 % mit der Auswertung der Stoffstrombilanz

¹⁷ (Geres et al. 2021, S. 25)

¹⁸ (Geres et al. 2021, S. 25)

bestätigt (Kapitel 3.2). Im Bereich der Hintermauerziegel bestätigt sich ebenfalls die genannte Größenordnung von aktuell 3 % Recyclingmaterial durch die Rückführung von Brennbruch und Schleifstaub. Für die Vormauerziegel zeigt sich eine etwas höhere Quote als im Status Quo angenommen. Mit 6 % liegt die Quote im Bereich der angestrebten Sekundärrohstoffquote im Technologiepfad 2050. Da die Methode für die Berechnung der Sekundärrohstoffquote in den EPDs nicht identisch mit dem Vorgehen in dieser Studie ist, lassen sich die Zahlen nicht eins zu eins vergleichen.

Die Einsatzmöglichkeiten und das Substitutionspotential von Rohstoffen, die nicht aus den klassischen primären Abbaustätten gewonnen werden, ist abhängig von den geforderten Eigenschaften der Ziegelprodukte, den spezifischen Anforderungen an den jeweiligen Rohstoff, den anlagenspezifischen Rezepturen sowie der Höhe des zu ersetzenden Rohstoffanteils. Die Sekundärrohstoffe müssen jeweils die Eigenschaften ersetzen, die der zu substituierende Rohstoff erfüllt.

Im Folgenden werden die produktspezifischen Hemmnisse und Rahmenbedingungen bezüglich der Rohstoffversorgung näher beschrieben und die Produktionsprozesse bewertet.

3.5.1 Ressourceneffizienz der Produktionsprozesse

Die Produktionsprozesse sämtlicher Ziegelprodukte sind bezüglich der Ressourceneffizienz sehr gut aufgestellt. Die Stoffstrombilanzen zeigen, dass aus der mineralischen Betriebsmasse keine Abfälle zur sonstigen Verwertung oder zur Beseitigung anfallen. Ungebrannte Rohmasse geht vollständig in den Produktionsprozess zurück. Brennbruch und Schleifstaub wird ebenfalls vorrangig als Magerungsmittel in die Produktion zurückgeführt. Kleinstmengen werden hochwertig extern verwertet, z.B. als Bestandteil von Pflanzgranulat in der Substratindustrie oder in der Herstellung von Schamott. Auch aus rein ökonomischen Gründen dürften die Potenziale zur Reduktion des spezifischen Rohstoffeinsatzes pro Produkt weitgehend ausgeschöpft sein.

Verschnittreste von Dämmstoffen und dessen Fasern aus dem Filter der Wasserschnidanlagen werden an die jeweiligen Dämmstoffproduzenten zurückgegeben. Diese führen die Reste in die Dämmstoffproduktion zurück. Es entstehen keine Abfälle durch die Befüllung der Ziegel mit Dämmstoffen.

Im Bereich Transport und Logistik wurden vereinzelt Bemühungen beschrieben, die vorgeschriebene Transportfolie zur Ladungssicherung mit möglich hohen Anteilen an Kunststoffrezyklat einzusetzen. Dies führte zu relevanten Steigerungen des Rezyklatanteils. Inwieweit dies branchenweit forciert wird, kann auf Grundlage der verfügbaren Daten nicht abgeschätzt werden.

Unterschiede zeigen sich beim Einsatz der Transportpaletten. In Norddeutschland ist die Verwendung der Pfandpalette der Norddeutschen Ziegelindustrie in der Praxis etabliert. In Süddeutschland wird für den Transport der Mauerziegel eine Mehrwegpalette aus unbehandeltem Nadelholz verwendet. Im Bereich der Dachziegel werden zum Teil Einwegpaletten eingesetzt, die keinem Rücknahmesystem analog der Europalette unterliegen. Zwar sind die Einwegpaletten ebenfalls aus unbehandeltem Nadelholz gefertigt, was eine stoffliche Verwertung zulassen würde. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Großteil der Paletten nach einmaliger Nutzung einer energetischen Nutzung zugeführt wird. Der Einsatz von Mehrwegpaletten ist aus ökologischer Sicht deutlich vorteilhafter.

3.5.2 Ressourceneffizienz der Rohstoffversorgung

Dachziegel

Die Rezepturen der modernen Dachziegel sind komplex, um die hohen technischen Anforderungen des Endprodukts erfüllen zu können. Nach Aussagen der Produzenten kann ein einzelner Ton die erforderlichen Eigenschaften nicht (mehr) abdecken. Stand der Technik ist die Verarbeitung von mehreren mineralischen Rohstoffen (hoher einstelliger Bereich je Rezeptur) mit unterschiedlicher Korngrößenverteilung und mineralogischer Zusammensetzung, um die Anforderungen an die Frostwiderstandsfähigkeit, Wasserundurchlässigkeit, Geometrie, Lastenaufnahme, Begehrbarkeit etc. gewährleisten zu können.

Zwar lässt die Europäische Produktnorm DIN EN 1304 „Dachziegel und Formziegel“ Toleranzen bei der Gleichmäßigkeit und der Gradlinigkeit zu, die werkseigenen Normen sind häufig jedoch schärfer formuliert. Ziel ist es, den Brennbruch möglichst gering zu halten und die bestmögliche Qualität der Produkte zu gewährleisten. Aus diesem Grund sind die tolerierbaren Schwankungsbreiten bei den Rohstoffeigenschaften sehr gering. Da Rohstoffe aus sekundären Quellen in der Regel höhere Schwankungsbreiten und Unsicherheiten in der Zusammensetzung und den mineralogischen und technischen Eigenschaften aufweisen, kommen diese in der Dachziegelproduktion nicht zum Einsatz.

Auch der Verzicht auf den Einsatz von Kassetten als Standhilfen im Ofen, erhöht die Anforderungen an die Betriebsmasse. Ohne die Kassetten stehen die Ziegelrohlinge frei und dicht bei einander auf der schmalen Seitenfläche auf den Ofenwägen. Unebenheiten würden die Standsicherheit gefährden oder unmöglich machen. Der Verzicht auf die feuerfesten Kassetten ermöglicht einen dichteren Ofenbesatz sowie die Minimierung von Masse, die im Ofen erhitzt werden muss, ohne Teil des Brennproduktes zu sein. Die Energieeffizienz wird damit deutlich erhöht. In der „Roadmap für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie in Deutschland“ wird die Optimierung der Brennrohlfüllmittel für Dachziegel sowohl im Technologie-, als auch im Klimaneutralitätspfad als wichtige Maßnahme beschrieben, um die energiebedingten CO₂-Emissionen zu senken. Das Einsparpotential für Erdgas wird für diese Maßnahme mit 25 % beziffert¹⁹. Hier ergibt sich ein Zielkonflikt bei den Zielen des Ressourcen- und Klimaschutzes.

Brennbruch wird in der Dachziegelproduktion nicht eingesetzt. Der Einsatz von bereits gebranntem Ziegeln erfolgt immer als Magerungsmittel zur Erhöhung der Plastizität, d.h. als Substitut von Sand. Durch die Verwendung würde sich der Anteil des freien (reaktiven) Quarzes in der Betriebsmasse zwangsläufig erhöhen. Der erhöhte Quarzanteil kann dazu führen, dass durch die Volumenveränderung während des Abkühlungsprozesses, die Kühlempfindlichkeit der Brennprodukte steigt bzw. vermehrt Kühlbruch entsteht (siehe auch Quarzprung in Kapitel 3.1). Mit 2,2 % Sand enthalten die Rezepturen der Dachziegel im Vergleich zu den Mauerziegeln den geringsten Anteil an Magerungsmittel, so dass hier das geringste Potenzial besteht, gebranntes Ziegelmateriale (Recyclingmaterial) einzusetzen.

Vormauerziegel / Klinker

In der Klinker- und Vormauerziegelproduktion werden Sekundärrohstoffe als Substitut für Ton nicht eingesetzt. Gründe sind, dass optische Beeinträchtigungen und Qualitätsmängel befürchtet werden.

¹⁹ (Geres et al. 2021, S. 57)

Der Brennbruch wird als Magerungsmittel in die Produktion zurückgeführt. Es zeigt sich jedoch ein Steigerungspotenzial, wenn man die aktuelle Sekundärrohstoffquote von 6 % mit der angestrebten Quote in Höhe von 15 % im Klimaneutralitätspfad misst. Das Steigerungspotenzial von knapp 10 % wird nicht über Brennbruch gedeckt werden. Bruchquoten in dieser Höhe fallen nicht an und wären wirtschaftlich nicht tragfähig. Daher besteht das Potenzial Recyclingmaterial aus dem post-consumer Bereich als Magerungsmittel einzusetzen. Erkennbar ist dies auch an dem aktuellen Einsatz von Schamott, das aus bereits gebrannten Tonen besteht.

Dem Einsatz von aufbereiteten Recyclingmaterialien stehen bislang folgende Risiken entgegen: Da Vormauerziegel und Klinker als Baustoffe im ungeschützten Mauerwerk eingesetzt werden, liegt die Brenntemperatur bei $> 1.100^{\circ}\text{C}$, um die Sinterprozesse an der Oberfläche zu aktivieren. Aufbereitetes Recyclingmaterial, das aus Dach- und Vormauerziegeln hergestellt wird, die einen Sintervorgang in diesem Temperaturbereich also bereits durchlaufen haben, ist nicht mehr reaktiv, d.h. es findet keine Stoffumwandlung mehr statt. Aufbereitete Hintermauerziegel hingegen enthalten noch Tone, die bei der hohen Brenntemperatur am Stoffumwandlungsprozess teilnehmen und verflüssigt werden. Weniger risikobehaftet wäre daher der Einsatz von Recyclingmaterial, das ausschließlich hart gebrannte Ziegel enthält und keine Hintermauerziegel.

Grundsätzlich ist es risikobehaftet Recyclingmaterialien einzusetzen, deren mineralogische Zusammensetzung, d.h. deren Tonrezepturen nicht bekannt sind. Das unterschiedliche Schwind- und Quellverhalten der Materialien kann zu Qualitätseinbußen oder Fehlchargen führen. Dieses Risiko zeigt sich auch bei der Zuführung von Ziegeln des eigenen Produkttyps, die in einem anderen Werk mit einer anderen Rohstoffbasis hergestellt worden sind. Am sichersten wäre daher der Einsatz von Recyclingmaterial, das aus den eigenen Produkten bekannter Rezepturen besteht. Insbesondere die Rücknahme von nicht verbauten Übermengen würde diese Qualität garantieren. Weit verbreitet ist jedoch die Praxis, dass Übermengen von den bauausführenden Unternehmen zwischengelagert und bei einem anderen Bauvorhaben genutzt werden. Das Potential für eine Rückführung der Übermengen ist daher nur gering.

Hintermauerziegel

Die Hintermauerziegel sind derzeit die einzige Produktgruppe, in der sowohl Brennbruch in die Produktion zurückgeführt wird, als auch Sekundärrohstoffe in Form von Bodenaushub, Filterkuchen und Papierabfälle eingesetzt werden.

Auch für die Hintermauerziegel haben sich die technischen Anforderungen im Vergleich zu den Anfängen des Ziegelbaus stark verändert. Die Rezepturen sind komplexer geworden, um Schallschutz- und Dämmeigenschaften zu verbessern und enthalten mehr Komponenten als die Dach- und Vormauerziegel. Die gestiegenen Anforderungen stehen nicht automatisch konträr zum Einsatz und den Eigenschaften von Sekundärrohstoffen. Durch den Einsatz von Mergel wird bewusst kalkhaltiges Material der Betriebsmasse zugegeben. Durch die Umwandlung zu Kalziumoxid und CO_2 entsteht ein Porengefüge, das die Dämmeigenschaften verbessert. Kalkhaltige Rohstoffe werden bei der Produktion von Dach- und Vormauerziegeln vermieden – auch aus Gründen der Produktqualität. Der tolerable Kalkgehalt in Sekundärrohstoffen ist daher höher, wenn diese in der Produktion von Hintermauerziegeln eingesetzt werden sollen.

Die im Klimaneutralitätspfad anvisierte Sekundärrohstoffquote von 25 % bei Hintermauerziegeln zeigt ein großes Potenzial für den Einsatz von Recyclingmaterial. Analog zu den

Vormauerziegeln wird dieses Potenzial nicht über Brennbruch gedeckt werden. Zwar gehen Hersteller davon aus, dass perspektivisch der Anteil an Planziegeln und damit auch die Menge an Schleifstaub, die zurückgeführt wird, zunehmen wird. Jedoch füllen diese Mengen nicht das ausstehende Potenzial.

Die Verwendung von aufbereitetem hartgebranntem Ziegelmaterial ist bei der Produktion von Hintermauerziegeln als Magerungsmittel gut möglich. Der Einsatz von Recyclingmaterial ist im Vergleich zur Klinkerproduktion aufgrund der geringeren Brenntemperatur daher grundsätzlich einfacher möglich. Die Rücknahme sortenreiner Übermengen aus dem post-consumer Bereich ist die einfachste Möglichkeit sortenreines Recyclingmaterial mit bekannten Eigenschaften in die Produktion zurückzuführen. Dies wird von einigen Herstellern von Hintermauerziegeln praktiziert. Weit verbreitet ist jedoch die Praxis, dass Übermengen von den bauausführenden Unternehmen zwischengelagert und bei einem anderen Bauvorhaben genutzt werden. Das Potential für eine Rückführung der Übermengen ist daher nur gering.

Der Einsatz von Boden, der als Aushub von Baumaßnahmen außerhalb von klassischen Rohstoffabbaustätten anfällt, ist bereits langjährige Praxis. Ziel ist die Schonung der eigenen primären Rohstoffvorkommen, d.h. der Boden muss die Eigenschaften der mineralischen Hauptkomponenten Ton und Lehm ersetzen.

Grundsätzlich werden Sekundärrohstoffe bevorzugt, die in großen Mengen und mit gleichbleibenden Eigenschaften anfallen, daher ist Bodenaushub von Großbau- oder Infrastrukturprojekten beliebter, als Massen aus kleineren Einzelbaumaßnahmen. Häufig wird das Aufwand-Nutzen-Verhältnis, das der Einsatz von kleinen Massenströmen erfordert, als zu hoch eingeschätzt. Trotzdem greifen Ziegelproduzenten auch auf Böden zurück, die nur in kleinen Mengen anfallen. Gründe sind dann insbesondere die kurzen und kostengünstigen Transportdistanzen.

Das Vorgehen, um die Eignung der Böden zu ermitteln, ist unternehmensintern unterschiedlich. Übergreifend kann aber festgestellt werden, dass ein standardisiertes Vorgehen nicht etabliert ist. Gute Anbindung an Bau- und Erdbauunternehmen sind dabei ein entscheidender Faktor, in welchem Umfang Böden akquiriert werden. Häufig ist es der Werksleiter selbst, der die Aushubstelle und einen Probeschürf begutachtet und aufgrund seiner Erfahrungswerte abschätzt, ob das Material in die werkseigene Rezeptur passt. Gerade bei kleinen Baumaßnahmen ist eine umfangreiche Analyse nicht notwendig. Bodengutachten, die auf die Entsorgung des Aushubs ausgerichtet sind, enthalten nicht alle erforderlichen Angaben, um die Eignung abzuschätzen. Zum Teil werden Materialproben genommen, die im werkseigenen Labor untersucht werden. Auch die Anlieferung von größeren Mengen Probenmaterial für einen Probebrand ist möglich.

Als Flaschenhals bewerten die Ziegelproduzenten den Abbau des Materials, häufig ist eine fachkundige Person während des Abbaus vor Ort, um die Mitarbeitenden des Erdbauunternehmens einzuweisen. Das Selektieren der Bodenschichten stellt für den Erdbauunternehmer einen Mehraufwand da, ggf. ist auch zusätzliche Lagerfläche erforderlich. Zudem braucht das Erdbauunternehmen auch immer eine alternative Entsorgungslösung, falls sich während des Abbaus herausstellt, dass das Material doch nicht für die Ziegelproduktion geeignet ist. Gerade bei Kleinbaustellen lohnt sich der Einsatz nur, wenn sämtliche Bodenschichten (mit Ausnahme der oberen Humusschicht) der Ziegelproduktion zugeführt werden können. Ungeeignete Schichten (z.B. Kiesschichten) in hohem Maße getrennt zu halten, ist zu aufwändig und erhöht die Gefahr der Kontamination. In der Regel wird auf den Einsatz verzichtet, wenn nicht der gesamte Aushub einer Baugrube geeignet ist. Vorteile für den

Bauunternehmer ergeben sich aus geringeren Transport- und Entsorgungskosten für den Bodenaushub.

Nach Einschätzung der Hersteller können in der Regel 10 % der mineralischen Rohstoffe ohne Anpassungen der Rezepturen durch Sekundärrohstoffe ersetzt werden. Dieser unkritische Anteil wird derzeit unterschritten. Übergreifend werden nur etwa 8 % des Rohstoffbedarfs in den befragten Ziegelunternehmen substituiert. Nur eines der befragten Unternehmen setzt mehr als 10 % Bodenaushub ein und zwar deutlich mehr. Alle anderen Unternehmen könnten demzufolge den Einsatz – zum Teil deutlich – steigern. Auch ist der Einsatz von Böden noch nicht in allen Unternehmen umgesetzte Praxis. Bei sehr gut geeigneten Sekundärrohstoffen (passende Korngrößenverteilung, Art der Tonminerale) bzw. sehr gut abgestimmten Rezepturen sind laut Herstellerangaben Anteile im Input von bis zu 30 % möglich.

Porosierungsmittel

60 % der eingesetzten Sekundärrohstoffe werden derzeit als Porosierungsmittel in der Produktion von Hintermauerziegeln eingesetzt (siehe Kapitel 3.4). Die Papierfasern werden aus der Papierindustrie als Abfallstoffe bezogen. Dem Einsatz als Porosierungsmittel liegen laut den immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsbescheiden produktionstechnische Belange zu Grunde, so dass die Nutzung als eine hochwertige stoffliche Verwertung einzustufen ist. Die Versorgung ist bereits heute nicht immer regional. Neben den Papierfasern werden insbesondere auch Sägespäne als Porosierungsmittel eingesetzt. Sägespäne werden nicht als Abfallstoff, sondern als Produkt bezogen.

Obwohl bei einem Mangel an Papierreststoffen Sägespäne als Substitut eingesetzt werden, sind die technischen Eigenschaften nicht identisch. Papierfasern sind feiner und zeigen ein anderes Verhalten im Brennprozess. Es kommt zu der Ausbildung einer Art Mikroarmierung, die sich positiv auf die Dämmeigenschaften auswirkt. Sägespäne haben weiterhin den Nachteil, dass die Aufbereitung aufwendiger zu erfolgen hat und die Druckfestigkeit der Ziegelsteine reduziert wird. Außerdem sind die Bezugskosten höher als für die Papierabfälle. Versuche mit alternativen Porosierungsmitteln, z.B. Trester und Spelzen als Abfälle aus der Lebensmittelproduktion, waren nicht erfolgreich. Zwar werden Sägespäne derzeit in der Treibhausgasbilanz als CO₂-neutral bewertet, jedoch ist unklar, ob dieser Bewertungsansatz langfristig Bestand haben wird. Auch daher ist die Ziegelindustrie an alternativen und möglichst biogenen Porosierungsmitteln interessiert. Insbesondere der hohe Mengenbedarf ist jedoch schwierig zu decken.

Die Verfügbarkeit der Papierfasern ist durch die Gasknappheit derzeit mit großen Unsicherheiten behaftet. Die Papierindustrie ist sehr energieintensiv und primär auf Gas als Energieträger ausgerichtet. Bei Aktivierung der dritten Stufe des Notfallplans Gas und die Zuweisung von Gasmengen durch die Bundesregierung drohen Produktionsstopps und Engpässe für die nachfolgenden Lieferketten²⁰.

²⁰ <https://www.wiwo.de/unternehmen/industrie/lieferketten-papierindustrie-schlaegt-wegen-gaskrise-alarm/28469486.html>

4 Aufkommen und Entsorgung von Ziegelabfällen

4.1 Das Aufkommen von getrennt erfassten Ziegelabfällen

Gemäß § 8 Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) sind Erzeuger und Besitzer von Bauabfällen verpflichtet, bestimmte Bauabfälle getrennt zu erfassen und vorrangig einer Wiederverwendung oder einem Recyclingverfahren zuzuführen. Zu den getrennt zu erfassenden Baustoffen zählen: Ziegel, Beton, Fliesen und Keramik, Bitumengemische, gipshaltige Abfälle, Dämmmaterial, Holz, Kunststoffe, Metalle und Glas. Insgesamt fallen in Deutschland pro Jahr etwa 220 Mio. t Bau- und Abbruchabfälle an²¹. Davon entfallen rund 5 Mio. t auf getrennt erfasste Abfälle aus Ziegeln (Abbildung 4-1).

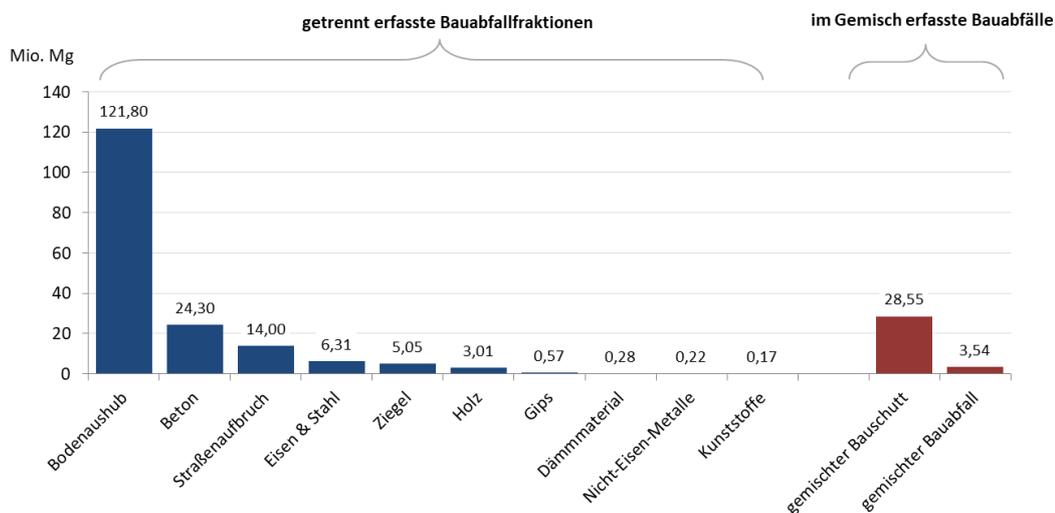


Abbildung 4-1: Aufkommen der Bauabfallfraktionen in Deutschland im Jahr 2019

Quelle: ifeu Heidelberg gGmbH, nach (DESTATIS 2021a) und (DESTATIS 2021b)

Das Aufkommen der Bauabfälle wird von Bodenaushub (AVV 170504) dominiert. Diese Fraktion macht rund 56 % des gesamten Aufkommens von Bauabfällen aus. Zwar gilt diese Fraktion als sortenrein getrennt erfasst, in der Praxis können sich Böden jedoch aus unterschiedlichen Materialien zusammensetzen. Insbesondere Bodenaushub aus städtischen Regionen kann relevante Anteile Naturstein, Beton- oder Ziegelbruch enthalten. Diese groben

²¹ (Kreislaufwirtschaft Bau 2021, S. 6)

Bestandteile können z.B. als Frost- oder Tragschicht gedient haben oder von einer vorhergehenden Bebauung stammen und als Füllmaterial verwendet worden sein.

Im Jahr 2019 wurden rund 5,0 Mio. t getrennt erfasste Ziegelabfälle (AVV 170102) Abfallbehandlungsanlagen zugeführt (Abbildung 4-2). Davon wurden 4,2 Mio. t (84 %) über Bauschuttrecyclinganlagen entsorgt. 0,6 Mio. t (12 %) wurden als Verfüllmaterial verwertet. Etwa 1 % der Ziegelabfälle wurde auf Deponien entsorgt.

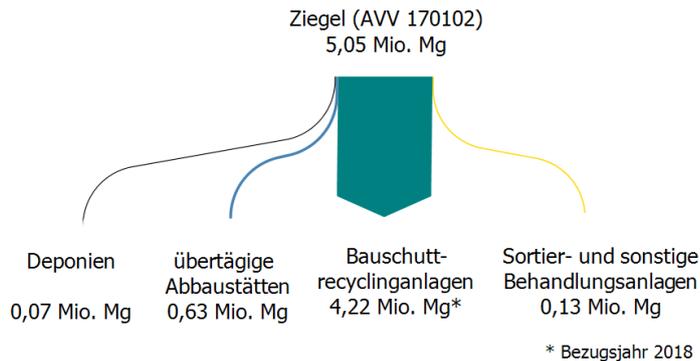


Abbildung 4-2: Aufkommen und Entsorgung von Mauer- und Dachziegeln in Deutschland im Jahr 2019

Quelle: ifeu Heidelberg gGmbH, nach (DESTATIS 2021a) und (DESTATIS 2021b)

Unter AVV 170102 werden Tondachziegel und Mauerziegel zusammen erfasst. Anhand der statistischen Daten ist es daher nicht möglich Dach- und Mauerziegel im Aufkommen zu unterscheiden. Auf Basis von Materialmengen, die im Gebäudebestand und in Infrastruktureinrichtungen verbaut sind, werden in Kapitel 4.3 Abschätzungen getroffen, in welchem Verhältnis Mauer- und Dachziegel in den sortenrein erfassten Ziegelabfällen (AVV 170102) und im gemischten Bauschutt (AVV 170904) anfallen.

Während Dachziegel aufgrund ihrer meist rein mechanischen Befestigung auf dem Dach auch nach dem Rückbau wenig Verunreinigungen aufweisen und als sortenrein gelten, hatten rückgebauten Mauerziegeln deutliche Verunreinigungen insbesondere von Putzen und Mörteln an. Im Gegensatz zu sauberen Mauerziegeln, die als Übermengen auf der Baustelle übriggeblieben sind, werden rückgebauten Mauerziegel mit Anhaftungen in relevanten Mengen auch als gemischter Bauschutt (AVV 170107) erfasst²². Die Zuordnung zu Abfallschlüsseln erfolgt durch die Bauschuttzubereiter. Es ist davon auszugehen, dass die Einstufung bundesweit nicht einheitlich erfolgt und u.a. von regionalen und betriebsinternen Aufbereitungs- und Absatzmöglichkeiten abhängig ist. So konnte in einer Studie für das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein gezeigt werden, dass in Regionen mit hohem Bestand von Ziegelgebäuden die qualitativ hochwertigeren Abfallfraktionen als AVV 170102 angenommen werden. Als gemischter Bauschutt werden die Fraktionen deklariert, die von Containerdiensten oder Kleinanlieferern entsorgt werden und weniger gut für ein Recycling geeignet sein dürften²³.

Seit 2007 sind Mauerziegel mit integrierten Dämmstoffen auf dem Markt erhältlich. Die Füllung besteht je nach Produkttyp aus künstlichen Mineralfasern, Holzfasern oder aus Dämmgranulat auf Kunststoff- oder Gesteinsbasis. Da seit dem 01.06.2000 ein Verbot des

²² (Umweltbundesamt 2019a, S. 6)

²³ (Knappe 2019 mündliche Mitteilung)

Herstellens, Inverkehrbringens und Verwendens von „alter“ Mineralwolle besteht, ist gewährleistet, dass es sich bei den Dämmstoffen ausschließlich um unbedenkliche künstliche Mineralwolle (AVV 17 06 04) handelt, wie es auch in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung angegeben ist. Derzeit fallen nur Kleinmengen aus Überschüssen an, die entweder von den Herstellern zurückgenommen und einem Recycling zugeführt oder einer Beseitigung auf der Deponie zugeführt werden. Aufgrund der heterogenen Materialzusammensetzung sind diese Abfälle als gemischter Baustellenabfall (AVV 170904) zu entsorgen. Relevante Mengen werden erst in einigen Jahrzehnten zur Entsorgung anfallen²⁴.

Um den Grad der Getrennthaltung, d.h. den Anteil der Bauabfälle abschätzen zu können, die als sortenreine Fraktionen erfasst werden, ist der Vergleich der Mengen interessant, in denen Baumaterialien alternativ erfasst werden können. Vergleicht man das Aufkommen von getrennt erfasstem Beton und Ziegeln mit dem Aufkommen des gemischten Bauschutts, wird deutlich, dass die Fraktionen mit jeweils ca. 29 Mio. t in vergleichbaren Mengen anfallen. Da über den gemischten Bauschutt noch weitere Baustoffe erfasst werden, lässt dieser Mengenvergleich nur einen groben Rückschluss auf den Grad der Getrennthaltung zu. So wird zum Beispiel Kalksandstein, für den die Abfallverzeichnisverordnung keinen separaten Abfallschlüssel vorsieht, als gemischter Bauschutt entsorgt. Stark vereinfacht ist davon auszugehen, dass die Massenbaustoffe Beton und Ziegel, die bei dem Rückbau oder der Sanierung von Gebäuden anfallen, nur etwa zur Hälfte als sortenreine Fraktionen erfasst werden. Die statistisch erfassten Mengen zeigen daher ein enormes Potential auf, das sich aus einer konsequenten Getrennthaltung der Bauabfälle ergibt.

4.2 Die Erfassung von Ziegelabfällen im Bauabfallgemisch

Nur im begründeten Ausnahmefall, nämlich wenn es technisch nicht möglich oder wirtschaftlich nicht zumutbar ist, dass die Baustoffe getrennt erfasst werden, dürfen Bauabfälle als Abfallgemisch erfasst werden. In der Praxis werden jedoch erhebliche Mengen als gemischte, nicht sortenreine Fraktionen erfasst. Abbildung 4-1 gibt einen Überblick über die getrennt erfassten Abfallmengen und stellt die als Gemisch erfassten Mengen gegenüber.

Im Jahr 2019 wurden 28,5 Mio. t gemischter Bauschutt (AVV 170107) entsorgt. Davon sind 18,7 Mio. t (66 %) direkt einer Bauschuttrecyclinganlage zugeführt worden. 4,9 Mio. t (17 %) wurden verfüllt und 3,4 Mio. t (12 %) auf der Deponie abgelagert (Abbildung 4-3). Die enorme Relevanz dieser Abfallfraktion ergibt sich insbesondere aus dem hohen Aufkommen und der minderen Qualität gegenüber getrennt erfassten Abfallfraktionen.

²⁴ (Rosen 2021, S. 3)

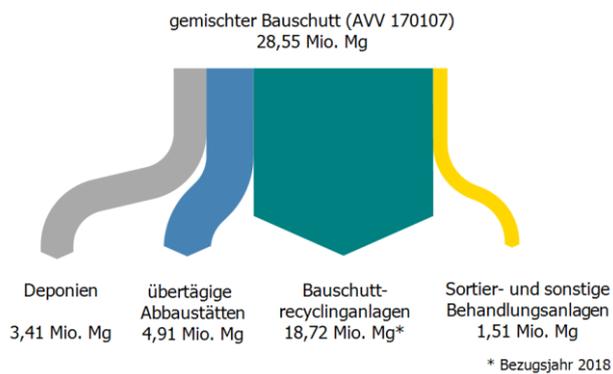


Abbildung 4-3: Aufkommen und Entsorgung von gemischtem Bauschutt in Deutschland im Jahr 2019

Quelle: ifeu Heidelberg gGmbH, nach (DESTATIS 2021a) und (DESTATIS 2021b)

Nach § 9 Absatz 1 Nummer 2 GewAbfV ist Bauschutt (AVV 170107) ein Gemisch, das überwiegend Beton, Ziegel, Fliesen oder Keramik enthalten darf. Zwar gibt es keine repräsentative Datengrundlage über die stoffliche Zusammensetzung von gemischtem Bauschutt. Studien zeigen jedoch, dass der Ziegelanteil von Recyclingbaustoffen, die auf Basis von gemischtem Bauschutt hergestellt werden, regelmäßig zwischen 26 – 44 % beträgt.

Für die grobe Abschätzung der Zusammensetzung des Bauschutts, kann die Studie „Analyse der Recyclingstruktur der mineralischen Bau- und Abbruchabfälle in Schleswig-Holstein“ herangezogen werden. Im Jahr 2020 wurden hier 8 Recyclingbaustoffe aus 8 Aufbereitungsanlagen hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung analysiert, die auf Basis gemischter Bauschuttfraktionen hergestellt wurden²⁵. Es ist davon auszugehen, dass durch die eingesetzte Brech- und Siebtechnik die stoffliche Zusammensetzung des mineralischen Ausgangsmaterials nicht grundlegend verändert wurde. Es zeigte sich folgendes Ergebnis: Beton und Kies sind mit 44 bis 70 % Hauptbestandteil des Recyclingbaustoffes. Ziegel sind zwischen 15 und 38 % enthalten. Kalksandstein zwischen 8 und 19 %. Werden die Mittelwerte über die Proben bestimmt, ergeben sich folgende Werte: 56 % Beton, 26 % Ziegel und 12 % Kalksandstein.

Eine Studie im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung kommt zu folgenden Ergebnissen: Untersucht wurden Recyclingbaustoffe, die für den Einsatz im Erdbau in 2 Recyclinganlagen, aus gemischtem Bauschutt hergestellt worden sind. Ausgewertet wurden die Beton- und Ziegelgehalte auf Basis von 25 bzw. 23 veröffentlichten Prüfprotokollen. Die Betongehalte schwanken zwischen knapp 20 % und 80 %. Die Ziegelgehalte liegen zwischen 11 % und 70 %. Die Mittelwerte ergeben für den Recyclingbaustoff aus Anlage A einen Betonanteil von 42 % und einen Ziegelanteil von 38 %. Analog werden für den Recyclingbaustoff aus Anlage B ein mittlerer Betonanteil von 32 % und ein Ziegelanteil von 44 % ermittelt²⁶.

Aus dem heterogenen Aufkommen wird deutlich, dass sich die Zusammensetzung von gemischtem Bauschutt nicht einheitlich benennen und bewerten lässt. Aus den zur Verfügung stehenden Daten lässt sich abschätzen, dass der Ziegelanteil im Aufkommen von (unbehandeltem) gemischtem Bauschutt durchschnittlich 20 – 30 % beträgt. Die in den zitierten Studien ermittelten Ziegelgehalte werden nicht in voller Höhe angesetzt, da

²⁵ (Knappe et al. 2020, S. 10 ff.)

²⁶ (Müller 2016, S. 56)

ungeeignete Fremd- und Störstoffe aussortiert und ggf. Feinanteile in der Behandlung abgeseibt werden. Weiterhin gibt es nach Abfallverzeichnisverordnung keinen Abfallschlüssel für Abfälle aus Kalksandstein. Diese werden vollständig über den gemischten Bauschutt erfasst. Daher werden regelmäßig Chargen von gemischtem Bauschutt anfallen, die ausschließlich aus Kalksandsteinen bestehen.

Es ist daher davon auszugehen, dass zusätzlich zu den 5 Mio. t getrennt erfassten Ziegeln weitere 5 - 8 Mio. t Ziegelabfälle pro Jahr als Bestandteil des gemischten Bauschutts entsorgt werden.

Gemäß § 9 Absatz 1 Nummer 1 sind gemischte Bauabfälle (AVV 170904) Gemische, die überwiegend Kunststoffe, Metalle oder Holz enthalten. Den rund 3,4 Mio. t Holz, Kunststoffen und Nicht-Eisen-Metallen, die getrennt erfasst wurden, stehen 3,5 Mio. t gemischte Bauabfälle gegenüber. Auch hier ist zu beachten, dass in der Praxis häufig andere, insbesondere mineralische Baustoffe wie Beton, Ziegel oder gipshaltige Abfälle über diese Fraktion entsorgt werden. Nach Auskunft von Betreibern von Vorbehandlungsanlagen und bundesweit tätigen Entsorgungsunternehmen, kann der Anteil von mineralischen Baustoffen in den gemischten Baustellenabfällen je nach Region bis zu 60 Ma.-% betragen. Insbesondere bei Sanierungsbaustellen mit vergleichsweise kleinem Abfallaufkommen und / oder in städtischen Bereichen mit engen Platzverhältnissen werden sämtlich anfallende Bauabfälle häufig nur über einen Container erfasst und als AVV 170904 entsorgt. Untersuchungen zur Zusammensetzung des gemischten Baustellenabfalls liegen nicht vor. Der Anteil von Ziegeln in diesem Gemisch kann daher nicht quantifiziert werden.

4.3 Verhältnis von Dachziegeln und Mauerziegeln in den Abfallfraktionen

Im Projekt Kartierung des anthropogenen Lagers III hat das ifeu Institut für 2 Modellregionen berechnet, welche Abfallmassenströme aufgrund von Sanierungs-, Neubau- und Ersatzneubaumaßnahmen anfallen. Als Datengrundlage dienten u.a. Berechnungen zum Materialbestand im Gebäude- und Infrastrukturbereich sowie Neubau- und Sanierungsraten. Die getroffenen Annahmen und detaillierte Hintergrundinformationen können in ²⁷ nachgelesen werden.

Die dort für die Region Kurpfalz ermittelten Abfallmassenströme werden nun auf Bundesebene skaliert. Das Modell beziffert das Aufkommen von Mauer- und Dachziegeln, die bundesweit als Abfall anfallen, auf knapp 10,15 Mio. t für das Jahr 2016. Davon entfallen etwa 7,99 Mio. t (79 %) auf Mauerziegel und 2,16 Mio. t (21 %) auf Dachziegel. Das berechnete Gesamtaufkommen von 10,15 Mio. t entspricht damit in guter Näherung dem in Kapitel 4.1 und 4.2 abgeschätzten Gesamtaufkommen von 10 - 13 Mio. t Ziegelabfällen pro Jahr. Das Modell trifft keine Aussagen dazu, ob die Baustoffe in sortenreinen Ziegelfraktionen oder in gemischt erfassten Bauschuttfraktionen erfasst werden.

Auf Grundlage dieser Berechnung werden in Abbildung 4-4 und Abbildung 4-5 die Mengen an Dach- und Mauerziegeln abgeschätzt, die in den unterschiedlichen Abfallfraktionen anfallen und welchen Entsorgungsanlagen diese zugeführt werden. Da nach der Modellrechnung 92 % der Dachziegel aus Sanierungsmaßnahmen als Abfall anfallen, wird davon ausgegangen, dass 75 % der Dachziegel als sortenreine Ziegelfraktion erfasst wird. Da Dachziegel

²⁷ (Dr. Buchert et al. 2022)

keine Anhaftungen aufweisen und bei Dachsanierungsmaßnahmen händisch vom Dach zurückgebaut werden, ist die getrennte Erfassung deutlich einfacher als bei Mauerziegeln. Da die Entsorgungskosten für sortenrein erfasstes Material günstiger sind als für gemischten Bauschutt, ist auch der wirtschaftliche Anreiz zur getrennten Erfassung gegeben. Trotzdem ist nicht davon auszugehen, dass Dachziegel aus Sanierungsmaßnahmen nie über Bauabfallgemische entsorgt werden. Werden Gebäude komplett abgebrochen ist davon auszugehen, dass die Dachziegel eher im gemischten Bauschutt erfasst werden. 8 % der Dachziegel stammen aus Abrissnahmen von Gebäuden.

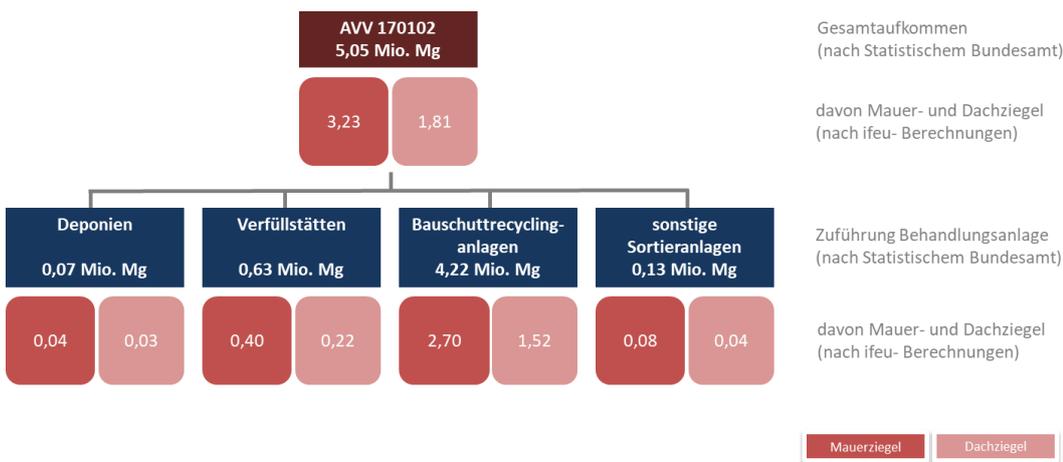


Abbildung 4-4: Aufkommen von Mauer- und Dachziegeln in sortenrein erfassten Ziegelabfällen

Quelle: ifeu Heidelberg gGmbH

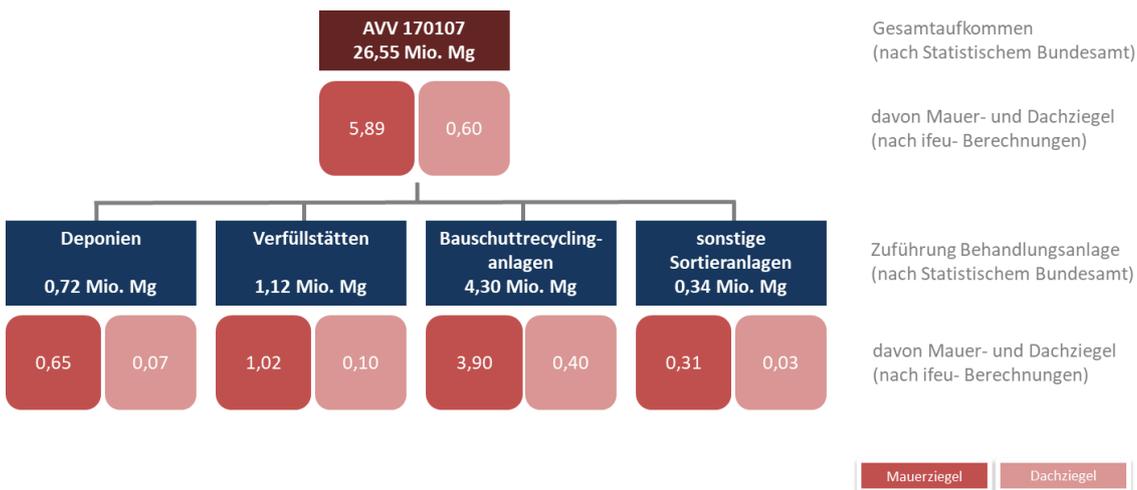


Abbildung 4-5: Aufkommen von Mauer- und Dachziegeln im gemischten Bauschutt

Quelle: ifeu Heidelberg gGmbH

Die Stoffstrommodelle zeigen, dass für eine hochwertige Verwertung der Ziegelabfälle eine möglichst hochwertige Nutzung der Eigenschaften der Abfälle erfolgen muss, die Bauschuttrecyclinganlagen zugeführt werden. Relevantes Optimierungspotenzial besteht bei der Umlenkung von den Stoffströmen, die als gemischter Bauschutt in die Verfüllung bzw. auf die Deponie gehen.

4.4 Entsorgungswege von Ziegelabfällen

Für alle Abfallarten gilt: Je sortenreiner die Erfassung, desto besser die Qualität und desto hochwertiger können die Abfälle verwertet werden. Gleichzeitig reduziert sich der Aufwand für die Aufbereitung zu Sekundärrohstoffen, wodurch Energie und Kosten einspart werden. Die Rückführung von gebrannten Ziegelprodukten in die ursprüngliche Produktion ist aus technischen Gründen nur eingeschränkt möglich (vgl. Kapitel X). Daher müssen weitere hochwertige Verwertungswege für Ziegelabfälle aus dem Abbruch und dem Rückbau erschlossen werden.

Werden Dach- und Mauerziegel sortenrein zurückgebaut, sind sie begehrte Baustoffe, um als Dach- oder Wandbildner wiederverwendet zu werden. Ist die Wiederverwendung nicht möglich, können Ziegel als Bestandteil von Recyclingbaustoffen Naturstein in der Betonherstellung, der Herstellung von Vegetationssubstraten sowie im Straßen- und Wegebau ersetzen. In Abbildung 4-6 sind die potentiellen Entsorgungswege von Ziegelabfällen, die sortenrein oder als Gemisch erfasst werden, schematisch dargestellt.

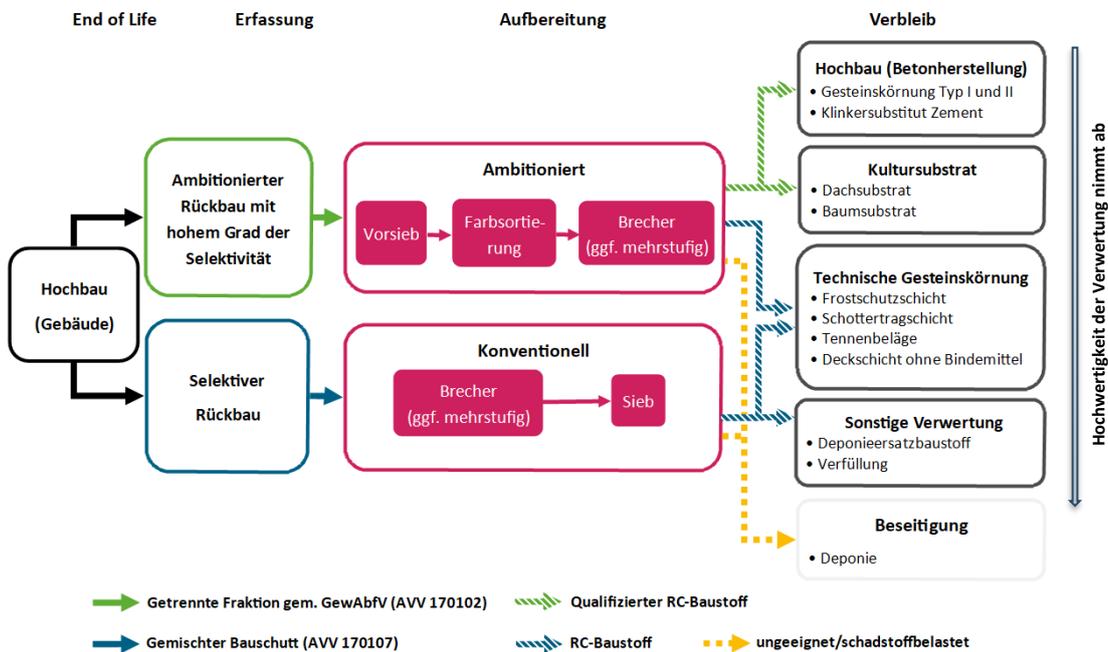


Abbildung 4-6: Entsorgungswege Ziegel

Quelle: ifeu Heidelberg gGmbH

Verwertung als Gesteinskörnung für die Betonherstellung

Eine Rückführung von Mauerziegeln als Baustoff für den Hochbau ist als Bestandteil der recycelten Gesteinskörnung im R-Beton oder als Klinkersubstitut in der Zementherstellung möglich. Gemäß DIN 4226-101 können Ziegel mit einem Anteil von max. 10 % (Gesteinskörnung Typ 1) bzw. 30 % (Gesteinskörnung Typ 2) in den Gesteinskörnungen für die Betonherstellung eingesetzt werden²⁸. Obwohl die Beton-Normen seit dem Jahr 2004 einen abgesicherten Rahmen zur Herstellung von R-Betonen vorgeben, ist die Markteinführung bislang nur räumlich, bzw. auf Pilotprojekte, begrenzt erfolgt. Außerdem werden die max. möglichen Ziegelanteile dabei nicht ausgeschöpft. R-Beton wird derzeit hauptsächlich auf Basis von Altbetonen hergestellt. Gründe dafür sind z.B. die fehlende Akzeptanz auf Seiten der Bauherren sowie die umfangreichere und kostenintensivere Aufbereitung im Vergleich zu Recyclingbaustoffen, die im Erd- und Tiefbau eingesetzt werden²⁹.

Einen weiteren vielversprechenden Ansatz liefern die Ergebnisse eines Forschungsvorhabens des Bundesministeriums für Bildung und Forschung und des Vereins Deutscher Zementwerke e.V.³⁰. Gezeigt wurde die Eignung von Brechsanden aus Mauerwerks- bzw. Ziegelbruch als Klinkersubstitut in der Zementindustrie. Die Brechsande enthalten Anteile an reaktiver Kieselsäure und sind widerstandsfähiger gegen Einträge von Chlorid als die Primärrohstoffe. Die Entwicklung von Rezepturen und Recyclinganteilen erfordert jedoch noch weitergehende Forschung.

Verwertung als Kultursubstrat

Ziegel aus dem Rückbau von Gebäuden sind ein begehrter Rohstoff für die Herstellung von Vegetations- und Dachbegrünungssubstraten (Kultursubstrate)³¹. Die Düngemittelverordnung lässt Ziegelbruch, Ziegelsand und Ziegelsplitt zur Verwendung als Ausgangsstoff für Kultursubstrate zu, wenn es sich um sortenrein erfasste, aufbereitete Tonziegel ohne losen oder anhaftenden Mörtel oder Beton handelt³². Zulässig sind demnach Dachziegel und saubere Übermengen von Mauerziegeln. Rückgebaute Mauerziegel, die zwangsläufig Anhaftungen aufweisen, sind nicht zugelassen. Die Verwertung als Kultursubstrat stellt eine hochwertige stoffliche Verwertung dar. Lava, Bims und Ton werden als Primärmaterialien substituiert.

Kultursubstrate werden überwiegend in Kompost- und Erdenwerken hergestellt³³. Es ist davon auszugehen, dass die Anlagen dieses Industriezweigs nicht als Bestandteil der sonstigen Abfallentsorgungsanlagen über die Statistik zur Abfallentsorgung abgefragt werden (vgl. Kapitel 4). Es ist daher nicht möglich anhand der statistischen Daten zu quantifizieren, in welchem Umfang rückgebaute Dach- oder Mauerziegel Primärrohstoffe im Bereich der Substratindustrie bereits substituieren. Gespräche mit Substratherstellern zeigen jedoch, dass die Nachfrage das Angebot übersteigt.

Den Vorteil der guten Recyclingfähigkeit von **Dachziegeln** als Bestandteil von Kultursubstraten sollte sich die Ziegelindustrie perspektivisch aufgrund der Farbgebung nicht verspielen. Die Akzeptanz wird sich nach Aussagen von Substratherstellern auf Dachziegel beschränken,

²⁸ (Knappe et al. 2017, S. 11)

²⁹ (Umweltbundesamt 2019a, S. 8)

³⁰ (Böing et al. 2022)

³¹ (Roth-Kleyer 2018)

³² (DüMV 2012, Anhang 2, Tabelle 7 Nr. 7.3.15)

³³ (Industrieverband Garten (IVG) e.V. 2022)

die den klassischen roten Farbton aufweisen, auch wenn die Düngemittelverordnung diesbezüglich keine Einschränkungen macht.

Bundesweit gibt es nur einen Bauschuttrecycler (bei Berlin), der sich seit einigen Jahren auf die Aufbereitung von ziegelhaltigen Abfallströmen spezialisiert hat. Mit Hilfe einer kamera-gestützten Farbsortierung werden die roten und gelben Ziegelbestandteile aus Boden-Bauschuttgemischen aussortiert und zur Herstellung von Kultursubstraten weiterverkauft.

Verwertung als gebundenes Ziegelgranulat für Mauerwerkselemente

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Kaltziegel“ hat ein Ziegelhersteller einen Mauerstein entwickelt, der auf Basis von recycelten Ziegelresten und mineralischen Bindemitteln hergestellt wird. Die Ziegelmasse wird in einem speziellen Pressverfahren geformt und an der Luft getrocknet. Der Kaltziegel erfüllt die Anforderungen an Mauersteine für tragende Innenwände. Derzeit wird die Serienfertigung der Ziegel geplant.

Als Sekundärrohstoff dienen sortenrein erfasste und mit Dämmstoffen gefüllte Hintermauerziegel als Rückläufer von Baustellen. Über eine eigene Brech- und Sortiertechnik, die die unterschiedliche Dichte des Ziegel- und Dämmmaterials als Trennkriterium nutzt, werden die Komponenten getrennt. Das grobe Ziegelgranulat wird in die Substratindustrie vermarktet. Der Feinanteil geht in die Kaltziegelproduktion. Die separierte Dämmstofffüllung wird zum Dämmstoffhersteller zurückgeführt oder auch in der Produktion der klassischen Hintermauerziegel eingesetzt.

Dieses innovative Verfahren zeigt deutlich, welche Spielräume und Verwertungsmöglichkeiten eröffnet werden, wenn ziegelhaltige Abfälle sortenrein und in hoher Qualität vorliegen.

Verwertung als Technische Gesteinskörnung im Wegebau

Mauerwerksziegel werden klassisch in Bauschuttrecyclinganlagen zu Recyclingbaustoffen aufbereitet, die im Erd- und Tiefbau verwertet werden. Dies gilt sowohl für Ziegel, die getrennt als AVV 170102 oder im Gemisch als AVV 170107 erfasst werden. Je nach Zusammensetzung und Qualität der Fraktionen sind unterschiedlich hochwertige Verwertungswege und Ziegelanteile in den Recyclingbaustoffen möglich. Substituiert wird Kies, Splitt und Sand.

Entsprechend Anhang B der TL Gestein-StB 04 ist es in ungebundenen Schichten des Straßenoberbaus zulässig, in Schottertrag- und Frostschutzschichten bis zu 30 % Ziegel, Klinker und Steinzeug in der Korngröße > 4 mm einzusetzen³⁴. Vereinzelt sind bundeslandspezifische Regelungen erlassen worden, die den Maximalgehalt reduzieren³⁵. In der Praxis beschränkt sich der Ziegelanteil im Straßenbau derzeit jedoch auf unter 10 %³⁶. Bauherren und Bauunternehmen assoziieren rote Ziegelanteile völlig unbegründet mit einem Baustoff minderer Qualität, der die Anforderungen des Straßenbaus nicht erfüllt. Mittlerweile gibt es einige Regionen in Deutschland, wo schrittweise ein Umdenken erfolgt und Mauerwerks- und damit auch Ziegelanteile in qualifizierten Frostschutzschichten im Straßenbau gemäß den Technischen Lieferbedingungen Straßenbau (TL SoB StB) ermöglicht werden. Recyclingbaustoffe für einfachere Erdbaumaßnahmen (Dämme, Wälle etc.) werden mit höheren Anteilen

³⁴ (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 2018)

³⁵ z.B. (BTR RC-StB 2014, S. 19)

³⁶ (Müller 2016, S. 55)

Mauerwerksbruch hergestellt, so dass der Ziegelgehalt bei diesen Anwendungen durchschnittlich bei 40 % liegt³⁷.

Mit der am 01. August 2023 in Kraft tretenden Ersatzbaustoffverordnung gelten Ziegelsande, Ziegelsplitt und Ziegelbruch als Ersatzbaustoff, wenn diese sortenrein erfasst und in einer Aufbereitungsanlage behandelt worden sind. Der Einsatz von Ziegelmaterial in Deckschichten ohne Bindemittel gemäß Einbauweise Nr. 12 der Ersatzbaustoffverordnung ist dann ohne Güteüberwachung zulässig. Dies gilt bei allen Eigenschaften der Grundwasserdeckschichten sowohl außerhalb als auch innerhalb von Wasserschutzbereichen.

Tennissand und Tennismehl wird zum Bau von Tennenbelägen- und Sportanlagen eingesetzt und aus Brennbruch aus der Produktion von Ziegeln hergestellt. Für die Frühjahrsinstandsetzung der ca. 40.000 Sandplätze in Deutschland werden pro Tennisplatz ca. 2 bis 3 Tonnen Ziegelsand jährlich benötigt³⁸.

Sonstige Verwertung als Ersatzbaustoff und Beseitigung auf der Deponie

Als Deponieersatzbaustoff werden Abfälle oder daraus hergestellte Materialien bezeichnet, die für die Profilierung des Deponiekörpers genutzt werden, wenn sich die Deponie oder der Deponieabschnitt in der Stilllegungsphase befindet. Aus ökologischer Sicht ist es unerheblich, ob Abfälle auf der Deponie als Ersatzbaustoff verwertet werden oder einer Beseitigung zugeführt werden. Mit der Zuführung zu einer Deponie sind die Abfälle aus dem Wirtschaftskreislauf ausgeschleust und als Recyclingbaustoff verloren. Eine Substitution von Primärrohstoffen findet nicht statt. Doch wird es auch weiterhin notwendig sein, bestimmte Mengen Ziegelabfall, insbesondere wenn konterminiert, auf Deponien zu entsorgen.

4.5 Die Behandlung in Bauschuttzubereitungsanlagen

In Kapitel 4.1 und 4.2 wurde gezeigt, dass sowohl sortenrein erfasste Ziegelabfälle als auch Bauschuttgemische, die relevante Anteile an Ziegel enthalten, als Hauptentsorgungsweg Bauschuttrecyclinganlagen zugeführt werden. Mineralische Bauabfälle können nur dann als Recyclingbaustoff einer hochwertigen Verwertung zugeführt werden, wenn eine zielgerichtete Aufbereitung vorgeschaltet ist. Die Zuführung zu Aufbereitungsanlagen (stationär oder mobil) ist daher zwingend erforderlich. Ziel muss es sein, dass die Eigenschaften der Recyclingbaustoffe entweder die Anforderungen der technischen Regelwerke erfüllen, nach denen sie eingesetzt werden sollen. Oder die Spezifikationen der aufbereiteten Baustoffe müssen möglichst nah an den Eigenschaften der Primärrohstoffe sein, die sie im Herstellungsprozess von Bauprodukten substituieren sollen. Daher werden die In- und Outputfraktionen von Bauschuttrecyclinganlagen genauer betrachtet, um den Verbleib und die Hochwertigkeit der Entsorgung beurteilen zu können.

Im Jahr 2018 wurden knapp 69 Mio. t ungefährliche Bau- und Abbruchabfälle in Bauschuttrecyclinganlagen angenommen. Beton und gemischter Bauschutt stellen mit jeweils rund 20 Mio. t die relevantesten Fraktionen dar. 4,2 Mio. t sortenrein erfasste Ziegelabfälle werden ebenfalls in Bauschuttrecyclinganlagen angenommen (vgl. Abbildung 4-7). Die statistischen Daten zeigen, welchem Verwertungszweig die zu Recyclingbaustoffen aufbereiteten

³⁷ (Müller 2016, S. 55)

³⁸ <https://www.ziegel.de/recycling>

Bauabfälle zugeführt werden. Die Kategorisierung erfolgt anhand der klassischen und in der Praxis etablierten Verwertungswege, insbesondere im Tiefbau.

61 % der Recyclingbaustoffe werden im Straßen- und Wegebau eingesetzt, 26 % in Erdbaumaßnahmen und 7 % in Asphaltmischanlagen verwertet. Diese Daten lassen zwar nicht den direkten Rückschluss zu, welche Bauabfallfraktionen in welchen Anteilen den unterschiedlichen Verwertungswegen zugeführt werden, jedoch lassen sich über die Eigenschaften der Materialien Abschätzungen treffen. Dies ist wichtig, um zu bewerten, ob die Materialien ihren Eigenschaften entsprechend hochwertig verwertet werden.

23 Mio. t sortenrein erfasste Betonabfälle werden in Bauschuttrecyclinganlagen aufbereitet. Altbeton ist aufgrund seiner bautechnischen Eigenschaften ein begehrter Rohstoff für Gesteinskörnungen, die als ungebundene Schichten im Oberbau einer Straße eingesetzt werden³⁹. Es ist daher davon auszugehen, dass für etwa 50 % der 37 Mio. t im Straßen- und Wegebau verwerteten Recyclingbaustoffe auf Altbeton als Rohstoff zurückgegriffen wird. Obwohl Altbeton den größten Massenstrom im Input der Bauschuttrecycler darstellt, werden nur 0,5 Mio. t (< 1 %) der Recyclingbaustoffe in der Betonproduktion verwertet. Es ist davon auszugehen, dass die rückgeführten Gesteinskörnungen nahezu ausschließlich aus aufbereitetem Altbeton bestehen, auch wenn Mauerwerksbaustoffe wie Ziegel in der Gesteinskörnung für die Betonproduktion enthalten sein dürfen.

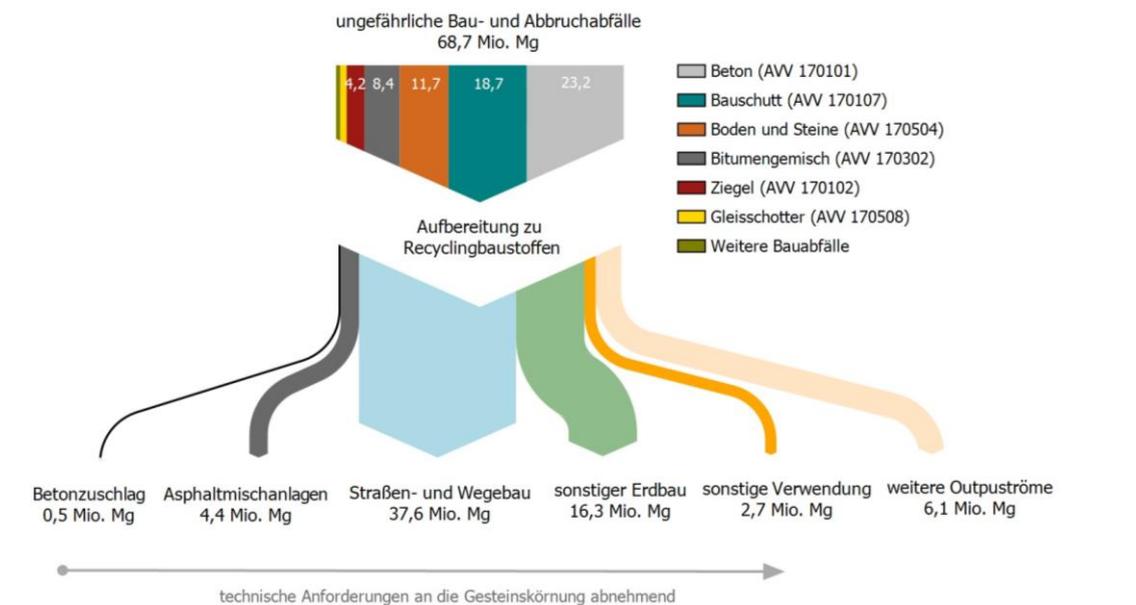


Abbildung 4-7: In- und Outputströme in Bauschuttrecyclinganlagen in Deutschland im Jahr 2018

Quelle: ifeu Heidelberg gGmbH, nach (DESTATIS 2021b)

Die bautechnischen Eigenschaften der 19 Mio. t Bauschutt sind heterogen und chargenabhängig (vgl. Kapitel 4.2). Die Verwertung wird je nach Zusammensetzung im Wegebau oder in Erdbaumaßnahmen erfolgen. Zum Wegebau zählen z.B. die Erschließung von land- und forstwirtschaftlichen Flächen oder die Errichtung von Wegen in Parkanlagen. Die

³⁹ (Umweltbundesamt 2019b, S. 5)

bauphysikalischen Anforderungen der Baustoffe sind geringer als im Straßenoberbau und erlauben Sieblinien mit höheren Feinanteilen, d.h. höhere Anteile von sandigen Materialien im Vergleich zu Kies und Splitt.

Klassische Erdbaumaßnahmen sind der Aushub von Leitungsgräben oder Baugruben und das anschließende Wiederverfüllen, die Erstellung von Aufschüttungen, Dämmen, Wällen, aber auch die Erstellung temporärer Baustraßen oder Aufstandsflächen. Insbesondere, wenn das Ziel der Maßnahmen die Bereitstellung von Volumen ist, d.h. Hohlräume aufgefüllt werden müssen ohne technische Anforderungen an das Material, sind aufbereitete gemischte Bauabfälle oder auch Bodenaushubmassen gut geeignete Baustoffe. Gerade die Materialien aus der Aufbereitung weisen aufgrund ihrer Kornabstufung eine hohe Tragfähigkeit auf und eignen sich gut für die Aufschüttung von Dämmen für den Straßenbau oder von Aufstandskörpern bspw. unter großen Industriehallen.

Die „sonstige Verwendung“ der aufbereiteten Materialien erfolgt vor allem im Deponiebau, d.h. der Einsatz der Materialien als Deponiebaustoff. Die Verwendung kann als Drainageschichten oder auch Abdeckschichten erfolgen, klassisch ist auch der Einsatz als Wegebau-material.

Wie ist der Einsatz von Recyclingbaustoffen im Straßen- und Wegebau – als größter Absatzmarkt – bezüglich der Hochwertigkeit der Verwertung zu bewerten? Recyclingbaustoffe für den Straßen- und Wegebau können sehr unterschiedliche Qualitäten und Anteile von Ziegeln aufweisen. Die bautechnischen Anforderungen an Baustoffe für den Straßenoberbau sind hoch. Für Autobahnen, Bundes- und Landesstraßen sind die Anforderungen und die zulässigen Zusammensetzungen verbindlich über Technische Lieferbedingungen⁴⁰ definiert. Recyclingbaustoffe, die im Oberbau dieser stark befahrenen und beanspruchten Straßen als Tragschichten eingesetzt werden, substituieren daher natürliche Gesteinskörnungen aus Kies, Sand und gebrochenem Festgestein, die anspruchsvolle technische und bauphysikalische Eigenschaften zu erfüllen haben. Nach Anhang B der TL Gestein-StB 04 sind Recyclingbaustoffe zulässig, die Beton, max. 30 % Asphalt, max. 30 % Ziegel und Klinker sowie max. 5 % Kalksandstein enthalten.

In der Praxis beschränkt sich der Ziegelanteil im Straßenbau derzeit jedoch auf unter 10 %⁴¹. Bauherren und Bauunternehmen assoziieren rote Ziegelanteile völlig unbegründet mit einem Baustoff minderer Qualität, der die Anforderungen des Straßenbaus nicht erfüllt. Recyclingbaustoffe für einfachere Erdbaumaßnahmen (Dämme, Wälle etc.) werden mit höheren Anteilen Mauerwerksbruch hergestellt, so dass der Ziegelgehalt bei diesen Anwendungen durchschnittlich bei 40 % liegt⁴².

Im Straßenbau sind darüber hinaus auch Baumaßnahmen im Unterbau einer Straße erforderlich. Dies sind einfachere Erdbauarbeiten, z.B. der Bodenaustausch zur Optimierung der Tragfähigkeit des Planums, der Ausgleich von Unebenheiten im Gelände oder die Errichtung von Böschungen. Die bautechnischen Anforderungen der dort eingesetzten Baustoffe sind deutlich geringer als im Oberbau, werden aber ebenso der Verwertung im Straßenbau zugeordnet. Es ist unklar, inwieweit bei der Herstellung von Recyclingbaustoffen für Erdbaumaßnahmen auf Bauabfälle zurückgegriffen wird, die aufgrund ihrer Eigenschaften, auch für den Oberbau einer Straße geeignet wären. Der intuitive Rückschluss, dass in Erdbaumaßnahmen

⁴⁰ zur Anwendung kommen insbesondere: die „Technischen Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau“ (TL SoB-StB 20) und die „Technischen Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau“ (TL Gestein-StB 04)

⁴¹ (Müller 2016, S. 55)

⁴² (Müller 2016, S. 55)

ausschließlich Böden als Baustoffe eingesetzt werden, ist falsch. Die Vorgaben zur stofflichen Zusammensetzung eines Recyclingbaustoffes im Erdbau beschränken sich auf Angaben zum maximalen Asphaltgehalt und dem Anteil von nicht-mineralischen Fremdstoffen⁴³. Demnach kann für die Herstellung von RC-Baustoffen für den Erdbau auf das gesamte Spektrum der mineralischen Bauabfälle, die typischerweise in Bauschuttrecyclinganlagen behandelt werden, zurückgegriffen werden, auch auf ziegelhaltige Abfallströme.

Die Datenlage lässt keine Abschätzung zu, in welchem Verhältnis die Recyclingbaustoffe im Oberbau der Straße bzw. in Baumaßnahmen des Straßenunterbaus oder im Wegebau verwertet werden. Das ifeu kommt in einer Studie im Auftrag des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein zu dem Ergebnis, dass der Absatz von Recyclingbaustoffen im Oberbau des Straßenkörpers in der Praxis – zumindest regional – kaum stattfindet. Insbesondere bei den Frost- und Trag-schichten im Oberbau einer Straße werden überwiegend Naturmaterialien eingesetzt. Trotz Gütesicherung und Eignungsnachweis für die Recyclingbaustoffe, fehlt es an der Akzeptanz seitens der Bauherren. Betreiber von Aufbereitungsanlagen, die eine Zulassung für die Herstellung von Straßenbaustoffen nach TL SoB-StB 20 besitzen und so in die Gütesicherung und Überwachung ihrer Produkte investieren, erzielen häufig keinen wirtschaftlichen Vorteil aus dem aufwendigeren Herstellungsprozess⁴⁴. Die der entsprechenden Gütesicherung unterzogenen hochwertigen Baustoffe finden dort keine Akzeptanz bei Bauherren und müssen anderweitig abgesetzt werden.

Diese Rahmenbedingungen führen zu der Annahme, dass relevante Anteile der Materialien nicht ihren bautechnischen Eigenschaften entsprechend verwertet werden, sondern untergeordneten Verwertungswegen zugeführt werden. Die technischen Potenziale der Bau- und Abbruchmaterialien werden aktuell nicht ausgeschöpft. Bauschuttrecycler agieren nicht als Rohstofflieferanten für die Baustoffindustrie, stellen also kein Bindeglied zwischen Abbruchunternehmen und Baustoffproduzenten dar. Die Aufbereitung zielt auf die Herstellung von eigenen Bauprodukten für den Tiefbau. Dieser Status Quo ist auch dahingehend problematisch, als dass die Bauschuttrecycler die einzigen Akteure in der Entsorgungskette sind, die über jahrzehntelange Erfahrung und Expertise verfügen, was die Klassierung, Sortierung und Konditionierung von mineralischen Bauabfällen betrifft. Sollen perspektivisch Gesteinskörnungen mit höheren Qualitäts- und Reinheitsanforderungen oder einzelne Kornklassen wie Sand oder Lehm als Sekundärrohstoff für die Mauerwerksproduktion bereitgestellt werden, muss spezialisiertere Technik und Know-how in die Entwicklung der dafür nötigen Aufbereitungsstrategien einfließen. Seitens der Ziegelproduzenten kann dieser Schritt in der Vorkette nicht ohne weiteres übernommen werden.

Ob Hersteller von Kultursubstraten Ziegelsplitt aus aufbereiteten Dachziegeln aus Bauschutt aufbereitungsanlagen beziehen, ist aus den Daten nicht ersichtlich. Aufgrund der Praxiserfahrungen des ifeu ist jedoch davon auszugehen, dass dies nicht der gängige Pfad der Rohstoffversorgung für die Substratindustrie ist und überwiegend Altziegel aus dem Mauerwerk in Bauschutt aufbereitungsanlagen behandelt werden. Ausnahme bildet das Unternehmen, das im Berliner Umland mit Hilfe der automatisierten Farbsortierung auf die Herstellung von Ziegelgranulat für die Substratindustrie spezialisiert ist.

Seit 2007 sind Mauerziegel mit integrierten Dämmstoffen auf dem Markt erhältlich. Relevante Mengen werden erst in einigen Jahrzehnten zur Entsorgung anfallen⁴⁵. Bei der Produktentwicklung wurde berücksichtigt, dass die Dämmstoffe reversibel, d.h. über reine

⁴³ (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 2020, S. Anhang B)

⁴⁴ (Knappe 2019, S. 13)

⁴⁵ (Rosen 2021, S. 3)

Steckverbindungen, in den Ziegel integriert sind, um ein Recycling der Materialien zu ermöglichen. Eine Trennung der Komponenten ist mit der heute bereits in der Bauabfallbehandlung eingesetzten Technik grundsätzlich möglich. Jedoch verfügen nur wenige Bauschuttzubereiter über die technische Ausstattung, um Materialien unterschiedlicher Dichte voneinander zu trennen. Zum Einsatz können Windsichter kommen, die leichtes und schweres Material über einen Luftstrom voneinander trennen oder Schwimm-Sink-Verfahren, in denen das leichte Material aufschwimmt und Stoffe mit einer höheren Dichte als Wasser absinken. Hier kann auf Entwicklungsarbeit der Ziegelhersteller mit Rücknahme-System zurückgegriffen werden.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass Bauabfälle, die Bauschuttrecyclinganlagen zugeführt werden, i.d.R. nicht beseitigt werden. Nur geringe Anteile werden auf der Deponie verwertet. Dies unterstreicht die Relevanz, dass Bauabfälle vor der Entsorgung einer Aufbereitung zugeführt werden müssen – insbesondere mit Blick auf die 100 Mio. t Bauabfall, die ohne Aufbereitung direkt verfüllt werden. Trotzdem ist die Datengrundlage unzureichend, um abschließend beurteilen zu können, inwieweit die Ziegelabfälle ihren Eigenschaften entsprechend hochwertig verwertet werden. Dies betrifft Daten über die Zusammensetzung und Qualität der Abfallfraktionen sowie tiefergehende Details der tatsächlichen Einsatzbereiche und Absatzwege der aufbereiteten Materialien.

5 Ansätze zur Optimierung der Ressourcennutzung

Sekundärrohstoffe und Recyclingmaterial konkurrieren mit Primärrohstoffen, deren Verfügbarkeit sich die Ziegelindustrie häufig schon auf Jahrzehnte im Voraus gesichert hat. Dies erklärt sich aus den enormen Investitionskosten in die Produktionsanlagen und dem damit verbundenen Investitionsrisiko bzw. der erforderlichen Planungssicherheit.

Der Wettbewerbsnachteil der alternativen Rohstoffe, bedingt durch gesetzliche Rahmenbedingungen aufgrund der Einstufung als Abfall sowie der fehlenden permanenten Verfügbarkeit, ist daher besonders groß. Es bedarf dem eindeutigen Willen und Bekenntnis ressourcenorientiert zu wirtschaften und dadurch die natürlichen Rohstoffvorkommen zu schonen. Der Einsatz dieser Materialien ermöglicht jedoch einen hohen Imagegewinn, der entsprechend in der Vermarktung der Produkte genutzt werden kann.

Grundsätzlich können 2 Strategien genutzt werden, um Sekundär- und Recyclingrohstoffe in der Produktion einzusetzen. Einerseits können die Rezepturen vor allem dann mit einer höheren Produktionssicherheit umgestellt werden, wenn die Substitute in großen Mengen und mit gleichbleibenden Eigenschaften und Qualitäten zur Verfügung stehen. Andererseits ist auch die Akquise von kleineren Mengen denkbar, die in geringeren Anteilen zugesetzt werden, so dass im Zweifel auftretende größere Schwankungsbreiten in den Eigenschaften toleriert werden können. Technisch limitiert wird der Einsatz insbesondere bezüglich Änderungen bei der Schwindung. Änderungen in der Abmessung der Produkte und Zwischenprodukte dürfen demnach nicht dazu führen, dass die vorhandene Setztechnik und Logistik innerhalb der Produktion im großen Maßstab angepasst werden muss. Dies würde zu erheblichen Zusatzinvestitionen führen.

5.1 Einsatz von Recyclingmaterial

Zwar ist die Rückführung von gebranntem Ziegelmaterial in die Neuproduktion aus technischen Gründen nur in geringen Anteilen möglich, trotzdem sind die Potenziale zur Substitution von Primärmaterial noch nicht ausgeschöpft. Die Rückführung erfolgt derzeit nur in Form von Brennbruch und Schleifstaub, die unternehmensintern recycelt werden. Eine Rücknahme aus dem post-consumer Bereich, d.h. die Rückführung von Ziegelabfällen aus dem Rückbau oder der Sanierung von Gebäuden, findet nicht statt. Einige Hersteller von Hintermauerziegeln nehmen ihre eigenen Produkte, die als sortenreine und nicht verbaute Übermengen oder aus Verschnitt auf den Baustellen anfallen, zurück.

Die Potenziale zeigen sich an den in der Roadmap Klimaneutralität angestrebten Sekundärrohstoffquoten, die in der Praxis weder erreicht, noch über den anfallenden Brennbruch oder Schleifstaub gedeckt werden können. Insbesondere bei den Mauerziegeln lassen es die

technischen Rahmenbedingungen und die geforderten Produkteigenschaften zu, dass auch gebrannte Ziegel aus dem post-consumer Bereich eingesetzt werden.

Die tatsächlichen Potenziale sind werks- und rohstoffabhängig. **Insbesondere für Produktionsanlagen, die fette Tone in der Rezeptur verarbeiten und Sande als Magerungsmittel zukaufen, bietet der Einsatz von Recyclingmaterial einen sinnvollen Ansatz und kann als Imagevorteil genutzt werden.** In anderen Werken ist es aufgrund des genutzten Rohstoffes nicht möglich, die aktuellen Rezepturen um magernde Komponenten in Form von Recyclingmaterial zu erweitern. Mit steigendem CO₂-Preis und Bestrebungen, den Anteil von kohlenstoffarmen Tonen aus wirtschaftlichen Gründen in den Rezepturen zu erhöhen, kann sich das Einsatzpotenzial zukünftig verändern. Der Bedarf an Magerungsmitteln und damit das Potenzial für den Einsatz von Recyclingmaterialien könnte in Zukunft rückläufig sein.

Um den Einsatz von Recyclingmaterial in der Praxis zu etablieren, entwickelt die Ziegelindustrie derzeit auf Grundlage der Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Charakterisierung sortierter Ziegel-Recycling-Materialien anhand physikalischer und chemisch-mineralogischer Eigenschaften für die Generierung neuer Stoffströme“⁴⁶ das Technische Merkblatt Ziegelrecycling (Anlage 2). Das Merkblatt richtet sich an Ziegelhersteller und Bauschuttzubereiter und beschreibt die Anforderungen an aufbereitetes Ziegelmaterial und die Annahmekriterien für die Ziegelherstellung. Demnach müssen 12 Kriterien eingehalten und mittels einer kontinuierlichen Güteüberwachung nachgewiesen werden. Als Ausgangsmaterial werden die Abfallfraktionen Ziegel (170102), Fliesen, Ziegel und Keramik (170103) sowie Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik - ohne gefährliche Stoffe (170107) genannt. Recyclingmaterial aus Mauerwerksbruch ist nach den Ergebnissen des oben genannten Forschungsvorhabens nur im Bereich der Hintermauerziegel empfohlen. Für den Einsatz im Dach- und Vormauerziegelbereich ist ein Recyclingmaterial empfohlen, das auf Basis von sortenreinem Ziegelmaterial hergestellt worden ist⁴⁷. Es wird empfohlen die Anteile < 40 mm nicht für die Herstellung des Recyclingmaterials zu verwenden, um die Kriterien einhalten zu können.

Die Anforderungen an die chemischen und physikalischen Parameter sind für den Einsatz in der Dachziegel- und Klinkerproduktion am strengsten definiert. Beim Einsatz im Vor- und Hintermauerziegel sind höhere Gehalte und Schwankungsbreiten tolerierbar. Die Finalisierung und Veröffentlichung des Merkblattes stehen noch aus.

Es wird deutlich, dass im Vergleich zu den gängigen Absatzwegen im Erd- und Straßenbau ein erheblicher Mehraufwand für die Bauschuttrecycler anfällt, wenn die Abfallmassen für die Ziegelindustrie aufbereitet werden sollen. Bauschuttrecycler agieren (noch) nicht als Rohstofflieferanten für die Baustoffindustrie, stellen also kein Bindeglied zwischen Abbruchunternehmen und Baustoffproduzenten dar. Die Aufbereitung zielt auf die Herstellung von Bauprodukten für den Tiefbau. Zentraler Grund dafür ist, dass die Qualitätsanforderungen an die Gesteinskörnungen für den Einsatz als Gesteinskörnung im Straßen- und Erdbau zum einen deutlich niedriger sind als die Anforderungen an die Gesteinskörnungen für den Einsatz im Hochbau. Und zum anderen wird der Mehraufwand bis dato nicht über höhere Erlöse kompensiert.

Aus Sicht der Bauschuttzubereiter ist daher der Anreiz gering, Bauabfälle für die Ziegelindustrie bereitzustellen, solange der Absatz im Tiefbau sichergestellt ist. Die Aufbereitung für den Tiefbau ist auch deshalb wirtschaftlich attraktiver, weil Straßenbaustoffe in der Kornabstufung 0/32 mm oder 0/45 mm benötigt und vermarktet werden. Recyclingmaterial für die

⁴⁶ (Tretau und Leydolph 2019)

⁴⁷ (Tretau und Leydolph 2019, S. 76)

Ziegelindustrie schließt den Einsatz von Material < 40 mm aus. Daher fallen Feinanteile (Brechsande) an, die nicht mit einem adäquaten Erlös vermarktet werden können. Darüber hinaus besteht kein Anreiz zur Etablierung einer solchen Aufbereitungslinie aufgrund der fehlenden Nachfrage. Es bedarf enger Absprachen und dem Aufbau von regionalen Geschäftsbeziehungen, um den Absatz in die Ziegelindustrie zu ermöglichen.

Maßnahmen zur Steigerung des Einsatzes von Recyclingmaterial sind:

- **Aufbau von Rücknahmesystemen für Übermengen der eigenen Produkte**

Die einfachste und sinnvollste Art den Anteil von Recyclingmaterial als Magerungsmittel in der Produktion zu steigern, ist die Rücknahme von nicht verbauten Übermengen und Verschnittresten. Diese fallen in hoher Reinheit und Qualität auf den Baustellen an. Weiterhin sind die Rezepturen und die chemischen Eigenschaften der eigenen Produkte bekannt. Die Zerkleinerungsaggregate für die Aufbereitung sind in der Regel in den Ziegelwerken bereits vorhanden, da auch der in der Produktion entstehende Brennbruch vor der Rückführung konditioniert werden muss. Einige Hersteller von Hintermauerziegeln bieten diesen Service bereits an.

Die produktspezifische Rücknahme hat den Vorteil, dass die jeweiligen Produktionskompetenzen und das Optimierungs- und Innovationspotential der Hersteller aktiviert und genutzt werden, insbesondere zur Frage des recyclinggerechten Designs und Rezeptur. Ein entscheidendes Hemmnis einer recyclinggerechten Gestaltung von Bauprodukten ist, dass die Hersteller zwar Aufwand und Kosten für die Entwicklung zu tragen haben, jedoch ein anderer Akteur der Wertschöpfungskette (insbesondere die Sortier- und Recyclingunternehmen) davon profitiert. Dieser Missstand wird ausgeglichen, wenn die Hersteller ihre eigenen Produkte in den Herstellungsprozess zurückführen können. In Summe ist das Mengenpotenzial für die Rückführung jedoch gering, da die bauausführenden Unternehmen Übermengen häufig zwischenlagern und in anderen Baumaßnahmen einsetzen.

- **Aufbau von Geschäftsbeziehungen zu den ansässigen Bauschuttrecyclern**

Da die Eigenschaften der Recyclingmaterialien immer vom Rohstoffeinsatz der jeweiligen Produktionsanlage abhängig sind, muss ein enger individueller Austausch mit den Akteuren der Entsorgungswirtschaft stattfinden. Die Bereitschaft der Recycler, Recyclingmaterial für die Ziegelindustrie herzustellen, wird nur dann gegeben sein, wenn die Abnahme sichergestellt ist. Halten die aufbereiteten Materialien die chemischen und physikalischen Eigenschaften ein, garantieren die produzierenden Unternehmen eine Abnahme. So könnte bspw. sichergestellt werden, dass nur hartgebrannter Ziegel als Recyclingmaterial für den Einsatz in Klinkerwerken verwendet wird. Das sich derzeit in der Entwicklung befindliche Merkblatt Ziegelrecycling kann für eine erste Sondierung genutzt werden. Entscheidend für eine erfolgreiche Einführung solcher Systeme ist, dass die Frage zum Ende der Abfalleigenschaft der Sekundärrohstoffe geklärt ist.

- **Anpassung der Rezepturen**

Durch den Einsatz von fetteren Tonen steigt der Bedarf an Magerungsmittel, der über den Einsatz von Recyclingmaterial gedeckt werden kann. Hinsichtlich der technischen Eigenschaften der Produkte heißt dies auch, dass die in den Normen zulässigen Toleranzen ausgeschöpft werden sollten. Der Einsatz von carbonatarmen

Primärrohstoffen und bereits gebranntem Ziegel als Magerungsmittel reduzieren zudem die CO₂-Emissionen der Produktion.

- Entwicklung von Marketingstrategien

Bekanntmachung der umgesetzten Maßnahmen bei Kundinnen und Kunden sowie bei Planer*innen und Architekt*innen, gemeinsam mit den Vorteilen des Einsatzes von Sekundärrohstoffen.

Die Notwendigkeit zur Steigerung der Ressourceneffizienz und der Rückgriff auf Rohstoffe aus dem Materialkreislauf sind im Baustoffmarkt angekommen. Bauherren und Planer achten in der Frage der Baustoffauswahl zunehmend auf diese Aspekte und benötigen daher entsprechende Informationen zum Baustoff Ziegel und den einzelnen Produkten der Ziegelhersteller.

5.2 Einsatz von Sekundärrohstoffen

Nutzung von Filterkuchen

Der Einsatz von Sekundärrohstoffen ist in umso höheren Anteilen möglich, je näher diese in Zusammensetzung und Eigenschaften an die Qualitäten der primären Rohstoffe heranreichen und damit den Spezifikationen der Produktionsstandorte entsprechen. Dies ist umso leichter möglich, wenn in gewissem Umfang Toleranzen eingeräumt werden können, was – wie oben ausgeführt – eher bei der Produktion von Hintermauerziegeln und ähnlicher Produkte gegeben ist, weniger bei der Herstellung von Klinkern, Vormauerziegeln oder Dachendeckungen.

Zu den Spielräumen, die in den einzelnen Betrieben und Produktionsstandorten zur Anpassung der Rezepturen gegeben sind, können an dieser Stelle keine Aussagen getroffen werden. Auffallend sind jedoch die in der Praxis – wie oben ausgeführt - großen Unterschiede im Einsatz von Sekundärrohstoffen, was zumindest ein Hinweis sein sollte, die Rezepturen auf den Bezug von sekundären Rohstoffen und deren Einsatz in höheren Anteilen zu überprüfen. Mögliche Einsatzquoten sind von Produktionsstandort zu Produktionsstandort unterschiedlich gegeben, abhängig von der Zusammensetzung und den Eigenschaften der dort jeweils eingesetzten Primärrohstoffe. Quoten als allgemeine Zielmarken lassen sich deshalb eher nicht pauschal festlegen.

Das potenzielle Aufkommen an Lehm, Schluff und Ton aus sekundären Quellen dürfte die Rohstoffnachfrage der Ziegelindustrie dann deutlich übersteigen, wenn der sich abzeichnende Trend der Nutzung von Bodenaushubmassen als Rohstoffquelle in der Praxis entsprechend größere Bedeutung erzielt hat. Dies sind grundsätzlich gute Rahmenbedingungen, den Rohstoffbezug zu überprüfen und die Möglichkeiten zur Steigerung der Ressourceneffizienz zu nutzen.

Nach dem letzten Rohstoffbericht⁴⁸ der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe lag im Jahre 2020 die Produktion von Kiesen und Sanden bei ca. 262 Mio. t, für gebrochenen Naturstein bei ca. 223 Mio. t. Bei deren Gewinnung fallen auch Feinanteile an, die von Lagerstätte zur Lagerstätte in unterschiedlichem Umfang in der Rohstoffaufbereitung

⁴⁸ (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2020)

entsorgt werden müssen. Rein rechnerisch übersteigen diese allein bei der Klassierung und Wäsche von Kiesen und Sanden anfallenden Feianteile die Nachfrage nach grobkeramischen Tonen. Setzt man beispielsweise nur einen Feianteil von 5 % an, läge das Aufkommen allein aus der Kiesgewinnung bereits bei etwa 13 Mio. t jährlich. Auch bei der Produktion von Splitten müssen Feianteile separiert werden. Zwar müsste die Eignung für die Ziegelindustrie jeweils standortabhängig geprüft werden, die Größenordnungen des Aufkommens zeigen jedoch ein enormes Rohstoffpotential. In Deutschland wurden im Jahre 2020 etwa 11,5 Mio. t grobkeramische Tone gewonnen.

Schon heute werden diese Feianteile teilweise als Rohstoff an die Ziegelindustrie vermarktet, nicht als Schlämme, sondern entwässert über eine Kammerfilterpresse, d.h. als Filterkuchen. Aufgrund der höheren Investitionen und der Betriebskosten von Kammerfilterpressen verbleiben Schlämme jedoch häufig vor Ort in den Abbaustätten und werden über Sedimentationsteiche oder über Rückspülungen entsorgt. Die Kosten für die Aufbereitung der Schlämme in Verbindung mit den Transportkosten zur Belieferung der Ziegeleien machen ihre Verwendung im Moment noch nicht immer wirtschaftlich. Ihr Nutzungspotenzial ist jedoch grundsätzlich groß. Die Schlämme fallen über große Zeiträume an einzelnen Standorten in größeren Mengen und in tendenziell gleichbleibenden Eigenschaften und Qualitäten zur Entsorgung an. Grundsätzlich gute Rahmenbedingungen, um Rezepturen auf diese Rohstoffe hin ausrichten zu können. Die Aufbereitung der Schlämme und die Vermarktung der Filterkuchen erfolgen jedoch bislang tendenziell nur aus der Not heraus und dann, wenn für ihren Verbleib die genehmigungstechnischen Voraussetzungen fehlen oder nicht ausreichend Platz zur Verfügung steht.

Perspektivisch dürfte sich der Druck auf die Natursteinindustrie erhöhen auch weniger geeignete, d.h. Schichten mit höheren Feianteilen, abzubauen, da Abbaugenehmigungen schwer zu erweitern oder neu zu beantragen sind. Das Aufkommen an Filterkuchen wird sich damit tendenziell erhöhen. Diese Filterkuchen gehören zum Produktportfolio der Gewinnungsstätten und unterliegen nicht dem Abfallrecht, was ihren Einsatz als Rohstoff deutlich erleichtert.

Nutzung von Bodenaushubmassen

Die Nutzung von Bodenaushubmassen als Rohstoffquelle hat seit kurzem deutlich an Bedeutung gewonnen. Für die Bodenaushubmassen, die jährlich in der Größenordnung von 120 Mio. t zur Entsorgung anfallen⁴⁹ und knapp 60% des Aufkommens an mineralischen Bauabfällen ausmachen, stellt sich die Entsorgungssituation zunehmend problematisch dar. Die klassischen Entsorgungswege über Verfüllmaßnahmen oder Ablagerung auf Deponien zeigen zunehmend knapper werdende Kapazitäten, was zusammen mit den steigenden Transportkosten zu wachsenden Entsorgungskosten führt. Dies eröffnet Spielräume für alternative Verwertungswege vor allem hin zur Nutzung als Rohstoffquelle, da die notwendigen Annahmeerlöse einen wichtigen Kostendeckungsbeitrag bspw. für deren Aufbereitung und Qualitätskontrolle darstellen können. Diese Nutzungsoption wird auch von der Nachfrageseite her befeuert. Ausgehend bspw. von den Zielen des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms⁵⁰ hat die Steigerung der Ressourcenproduktivität und hier auch die Nutzung von sekundären Rohstoffquellen eine größere Bedeutung erhalten und dies auch seitens der Bauherren und Planer. Die Frage der Rohstoffe und ihrer Bezugsquellen erhält auch in der Nachhaltigkeitszertifizierung von Gebäuden zunehmend Bedeutung.

⁴⁹ <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/Download/Bericht-11.pdf>

⁵⁰ <https://www.bmuv.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/ressourceneffizienz/deutsches-ressourceneffizienzprogramm>

Zum dritten entspricht der Rückgriff auf sekundäre Rohstoffquellen zunehmend auch dem Eigeninteresse der Rohstoffindustrie. Abbauflächen sind nur begrenzt verfügbar. Genehmigungsverfahren zu deren Erweiterung oder gar die Neuerschließung von Abbaustätten sind langwierig und teuer und nicht immer erfolgsträchtig. Werden Fremdmassen als Rohstoffquelle genutzt, werden die vorhandenen Produktionskapazitäten genutzt und zugleich an den Standorten die primären Rohstoffvorkommen geschont.

Bodenmassen lassen sich dann gut aufbereiten und klassieren, wenn es sich um skelettreiche Böden mit höherem Körnungsanteil handelt, so dass sie sich technisch gut und auch wirtschaftlich aufbereiten und zu Kies / Gesteinskörnung sowie Sand klassieren lassen, die klassischen Rohstoffe der Baustoffindustrie und hier insbesondere der Betonproduktion. Der maximal tolerierte Feinkornanteil in den Böden liegt bei 30 %, es gibt jedoch bereits Anlagenplanungen, die zur Aufbereitung von Bodenaushubmassen mit einem Feinkornanteil von maximal 50 % dienen sollen. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass bis zu 30 % (oder gar 50 %) der Bodenmassen im Input als Lehm, Schluff oder Ton entsorgt werden müssen. Auch wenn in Zukunft zur Aufbereitung der Bodenmassen nicht immer gesonderte Anlagen errichtet und betrieben werden, werden auch Anlagen der Natursteinindustrie wohl von der bisherigen Praxis der Rückführung der Wässer bzw. Schlämme bei einer Mitbehandlung von Fremdböden Abstand nehmen müssen. Immissionsschutzrechtliche bzw. wasserrechtliche Genehmigungen werden diese Rückführung wohl nicht ermöglichen. Entsprechend ist die Nutzung von Fremdböden als Rohstoffquelle zwangsläufig mit Abwasserbehandlungskapazitäten bzw. der Errichtung und dem Betrieb von Kammerfilterpressen verbunden. Die Entsorgung dieser Filterkuchen bestimmt deutlich die Wirtschaftlichkeit dieser Bodenverwertung. Entsprechend werden für diese Massen vor allem Wege außerhalb der klassischen Abfallwirtschaft gesucht, was sich auch auf die Preisgestaltung niederschlagen müsste.

Je nach Größe und Durchsatzleistung der Standorte bzw. deren Charakteristik sind diese Filterkuchen in ihrer Zusammensetzung und ihren Rohstoffeigenschaften weniger gut beschreibbar. Dies gilt eher nicht für technische Parameter wie Kornabstufung, sondern eher für Fragen der Mineralogie, die unter anderem über die Tonarten auch die Produktoptik bestimmen. Bei kleinen Anlagen und hier auch Anlagen der Natursteinindustrie wie insbesondere Kieswerke kann davon ausgegangen werden, dass Fremdböden mehr oder minder aus dem direkten Standortumfeld bezogen werden und damit in den Eigenschaften des Feinkorns nicht weit von den eigenen Rohstoffvorkommen abweichen. Werden zentrale Standorte als Anlagen der Kreislaufwirtschaft betrieben, haben diese einen weiteren Einzugsbereich. Bodenmassen können damit unterschiedlichen geologischen und mineralogischen Verhältnissen entstammen. Schon heute gibt es Anlagen zur Kiesgewinnung, die Fremdböden aus der Region zur Nutzung annehmen und ihre Filterkuchen an die Ziegelindustrie vermarkten.

In Kooperation mit den zahlreichen weiteren Akteursgruppen wäre auch aus Sicht des Ziegelbaustoffproduzenten eine allgemeine Regelung zum Abfallende wichtig. Dies ist nicht unbedingt mit Sachverhalten wie Schadstofffreiheit (Einstufung als Boden der Klasse BM0) verbunden, sondern sollte sich vor allem an den technischen Spezifikationen der Baustoffindustrie ausrichten. Ziegelrohstoffe entsprechen häufig nicht den Anforderungen BM0, die Regelungen zur Nutzung von Bodenaushubmassen sollten sich daran orientieren.

Bodenmassen aus Infrastrukturprojekten

Gerade bei größeren Baumaßnahmen vor allem im Schienenverkehrsnetz aber potenziell auch im Straßenbau fallen in großem Umfang Bodenmassen an, für die Entsorgungsmöglichkeiten gefunden werden müssen. Im Fokus stehen hier zunächst die Möglichkeiten auf

den Baustellen selbst, d.h. die Errichtung von Dämmen, Wällen und anderen Erdbaumaßnahmen. Trotzdem müssen gerade bei den Projekten von DB Netz, die für den Hochgeschwindigkeits- aber auch den schweren Güterverkehr ausgelegt werden, große Überschussmassen außerhalb der Baustellen entsorgt werden. Auf Geländeprofile kann im Zweifel nur wenig Rücksicht genommen werden. In vielen Fällen müssen Tunnel errichtet werden. Zudem erfordert nicht zuletzt der Lärmschutz mittlerweile auch bei einfachen Geländeprofilen tiefe Geländeeinschnitte, indem die Verkehrsstrassen in Trogbauweise unterhalb des Geländeniveaus ausgelegt werden.

Wie eine Recherche bei DB Netz zeigt, sind eine Reihe von Großprojekten in der Planungsphase oder aber bereits kurz vor der Umsetzung, die mit größeren Erdbewegungen verbunden sein werden. Dies sind bspw. der Ausbau der Strecke Karlsruhe – Basel in den Teilabschnitten, die nicht bereits realisiert wurden. In einem Abschnitt erfolgte bspw. der Bau des Tunnels Rastatt, dessen Aushubmassen zu großen Anteilen in einem benachbarten Kieswerk aufbereitet wurden, verbunden mit einer Vermarktung der Filterkuchen an ein Ziegelwerk aus der gleichen Region. Bereits im Jahre 2026 soll der Baubeginn des Tunnels Offenburg aber auch des Teilabschnittes Kenzingen – Müllheim entlang der A5 folgen, ebenfalls mit Tunnelbauwerken und in Tieflage. Ebenfalls recht konkret und in den nächsten Jahren angegangen wird der Tunnel für den Güterverkehr zwischen Fürth und Nürnberg oder auch der Cornberger Tunnel an der Strecke Bebra – Sontra.

Auf dem Markt tätig sind Unternehmen, die sich im Stoffstrommanagement mineralischer Massen engagieren. Im Vorfeld der Planfeststellungsverfahren werden die potenziellen Aushubmassen auf ihre Eignung als Rohstoffquelle für die Baustoffindustrie prüft und entsprechende Untersuchungen veranlasst. Diese Bodenmassen werden charakterisiert und über Online-Börsen der Baustoffindustrie angeboten. Im engen Austausch mit den Genehmigungsbehörden ist es immer das Ziel, die Verwertung außerhalb des Abfallregimes zu ermöglichen. Nach Auskunft eines Unternehmens sollten entsprechende Baumaßnahmen mit einem Bodenaufkommen von mindestens 70.000 Tonnen verbunden sein. Im Rahmen der DB-Baumaßnahme Stuttgart 21 und hier vor allem im Zuge der Schnellbahntrasse Stuttgart – Ulm sind derartige Massen bereits in der Vergangenheit an mehrere Ziegelwerke vermarktet worden.

Wie die Praxis zeigt, greifen einige im Bereich Hintermauerziegel tätige Unternehmen bereits heute auf Bodenaushubmassen als Rohstoff zurück, die im ähnlichen geologischen Umfeld in Nachbarschaft zu den Ziegeleien als Massen zur Entsorgung anfallen. Nicht selten erfolgt dies auf direktem Wege zwischen Erdbauunternehmen und Ziegelei, verbunden mit Inaugenscheinnahme des Materials bereits auf den Baustellen. Bei derartigem Agieren ist ein enger Austausch zwischen den Akteuren wichtig, nicht zuletzt, um sicherzustellen, dass beim Ausschachten selektiv vorgegangen wird und nur die Massen in Richtung Ziegeleien verladen werden, die auch deren Spezifikationen entsprechen.

Eine breitere Praxis wird derartiges Agieren dann gewinnen können, wenn diese Bodenaushubmassen nicht dem Abfallrecht unterliegen. Wichtig sind hierfür grundsätzliche allgemeine Regelungen, weg von Einzelfallentscheidungen der zuständigen Genehmigungsbehörden. Dies müssen keine Regelungen über Gesetze und Verordnungen sein, wie die Praxis in Bayern⁵¹ zeigt. Es müssen aber Regelungen zu den Qualitäten und Eigenschaften der Bodenmassen in Verbindung mit einem entsprechenden Erkundungsprogramm möglichst noch in situ sowie daraus abgeleitet einem Konzept der Ausschachtung und Gewinnung der

⁵¹ https://www.lfu.bayern.de/abfall/mineralische_abfaelle/faq_bodenaushub/index.htm

geeigneten Bodenmassen gefunden werden. Danach wäre dann die Gewinnung von Rohstoffen Nebenzweck der Baumaßnahme.

Maßnahmen zur Steigerung des Einsatzes von Sekundärrohstoffen sind:

- **Aufbau einer unternehmensinternen Infrastruktur zur Begutachtung und Eignungsprüfung**

Bislang wird Bodenaushub häufig nur von einer fachkundigen Person als Einzelfallentscheidung begutachtet. Wenn alle relevanten Abteilungen standardmäßig in den Prozess einbezogen werden, werden Abläufe vereinfacht und das Know-how und das Bewusstsein wachsen im gesamten Unternehmen.
- **Aufbau von Geschäftsbeziehungen zu regionalen Erdbauunternehmen**

Die Erhebung des Status Quo des Ressourceneinsatzes zeigt, dass Bodenaushub dann als Sekundärrohstoff eingesetzt wird, wenn Absprachen und Informationsaustausch mit den ansässigen Erbbau- und Bauunternehmen erfolgen. Diese können mit entsprechendem Know-how schon vor Beginn der Baumaßnahme abschätzen, ob das Aufkommen für die Ziegelindustrie geeignet sein kann. Da der Faktor Zeit auf Baustellen immer ein relevantes Hemmnis ist, ist die Planung im Vorfeld besonders wichtig.
- **Aufbau von Geschäftsbeziehungen zu Rohstoffmaklern**

Ziel ist es, den Unternehmen, die Entsorgungslösungen für potentielle geeignete Rohstoffe für die Ziegelindustrie suchen, möglichst detaillierte Eigenschaften zu benennen, um spezifisch zugeschnittene Rohstoffangebote an die Ziegelproduzenten zu ermöglichen.
- **Umstellung der Farbgebung auf Digitaldruck bei Dach- und Vormauerziegel**

Wird die Farbgebung nicht über den Brennprozess eingestellt, ist der Einsatz einer Grundmasse möglich, die geringere Anforderungen an die Qualität der Rohstoffe zulässt. Gleichzeitig wird Energie eingespart durch die Reduzierung der Brenntemperatur.
- **Bereitstellung von Lagerflächen**

Baustellen verfügen nur selten über die Möglichkeit, Bodenmassen zwischenlagern zu können. Da der Anfall der Bodenaushubmassen aus den Notwendigkeiten der Baustelle und deren Zeitplan bestimmt ist, sind möglicherweise Zwischenlagerungen notwendig. Dies sollten möglichst in den Ziegeleien und hier bspw. auf den eigenen Rohstoffgewinnungsflächen erfolgen, um die Logistik zu vereinfachen und vor allem auch kostengünstig ausgestalten zu können.
- **Entwicklung von Marketingstrategien**

Bewerbung des ökologischen Vorteils zusammen mit dem Nutzen des Einsatzes von Recyclingmaterial bei allen Akteursgruppen. Bei den so gewonnenen Massen handelt es sich zwar um primäre Rohstoffe, die aber einer sekundären Rohstoffquelle entstammen. Dies muss in Ergänzung zum eigentlichen Materialrecycling – circular economy – als weitere Nachhaltigkeitsstrategie kommuniziert werden.

5.3 Ressourceneinsparung

Neben der Substitution von Rohstoffen trägt auch die Frage der Ressourceneinsparung zur Ressourceneffizienz bei. Durch Gewichtsreduzierungen und Optimierungen an der Geometrie der Ziegelprodukte lassen sich Rohstoffe einsparen. Das Einsparpotenzial wird in der Roadmap für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie für die unterschiedlichen Produktgruppen aufgegriffen und benannt, da das Einsparen von Rohstoffen automatisch zu einer Reduktion der CO₂-Rohstoffemissionen und der Einsparung von Energie führt. Durch eine Anpassung der Lochanteile und Reduktion der Wandstärken bei den Hintermauerziegeln sowie der Ausweitung der abgedeckten Dachfläche bei gleichbleibendem Ressourceneinsatz pro Dachziegel können die in Tabelle 5-1 aufgezeigten Ressourcen- und Energieanteile im Produktionsprozess eingespart werden. Insbesondere durch die Umstellung auf Bauweisen, die Riemchen anstatt Vormauerziegel einsetzen, lassen sich erhebliche Einsparungen erzielen.

Tabelle 5-1: Ressourcen- und Energieeinsparpotenziale laut der „Roadmap für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie in Deutschland“⁵²

Maßnahme	Einsparung Masse	Einsparung Rohstoffemissionen	Einsparung Erdgas	Einsparung Strom
Gewichtsreduktion HMZ	7 %	7 %	5 %	3 %
Gewichtsreduktion VMZ	13 %	13 %	9 %	6 %
Gewichtsreduktion VMZ durch Umstellung auf Riemchen	31 %	31 %	22 %	13 %
optimierte Geometrie DZ	7 %	7 %	4 %	2 %

Änderungen am Produktdesign sind jedoch mit einem erheblichen Genehmigungsaufwand verbunden. Der Technische Arbeitskreis des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie e.V. forscht u.a. an der Ausweitung des Lochanteils im Hintermauerziegel. Die Europäische Norm lässt den erhöhten Lochanteil grundsätzlich zu. So werden Mauerziegel, die für den tschechischen Markt in Deutschland produziert werden, bereits heute mit höheren Lochanteilen gefertigt. Trotzdem ist die Zulassung von Produktneuerungen langwierig und schwierig, wenn eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung durch das Deutsche Institut für Bautechnik erforderlich wird. Zwar soll dieses Zulassungsverfahren mehr Flexibilität für Innovationen ermöglichen, die Praxis sieht jedoch anders aus. Größtes Hemmnis sind die nicht transparent kommunizierten Anforderungen und Nachweise, die für eine Zulassung erforderlich sind. Stattdessen werden wiederholt Nachforderungen gestellt, die zu enormen Verzögerungen und finanziellem Mehraufwand führen.

Diese Hemmnisse werden von der Ziegelindustrie als entscheidende Bremse für Produktneuerungen und Designoptimierungen genannt. Dringend erforderlich sind ein Abbau dieser Hemmnisse und die Vorgabe von klaren Anforderungen, die für die Zulassung eines Baustoffes erforderlich sind. Gleichzeitig müssen durch Anpassungen von Regulatorien die bereits

⁵² (Geres et al. 2021, S. 62)

heute zur Verfügung stehenden ressourcenoptimierten Ziegel mit höherem Lochanteil in eine breitere Anwendung gebracht werden.

6 Ökologische Bewertung

6.1 Ökologische Bewertung der Produktionsprozesse

Die Ergebnisse werden als sektorale Balkendiagramme dargestellt. Dabei wird unterschieden zwischen Produktionsprozess und Entsorgung. Für den Prozess lassen sich daraus die mit dem Einsatz der jeweiligen Sekundärmaterialien verbundenen Lasten und die damit eingesparten Lasten der substituierten Primärmaterialien (s. Auflistung in Kapitel 2) als Gutschriften ablesen. Für die Entsorgung lassen sich die Lasten (Bauschuttrecycling, Deponierung, Aufmahlen Zementindustrie) und die mit den verschiedenen Entsorgungswegen verbundenen Entlastungen durch die Substitution der jeweiligen Primärmaterialien (s. Auflistung in Kapitel 2) entnehmen (Gutschrift Vegetationssubstrat, Gutschrift Gesteinskörnung (GK) Straßen- und Wegebau, Gutschrift Gesteinskörnung (GK) R-Beton, Gutschrift Mauerwerksbrechsand Zement). Lasten sind positiv nach oben, Entlastungen negativ nach unten abgetragen.

In Abbildung 6-1 sind die Ergebnisse für den Treibhauseffekt für den Produktionsprozess dargestellt. Bei Dachziegeln und Vormauerziegeln ist der Einsatz von Recyclingmaterial und Sekundärrohstoffen begrenzt. Durch die Ausdehnung der Bruchrückführung werden bei Dachziegeln netto im Treibhauseffekt keine Entlastungen erreicht, weil das Mahlen des Bruches bei dem angesetzten hohen spezifischen Strombedarf von 0,032 kWh/kg und dem derzeitigen Strommix mehr Lasten als die dadurch substituierten Produkte erzeugt. Bei den Vormauerziegeln wird im Szenario Ressourceneffizienz dann zu größeren Teilen Ton als Sand substituiert, so dass die Entlastungen auch durch die eingesparten Ton-Rohstoffemissionen (durchschnittlicher Kohlenstoffgehalt im Ton für Dach- und Vormauerziegel) steigen, so dass netto dann kleine Entlastungen zu verzeichnen sind. Bruch ist schon gebrannt und führt im Gegensatz zu Ton zu keinen CO₂-Rohstoffemissionen aus Kohlenstoff im Brennprozess. Hinzu kommt noch eine kleine Netto-Einsparung durch den Einsatz von Filterkuchen aus Steinbrüchen/Kiesgruben, der zwar mit kleinen Lasten aus der Bodenaufbereitung, aber größeren Entlastungen durch Tonsubstitution auch ohne Einsparung von Rohstoffemissionen verbunden ist (der eingesetzte Filterkuchen ist nach dem in dieser Studie gewählten Ansatz genauso kohlenstoffreich wie der substituierte durchschnittliche Ton von Dach- und Vormauerziegeln, so dass dadurch keine Rohstoffemissionen eingespart werden).

Bei den Hintermauerziegeln (HMZ) werden durch die Bruchrückführung neben Sand in den Szenarien Technik und Ressourceneffizienz zu größeren Teilen kohlenstoffreicherer Ton und die damit im Brennprozess freigesetzten CO₂-Rohstoffemissionen substituiert, so dass die Entlastungen weiter steigen und deutlich im Sektor „Gutschrift Recyclingmaterial Bruchrückführung“ hervortreten. Hinzu kommen Einsparungen durch Filterkuchen und Bodenaushub, deren Einsatz gegenüber den Entlastungen durch substituierten Ton nur mit geringen Lasten und dies auch nur im Falle Filterkuchen aufgrund der Bodenaufbereitung verbunden ist. Es wird davon ausgegangen, dass Filterkuchen und Bodenaushub nicht kohlenstoffreicher als der bei Dach- und Vormauerziegeln durchschnittlich eingesetzte Ton sind, aber den durchschnittlich kohlenstoffreicheren Ton der Hintermauerziegel substituiert. Dadurch werden CO₂-Rohstoffemissionen eingespart, die den Großteil des relativ großen Beitrags der

Sektoren „Gutschrift Recyclingmaterial Filterkuchen/Bodenaushub“ bei den Hintermauerziegeln bedingen.

Die größte Entlastung bei den Hintermauerziegeln im Treibhauseffekt stellt die Umstellung der Porosierungsmittel auf biogene Porosierungsmittel dar, so dass die bislang damit verbundenen Rohstoffemissionen mit dem Szenario Technik und Ressourceneffizienz um 80 bzw. 100 % sinken, was sich als Einsparung im Sektor „Gutschrift bisheriges Porosierungsmittel“ zeigt. Die bislang hauptsächlich eingesetzten Porosierungsmittel Papierschlämme sind zwar Abfallstoffe, bestehen aber auch aus fossilem und anorganischem Kohlenstoff, so dass im Brennprozess CO₂-Rohstoffemissionen entstehen, die mit rein biogenen Porosierungsmitteln eingespart werden. Die Bereitstellung von biogenen Porosierungsmitteln kann aber auch mit Lasten verbunden sein. Diese sind hier über Sägemehl abgebildet, das ein Sekundärprodukt aus der primären Holzverarbeitung darstellt und im Treibhauseffekt daher aber nur mit geringen Bereitstellungslasten verbunden ist.

Durch die Erhöhung der Mengenanteile der mineralischen Sekundärrohstoffe Bruch, Filterkuchen, Bodenaushub und der Umstellung auf biogene Porosierungsmittel können die Entlastungen bei Hintermauerziegeln in den Szenarien Technik und Ressourceneffizienz deutlich gesteigert werden. Sie betragen dann bis zu 350.000 t CO₂-Äq. pro Jahr mit Bezug auf die jährlich produzierte Menge Hintermauerziegel und sind damit um mehr als 330.000 t CO₂-Äq. größer als im Status-Quo. Davon sind knapp 30 % auf die Erhöhung der Mengen der mineralischen Sekundärrohstoffe und gut 70 % auf die Umstellung auf biogene Porosierungsmittel zurückzuführen.

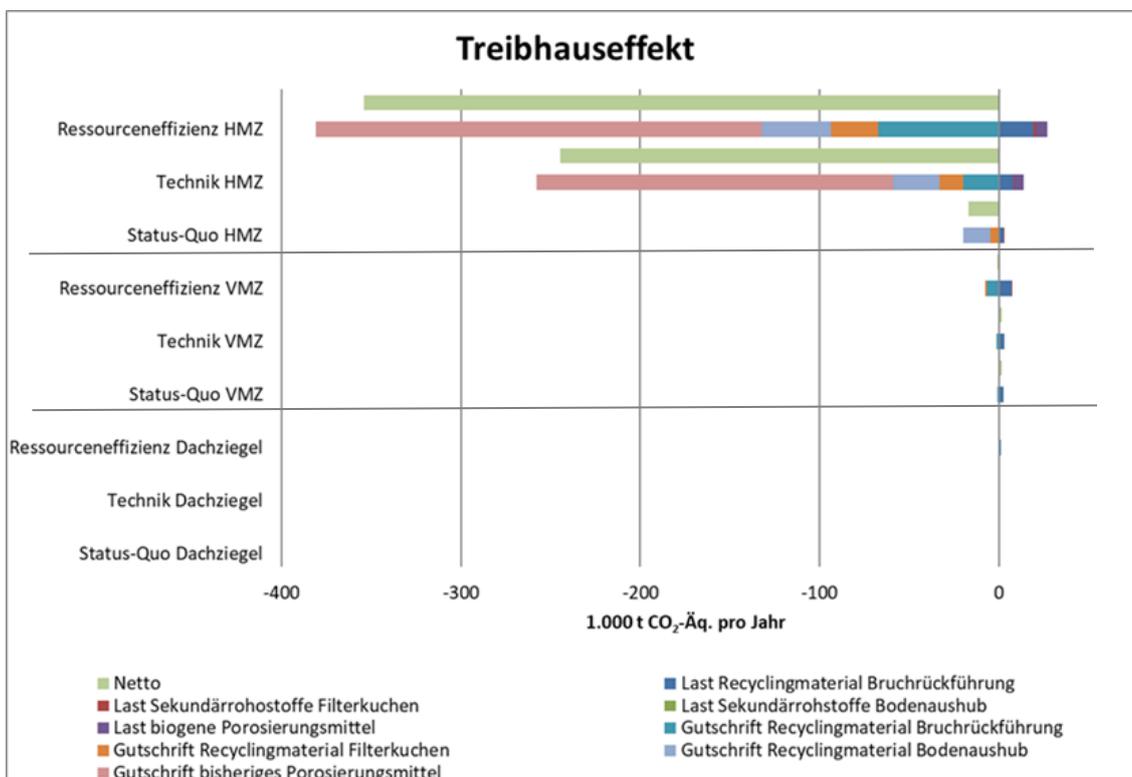


Abbildung 6-1: Treibhauseffekt bei Einsatz von Recyclingmaterial und Sekundärrohstoffen im Ziegelproduktionsprozess

Im kumulierten Energieaufwand zeigt sich nur teilweise ein ähnliches Bild (Abbildung 6-2). Die eingesparten CO₂-Rohstoffemissionen spielen hierin keine Rolle. Die Substitution von

kohlenstoffreicheren Tonen durch die Bruchrückführung bei Hintermauerziegeln bedingt dementsprechend keinen Vorteil gegenüber der Substitution von durchschnittlichen Tonen, wie sie in Dach- und Vormauerziegeln eingesetzt werden. Die Bruchrückführung ist daher netto auch bei Hintermauerziegeln im Szenario Technik und Ressourceneffizienz mit keiner Entlastung verbunden. Durch den Einsatz von Bodenaushub und Filterkuchen als Tonsubstitut werden wie im Treibhauseffekt stets kleine Entlastungen erzielt.

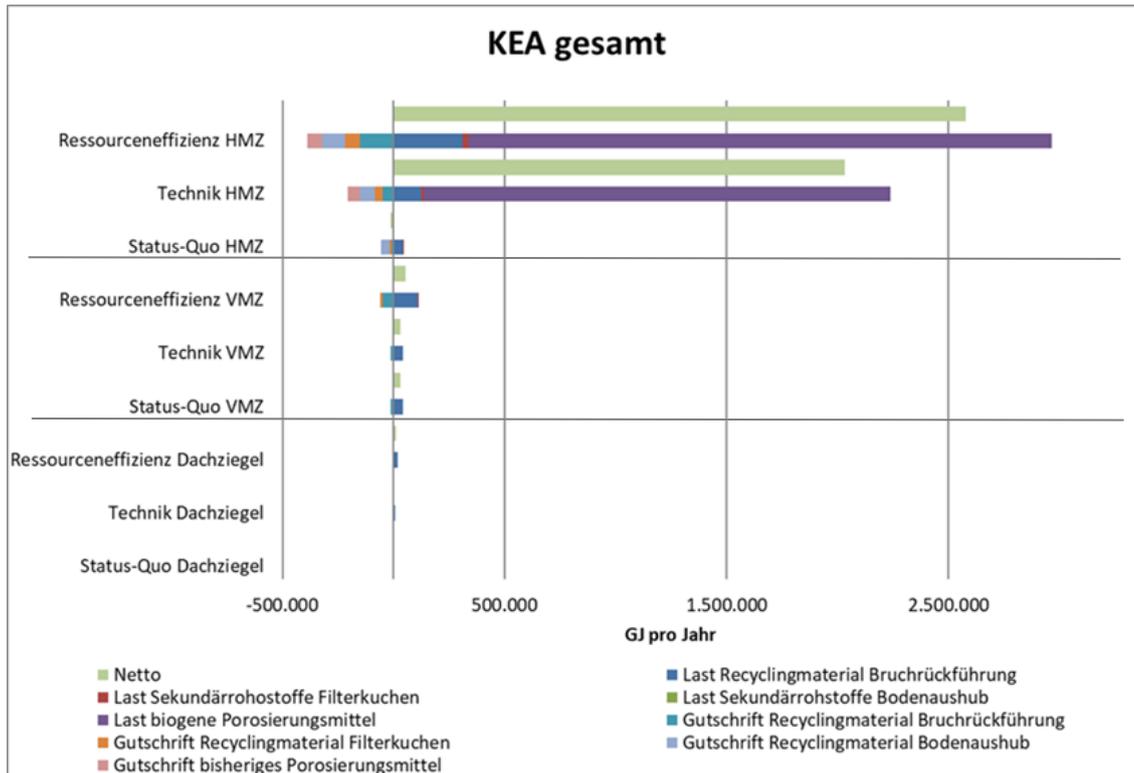


Abbildung 6-2: Gesamter kumulierter Energieaufwand für den Einsatz von Recyclingmaterial und Sekundärrohstoffen im Ziegelproduktionsprozess

Besonders auffällig ist die Belastung durch die Nutzung biogener Porosierungsmittel, die hier über Sägespäne approximiert werden. Diese Sägespäne besitzen einen Heizwert, der im kumulierten Energieaufwand angelastet wird, weil Sägespäne als Sekundärprodukt bei der Holzverarbeitung primären Holzes anfallen. Die substituierten Papierschlämme haben zwar auch einen entsprechenden Heizwert, stellen aber einen Abfall ohne Materiallasten dar. Der Heizwert wird nicht angerechnet, weil sie hauptsächlich aus Altpapier anfallen. Das ebenso substituierte EPS stellt häufig Primärmaterial dar⁵³, dessen substituiertes Heizwert entsprechend im Sektor „Gutschrift bisheriges Porosierungsmittel“ eingeht. Die substituierte Menge EPS ist aber klein. Der Vorteil biogener Porosierungsmittel im Treibhauseffekt wird folglich mit Nachteilen im kumulierten Energieaufwand erkaufte, solange diese aus der Verarbeitung primärer biogener Materialien kommen. Wenn stattdessen biogene post-consumer Abfälle eingesetzt werden, entfällt der Nachteil im kumulierten Energieaufwand, aber diese sind ggf. mit Klebern etc. verunreinigt, so dass dann die Vorteile im Treibhauseffekt wiederum geringer ausfallen könnten. Solange durch die Porosierungsmittel deutliche Lasten im kumulierten Energieaufwand entstehen, passen sie nur bedingt zu einem Szenario, das möglichst wenig Ressourcen verbrauchen soll.

⁵³ nach Aussage des Verbandes der Deutschen Ziegelindustrie e.V.

Sehr anders stellt sich der mineralische kumulierte Rohstoffaufwand (KRA) dar (Abbildung 6-3). Auch die Bruchrückführung ist hier entsprechend der ersetzten Sand- und Tonmasse mit Entlastungen verbunden, wohingegen keine dem entgegenstehenden Lasten zu verzeichnen sind. Dasselbe gilt für den Einsatz der Sekundärrohstoffe Bodenaushub und Filterkuchen, weil diese sonst nutzlos entsorgt würden. Der Einsatz von Papierschlämmen als Porosierungsmittel ist im mineralischen KRA mit keinen Vorteilen verbunden. Durch das Umsetzen des Szenarios Ressourceneffizienz lassen sich in der Produktion von Vormauerziegeln entsprechend gut 500.000 t/a und bei Hintermauerziegeln 2,5 Mio. t/a an mineralischen Rohstoffen einsparen. Dies ist bezogen auf eine Produktionsmasse von 2,8 Mio. t/a an Vormauer- bzw. 4,9 Mio. t/a an Hintermauerziegeln ein beachtlicher Anteil. Bei Hintermauerziegeln werden im Szenario Ressourceneffizienz die Hälfte der mineralischen Ressourcen durch Sekundärrohstoffe substituiert.

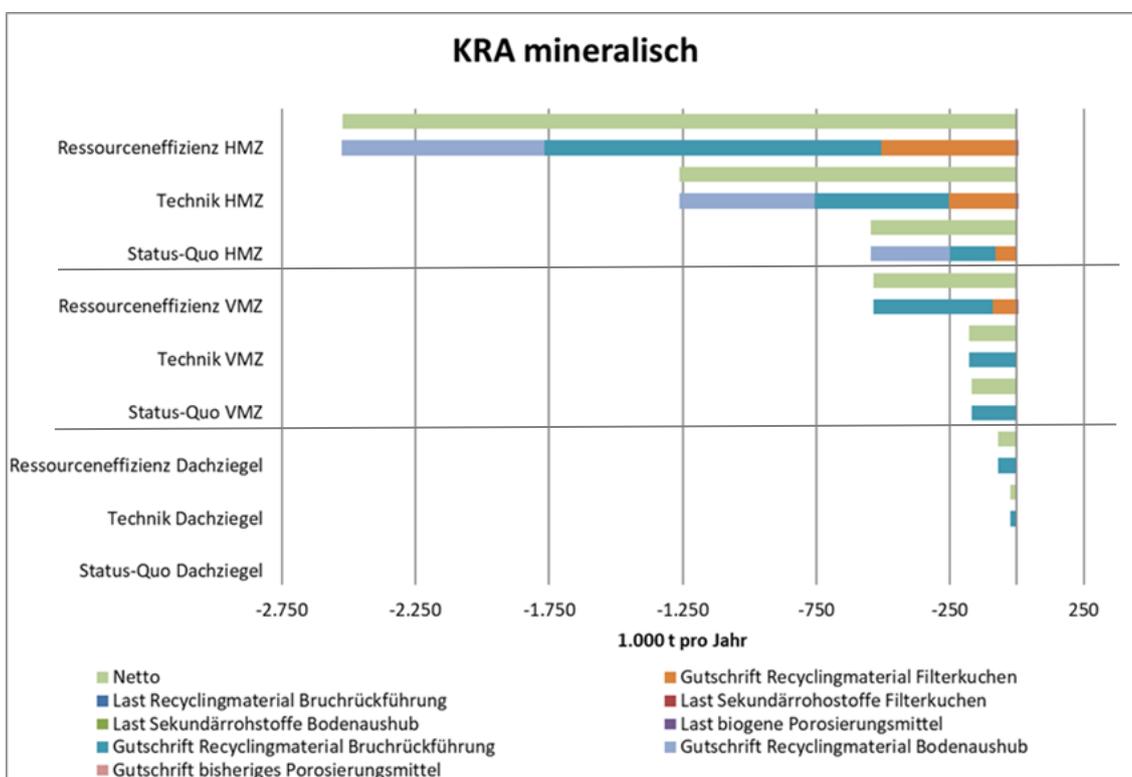


Abbildung 6-3: Mineralischer kumulierter Rohstoffaufwand für den Einsatz von Recyclingmaterial und Sekundärrohstoffen im Ziegelproduktionsprozess

6.2 Ökologische Bewertung der Entsorgungswege

Durch die Entsorgungswege lassen sich weitere Entlastungseffekte im Treibhauseffekt erzielen (siehe Abbildung 6-4). Bezug ist die derzeit jeweils jährlich entsorgte Menge an Dach- und Mauerziegeln. Bei den Dachziegeln ist der Status-Quo schon mit Entlastungen verbunden, aber durch eine weitere Erhöhung des verwerteten Anteils lassen sich diese noch etwas steigern. Bei den Mauerziegeln ist der Status-Quo aufgrund der nicht wertbringenden Nutzung mit Netto-Lasten verbunden, die aus den Lasten beim Bauschuttrecycling resultieren. Durch eine Nutzung insbesondere als Vegetationssubstrat wird im Szenario Technik eine Netto-Entlastung erzielt, welche im Szenario Ressourceneffizienz durch eine weitere

Verschiebung weg von wertlosen Verfüllungen und Deponierungen hin zur Nutzung als Vegetationssubstrat noch deutlich gesteigert werden.

Im Szenario Ressourceneffizienz wird darüber hinaus eine Nutzung des Mauerwerksbrechsandes, der nach Durchgang beim Bauschuttrecycler 12 % vom ursprünglichen Input beträgt, in der Zementindustrie unterstellt. Dadurch kann dort nach Forschungsergebnissen aus (Böing et al. 2022) Zementklinker substituiert werden. Zementklinker ist aufgrund der Kalzinierung und auch des Energieeinsatzes mit hohen Treibhausgaslasten verbunden, so dass eine entsprechend große Einsparung resultiert, die sich im Sektor „Gutschrift Mauerwerksbrechsand Zement“ zeigt. Die Einsparungen sind im Vergleich zu allen anderen Einsparungen so groß, dass die Sektoren abgeschnitten sind, damit die anderen Sektoren nicht im Rauschen verschwinden; die zugehörige Zahl ist aber im Sektor benannt. Gleichzeitig ist damit aber auch eine Last verbunden, weil der nicht substituierte verbleibende Zementklinkeranteil (90 zu 10 %) feiner aufgemahlen werden muss. Diese gegenüber den anderen Lasten vergleichsweise große Last zeigt sich im Sektor „Aufmahlen Zementindustrie“ und ist ebenso abgeschnitten. Im Vergleich zur Zementklinkereinsparung fällt diese Zusatzlast aber wiederum klein aus.

Ohne die Zementklinkereinsparung lassen sich im Zuge der Entsorgung von Mauerziegeln durch das Szenario Ressourceneffizienz gegenüber dem Status-Quo jährlich bis zu knapp 50.000 t CO₂-Äq. einsparen. Mit der Zementklinkereinsparung erhöht sich dies auf gut 800.000 t CO₂-Äq. und damit dann beträchtliche Mengen. Ob die Zementklinkersubstitution durch Mauerwerksbrechsand wirklich erreicht werden kann, ist noch Gegenstand der Forschung und damit aktuell noch unsicher⁵⁴.

Es stellt sich im Falle einer Bestätigung der ersten Forschungsergebnisse weiterhin die Frage, ob sich die Ziegel- oder die Zementindustrie diese Emissionseinsparungen anrechnet. Wenn sich diese beide anrechnen, kommt es zu einer Doppelzählung der potenziellen Einsparungen. Die Ziegelindustrie liefert das Material, die Zementindustrie setzt es ein und reduziert dadurch den Zementklinkeranteil in der Produktion. Nach dem Quellprinzip würden die dadurch verringerten Treibhausgasemissionen aber der Zementindustrie angerechnet werden, weil die Zementproduktion dann mit entsprechend weniger Treibhausgasemissionen verbunden wäre.

⁵⁴ (Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ) 2022, S. 25)

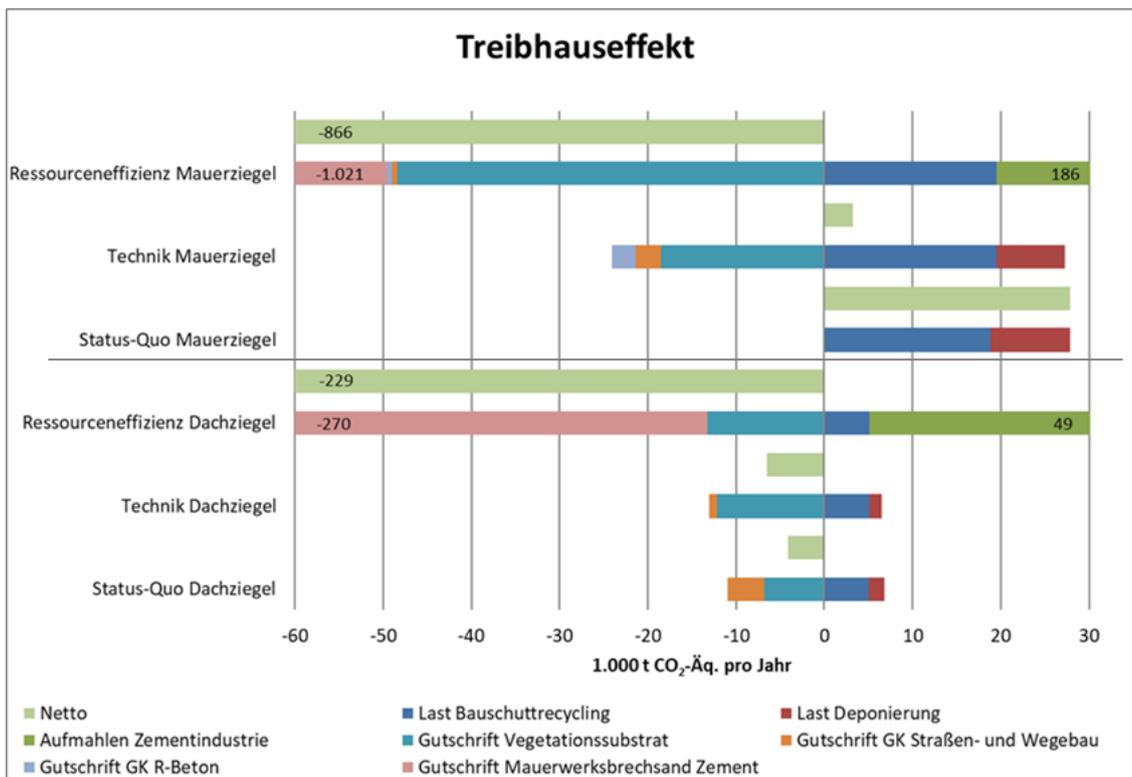


Abbildung 6-4: Treibhauseffekt für die Entsorgung des Ziegelabfalls

Im kumulierten Energieaufwand zeigt sich ein ähnliches Bild (Abbildung 6-5), wenngleich der Effekt durch die Zementklinkersubstitution etwas schwächer ausgeprägt ist, weil hier nur die in der Zementklinkerherstellung benötigte Energie und nicht die Rohstoffemissionen aus der Kalzinierung eine Rolle spielen.

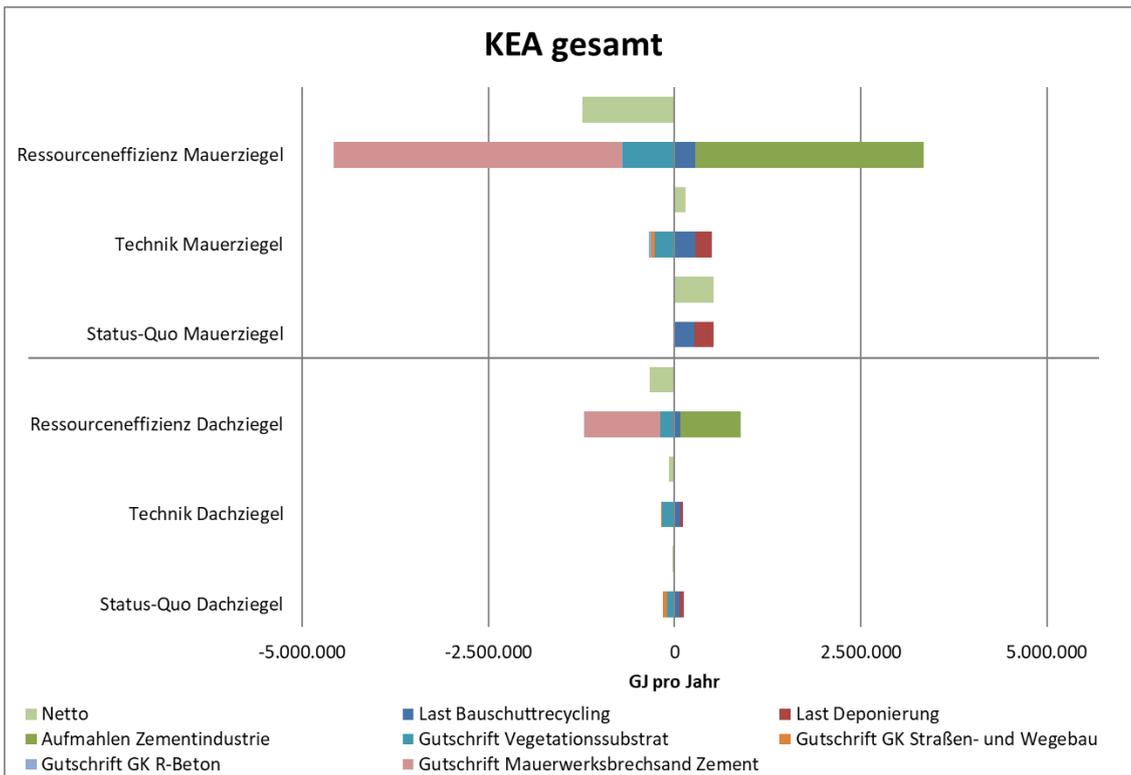


Abbildung 6-5: Gesamter kumulierter Energieaufwand (KEA) für die Entsorgung des Ziegelabfalls

Im mineralischen kumulierten Rohstoffaufwand wiederum zeigt sich unabhängig von der Zementklinkersubstitution, dass mit dem Szenario Technik und Ressourceneffizienz deutlich mehr Ressourcen eingespart werden können (Abbildung 6-6). Es sind bei Dachziegeln ca. 2 Mio. t/a und bei Mauerziegeln bis zu 10 Mio. t/a, was der Gesamtmenge der ziegelhaltigen Abfälle pro Jahr entspricht. Im Status-Quo wird durch die Entsorgung von Mauerziegeln gar kein Rohstoff eingespart.

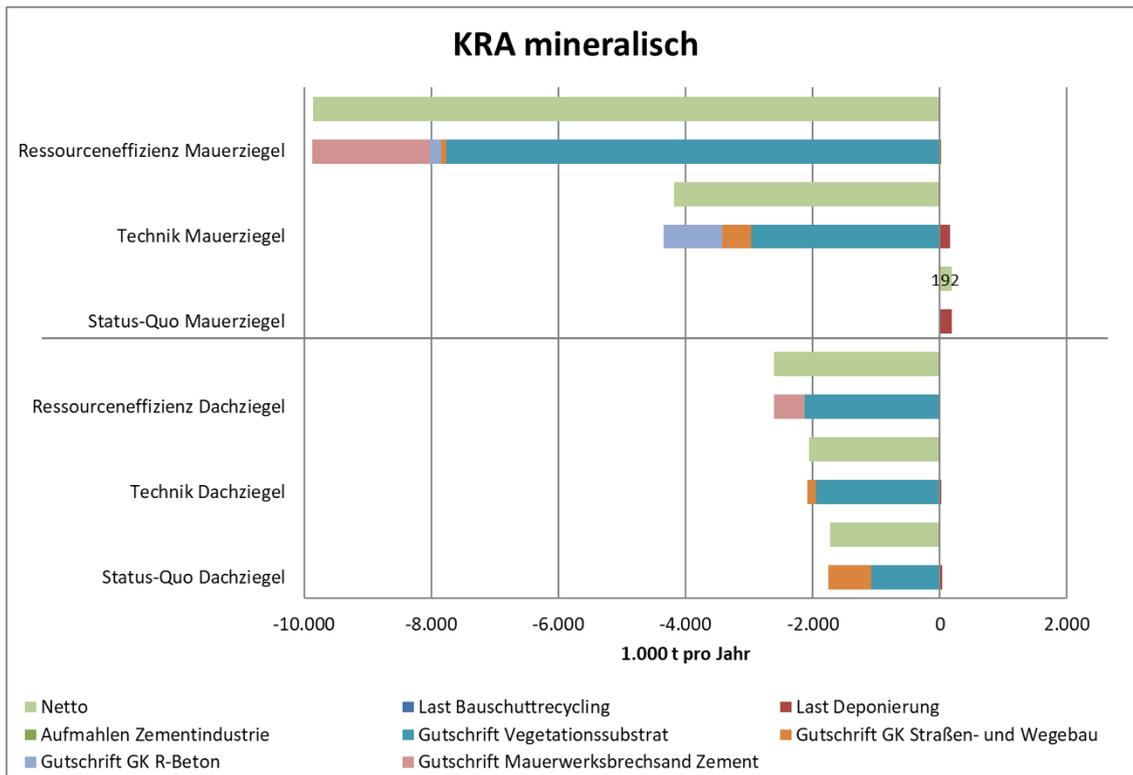
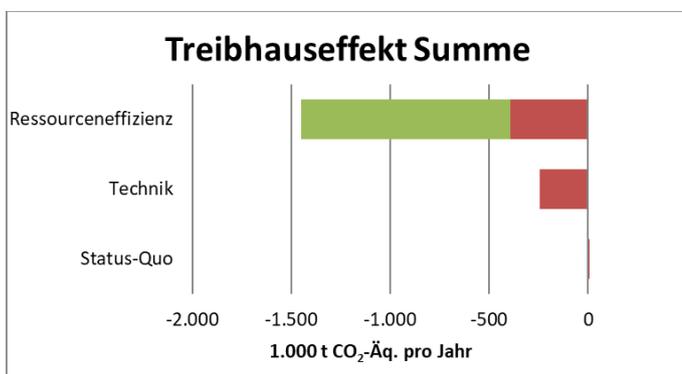


Abbildung 6-6: Mineralischer kumulierter Rohstoffaufwand (KRA) für die Entsorgung des Ziegelabfalls

6.3 Gesamtbetrachtung der Szenarien

Wenn die Nettoergebnisse für Produktionsprozesse und Entsorgung über alle Ziegelprodukte für jeweils jedes Szenario zusammenaddiert werden, ergeben sich die Gesamteinsparungen für die Ziegelindustrie, die mit den in diesen Szenarien beleuchteten Aspekten potenziell erreicht werden können (Abbildung 6-7).



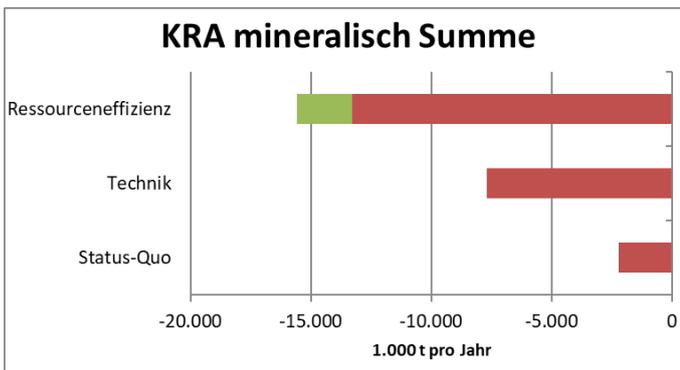
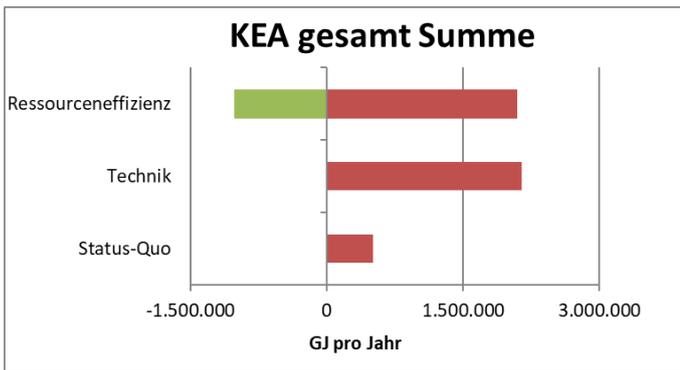


Abbildung 6-7: Summe der über die Szenarien Status-Quo, Technik und Ressourceneffizienz erzielten Einsparungen; rot: ohne Zementklinkereinsparung, grün: mit Zementklinkereinsparung

Ohne Zementklinkereinsparung (roter Sektor) werden jährlich mit dem Szenario Ressourceneffizienz gegenüber dem Status-Quo 400.000 t CO₂-Äq. eingespart, beim kumulierten Energieaufwand ergibt sich aufgrund der Porosierungsmittel eine zusätzliche Belastung von ca. 1,5 Mio. GJ und beim mineralischen kumulierten Rohstoffaufwand eine Einsparung von bis zu gut 11 Mio. t.

Werden die in Abbildung 6-7 dargestellten summierten Lasten/Entlastungen über die jeweiligen pro-Kopf-Lasten eines Einwohners in Deutschland normiert, lassen sich die Ergebnisse der verschiedenen Indikatoren nebeneinander als Einwohnerdurchschnittswerte (EDW) angeben und vergleichen. Einheit ist dann die Anzahl Menschen, die jeweils dieselben Umweltwirkungen über ein Jahr bewirken würden. Die Ergebnisse ohne Zementklinkerersatz finden sich in Tabelle 6-1 für die Indikatoren ohne Zementklinkerersatz und die mit Zementklinkerersatz in Tabelle 6-2. Unterschiede zeigen sich nur im Szenario Ressourceneffizienz.

Tabelle 6-1: Summe der über die Szenarien Status-Quo, Technik und Ressourceneffizienz erzielten Einsparungen, auf Einwohnerdurchschnittswerte (EDW) normiert*; ohne Zementklinkerersatz

Indikator/Szenario	Status-Quo	Technik	Ressourceneffizienz
Treibhauseffekt ohne Zementklinkerersatz (EDW)	678	-20.904	-33.355
KEA gesamt ohne Zementklinkerersatz (EDW)	3.047	12.872	12.557

KRA mineralisch ohne Zementklinkerersatz (EDW)	-300.193	-1.030.285	-1.778.518
--	----------	------------	------------

* Einheit = Einwohnerdurchschnittswerte, also die Anzahl an Menschen, die dieselbe Umweltwirkung über ein Jahr bewirken würden

Tabelle 6-2: Summe der über die Szenarien Status-Quo, Technik und Ressourceneffizienz erzielten Einsparungen, auf Einwohnerdurchschnittswerte (EDW) normiert; mit Zementklinkerersatz

Indikator/Szenario	Status-Quo	Technik	Ressourceneffizienz
Treibhauseffekt mit Zementklinkerersatz (EDW)	678	-20.904	-123.079
KEA gesamt mit Zementklinkerersatz (EDW)	3.047	12.872	6.435
KRA mineralisch mit Zementklinkerersatz (EDW)	-300.193	-1.030.285	-2.087.519

Je negativer der Wert ist, desto größer sind die Entlastungen. Es zeigt sich deutlich, dass mit Abstand die größten Entlastungen im mineralischen kumulierten Rohstoffaufwand (KRA mineralisch) erzielt werden können. Die Entlastungen liegen ohne die Betrachtung von Zementklinkereinsatz um fast zwei Größenordnungen über den Entlastungen im Treibhauseffekt bzw. um zwei Größenordnungen über den Belastungen im kumulierten Energieaufwand. Die Entlastungen im Treibhauseffekt sind wiederum um knapp Faktor 3 größer als die Belastungen im kumulierten Energieaufwand, so dass die positiven Effekte der Szenarien Technik und Ressourceneffizienz deutlich überwiegen. Quantitativ am bedeutendsten sind die positiven Beiträge zum Ressourcenschutz durch die Szenarien.

Bei Ausdifferenzierung der Nettoergebnisse der Szenarien nach Produktionsprozessen und Entsorgung sowie nach Dach- und Mauerziegeln zeigt sich, welche Einsparungen dadurch jeweils für welches Produkt möglich sind (Abbildung 6-8, in Ergänzung zu den Gesamtsummen in Abbildung 6-7).

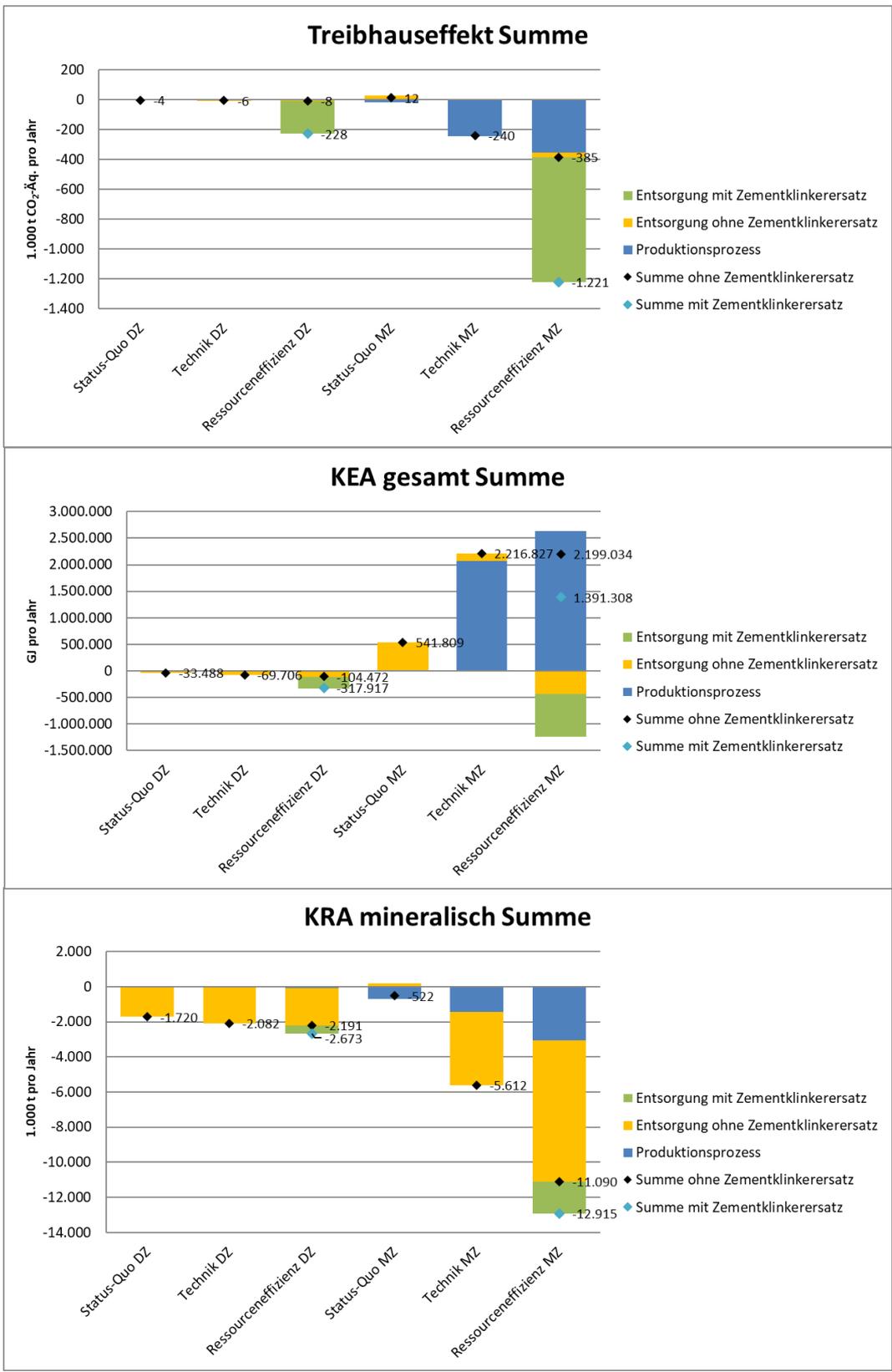


Abbildung 6-8: Ausdifferenzierung der über die Szenarien Status-Quo, Technik und Ressourceneffizienz erzielten Einsparungen nach Produktionsprozessen, Entsorgung und den Produkten Dach- und Mauerziegel

Es zeigt sich, dass bei Dachziegeln im Produktionsprozess kaum eingespart werden kann, aber über deren Entsorgung auch schon im Status-Quo Einsparungen erreicht werden. Bei Mauerziegeln lassen sich hingegen auch in der Produktion Einsparungen erzielen, indem dort auf Sekundärrohstoffe und Recyclingmaterial zurückgegriffen wird.

6.4 Ökologische Effekte durch Materialeinsparung

Ein weiterer Ansatzpunkt ist, die jährliche Einsatzmenge bei gleichbleibendem Volumen / Stückzahlen über die Optimierung der Produkte zu verringern. Wie sich diese Effekte im Vergleich zu den in den Szenarien untersuchten Aspekten verhalten, wird im Folgenden kurz beleuchtet. In Abbildung 6-9 sind die Produktionslasten jeweils bezüglich des Treibhauseffektes, gesamten kumulierten Energieaufwands und mineralisch kumulierten Rohstoffaufwands für die jährlich produzierten Dach-, Vor- und Hintermauerziegeln dargestellt. Weiterhin ist der Aufwand für die jährlich in Hintermauerziegeln benötigten Dämmstoffe abgebildet.

Wenn 17 % der jährlich produzierten Ziegelmenge (Summe alle Produkte) eingespart werden kann, sind die damit erzielbaren Einsparungen beim Treibhauseffekt größer als die über das Szenario Ressourceneffizienz erreichbaren Einsparungen, falls der Einsatz als Zementklinker nicht möglich ist. Mit Zementklinkereinsparung ist die Einsparung durch das Szenario Ressourceneffizienz im Treibhauseffekt deutlich größer und entspricht 62 % der Lasten der gesamten Ziegelproduktion. Beim mineralischen kumulierten Energieaufwand sind die Einsparungen durch das Ressourceneffizienzzenario hingegen unabhängig von einer Zementklinkereinsparung mit 79 % fast genauso groß wie die Lasten aus der gesamten jährlichen Ziegelproduktion.

Damit lässt sich schlussfolgern, dass die Szenarien ohne Zementklinkereinsparung hauptsächlich zur Ressourceneinsparung beitragen, aber in geringerem Ausmaß auch zur Entlastung im Treibhauseffekt. Durch Zementklinkereinsparung steigt die Entlastung im Treibhauseffekt nochmals um mehr als Faktor 3. Ob die Zementklinkersubstitution durch Mauerwerksbrechsand aber wirklich erreicht werden kann, ist noch Gegenstand der Forschung und damit aktuell noch unsicher. Für weitere Einsparungen beim Treibhauseffekt und kumulierten Energieaufwand sollten die Produkte derart gestaltet werden, dass anteilig jährliche Produktionslasten eingespart werden. Beispielsweise könnte dies erreicht werden, indem weniger Material für dieselbe Funktion benötigt wird, die Standzeit der Gebäude verlängert wird oder die Ziegel in ihrer ursprünglichen Funktion bei einer anderen Baumaßnahme wiederverwendet werden. Durch die Wiedernutzung von Dämmstoffen in Hintermauerziegeln sind zusätzliche Einsparungen erzielbar.

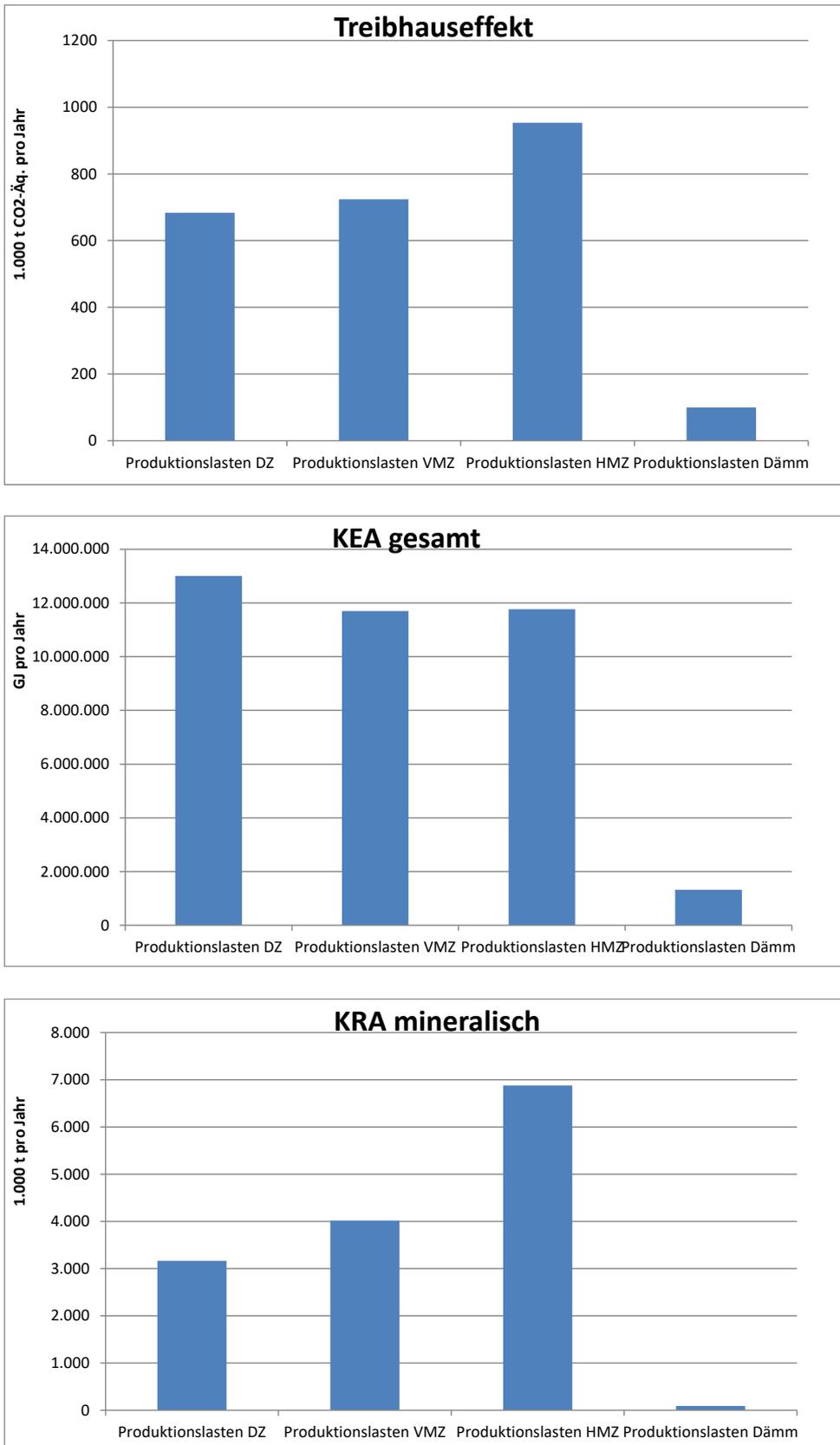


Abbildung 6-9: Mit der jährlichen Ziegelproduktion verbundene Umweltlasten

6.5 Fazit und Empfehlungen an die Ziegelindustrie

Die Bilanzierung zeigt, dass sowohl der Einsatz von Bodenaushub und Filterkuchen als auch von Recyclingmaterial positive Auswirkungen auf die Ressourcen- und Klimabilanz der Ziegelindustrie hat.

Kurzfristig lässt sich eine ressourceneffiziente Produktion vor allem durch die Steigerung des Einsatzes von Bodenaushub und Filterkuchen in der Produktion von Hintermauerziegel umsetzen. Da dies heute schon in kleinerem Umfang praktiziert wird, kann auf einen Erfahrungsschatz, angepasste Rezepturen und logistische Strukturen zurückgegriffen werden. Insbesondere das Vorgehen der Baugrunduntersuchung und die daraus abzuleitende selektive Entnahme einzelner Bodenschichten bzw. Bereiche sollte ausgebaut und optimiert werden. Die Erdbauarbeiten sind so auszuführen, dass die geeigneten und ungeeigneten Materialien strikt getrennt gehalten werden. So unterscheiden sich die Böden nicht in ihren Eigenschaften von den Primärrohstoffen, die aus einer ausgewiesenen Lagerstätte gewonnen werden. Obwohl die Hersteller der Hintermauerziegel aufgrund der notwendigen Porosierung der Ziegel Vorteile in der Flexibilität der Rezepturen haben, sind auch die Produzenten der hartgebrannten Ziegelprodukte in der Pflicht, die Umstellung auf sekundäre Rohstoffe voranzutreiben. Die Bedingungen an den Produktionsstätten, z.B. zusätzliche Lagerfläche, sind an die Anforderungen der Bereitstellung von Sekundärrohstoffen anzupassen.

Die Bemühungen der Hersteller von Hintermauerziegeln, geeignete alternative biogene Porosierungsmittel zu identifizieren, sollten beibehalten und ausgeweitet werden. Die Treibhausgasemission können über diese Maßnahme am stärksten reduziert werden, was gleichzeitig einen finanziellen Vorteil bezüglich der CO₂-Abgaben mit sich bringt und Spielräume bei der Beschaffung der Alternativen ermöglicht. Aus Ressourcen- und Klimasicht wäre der Einsatz von biogenen post-consumer Abfällen ideal, die keine fossilen oder anorganischen Kohlenstoffanteile haben. Wichtig ist, dass analog zu dem Einsatz der Papierfasern, in den Genehmigungsbescheiden der technische Zweck des Einsatzes der als Abfälle eingestuften Materialien, anerkannt wird.

Die Ziegelindustrie sollte darauf hinwirken, dass Dachziegel und sortenreine Mauerziegel-fractionen an der Baustelle obligatorisch getrennt erfasst werden und möglichst direkt an Substrathersteller oder Bauschuttrecyclinganlagen vermarktet werden, die hochwertige Verwertungslösungen für Ziegelabfälle im Portfolio haben (z.B. Aufbereitung zur Gesteinskörnung für Beton, Farbsortierung). Dies kann durch den Ausbau und Weiterführung der bestehenden Lösungen sowie durch die Vernetzung der Dachdeckerbetriebe, Abbruch- und Recyclingunternehmen sowie den Substratherstellern gefördert werden.

Den Abfallerzeugern und Besitzern fehlt es häufig am Know-how, wie Ziegelabfälle möglichst ressourceneffizient und klimabewusst entsorgt werden können. Gleichzeitig werden durch die Betreiber der Recyclinganlagen Investitionen in Aufbereitungstechnik und Bemühungen in den Aufbau von neuen Absatzstrategien nur dann angegangen, wenn die dafür notwendigen Abfallmassenströme ausreichend und in passender Qualität auf dem Entsorgungsmarkt zur Verfügung stehen. Die vom Bundesverband der Ziegelindustrie e.V. gemeinsam mit der Bundesvereinigung Recycling-Baustoffe initiierte Karte „Ziegel-Recycling Netzwerk“⁵⁵, die genau diese Informationsbereitstellung und Vernetzung umsetzt, sollte weitergeführt und ausgebaut werden.

⁵⁵ <https://www.ziegel.de/recycling#karte>

Gleichzeitig sollte die Erarbeitung des Merkblattes Ziegelrecycling vorangetrieben werden, um den Absatz von aufbereitetem Ziegelmaterial in die Produktion der Mauerziegel voranzutreiben. Die Ziegelhersteller sollten animiert werden, mit den regional ansässigen Recyclingunternehmen in den Dialog zu treten, um Qualitätsparameter individuell festzulegen und die Basis für eine Zusammenarbeit aufzubauen.

Grundsätzlich sind Forschungsvorhaben in alle Richtungen der potentiellen Ressourcenschonung und der Rückführung von Recyclingmaterialien zu unterstützen und voranzutreiben.

7 Indikatoren der Nachhaltigkeitsbewertung

Für die Bewertung der Recyclingeigenschaften eines Baustoffes oder die Quantifizierung des Einsatzes von Sekundärmaterialien, die primäre Rohstoffe ersetzen, sind derzeit keine Indikatoren implementiert, die den Status Quo der Kreislaufwirtschaft im Bereich der Bauwirtschaft umfassend beschreiben. Nachfolgend werden mehrere Ansätze der Nachhaltigkeitsbewertung und deren Grenzen vorgestellt, die in der Abfallwirtschaft und der Bewertung von Gebäuden bereits angewandt werden oder in der politischen oder wissenschaftlichen Diskussion sind.

7.1 Verwertungsquote gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz

Mit dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) wird die Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen gefördert, der Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen sichergestellt und die Zielvorgaben der europäischen Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle, geändert durch Richtlinie 2018/851/EU) in nationales Recht umgesetzt. Abbildung 7-1 zeigt die Rangfolge der Maßnahmen, die es bei der Abfallbewirtschaftung zu beachten gilt: Abfälle sind zu vermeiden. Sofern eine Vermeidung nicht möglich ist, hat der Abfallerzeuger oder der Abfallbesitzer die Abfälle zu verwerten (§ 7 Abs. 2 bis 4 KrWG). Nur wenn eine Verwertung nicht möglich ist, sind die Abfälle auf einer Deponie zu beseitigen (§ 15 Abs. 1 KrWG).

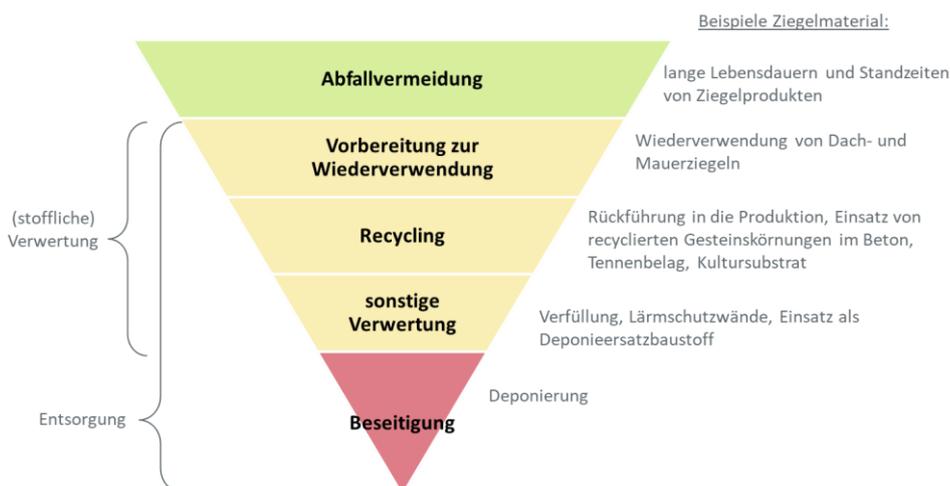


Abbildung 7-1: Die 5-stufige Abfallhierarchie nach Kreislaufwirtschaftsgesetz

Die Hierarchie zeigt, dass das Abfallecht auf europäischer und nationaler Ebene den Begriff Downcycling, der im allgemeinen Sprachgebrauch mittlerweile weit verbreitet ist, nicht kennt oder definiert. D.h. es gibt keine Vorgaben, wie die Hochwertigkeit einer Verwertungsmaßnahme innerhalb einer Hierarchiestufe bewertet und verglichen werden kann. Die in der Abbildung beispielhaft genannten Entsorgungswege sind unstrittig, was die Zuordnung der Hierarchiestufe angeht. Entweder ist die Art der Entsorgung im Kreislaufwirtschaftsgesetz explizit als Beispiel benannt oder die Zuordnung ist in der Fachwelt übergreifend akzeptiert.

Als Downcycling wird eine Verwertungsmaßnahme verstanden, bei der ein Produkt minderer Qualität oder Eigenschaften im Vergleich zum Ausgangsprodukt entsteht. Die wertgebenden Eigenschaften des Sekundärrohstoffes werden nicht optimal genutzt. Regelmäßig wird über die Hochwertigkeit der Verwertung von Bauabfällen als recycelte Gesteinskörnung im Straßenbau diskutiert. Einerseits erfordern die Gesteinskörnungen, die im Oberbau einer Straße z.B. als Frostschutz- oder Schottertragschicht eingesetzt werden, gemäß den technischen Lieferbedingungen hohe Qualitätsanforderungen. Andererseits werden im Straßenbau auch große Massenströme von Gesteinskörnungen oder Böden eingesetzt, die nur geringe technische Anforderungen zu erfüllen haben, regelmäßig als reines Füllmaterial verwendet werden. Die statistischen Erhebungen lassen keinen Rückschluss zu, wie die aufbereiteten Bauabfälle im Straßenbau verwertet werden. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass die Akzeptanz von Recyclingbaustoffen im Straßenoberbau äußerst gering ist. Darüber hinaus wird die Verwertung im Straßenbau zusammen mit den im Erd- und Wegebau verwerteten Mengen bilanziert, bei denen die technischen Anforderungen an die Baustoffe ebenfalls geringer sind als im Straßenbau.

Aufgrund der Tatsache, dass Recyclingbaustoffe für den Straßen- und Wegebau allgemein nur wenig Akzeptanz finden und Bauabfälle aus dem Hochbau dabei in weniger qualifizierten Baumaßnahmen des Tiefbaus verwertet werden, ist die aktuell in der Praxis verbreitete Verwertung im Straßenbau nach Auffassung des ifeus eher als Downcycling zu bewerten. Insbesondere Ziegelabfälle, die als Bestandteil eines Recyclingbaustoffgemisches im Straßen- und Wegebau eingesetzt werden, werden nicht ihren Eigenschaften entsprechend verwertet.

Als Instrument zur Bewertung der Kreislaufwirtschaft kennt das Kreislaufwirtschaftsgesetz bislang die Verwertungs- und Recyclingquoten, die stoffstromspezifisch ermittelt werden (z.B. für Papier, Glas, Metall, Bioabfälle). Die Ermittlung der Quoten erfolgte bis zum Berichtsjahr 2020 auf Basis der Mengenströme, die den entsprechenden Recyclinganlagen zugeführt worden sind. Es lag demnach der Ansatz zugrunde, dass die Abfälle, die einem Recyclingverfahren zugeführt werden, zu 100 % recycelt werden. Diese Berechnungsmethode führte zwangsläufig zu überhöhten Recyclingraten, da Materialien, die für eine thermische oder energetische Verwertung extrahiert werden oder als Rest- oder Störstoffe entfernt werden, nicht abgezogen werden. Aufgrund der 2018 in Kraft getretenen Novelle der europäischen Abfallrahmenrichtlinie ist die Art der Berechnung ab dem Berichtsjahr 2020 umzustellen. Als Datengrundlage dienen seitdem entweder die Outputmengen der Recyclinganlagen, die tatsächlich einem Recycling zugeführt werden. Für den Fall, dass entsprechende Daten nicht zur Verfügung stehen, ist alternativ auch die Berechnung über die Inputmengen mit Hilfe eines Korrekturfaktors (Verlustrate bzw. „average loss rates“) möglich.

Für nicht gefährliche Bau- und Abbruchabfälle definiert das Kreislaufwirtschaftsgesetz nur eine über alle Bauabfallfraktionen hinweg ermittelte Verwertungsquote von mindestens 70 %. Hier wird also nicht nach Materialien oder Stoffen unterschieden. Zudem wird auch die sonstige stoffliche Verwertung (Verfüllung) in dieser Verwertungsquote berücksichtigt,

die als Downcycling zu bewerten ist. Qualitative Aussagen zur Abfallentsorgung der Bauabfälle sind über die Verwertungsquote daher nicht möglich. Weiterhin gibt es bislang keine Konkretisierungen, wie die Berechnung zukünftig zu erfolgen hat. Die oben beschriebene Umstellung der Berechnungsmethode gilt bislang nur für Siedlungsabfälle und wird für die Bau- und Abbruchabfälle nicht angewandt.

Die Verwertungsquote von 70 % für die Bauabfälle wird in Deutschland seit Jahren weit überschritten. Eine Anreizwirkung zu mehr Recycling oder recyclinggerechtem Bauen geht von diesem Instrument daher nicht aus. Eine Verbesserung ist ggf. durch eine Verschärfung der Vorgaben auf Ebene der Europäischen Union über die Abfallrahmenrichtlinie möglich. Laut der letzten Novelle der Abfallrahmenrichtlinie zieht die EU-Kommission bis Ende 2024 in Betracht, konkrete Zielvorgaben für die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling für Bau- und Abbruchabfälle und ihre materialspezifischen Fraktionen zu benennen.

Fazit: Derzeit eignen sich die gesetzlichen Quotenvorgaben nicht, um die Kreislauffähigkeit von Bauabfällen zu beschreiben. Die Quoten erlauben keine Aussage darüber, in welchen Anteilen die Abfälle bspw. in Produktionsprozesse zurückgeführt und insbesondere inwieweit Primärrohstoffe substituiert werden. Der Verbleib der Abfälle wird also nicht auf Produkt- oder Produktionsebene beschrieben, sondern nur nach der Art der Verwertung. Entsprechend sind auch Systematiken der statistischen Erhebung zur Abfallentsorgung derzeit nicht darauf ausgelegt, tiefergehende Informationen bereitzustellen.

7.2 Baustoffspezifische Substitutionsquoten

Um den Erfolg der Kreislaufwirtschaft messen zu können, empfiehlt die Ressourcenkommission am Umweltbundesamt die Einführung einer Substitutionsquote. Die genaue Ausgestaltung einer solchen Quote ist noch unklar, erfordert jedoch vorab eine Verbesserung der Daten- und Forschungslage in vielen Bereichen⁵⁶.

Die Substitutionsquote definiert das Verhältnis von eingesetzten Sekundärrohstoffen zum insgesamt genutzten Materialaufwand (Primärrohstoffe und Sekundärrohstoffe). Die Betrachtung kann auf der nationalen oder sektoralen Ebene oder auf der Ebene von Produkt(gruppen) erfolgen⁵⁷. Die Definition beschränkt die eingesetzten Sekundärrohstoffe nicht auf die Materialien, die ursprünglich aus dem gleichen Produktionsprozess stammen. Im Sinne einer idealen Kreislaufwirtschaft, ist diese Art der Rückführung in der Regel jedoch zu bevorzugen, da die wertgebenden Eigenschaften der Abfälle optimal genutzt werden. In der Diskussion ist daher zu unterscheiden, ob die Substitutionsquote im engen oder im weiteren Sinne betrachtet wird.

Grundsätzlich ist eine Substitutionsquote geeignet, um den Einsatz von Sekundärrohstoffen in Produkten zu beschreiben und auch zu fördern. Absatzmärkte für aufbereitete Materialien können gesichert und dadurch die dafür notwendigen Investitionen in die Aufbereitungstechnik unterstützt werden. Für die Ziegelindustrie sind sowohl die Substitutionsquote der eigenen Ziegelprodukte von Interesse, als auch die Substitutionsquoten der Bauprodukte, in denen Ziegelabfälle zur Substitution von Primärmaterialien eingesetzt werden können.

⁵⁶ (Ressourcenkommission am Umweltbundesamt 2019, S. 6)

⁵⁷ (Ressourcenkommission am Umweltbundesamt 2019, S. 5)

Wie ausführlich in dieser Studie erläutert, ist die Rückführung von gebranntem Ziegelmaterial in die Ziegelproduktion technisch limitiert – je nach Produktgruppe unterschiedlich stark. Eine Substitutionsquote im engen Sinne ist für die Ziegelindustrie daher eher von Nachteil, da nur geringe Anteile substituiert werden können. Im weiteren Sinne kann ein ressourcenorientiertes Wirtschaften der Ziegelindustrie besser abgebildet werden. Durch den Einsatz von Bodenaushub, Filterkuchen insbesondere aus der Aufbereitung primärer Rohstoffe und Porosierungsmitteln, die in anderen Herstellungsverfahren als Abfall- oder Reststoffe anfallen, können Primärrohstoffe eingespart und über eine Substitutionsquote kommuniziert werden.

Bodenaushubmassen können im Idealfall den Spezifikationen der Ziegelindustrie entsprechen. Werden sie quasi als Nebenzweck der Baumaßnahme gezielt gewonnen und an die Ziegelindustrie abgegeben, sollten sie möglichst außerhalb des Abfallrechts verbleiben – siehe Kapitel 8. Trotzdem handelt es sich dann zwar um einen primären Rohstoff, der jedoch aus einer sekundären Rohstoffquelle bezogen wurde. Für die Ziegelindustrie ist es wichtig, dass auch dieser Bodenaushub als Sekundärmaterial eingestuft wird, auch wenn der Boden im rechtlichen Sinne nicht zu Abfall geworden sein sollte. Der Bodenaushub ist im Rahmen einer Baumaßnahme angefallen, die der baulichen Bedarfsdeckung diene. Die Grube wurde nicht primär zur Gewinnung von Ziegelrohstoff ausgehoben. Die Umweltwirkungen der derzeit gängigen Bodenentsorgungsverfahren sind aus ökologischer Sicht gegenüber dem Einsatz in der Ziegelindustrie nachteilig. Die Verwertung darf dem Einsatz von Primärmaterial nicht gleichgesetzt werden. So können die Bemühungen der Ziegelindustrie, ressourcenorientiert zu wirtschaften, positiv in einer (weiter gefassten) Substitutionsquote für die Ziegelherstellung dargestellt werden.

Da insbesondere der Einsatz in der Gesteinskörnung für R-Beton technisch möglich, aber in der Praxis bislang kaum Umsetzung und Akzeptanz findet, könnte eine Substitutionsquote für Beton diesen hochwertigen Verwertungsweg fördern. Ebenso wäre eine Substitutionsquote für Kultursubstrat ein hilfreiches Instrument, um Lava, Bims und Ton als Primärmaterial zu ersetzen. Voraussetzung ist, dass ziegelhaltige Bauabfälle vermehrt selektiv zurückgebaut werden, um die Qualitätsanforderungen der Verwertungswege zu erfüllen und insgesamt ein größeres Mengenpotenzial zur Verfügung zu stellen. Für die Ziegelindustrie sind die (weit gefassten) Substitutionsquoten der weiteren Baustoffe eine Chance, die Recyclingfähigkeit der Ziegel positiv darzustellen und nachzuweisen.

Da die Hochwertigkeit der Verwertung bei der Substitutionsquote jedoch nicht berücksichtigt wird, besteht die Gefahr, dass Verwertungswege gefördert werden, die als Downcycling einzustufen sind. Die qualitativen Ansprüche an Sekundärrohstoffe für einfache Verwertungsmaßnahmen sind geringer und der Aufwand und die Kosten für die Aufbereitung günstiger als für hochwertige stoffliche Verwertungsverfahren. Im Sinne einer ambitionierten Kreislaufwirtschaft sollte dieser Aspekt bei der Ausgestaltung der Substitutionsquote berücksichtigt werden.

7.3 Gebäudezertifizierungssysteme

Die Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden erfolgt über Zertifizierungssysteme, die bislang überwiegend freiwillig von Bauherren genutzt werden. In Deutschland werden Gebäude überwiegend nach dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) oder nach dem System der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) bewertet und zertifiziert.

Für Bundesbauten ist die Zertifizierung nach BNB seit 2010 Pflicht, die Bundesländer und Kommunen wenden das Bewertungssystem zunehmend freiwillig an. Seit April 2022 ist bei der Förderung von Neubauten durch die KfW verpflichtend nachzuweisen, dass die Gebäude den Anforderungen des „Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude“ (QNG) entsprechen. Voraussetzung für die Vergabe des QNG ist die Durchführung einer Nachhaltigkeitsbewertung auf der Grundlage eines bei der Deutschen Akkreditierungsstelle registrierten Nachhaltigkeitsbewertungssystems. Dazu zählen neben der DGNB und dem BNB auch das Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau sowie das Bewertungssystem Nachhaltiger Kleinwohnungsbau. Die erreichten Qualitäten sind im Anschluss durch eine akkreditierte Zertifizierungsstelle zu überprüfen.

Derzeit wird auf politischer Ebene diskutiert, wie Ökobilanzen und Nachhaltigkeitsaspekte in das Gebäudeenergiegesetz (GEG) und die Europäische Gebäuderichtlinie (EPBD) integriert werden können. Der Entwurf der neuen Europäischen Gebäuderichtlinie sieht vor, dass ab 2030 europaweit die Treibhausgasemissionen von Neubauten über den gesamten Lebenszyklus berechnet werden müssen⁵⁸. Die Fragen der nachhaltigen Bauweise und Bauplanung rücken damit immer weiter in den Fokus der Baubranche und der Politik.

Im System der DGNB wird (im Unterschied zum BNB) die Abfallentsorgung inkl. der Substitutionserfolge von Primärrohstoffen zwar in der Ökobilanz des Gebäudes (Phase D) berücksichtigt, jedoch geht die Ökobilanz insgesamt nur mit 9,5 % in die Gesamtbewertung ein⁵⁹. Die Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit eines Gebäudes wird über die Indikatoren recyclingfreundliche Baustoffauswahl, rückbaufreundliche Baukonstruktion sowie die Rückbaubarkeit, Umbaubarkeit und Recyclingfreundlichkeit in der Planung bewertet. Die recyclingfreundliche Baustoffauswahl berücksichtigt die Verwertungseigenschaften der späteren Bauabfallfraktionen. Gemessen an der 5-stufigen Abfallhierarchie des Kreislaufwirtschaftsgesetzes werden Qualitätsstufen für die Verwertungswege definiert, die in Bewertungspunkte umgerechnet werden können. Insgesamt geht diese Teilbetrachtung jedoch nur mit 3 % in die Gesamtbewertung ein.

Im BNB-System werden die Recyclingeffekte außerhalb des Lebenszyklus des Gebäudes zwar berechnet und informatorisch dargestellt, die Ergebnisse gehen jedoch nicht in die Zertifizierung ein, d.h. die Bewertung des Moduls D der Ökobilanz ist derzeit ausgesetzt. Als Grund wird eine unzureichende Datenlage, z.B. in den Umweltproduktdeklarationen genannt⁶⁰.

Eine recyclingfreundliche Neubauplanung wird innerhalb des BNB-Systems mithilfe der drei Indikatoren Rückbau, Trennung (Sortenreinheit) und Verwertung bewertet (Kriterium 4.1.4). Anhand des Schichtenaufbaus der Bauteile werden die drei Indikatoren jeweils in 5 Abstufungen von „sehr günstig“ bis „sehr ungünstig“ eingestuft und entsprechend bepunktet. Orientierung zur Einstufung bietet ein Katalog mit Beispieleinstufungen. Nach (Rosen, A. 2020, S.63) fehlt es bei den Beispieleinstufungen jedoch an einer ausreichenden wissenschaftlichen Datengrundlage. Über die Bewertungspunkte wird für jedes Bauteil der Recyclingfaktor berechnet. Die Bewertung des Kriteriums 4.1.4 geht als Summe für alle verbauten Bauelemente mit 4,5 % ins Gesamtergebnis ein. An dieser Stelle sei angemerkt, dass der Steckbrief zur Bewertung des Kriteriums 4.1.4 derzeit umfassend überarbeitet wird. Mit einer Veröffentlichung ist nach Auskunft des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und

⁵⁸ Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the energy performance of buildings (recast), European Commission

⁵⁹ https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-system/de/gebaeude/neubau/kriterien/02_ENV1.1_Oekobilanz-des-Gebaeudes.pdf

⁶⁰ (Rosen, A. 2020, S.63)

Raumforschung Anfang 2023 zu rechnen. Zum Zeitpunkt des Abschlusses dieser Studie lagen keine konkreten Informationen zu geplanten Änderungen vor.

Bislang sind Recyclingaspekte also nur marginal in den Zertifizierungssystemen verankert. Darüber hinaus wird die Art der Entsorgung bzw. die Hochwertigkeit der Verwertung nicht ausreichend differenziert. Der Erfolg der Verwertung hängt letztlich von der Art und der Menge des substituierten Primärmaterials ab, sodass Verwertungswege möglichst differenziert betrachtet werden müssen. Nur im Bewertungssystem der DGNB werden Bonuspunkte gewährt, wenn die eingesetzten Baustoffe auf gleichem Qualitätsniveau werkstofflich verwertbar sind.

Die Systeme sind geprägt von einer Vielzahl von ökologischen, ökonomischen, soziokulturellen und technischen Indikatoren und Kriterien, die alle einen Beitrag zum Gesamtergebnis liefern, so dass die einzelnen Aspekte keinen ausschlaggebenden Effekt erzielen können. Oder andersherum: auch ohne eine ressourcen- oder kreislaufgerechte Bauweise, können hohe Standards in den Zertifizierungssystemen erreicht werden.

(Rosen, A. 2020, S.87) bewertet die Zertifizierungssysteme hinsichtlich der Bewertung der Kreislauffähigkeit von Baustoffen so:

- Die Systeme bilden den Rückbauaufwand und die Wirtschaftlichkeit des selektiven Rückbaus nicht angemessen ab.
- Die Systeme berücksichtigen nicht, dass der Einsatz von Sekundärrohstoffen in Neuprodukten begrenzt sein kann.
- Den Systemen fehlen wissenschaftliche Grundlagen zur quantitativen Bewertung der Recyclingfähigkeit und des Rückbauaufwands.

Im Rahmen der Dissertation von Frau Prof. Rosen wurde eine Systematik zur Quantifizierung der Kreislauffähigkeit von Baustoffen erarbeitet, siehe Kapitel 7.5.

7.4 Gebäuderessourcenpass

Die derzeitige Bundesregierung spricht im November 2021 veröffentlichten Koalitionsvertrag davon, dass Grundlagen geschaffen werden sollen, „den Einsatz grauer Energie [...] verstärkt betrachten zu können“. Dazu soll u.a. ein digitaler Gebäuderessourcenpass eingeführt werden, um „auch im Gebäudebereich zu einer Kreislaufwirtschaft zu kommen“⁶¹. Konkrete Inhalte eines solchen Gebäuderessourcenpasses sind im Koalitionsvertrag nicht benannt. Um die Umsetzung voranzutreiben und eine möglichst breite Akzeptanz in der Praxis zu erreichen, hat die DGNB einen Entwurf für einen Gebäuderessourcenpass entwickelt und im Juli 2022 veröffentlicht. Expert*innen und baubeteiligten Akteursgruppen wurde bis September 2022 die Möglichkeit gegeben, den Entwurf inhaltlich und fachlich zu kommentieren⁶². Derzeit wird der Entwurf auf Grundlage der Rückmeldungen überarbeitet.

Geplante Inhalte im Beispielentwurf des Gebäuderessourcenpasses sind u.a.:

⁶¹ Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit, Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP, Sozialdemokratische Partei Deutschland, BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN u. Freien Demokraten

⁶² <https://www.dgnb.de/de/themen/gebaeuderessourcenpass/index.php>

- Umgesetzte Kreislaufführung (Nr. 12): Bewertet wird die Herkunft bzw. die Art der Beschaffung der verwendeten Baustoffe: Welche Bauteile werden als wiederverwendete Bauteile eingesetzt? Welche Bauteile und Baustoffe greifen auf Sekundärrohstoffe in der Produktion zurück und wie hoch ist der RC-Anteil in diesen Produkten? Benennung der Anteile von nachwachsenden Rohstoffen und nicht-erneuerbaren Primärrohstoffen. Zusammenfassend werden die Anteile am Gesamtrohstoffbedarf dargestellt.
- Potenzielle Kreislauffähigkeit: Nachnutzungswege (aus heutiger Perspektive) für Gebäude (Nr. 22): Bislang sieht der Entwurf vor, dass die massenbezogenen Quoten je Entsorgungsweg auf Bauteilebene bestimmt und zusammenfassend für das Gebäude dargestellt werden. Die Entsorgungswege sind gegliedert in: Wiederverwendung, Verwertung, Deponie und Verbrennung.

Hinsichtlich der Herkunft der Rohstoffe ist es für die Ziegelindustrie wichtig, dass Bodenaushub als Rohstoff als Sekundärmaterial eingestuft wird, auch wenn der Boden im rechtlichen Sinne nicht zu Abfall geworden sein sollte (vgl. Kapitel 5.2). So können die Bemühungen der Ziegelindustrie, ressourcenorientiert zu wirtschaften, positiv im Gebäuderessourcenpass dargestellt werden.

Die Bewertung der Nachnutzungswege ist in der oben vorgeschlagenen Form nicht geeignet, die Hochwertigkeit der Verwertung darzustellen. Die verwerteten Abfälle müssen weiter gegliedert werden, analog der 5-stufigen Abfallhierarchie. Recycelte Abfälle und sonstig stofflich verwertete Abfälle (Verfüllung) müssen unterschieden werden. Die Substitutionseffekte der hochwertig verwerteten Ziegelabfälle können so nicht abgebildet und kommuniziert werden. Zudem werden die Verwertungswege „aus heutiger Perspektive“ bewertet. Da insbesondere für rückgebaute Mauerziegel eine hochwertige Verwertung aktuell kaum stattfindet, sich aber für die nähere Zukunft abzeichnet, sollten sich ändernde Verwertungs-lösungen entsprechend angerechnet werden. Wie im Kapitel 4 gezeigt, sind die vom Statistischen Bundesamt erhobenen Daten nicht geeignet, um die Verwertungswege ausreichend nachvollziehen zu können. Aus Sicht der Autoren wäre ein Rücknahmesystem der Ziegelindustrie von Vorteil, um die Recyclingfähigkeit aufzuzeigen.

Durch die geplante Darstellung und Nutzung des Ressourcenpasses analog zum erfolgreich etablierten Gebäudeenergieausweis, ist davon auszugehen, dass das Thema Ressourcen bei allen Baubeteiligten zukünftig deutlich mehr Aufmerksamkeit erreichen wird.

7.5 Material Cycle Status

Einen Ansatz, der sowohl die Recyclingfähigkeit der Bauabfallfraktionen als auch den aktuellen und potentiell möglichen Einsatz von Sekundärrohstoffen in der Baustoffproduktion berücksichtigt, wurde von der Bergischen Universität Wuppertal im Rahmen der Entwicklung eines Urban Mining Index entwickelt.

Der Urban Mining Index ist eine Systematik mit der die Kreislaufkonsistenz von Baukonstruktionen und Gebäuden in der Neubauplanung gemessen und bewertet werden kann. Hierfür wurden Parameter definiert, die die Materialzusammensetzung und die Konstruktion, aber auch die Wirtschaftlichkeit des selektiven Rückbaus abbilden. Die zirkulären Baustoffe beziffern mit ihrem Anteil an der Masse aller im Bauwerk verbauten Materialien das Gesamtergebnis in Form des Urban Mining Indicators. Für die Berechnung des Indicators werden die Zirkularitätsraten von Baumaterialien anhand spezifischer Kennwerte ermittelt.

Berücksichtigt werden u.a. die Anteile an sekundären oder erneuerbaren Rohstoffen und das zukünftige Recyclingpotenzial.

Für Ziegel-Hochlochmauersteine wurde der Material-Cycle-Status, als einer der zu berücksichtigenden Parameter im Urban Mining Indicator, im „Atlas Recycling“⁶³ veröffentlicht (siehe Abbildung 7-2). Der Material-Cycle-Status zeigt die Wiederverwendungs- und Verwertungschancen der Materialien. Dafür werden jeweils 3 Unterkategorien in einem Diagramm dargestellt.



Abbildung 7-2: Material-Cycle-Status für Ziegel-Hochlochmauersteine gemäß Atlas Recycling

Quelle: (Rosen, A. 2020, S.71)

Der Material Recycling Content (MCR) zeigt auf, mit welchen Anteilen von Recyclingrohstoffen ein Produkt derzeit hergestellt wird. Für die Bewertung werden z.B. Herstellerangaben und EPDs als Datengrundlage herangezogen.

Das Material-Loop-Potenzial (MLP) beschreibt, wie hoch der Recyclinganteil sein könnte, wenn die Produktion auf den Einsatz von Sekundärrohstoffen optimiert wäre. Der Indikator zeigt damit die produktspezifischen Grenzen des Einsatzes von Sekundärrohstoffen. Nicht berücksichtigt werden die innerhalb des Produktionsprozesses zurückgeführten Anteile, da diese der Effizienz des Herstellungsverfahrens zuzuschreiben sind. Auch Nebenprodukte, die bei der Herstellung anderer Waren oder Güter anfallen, werden nicht berücksichtigt. Als Datengrundlage werden wissenschaftliche Forschungsarbeiten, Verbands- und Herstellerangaben genutzt.

Der Material End of Life (MEoL)-Balken stellt dar, wie die Baustoffe aktuell entsorgt werden. Bei der Art der Entsorgung wird unterschieden zwischen: Wiederverwertung / Recycling auf gleicher Qualitätsstufe, Weiterverwertung hoch / Downcycling innerhalb des Bauwesens, Weiterverwertung niedrig / Downcycling außerhalb des Bauwesens und der Beseitigung / Verlust des Materials. Die Verwertung als Pflanzsubstrat wird hier beispielsweise als Downcycling eingestuft. Für die Bewertung werden u.a. statistische Daten von Bund und Ländern und Verbandsangaben genutzt.

Für die Hochlochmauerziegel wird angegeben, dass die Produktion aktuell ausschließlich mit Neumaterial erfolgt. Im optimierten Szenario wird davon ausgegangen, dass bis zu 40 % des

⁶³ (Hillebrandt et al. 2018, S. 71)

Rohstoffbedarfs über Sekundärrohstoffe gedeckt werden könnte. Die Entsorgungswege werden zu 15 % als Downcycling außerhalb des Bauwesens eingestuft. Für etwa 75 % kann die Wertigkeit der Verwertung nicht beurteilt werden. 10 % werden auf der Deponie beseitigt.

7.6 Fazit und Empfehlungen an die Ziegelindustrie

Die Frage der Baustoffauswahl und der Recyclingfähigkeit der Bauabfallfraktionen ist zunehmend in das Bewusstsein von Bauherren und Planenden gerückt. Auch, wenn sich diese Aspekte bislang schwer in Zahlen ausdrücken lassen, wird die Bewertung dieser Aspekte zunehmend den Bauplanungsprozess beeinflussen. Eine aktive Position zur Beantwortung dieser Fragen ist daher sinnvoll.

Die Anwendung bzw. die Aussagekraft der oben beschriebenen Indikatoren ist immer begrenzt durch die zur Verfügung stehende Datengrundlage. Diese ist in allen Bereichen als nicht ausreichend zu bewerten. Eine Erhöhung der Transparenz und Nachvollziehbarkeit bezüglich der eingesetzten Rohstoffe, ist durch die Industrie selbst jedoch einfach möglich. Eine entsprechende Kommunikation sollte über die regelmäßige Aktualisierung der Umweltproduktdeklarationen, die Veröffentlichung eines branchenweiten Jahresberichts oder öffentlich zugängliche Forschungsergebnisse angestoßen und unterstützt werden. Insbesondere die Gebäudezertifizierungssysteme stützen sich auf Informationen, die durch Hersteller und Verbände bereitgestellt werden.

Bereits durch die Ziegelindustrie ergriffenen Maßnahmen im Rahmen der Herstellerverantwortung, sind in den Gebäudezertifizierungssystemen noch nicht berücksichtigt. Zur Verbesserung der Rückbaubarkeit und der sortenreinen Trennung sind für Mauerziegel Nut und Feder Systeme entwickelt worden, die den Einsatz von Mörtel als Verbinder zum Teil überflüssig machen. Durch das Inverkehrbringen von Planziegeln konnte die Fugenbreite stark verringert werden. Neben der Einsparung von Mörtel ergibt sich daraus auch ein besserer Wärmeschutz. Ebenso ist bei der Entwicklung der mit Dämmstoffen gefüllten Ziegel darauf geachtet worden, dass diese formschlüssig verbunden, d.h. gut voneinander trennbar sind. Daraus wird deutlich, dass die Bewertung der Rückbau- und Verwertbarkeit des heutigen Gebäudebestandes nicht mit dem zukünftigen Inventar vergleichbar sein wird. Die Ziegelindustrie sollte daher auf regelmäßige Aktualisierungen und eine Vereinheitlichung der Bewertungsgrundlagen hinwirken und das Gebäudealter als Bewertungsmaßstab stärker in den Fokus rücken.

Über ein Labeling von Produkten oder Produktgruppen können Informationen in den Markt transferiert werden und positive Anreize für den Kauf von Ziegelprodukten gesetzt werden. In Anlehnung an eine weit gefasste Substitutionsquote können Sekundärrohstoffanteile und die damit verbundenen Einspareffekte ausgewiesen werden. Eine derartige Informationsbereitstellung ist auch im Zusammenhang mit der öffentlichen Ausschreibung von Bauaufträgen relevant. Gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz und vielen Landesabfallgesetzen sind die Beschaffungsstellen verpflichtet oder mindestens dazu angehalten, ressourceneffizienten und abfallarmen Produkten den Vorrang zu geben. Häufig stehen die Verantwortlichen im Beschaffungswesen dem Problem gegenüber, wie diese Anforderungen zu überprüfen oder nachzuweisen sind. Strukturen zum Nachweis können nur durch die Industrie selbst durch die Bereitstellung von Informationen aufgebaut werden.

Weniger Einflussmöglichkeiten hat die Ziegelindustrie bei der Erfassung von statistischen Daten und deren Qualität und Aussagekraft. Die Defizite liegen insbesondere in der

Nachverfolgbarkeit der Verwertungswege und deren Hochwertigkeit. Insbesondere die bereits erschlossenen und zukunftsfähigen hochwertigen Verwertungswege in die Beton- und Substratindustrie werden durch die Datenerhebung der statistischen Ämter nicht erfasst. Der Status Quo der Kreislaufwirtschaft und die wichtigen Impulse aus den vergangenen Jahren in Richtung Ressourcenschonung werden nicht abgebildet. Hier sollte der Austausch zu den Verantwortlichen gesucht werden. Wichtig wären die getrennte statische Ausweisung von Dach- und Mauerziegeln und eine höhere Transparenz der Absatzwege der aufbereiteten Materialien als Outputströme der Bauschuttrecyclinganlagen.

In Zusammenarbeit mit den Substratherstellern und auch der Betonindustrie sollten Marketingstrategien entwickelt werden, die den Einsatz von ziegelhaltigen Sekundärrohstoffen transparent machen und kommunizieren.

8 Lösungsansätze zur Förderung der Ressourceneffizienz außerhalb der Ziegelindustrie

Maßnahmen zur Steigerung des Einsatzes von Recyclingbau- und Sekundärrohstoffen lassen sich grob in die Bereiche der Optimierung der sortenreinen Erfassung zur Qualitätssteigerung der Abfallfraktionen, der Steigerung von Akzeptanz und Nachfrage und in übergeordnete regulatorische Maßnahmen untergliedern. Im folgenden Kapitel werden ausgewählte Maßnahmen detaillierter vorgestellt. Am Ende des Kapitels werden die zentralen Ansätze den am Bau beteiligten Akteursgruppen zugeordnet, die in der Verantwortung für die Umsetzung stehen.

8.1.1 Deponierungsverbot für Bauabfälle – Beispiel Österreich

Im Jahr 2021 ist in Österreich die Deponieverordnung novelliert worden, nach der ein weitreichendes Deponierungsverbot für Bauabfälle in Kraft tritt. Gemäß § 7 der österreichischen Deponieverordnung dürfen ab dem 01.01.2024 folgende Bauabfälle nicht mehr abgelagert werden: Ziegel aus der Produktion (z.B. Fehlchargen), Straßenaufbruch, technisches Schüttmaterial (Bodenaushub), Betonabbruch, Gleisschotter, Asphalt, Einkehrsplitt und Recycling-Baustoffe der Qualitätsklasse U-A gemäß Recycling-Baustoffverordnung. Das Verbot greift nicht, wenn die Materialien offensichtlich verunreinigt sind.

Ab dem 01.01.2026 wird das Deponierungsverbot auf Gipsplatten, Gipswandbauplatten und faserverstärkte Gipsplatten (Gipsplatten mit Flies-Armierung, Gipsfaserplatten) ausgeweitet. Ausgenommen sind Platten bei denen im Zuge der Eingangskontrolle in einer Recyclinganlage für Gipsabfälle nachweislich festgestellt wird, dass sie nicht für ein Gipsrecycling geeignet sind. Die längere Übergangsfrist ergibt sich aus den noch nicht flächendeckend verfügbaren Gipsrecyclinganlagen in Österreich, so dass vorab eine entsprechende Logistik aufgebaut werden muss⁶⁴.

Nach § 10c der österreichischen Deponieverordnung wird auch das Ablagern von künstlichen Mineralwollen nach dem 31.12.2026 nicht mehr zulässig sein – unabhängig davon, ob der Abfall als gefährlich oder ungefährlich eingestuft ist. Die Umweltabteilung des zuständigen Bundesministeriums erwartet, dass entsprechende Aufbereitungswege in den nächsten fünf Jahren von der Wirtschaft geschaffen werden. Um eventuelle Entsorgungseingpässe zu vermeiden, wird bis zum 31. Dezember 2024 geprüft, ob ausreichend nationale Recycling- oder Verwertungsmöglichkeiten für künstliche Mineralwollen etabliert sind. Auf Basis der Ergebnisse wird eine ggf. notwendige Anpassung des Datums des Inkrafttretens des Deponierungsverbots vorgenommen.

⁶⁴ (bvse-Fachverband Mineralik - Recycling und Verwertung 2021)

Die österreichischen Regelungen gehen damit deutlich über das Deponierungsverbot für verwertbare Abfälle hinaus, das Anfang 2024 in Deutschland in Kraft getreten ist. Seit diesem Zeitpunkt dürfen in Deutschland Abfälle, die einer Verwertung zugeführt werden können, nicht auf einer Deponie abgelagert werden. Gleiches gilt für Abfälle, die zur Vorbereitung zur Wiederverwendung oder zum Recycling getrennt gesammelt werden. Davon ausgenommen sind Abfälle, bei denen eine Ablagerung auf Deponien den Schutz von Menschen und Umwelt am besten oder in gleichwertiger Weise wie die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling gewährleistet (dies betrifft zum Beispiel asbesthaltige Abfälle). Zur Prüfung, ob die Ablagerung zulässig ist, sind die in § 6 Absatz 2 Satz 2 und 3 Kreislaufwirtschaftsgesetz festgelegten Kriterien zu berücksichtigen. Konkret muss demnach für alle angelieferten Abfälle geprüft werden, ob die Verwertung außerhalb der Deponie technisch möglich oder wirtschaftlich zumutbar ist. Nur wenn einer der Ausnahmetatbestände erfüllt und nachgewiesen ist, dürfen Abfälle zukünftig auf der Deponie abgelagert werden.

Die klare Benennung von Abfallfraktionen in der österreichischen Gesetzgebung erhöht die Klarheit und erleichtert die Umsetzung in der Praxis. Zudem wird durch die Ankündigung des Ablagerungsverbots für Gipsplatten und Mineralwollen die Entsorgungswirtschaft aufgefordert, Recyclingkapazitäten konsequent und schnell auszubauen. Auch die Hersteller stehen damit unter dem Druck, dass zukünftig die rückgewonnenen Materialien in höheren Anteilen in die ursprüngliche Produktion zurückzuführen sind.

Darüber hinaus ist in Österreich seit 2016 die Recycling-Baustoffverordnung in Kraft. Ziel dieser Verordnung ist insbesondere die Sicherstellung einer hohen Qualität von bei Bau- und Abbruchtätigkeiten anfallenden Abfällen, um das Recycling dieser Abfälle zu fördern. Die Verordnung legt Anforderungen fest, die beim Abbruch von Bauwerken zu erfüllen sind, wie die Durchführung einer Schadstoff- und Störstofferkundung und ein geordneter sowie verwertungsorientierter Rückbau von Bauwerken zu erfolgen hat. Die Verordnung sieht für Recycling-Baustoffe der höchsten Qualität vor, dass sie unter Einhaltung bestimmter Voraussetzungen, ihre Abfalleigenschaft vorzeitig verlieren können.

In Deutschland sind über die Ersatzbaustoffverordnung und die geplante Abfallende-Verordnung ähnliche Vorgaben bereits eingeführt worden bzw. in der aktuellen politischen Diskussion⁶⁵. Die Entlassung von aufbereiteten und qualitätsgesicherten Massen aus dem Abfallrecht und die Anerkennung des Produktstatus erleichtern den Umgang bzgl. Transport und Lagerung der Sekundärrohstoffe sowie auch die Akzeptanz bei den Verwendern.

8.1.2 Überarbeitung der Abfallverzeichnisverordnung zur Einstufung von Abfällen

Entsprechend der Abfallverzeichnisverordnung werden Bau- und Abbruchabfälle Abfallschlüsselnummern zugeordnet. In der Praxis zeigt sich, dass die zur Verfügung stehenden Abfallschlüsselnummern der Baustoffvielfalt nicht gerecht werden. Je differenzierter und sortenreiner die Abfälle gesammelt und eingestuft werden, desto besser wird eine kreislaufgerechte Verwertungsplanung unterstützt. Vorschläge zur Überarbeitung und Ergänzung der Abfallverzeichnisverordnung sind ausführlich in (Schiller et al. 2022, S. 219) dargestellt. Der Katalog der Abfallschlüsselnummern sollte demnach einerseits um Baustoffarten ergänzt und andererseits für die Massenbaustoffe weiter ausdifferenziert werden, um die Verwertungseigenschaften der Bauabfälle besser abzubilden.

⁶⁵ <https://www.bmu.de/gesetz/eckpunktepapier-zur-abfallende-verordnung-fuer-bestimmte-mineralische-ersatzbaustoffe>

Für Ziegel sollten Zuordnungsmöglichkeiten für Mauer- und Dachziegel geschaffen werden. Die mit mineralischen oder organischen Dämmstoffen gefüllten Ziegel sollten ebenso separat erfasst und eingeordnet werden können. Bei Bodenmaterial sollte unterschieden werden, ob es sich um klassischen, eher feinkörnigen Bodenaushub handelt oder ob gebrochener Naturstein zu entsorgen ist, der als ungebundene Schicht im Straßenbau verwendet wurde.

Dämmmaterialien müssen unterschieden werden können, ob die Herstellung auf Basis von mineralischen Rohstoffen, Erdöl oder nachwachsen Rohstoffen basiert. Bei gipshaltigen Baustoffen ist zu differenzieren, ob die Baustoffe für ein Gipsrecycling geeignet sind oder nicht. Dazu ist auch die Einführung eines eigenen Abfallschlüssels für Porenbeton nötig. Ebenso wäre es wichtig, Kalksandsteinabfälle separat auszuweisen. Diese werden bislang als gemischter Bauschutt deklariert, da kein passender Abfallschlüssel zur Verfügung steht.

Je differenzierter die Abfälle erfasst werden, desto spezifischer können die Annahmepreise bei den Entsorgung- und Aufbereitungsunternehmen gestaltet werden. Die Preisgestaltung und Kommunikation würde sich durch eine weitere Ausdifferenzierung in Kategorien, die sich an den Verwertungseigenschaften orientiert, erleichtern. Ist eine Anpassung auf Ebene der Abfallverzeichnisverordnung aufgrund der europarechtlichen Vorgaben im Rahmen des Europäischen Abfallartenkatalog zu langwierig, sollten die Industrie- und Entsorgungsverbände durch Öffentlichkeitsarbeit und Initiativen darauf hinwirken, dass bei der Annahme zur Entsorgung weiter differenziert wird, als es die Abfallverzeichnisverordnung vorgibt. Dies sollte möglichst großräumig und nicht regional begrenzt initiiert werden.

Darüber hinaus wäre durch die Ausdifferenzierung der Abfallschlüsselnummern die statistische Datenlage zum Abfallaufkommen deutlich verbessert. Auch Prognosen und Rückschlüsse, welche Materialien im anthropogenen Lager verbaut sind und zukünftig als Abfall anfallen, könnten differenzierter und fundierter erfolgen.

8.1.3 Verbesserung der Getrennthaltung durch Vollzug der Gewerbeabfallverordnung

Überwachend tätig werden die zuständigen kommunalen Abfallbehörden in der Regel nur dann, wenn der Verdacht eines Verstoßes vorliegt - eine routinemäßige Überprüfung der Getrennthaltungs- und Dokumentationspflichten findet kaum statt. Entscheidende Hemmnisse sind die knappe personelle Ausstattung der Kontrollbehörden sowie die Unkenntnis über geplante oder bereits in der Umsetzung befindliche Bauvorhaben. Anzeige- und Genehmigungspflichten bei Abbruch- und Rückbaumaßnahmen sind in den Bauordnungen der Länder festgesetzt und bundesweit sehr uneinheitlich geregelt. Über eine Vereinheitlichung der Anzeige- und Genehmigungspflichten der Landesbauordnungen ist daher sicherzustellen, dass alle erforderlichen Informationen rechtzeitig vor Baubeginn der Baubehörde vorliegen. Diese Informationen sind der zuständigen Abfallbehörde zur Verfügung zu stellen. Nur so ist eine Überwachung vor Ort während der Bauphase, als auch die Abfrage der Dokumentation des Verbleibs der Abfälle nach Abschluss einer Baumaßnahme möglich. Der dafür notwendige Vollzugshebel, nämlich die Erhebung einer Geldbuße von bis zu 100.000 € bei einem Verstoß gegen das Getrennthaltungsgebot, ist in der Gewerbeabfallverordnung bereits implementiert. Insbesondere die behördliche Erfassung des bauausführenden Unternehmens ist für die Planung von Routinekontrollen von Bedeutung. Mit steigenden Erfahrungswerten können so auffällig gewordene Unternehmen einer gezielten Kontrolle unterzogen werden.

Die Zusammenlegung von Zuständigkeiten ist ein wirksames Instrument, um Kapazitäten der Behördenmitarbeiter zu bündeln. Die Einführung bzw. Ausweitung von digitalisierten Verwaltungsprozessen ermöglicht weitere Effizienzgewinne. Als Vorbild operiert der Landkreis Konstanz, der durch die enge Zusammenarbeit unterschiedlicher Fachabteilungen ein dichtes Kontrollnetz in der Praxis etabliert hat. So nehmen bspw. Mitarbeiter des Gewerbeamtes bei einer Vor-Ort-Begehung von Baustellen zusätzlich Prüfaufgaben der Abfallbehörden wahr – und umgekehrt. Wichtig ist, dass Kontrollen vereinheitlicht und das Personal entsprechend geschult wird. Die obersten Abfallbehörden der Länder müssen in Abstimmung mit den oberen und unteren Landesbehörden Vorgaben erarbeiten, die den Mitarbeitern in Form von Checklisten oder Handlungsleitfäden zur Verfügung gestellt werden. Im Rahmen der 2021 und 2022 stattfindenden Schwerpunktaktion in Baden-Württemberg, bei der knapp 1.000 Baustellen auf die Einhaltung der Gewerbeabfallverordnung überprüft wurden⁶⁶, wurde diese Strategie umgesetzt. Die Mitarbeitenden der unteren Abfallbehörden wurden vor Beginn der Vollzugstätigkeiten in einem internen Seminar mit einer vorab erarbeiteten Checkliste vertraut gemacht. So wurden die Anforderungen kommuniziert und ein einheitliches Vorgehen sichergestellt⁶⁷.

8.1.4 Umsetzung von flankierenden Maßnahmen – Wer ist wie in der Pflicht?

Um Bauabfälle im Baustoffkreislauf zu halten, ist die Zusammenarbeit aller am Bau und der Entsorgung beteiligten Akteure zwingend erforderlich. Tabelle 8-1 benennt die unterschiedlichen Akteursgruppen und ordnet die Lösungsansätze zu, die in deren jeweiligem Zuständigkeitsbereich umgesetzt werden müssen. Die Tabelle ist dem Abschlussbericht des Forschungsvorhabens „Kartierung des anthropogenen Lagers III“ im Auftrag des Umweltbundesamtes entnommen, das vom ifeu für den Teilbereich „Bauabfälle“ erarbeitet worden ist⁶⁸.

Tabelle 8-1: Zentrale Lösungsansätze entlang der Akteurskette zur Optimierung des Verwertungsprozesses von Bau- und Abbruchabfällen

Akteursgruppe	Lösungsansätze
Bau- und Abbruchunternehmen	
Einhaltung der Pflichten der Gewerbeabfallverordnung	<ul style="list-style-type: none"> • getrennte Erfassung der Bauabfälle in sortenreinen Fraktionen und vorrangige Zuführung zur Wiederverwendung oder einem Recyclingverfahren • Erfassung von Bauabfällen im Gemisch nur in begründeten Ausnahmefällen • Vernetzung mit Bauschuttrecyclern, um ein gemeinsames Verständnis für recyclingfähige Bauabfälle zu entwickeln
Erweiterung der Ausbildung: Kreislaufwirtschaft Bau	<ul style="list-style-type: none"> • Baustoffkunde, Baustoffrecycling und abfallrechtliche Grundlagen umfassend in die Ausbildung integrieren
Bauschuttzubereiter	

⁶⁶https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/875380/9_2021-01-27_InternetKolloquium21_Laux_GewAbfV+auf+Baustellen+Laux.pdf/31ae46d4-93fb-4e7b-8cce-bda4c9586168?version=1.0&download=true

⁶⁷ (Stolzenberg-Hepp 2021)

⁶⁸ (Dr. Buchert et al. 2022, S. 89 ff.)

Produktion güteüberwachter RC-Baustoffe für den Tiefbau	<ul style="list-style-type: none"> • Herstellung von gütegesicherten RC-Baustoffen nach den Regelwerken des Straßen- und Erdbaus mit entsprechender Vermarktung
Produktion von RC-Baustoffen für den Hochbau	<ul style="list-style-type: none"> • Vernetzung mit Baustoffproduzenten, um ein gemeinsames Verständnis der erforderlichen Qualitäten für RC-Rohstoffe zu entwickeln
Optimierung der Aufbereitungs-technik	<ul style="list-style-type: none"> • Investition in Aufbereitungstechnik, angepasst an ambitioniertes Aufbereitungsziel
Stoffstrommanagement	<ul style="list-style-type: none"> • getrennte Annahme, Lagerung und Behandlung von Stoffströmen unterschiedlicher Qualität

Baustoffproduzenten

Entwicklung ressourcenschonender Rezepturen	<ul style="list-style-type: none"> • Forschung und Entwicklung zum Einsatz von RC-Rohstoffen, auch in Zusammenarbeit mit Bauschutt-aufbereitern
Kennzeichnung ressourcenschonender Baustoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Labeling als ressourcenschonender Baustoff, um Kunden zu informieren und einen Produktvergleich zu ermöglichen
Steigerung der Rohstoffeffizienz	<ul style="list-style-type: none"> • Optimierung der Produktionstechnik zur Vermeidung von Verschnittresten, insbesondere beim Endkunden

Architekten und Planer

Recyclinggerechte Bauweisen fördern	<ul style="list-style-type: none"> • modulare Bauweisen und recyclinggerechte Konstruktionen konsequent umsetzen • Sensibilisierung der Auftraggeber zum Thema „Jedes Bauwerk wird einmal zum Abfall“ • Einsatz des Building Information Modeling (BIM)
Fort- und Weiterbildungen: Kreislaufwirtschaft Bau	<ul style="list-style-type: none"> • Ergänzung der bereits verpflichtend zu absolvierenden Fort- und Weiterbildungen um Angebote zu ressourcenschonenden Baustoffen und Bauweisen, initiiert von Architekten- und Ingenieurkammern in Zusammenarbeit mit Baustoffproduzenten und Berufsverbänden
Erweiterung der Ausbildung: Kreislaufwirtschaft Bau	<ul style="list-style-type: none"> • Recyclinggerechte Konstruktionen, Baustoffkunde, und abfallrechtliche Grundlagen in die Curricula aufnehmen

Bauherren/Auftraggeber von Bauleistungen

Rückbau- und Entsorgungskonzept	<ul style="list-style-type: none"> • Erstellung eines Schadstoffgutachtens und eines Rückbaukonzeptes, das als Bestandteil der Ausschreibung zwingend umzusetzen ist
öffentliche Ausschreibungs- und Vergabeverfahren um Umweltaspekte ergänzen	<ul style="list-style-type: none"> • Vorgabe von Umwelanforderungen, die bei der Ausschreibung zwingend gefordert werden müssen • Gewichtung von ökologischen und ökonomischen Aspekten eines Angebots – Vergabe nicht ausschließlich über den Preis • Einsatz von Baustoffen aus ausschließlich primären Rohstoffquellen muss begründungspflichtig werden • Beauftragung erfolgt ausschließlich an nachweislich fachkundige (zertifizierte) Unternehmen • Wahrnehmung der Vorbildfunktion der öffentlichen Hand

Einhaltung der Pflichten der Gewerbeabfallverordnung	<ul style="list-style-type: none"> • Erstellung der Dokumentation zum Aufkommen und Verbleib der Bau- und Abbruchabfälle
--	---

Recyclinggerechte Bauweisen fördern	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz des Building Information Modeling (BIM)
-------------------------------------	---

Politik und Vollzugsbehörden

Produktstatus für RC-Baustoffe	<ul style="list-style-type: none"> • praxisnahe Regelungen, um aufbereitete und qualitätsgesicherte RC- Rohstoffe aus dem Abfallrecht zu entlassen • Vereinheitlichung der Bewertung der Umweltverträglichkeit von klassischen und RC- Rohstoffen
--------------------------------	---

Vollzug der Gewerbeabfallverordnung	<ul style="list-style-type: none"> • einheitlicher Vollzug der GewAbfV sowohl während der Bauphase vor Ort als auch bei der Prüfung der Einhaltung der Getrennthaltungs- und Dokumentationspflichten nach Abschluss des Bauvorhabens • Entwicklung von Handlungshilfen und Leitfäden zur Schulung des Vollzugspersonals • Praxisgerechte und vollzugstaugliche Definition von „technisch nicht möglich“ und „wirtschaftlich nicht zumutbar“ • Aufstockung des Verwaltungspersonals und ggf. Zusammenlegung von Zuständigkeiten im Vollzug, um Personalkapazitäten zu bündeln
-------------------------------------	--

Verpflichtung zum „Selektiven Rückbau“	<ul style="list-style-type: none"> • Definition des Begriffes „Selektiver Rückbau“ und verpflichtende Einführung über die Landesbauordnungen
--	---

Erweiterung der Kriterien für die Baustoffzulassung	<ul style="list-style-type: none"> • Zulassung von Baustoffen nur bei nachgewiesener Recyclingfähigkeit sowie Stärkung der Produktverantwortung des Herstellers
---	--

Vorbildfunktion wahrnehmen und Öffentlichkeitsarbeit ausbauen	<ul style="list-style-type: none"> • Förderprogramme und Leuchtturmprojekte zur Einführung von Baustoffen mit RC-Anteil sowie Öffentlichkeitsarbeit zur Steigerung der Akzeptanz • Einführung der Pflicht zur Zertifizierung von öffentlichen Gebäuden auch auf Landesebene (Vorbild BNB)
---	---

Forschung/ Entwicklung/Wissenschaft

Beantwortung von offenen Forschungsfragen	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung ressourcenschonender Baustoffrezepturen • Entwicklung rückbaufähiger und recyclinggerechter Konstruktionen • fortschreibende Bereitstellung von ökologischen Bewertungen zukünftiger und aktueller Recyclingoptionen
---	--

Literaturverzeichnis

- Bischof, S. (2010): Ökobilanzen rezyklierter Gesteinskörnung für Beton - Ein Forschungsbericht der Holcim (Schweiz) AG. Holcim (Schweiz) AG, Zürich. S. 110.
- Böing, R.; Knappe, F.; Müller, C.; Reiners, J.; Reinhardt, J.; Theis, S. (2022): Schlussberichte zum BMBF-Verbundforschungsvorhaben „R-Beton - Ressourcenschonender Beton – Werkstoff der nächsten Generation“ - Schwerpunkt 3: Ökobilanz, Praxistest und Transfer. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 641 Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin. S. 170.
- BTR RC-StB (2014): Brandenburgische Technische Richtlinien für Recycling-Baustoffe im Straßenbau (BTR RC-StB) - Ausgabe 2014.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2020): Deutschland - Rohstoffsituation 2019. Hannover. S. 150. https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2019.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (13.04.2022).
- bvse-Fachverband Mineralik - Recycling und Verwertung (2021): Österreich beschließt Deponieverbot für Beton, Asphalt und Straßenaufbruch. In: <https://www.bvse.de>. <https://www.bvse.de/gut-informiert-mineralik/nachrichten-mineralik/7081-oessterreich-beschliesst-deponieverbot-fuer-beton-asphalt-und-strassenaufbruch.html>. (23.04.2022).
- DESTATIS (2021a): 32111-0004: Abfallentsorgung: Deutschland, Jahre, Anlagenart, Abfallarten.
- DESTATIS (2021b): 32141-0001: Bauschuttzubereitungsanlagen, Asphaltmischanlagen: Deutschland, Jahre, Abfallarten. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=&levelid=&code=32141&option=table#ab-readcrumb> (17.11.2021).
- Dr. Buchert, M.; Knappe, F.; Bleher, D.; Dr. Bulach, W.; Muchow, N.; Reinhardt, J.; Meinhäuser, I. (2022): Kartierung des Anthropogenen Lagers III – Etablierung eines Stoffstrommanagements unter Integration von Verwertungsketten zur qualitativen und quantitativen Steigerung des Recyclings von Metallen und mineralischen Baustoffen. UBA Texte 47/2022, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kartierung-des-anthropogenen-lagers-iii-kartal-iii> (22.04.2022).
- Feeß, W.; Knappe, F.; Müller, A.; Susset, B. (2020): Entwicklung eines Verfahrens zur vollständigen Aufbereitung und hochwertigen Verwertung von Boden- und Bauschuttmaterial für ressourcenschonende Baustoffe. Heinrich Feeß GmbH & Co. KG; Institut für Angewandte Bauforschung Weimar; ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg; Zentrum für Angewandte Geowissenschaften (ZAG). Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Kirchheim/Teck. S. 116. https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-32046_01-Hauptbericht.pdf (26.03.2022).
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2018): Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (Ausgabe 2004/Fassung 2018). FGSV Verlag GmbH, Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2020): Technische Lieferbedingungen für Bodenmaterialien und Baustoffe für den Erdbau im Straßenbau (Ausgabe 2020). FGSV Verlag GmbH, Köln.

- Geres, R.; Lausen, J.; Weigert, S. (2021): Roadmap für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie in Deutschland. Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. (Hrsg.), München. https://www.ziegel.de/sites/default/files/2021-03/Ziegel_24_110321_Web_200dpi_1.pdf (27.08.2022).
- Hillebrandt, A.; Rosen, A.; Riegler-Floors, P. (2018): Atlas Recyclig - Gebäude als Materialresource. Detail, München.
- Industrieverband Garten (IVG) e.V. (2022): Industrieverband Garten (IVG) e.V. - Herstellung. <https://substratbuch.ivg.org/substratbuch/herstellung>. (20.01.2022).
- Knappe, F. (2019): Hochwertiges Recycling in Schleswig-Holstein und Hamburg. 3. Norddeutsches Fachsymposium Recycling-Baustoffe, Kiel 16.05.2019 Kiel. https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/A/abfallwirtschaft/Downloads/fachsymposium2019_vortrag_2.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (16.01.2022).
- Knappe, F.; Muchow, N.; Lobach, T. (2020): Analyse der Recyclingstruktur der mineralischen Bau- und Abbruchabfälle in Schleswig-Holstein. Heidelberg / Wahlstedt. S. 31. https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/A/abfallwirtschaft/Downloads/studieRC_Struktur.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (16.01.2022).
- Knappe, F.; Reinhardt, J.; Schorb, A.; Theis, S. (2017): Leitfaden zum Einsatz von R-Beton. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Daten/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Umwelt/Leitfaden_R-Beton.pdf (20.03.2022).
- Kreislaufwirtschaft Bau (2021): Mineralische Bauabfälle – Monitoring 2018. Hrsg.: Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V., Berlin. <https://kreislaufwirtschaftbau.de/Download/Bericht-12.pdf> (13.01.2022).
- Müller, A. (2016): Erschließung der Ressourceneffizienzpotenziale im Bereich der Kreislaufwirtschaft Bau. Forschungsprogramm Zukunft Bau Berlin. S. 98. https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/2NachhaltigesBauenBauqualitaet/2016/ressourceneffizienzpotenziale/Endbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (16.01.2022).
- Ressourcenkommission am Umweltbundesamt (2019): Substitutionsquote - Ein realistischer Erfolgsmaßstab für die Kreislaufwirtschaft! Dessau-Roßlau. S. 16. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/190722_uba_kommp_substitutionsquote_bf.pdf.
- Rosen, D. (2021): Re-Use und Recycling von Ziegeln: Status quo und Perspektiven. S. 74–81. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/dama.202100002> (20.01.2022).
- Roth-Kleyer, S. (2018): Recyclingziegel für Vegetationssubstrate im GaLaBau. <https://neue-landschaft.de/artikel/recyclingziegel-fuer-vegetationssubstrate-im-galabau-8192.html>. (20.01.2022).
- Schiller, G.; Lehmann, I.; Gruhler, K.; Hennersdorf, J.; Lützkendorf, T.; Mörmann, K.; Knappe, F.; Muchow, N.; Reinhardt, J. (2022): Kartierung des anthropogenen Lagers IV: Erarbeitung eines Gebäudepass- und Gebäudekatasterkonzepts zur regionalisierten Erfassung des Materialhaushaltes mit dem Ziel der Optimierung des Recyclings. *UBA Texte 05/2022*, Dessau-Roßlau. S. 443. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kartierung-des-anthropogenen-lagers-iv-erarbeitung> (01.04.2022).
- Stolzenberg-Hepp, K. (2021): Telefoninterview zur Umsetzung der Gewerbeabfallverordnung in Baden-Württemberg am 28.07.2021.
- Tretau, A.; Leydolph, B. (2019): Charakterisierung sortierter Ziegel-Recycling-Materialien anhand physikalischer und chemisch-mineralogischer Eigenschaften für die Generierung neuer Stoffströme. *Schlussbericht zu IGF-Vorhaben Nr. 18889 BG*, S. 86.
- Umweltbundesamt (2019a): Ziegel Factsheet. Erarbeitet im Projekt „Kartierung des Anthropogenen Lagers III – Etablierung eines Stoffstrommanagements unter Integration

von Verwertungsketten zur qualitativen und quantitativen Steigerung des Recyclings von Metallen und mineralischen Baustoffen“ (FKZ 3716 35 3230) <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/urban-mining/stoffstrommanagement-im-bauwesen#hemmnisse-beseitigen-> (16.01.2022).

Umweltbundesamt (2019b): Beton Factsheet. Erarbeitet im Projekt „Kartierung des Anthropogenen Lagers III – Etablierung eines Stoffstrommanagements unter Integration von Verwertungsketten zur qualitativen und quantitativen Steigerung des Recyclings von Metallen und mineralischen Baustoffen“ (FKZ 3716 35 3230) https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/dokumente/factsheet_beton_fi_barrierefrei.pdf (13.01.2022).

Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ) (2022): Ressourcen der Zukunft für Zement und Beton - Potenziale und Handlungsstrategien. Düsseldorf. https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/zementindustrie/VDZ-Studie_Ressourcenroadmap_2022.pdf (24.11.2022).

Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung - DüMV) (2012): .

Werner, M.; Dr. Zentner, A.; Prof. Dr.-Ing. habil. Dornack, C. (2022): Bau- und Abbruchabfälle Was sagen uns verfügbare statistische Daten und was bleibt verborgen? In: *MÜLL und ABFALL*. No. 02.22, S. 71–76.