



INSTITUT FÜR ENERGIE-
UND UMWELTFORSCHUNG
HEIDELBERG

Ziegel – Roadmap zur Ressourceneffizienz

Kurzbericht

Florian Knappe, Nadine Muchow, Joachim Reinhardt, Bianca Siedlecki

Heidelberg, Berlin Dezember 2024



Inhalt

1 Hintergrund	3
2 Ressourceneinsatz in der Ziegelindustrie	4
2.1 Hintermauerziegel	4
2.2 Dachziegel	6
2.3 Vormauerziegel und Klinker	7
2.4 Bewertung der Ressourceneffizienz	8
3 Entsorgungswege für Ziegelabfälle	12
3.1 Entsorgungsoptionen	13
4 Ökologische Bewertung	15
4.1 Ökologische Bewertung der Produktionsprozesse	15
4.2 Ökologische Bewertung der Entsorgungswege	19
4.3 Gesamtbetrachtung der Szenarien	20
4.4 Fazit und Empfehlungen	21
5 Ansätze zur Optimierung der Ressourcennutzung	22
5.1 Einsatz von Recyclingmaterial	22
5.2 Einsatz von Sekundärrohstoffen	23
5.3 Ressourceneinsparung	24
5.4 Weitere Empfehlungen an die Ziegelindustrie	25
Literaturverzeichnis	26
Anhang – Methodisches Vorgehen	29
Abkürzungsverzeichnis	31

1 Hintergrund

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 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.

Hierfür wurde durch das ifeu Institut die Studie „Ziegel - Roadmap zur Ressourceneffizienz“ verfasst, in der Möglichkeiten aufgezeigt werden, 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. Der Einsatz von Sekundärmaterialien in der Produktion sowie die Verwertungsoptionen werden aus ökologischer Sicht mithilfe der Indikatoren Treibhausgaspotenzial (CO₂-Äquivalente) und Ressourcenverbrauch bewertet. **Diese Kurzstudie fasst die wesentlichen Erkenntnisse der Roadmap zur Ressourceneffizienz zusammen.** Das methodische Vorgehen sowie relevante Annahmen zur Modellierung sind im Anhang zu finden.

Vorangegangen ist die Entwicklung der „Roadmap für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie in Deutschland“ durch den Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. im Jahr 2021. Das darin vorgelegte Konzept zeigt auf, 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.

¹ (Geres et al. 2021)

2 Ressourceneinsatz in der Ziegelindustrie

Als natürliche Ressourcen werden in der Ziegelindustrie Ton, Lehm, Mergel und Sand in diversen Rezepturen eingesetzt. So können in Kombination mit den Verfahrensschritten Aufbereitung, Formgebung, Trocknung, Brennverfahren die unterschiedlichsten Eigenschaften für die verschiedenen Ziegelprodukte erreicht werden.

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 substituierender Rohstoff erfüllt.

Der Einsatz von gebranntem Ziegelmaterial in einem zweiten Brennvorgang ist grundsätzlich möglich, jedoch aus verfahrenstechnischen Gründen begrenzt. 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.

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.

Für diese Studie wurden Befragungen zum Einsatz von Primär- und Sekundärrohstoffen bei den Herstellern von Dachziegeln, Vormauerziegeln und Klinker sowie Hintermauerziegeln durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den folgenden Abbildungen zusammengefasst. Die Abbildungen sind einheitlich nach folgendem Schema aufgebaut: 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 des Outputs = 100 %).

2.1 Hintermauerziegel

Für die Herstellung von Hintermauerziegeln werden neben primären Rohstoffen auch Rohstoffe aus sekundären Quellen verwendet. Ton und Lehm sind die mineralischen Hauptkomponenten. Der Brennbruch und der Schleifstaub werden in allen befragten Unternehmen und fast vollständig in die unternehmenseigene Ziegelproduktion zurückgeführt.

Je nach Produktgruppe können in unterschiedlichem Maße

- gebranntes Ziegelmaterial in die Produktion zurückgeführt werden
- Rohstoffe eingesetzt werden, die nicht aus den klassischen primären Rohstoffabbaustätten stammen

Kleinstmengen des Brennbruchs werden hochwertig extern als Dachgranulat recycelt oder in den Tongruben als Wegematerial intern verwertet.

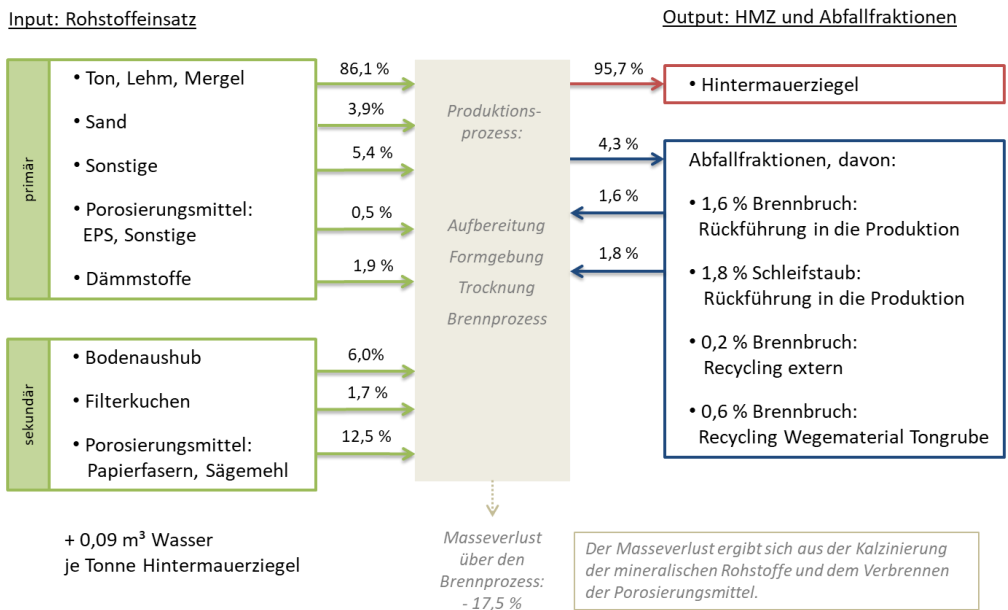


Abbildung 2-1: Stoffstrombilanz des Herstellungsprozesses von Hintermauerziegel (HMZ)

Quelle: ifeu Heidelberg gGmbH

60 % der eingesetzten sekundären Rohstoffe sind Abfallstoffe aus der Papierindustrie. Die Papierfasern werden als Porosierungsmittel genutzt. Der Einsatz der Papierabfälle ist Stand der Technik und die Nutzung ist als eine hochwertige stoffliche Verwertung einzustufen.

40 % der Sekundärrohstoffe sind mineralische Rohstoffe, die als Substitut für Ton, Lehm oder Mergel eingesetzt werden. Dies entspricht knapp 7 % des Gesamtrohstoffbedarfs.

Der Bodenaushub stammt sowohl aus Großbaustellen aber auch aus der Erschließung von Baugebieten bis hin zu Baugruben von einzelnen Gebäuden.

Kernerkenntnisse aus der Produktion von Hintermauerziegel

- 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.
- Fehlerhafte Rohlinge und überschüssige Betriebsmasse werden in den Produktionsprozess zurückgeführt.
- Brennbruch wird fast vollständig in die Produktion zurückgeführt.
- Schleifstaub wird vollständig in die Produktion zurückgeführt.
- 100 % der mineralischen Abfälle werden hochwertig stofflich verwertet.

2.2 Dachziegel

Die Stoffstrombilanz der Dachziegelproduktion zeigt, dass ausschließlich primäre Rohstoffe verwendet werden. 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.

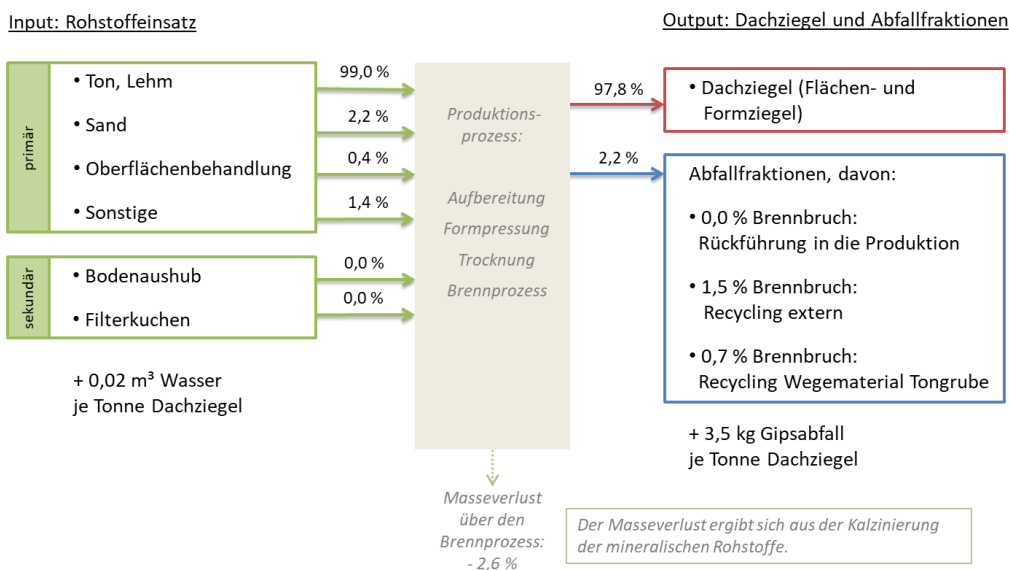


Abbildung 2-2: Stoffstrombilanz des Herstellungsprozesses von Dachziegeln

Quelle: ifeu Heidelberg gGmbH

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. Die Gipsformen erzielen durch die Saugfähigkeit des Materials zwar eine bestmöglich Konturentreue und Oberflächenbeschaffenheit, sind gleichzeitig jedoch verschleißanfällig. Daraus wird klar, dass bei der Dachziegelproduktion erhebliche Mengen (7,7 Tonnen) gipshaltige Abfälle anfallen, die extern entsorgt werden müssen.

Die Entsorgung der ca. 1.200 Tonnen gipshaltiger Abfälle, die in den befragten Produktionsanlagen anfallen, erfolgt zu 71 % in Zementwerken. Die ausgedienten Pressformen werden in Zementproduktion eingesetzt. 29 % der Gipsabfälle werden auf Deponien beseitigt.

Die Abwasseraufbereitung des Engobenwaschwassers aus der Oberflächenbehandlung führt je nach eingesetztem Aufbereitungsverfahren zu weiteren Abfällen. Aufgrund des geringen Anteils des Materialeinsatzes für die Oberflächenbehandlung am Herstellungsprozess der Dachziegel von < 1 %, ist dieser Massenstrom aus Ressourcensicht kaum relevant.

Kernerkenntnisse aus der Dachziegelproduktion

- Die Rohstoffversorgung wird ausschließlich über primäre Rohstoffe gedeckt.
- Sekundärrohstoffe werden nicht eingesetzt.
- 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, die außerhalb des Produktionsprozesses hochwertig stofflich verwertet werden.
- Insgesamt werden 96 % der entstehenden mineralischen Abfälle 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.

2.3 Vormauerziegel und Klinker

Für die Produktion von Vormauerziegel und Klinker werden ausschließlich primäre Rohstoffe verwendet. 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. Für die Herstellung von Vormauerziegeln und Klinker wird auf Ton als mineralische Hauptkomponente zurückgegriffen.

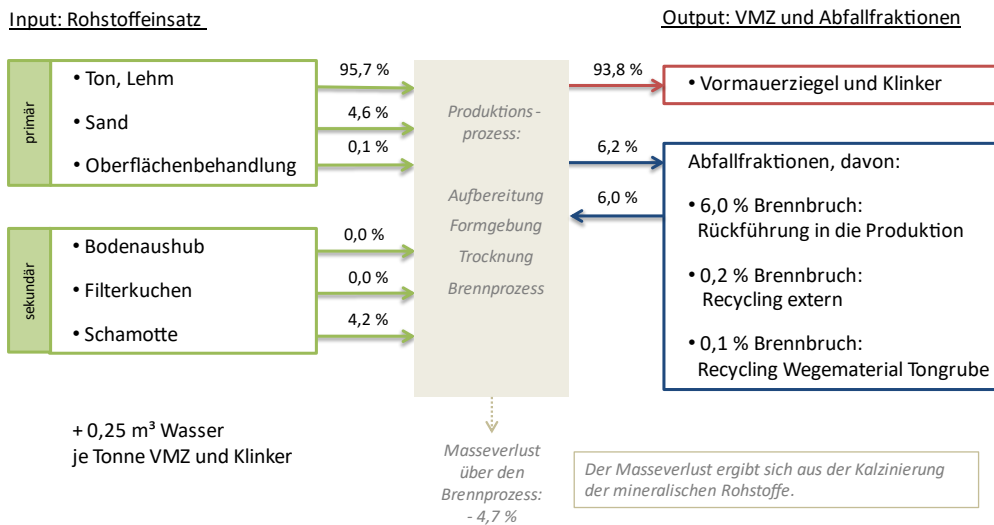


Abbildung 2-3: Stoffstrombilanz des Herstellungsprozesses von Vormauerziegel (VMZ) und Klinker

Quelle: ifeu Heidelberg gGmbH

Kernerkenntnisse aus der Vormauerziegel- und Klinkerproduktion

- Die Rohstoffversorgung wird zu 96 % über primäre Rohstoffe gedeckt.
- Sekundärrohstoffe werden nur in bereits gebrannter Form über Schamotte eingesetzt.
- Fehlerhafte Rohlinge und überschüssige Betriebsmasse werden in den Produktionsprozess zurückgeführt.
- Brennbruch wird fast vollständig in die Produktion zurückgeführt.
- 100 % der mineralischen Abfälle werden hochwertig stofflich verwertet.
- Es fallen keine mineralischen Abfälle zur Beseitigung an.

2.4 Bewertung der Ressourceneffizienz

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. Auch durch die Befüllung der Ziegel mit Dämmstoffen entstehen keine Abfälle.

Im Folgenden werden die produktspezifischen Hemmnisse und Rahmenbedingungen bezüglich der Rohstoffversorgung für die Hintermauer-, Dach- und Vormauerziegel näher beschrieben und die Produktionsprozesse bewertet.

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.

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. Die gestiegenen Anforderungen stehen jedoch 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 CO₂ 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.

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 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. Zum Teil werden Materialproben genommen, die im werkseigenen Labor untersucht werden. Auch die Anlieferung von größeren Mengen Probematerial 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. 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.

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.

Als Porosierungsmittel werden Papierfasern aus der Papierindustrie als Abfallstoffe bezogen. Neben den Papierfasern werden insbesondere auch Sägespäne als Porosierungsmittel eingesetzt. Sägespäne werden nicht als Abfallstoff, sondern als Produkt bezogen. 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.

Dachziegel

Die Rezepturen der modernen Dachziegel sind komplex, um die hohen technischen Anforderungen des Endprodukts erfüllen zu können. 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, Begehbarkeit 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.

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.

Vormauerziegel / Klinker

In der Klinker- und Vormauerziegelproduktion werden Sekundärrohstoffe als Substitut für Ton nicht eingesetzt. Als Magerungsmittel werden Schamotte eingesetzt. Auch 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 Schamotte, 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.

Am wenigsten fehleranfällig 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.

3 Entsorgungswege für Ziegelabfälle

Im Jahr 2019 wurden rund 5,0 Mio. t getrennt erfasste Ziegelabfälle (AVV 170102) Abfallbehandlungsanlagen zugeführt (Abbildung 3-1). 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.

Gemäß § 8 Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) sind Erzeuger und Besitzer von Bauabfällen verpflichtet, bestimmte Bauabfälle getrennt zu erfassen und vorrangig einer Wiederverwendung oder einem Recyclingverfahren zuzuführen. Die Umsetzung in der Praxis ist jedoch nicht ausreichend.

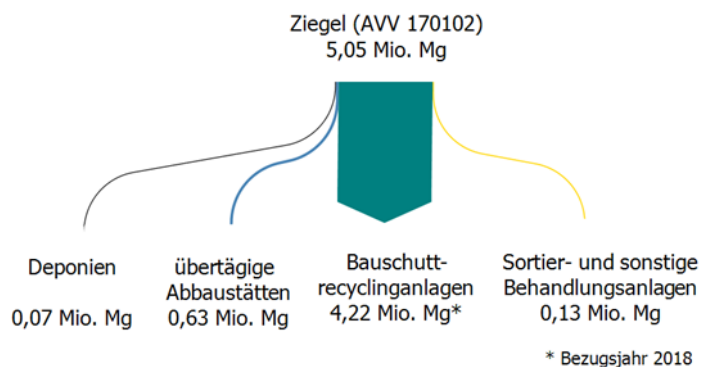


Abbildung 3-1: Aufkommen und Entsorgung von Mauer- und Dachziegeln in Deutschland im Jahr 2019

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.

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, daher werden rückgebauten Mauerziegel mit Anhaftungen in relevanten Mengen auch als gemischter Bauschutt (AVV 170107) erfasst². 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.

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. Derzeit fallen nur Kleinmengen aus Überschüssen an. Relevante Mengen werden erst in einigen Jahrzehnten zur Entsorgung anfallen³.

² (Umweltbundesamt 2019a, S. 6)

³ (Rosen 2021, S. 3)

3.1 Entsorgungsoptionen

Die Rückführung von gebrannten Ziegelprodukten in die ursprüngliche Produktion ist aus technischen Gründen nur eingeschränkt möglich (vgl. Kapitel 2). Daher müssen weitere hochwertige Verwertungswege für Ziegelabfälle aus dem Abbruch und dem Rückbau erschlossen werden.

Verwertung als Gesteinskörnung für die Betonherstellung

Die Rückführung von Mauerziegeln als Baustoff für den Hochbau ist im R-Beton oder als Klinkersubstitut in der Zementherstellung möglich. Gemäß DIN 4226-101 können Ziegel bis zu einem Anteil von 10 % bis 30 % in Gesteinskörnungen für Beton verwendet werden. Allerdings ist die Markteinführung bisher begrenzt und die maximalen Ziegelanteile werden nicht ausgeschöpft⁴. Forschungsvorhaben zeigen, dass Brechsande aus Mauerwerks- bzw. Ziegelbruch als Klinkersubstitut in der Zementindustrie geeignet sind. Weitere Forschungsarbeiten dazu sind allerdings notwendig.⁵

Verwertung als Kultursubstrat

Ziegel aus dem Rückbau von Gebäuden sind ein begehrter Rohstoff für die Herstellung von Vegetations- und Dachbegrünungssubstraten⁶, sofern sie sortenrein und ohne Anhaftungen sind⁷. Die Verwertung als Kultursubstrat stellt eine hochwertige stoffliche Verwertung dar. Die Nachfrage nach diesen Ziegeln übersteigt das Angebot, was auf die gute Recyclingfähigkeit und die spezifische Farbgebung zurückzuführen ist.

Recycling als gebundenes Ziegelgranulat für Mauerwerkselemente

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Kaltziegel“ hat ein Ziegelhersteller einen Mauerstein aus recycelten Ziegelresten und mineralischen Bindemitteln entwickelt, der durch Pressen und Lufttrocknung geformt wird. Sortenrein erfasste und mit Dämmstoff gefüllte Hintermauerziegel dienen als Sekundärrohstoff, wobei Ziegel- und Dämmmaterial durch eine spezielle Brech- und Sortiertechnik getrennt werden. Das grobe Ziegelgranulat geht in die Substratindustrie, der Feinanteil in die Kaltziegelproduktion und die Dämmstofffüllung wird recycelt oder in der Produktion wiederverwendet.

Verwertung als Technische Gesteinskörnung im Wegebau

Mauerwerksziegel werden klassisch in Bauschuttrecyclinganlagen zu Recyclingbaustoffen aufbereitet, die im Erd- und Tiefbau verwertet werden, wobei Verwertungswege und Ziegelanteile je nach Qualität in den Recyclingbaustoffen variiert. Im Straßenbau können bis zu 30 % Ziegel verwendet werden⁸, doch in der Praxis beschränkt sich der Ziegelanteil im Straßenbau derzeit auf unter 10 %⁹. Mit der am 01. August 2023 in Kraft tretenden Ersatzbaustoffverordnung können sortenrein erfasstes und aufbereitetes Ziegelmaterial als Ersatzbaustoff auch in Deckschichten ohne Bindemittel und ohne Güteüberwachung eingesetzt.

⁴ (Umweltbundesamt 2019a, S. 8)

⁵ (Böing et al. 2022)

⁶ (Roth-Kleyer 2018)

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

⁸ (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 2018)

⁹ (Müller 2016, S. 55)

Sowohl sortenrein erfasste Ziegelabfälle als auch Bauschuttgemische, die relevante Anteile an Ziegel enthalten, werden als Hauptentsorgungsweg Bauschuttrecyclinganlagen zugeführt. Die Zuführung zu Aufbereitungsanlagen ist zwingend erforderlich um mineralische Bauabfälle als Recyclingbaustoff einer hochwertigen Verwertung zuzuführen.

Sonstige Verwertung als Ersatzbaustoff und Beseitigung auf der Deponie

Als Deponieersatzbaustoff werden Abfälle oder daraus hergestellte Materialien bezeichnet, die für die Profilierung stillgelegter Deponien genutzt werden, wobei sie aus dem Wirtschaftskreislauf ausgeschleust und als Recyclingbaustoff verloren gehen, ohne Primärrohstoffe zu substituieren.

4 Ökologische Bewertung

In diesem Kapitel wird die Produktion und Entsorgung von Dachziegel, Vormauerziegel und Hintermauerziegel hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen analysiert und in den Wirkungskategorien Treibhauseffekt, kumulierter Energieaufwand und mineralischer kumulierter Ressourcenaufwand dargestellt. Die Ergebnisse beziehen sich dabei auf die jährlich produzierte und zu entsorgende Menge der jeweiligen Ziegel.

Für die ökologische Bewertung werden die drei Szenarien Status-Quo, Technik und Ressourceneffizienz angesetzt und entwickelt. Als Stellschrauben werden:

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

anhand unterschiedlicher Parameter modelliert.

Die Annahmen zu den Szenarien sind im Anhang dargestellt.

Für den Produktionsprozess lassen sich daraus die mit dem Einsatz der jeweiligen Sekundärmaterialien verbundenen Gutschriften (eingesparte Lasten der substituierten Primärmaterialien) sowie die Lasten der Sekundärmaterialien selbst ablesen. Für die Entsorgung lassen sich die Lasten und die mit den verschiedenen Entsorgungswegen verbundenen Entlastungen durch die Substitution entnehmen.

Die Ergebnisse werden als sektorale Balkendiagramme dargestellt. Lasten sind positiv nach rechts, Entlastungen negativ nach links abgetragen. In grün sind die Nettoergebnisse der einzelnen Szenarien dargestellt.

4.1 Ökologische Bewertung der Produktionsprozesse

In Abbildung 4-1 sind die Ergebnisse für den **Treibhauseffekt** für die Produktionsprozesse in Abhängigkeit der Szenarien bezgl. des Einsatzes von Sekundärmaterial dargestellt.

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 gegenüber dem Status Quo deutlich gesteigert werden.

Bei Dachziegeln und Vormauerziegeln ist der Einsatz von Recyclingmaterial und Sekundärrohstoffen aus technischen Gründen stärker begrenzt als in der Produktion von Hintermauerziegeln. Daher werden nur im Szenario Ressourceneffizienz bei den Vormauerziegeln netto geringe THG-Emissionen eingespart.

Treibhauseffekt: beschreibt die Umweltwirkungen der anthropogenen Erwärmung der Erde auf Basis des Treibhausgas-effekts. Dabei werden die Treibhausgase und ihr globales Erwärmungspotential betrachtet.

Kumulierter Energieaufwand: bewertet die Ressource Energie über den gesamten Lebensweg des Produktes. Er setzt sich aus der Summe aller Primärenergieaufwände zusammen.

Mineralischer kumulierter Ressourcenaufwand: setzt sich aus der Summe aller mineralischer Rohstoffe, die über den Lebensweg in ein Produkt eingehen zusammen.

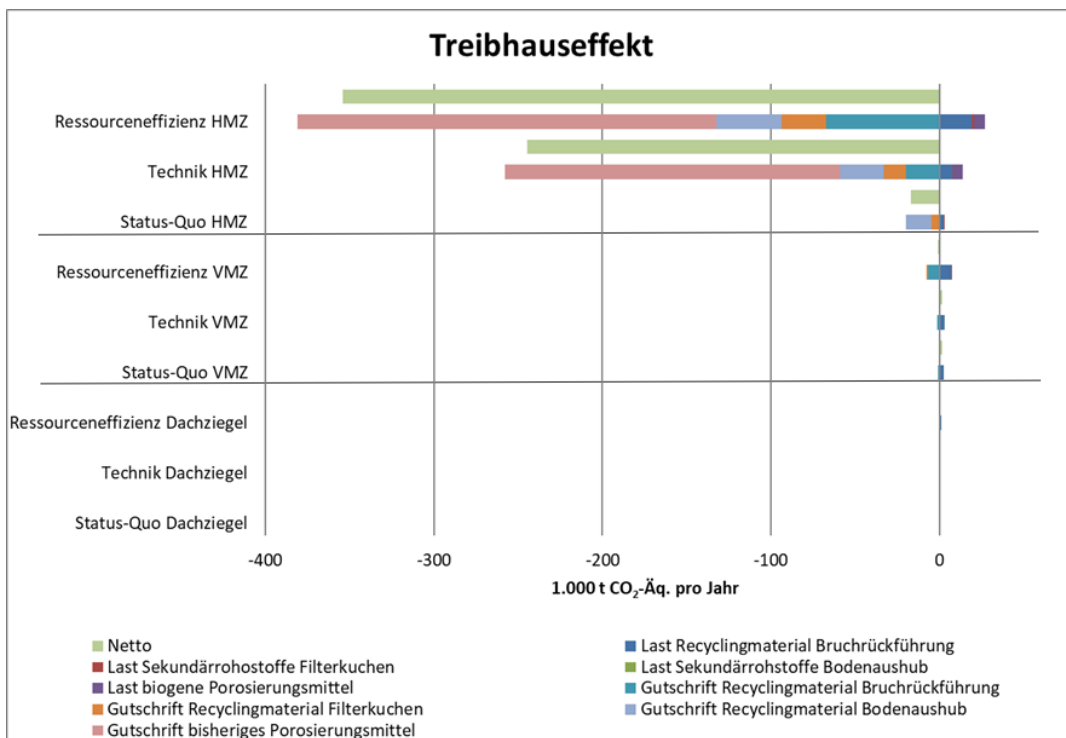


Abbildung 4-1: Auswirkungen auf den Treibhauseffekt durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen im Ziegelproduktionsprozess

Kernerkenntnisse bezgl. des Treibhauseffekts

- Bei den Dachziegeln und den Vormauerziegeln besteht ein verhältnismäßig geringes Verbesserungspotential durch die in den zwei Szenarien angenommenen Veränderungen.
 - Teilweise entstehen sogar zusätzliche Treibhausgas (THG) Emissionen, z.B. im Szenario Technik für VMZ ca. 1.300 t CO₂-Äq. pro Jahr.
 - Auch im Szenario Ressourceneffizienz VMZ werden lediglich ca. 1.000 t CO₂-Äq. pro Jahr vermieden.
 - Die Steigerung der Bruchrückführung ergibt keine positiven Effekte, da dieser gemahlen werden muss und somit ein höherer Strombedarf entsteht.
- Bei Hintermauerziegeln besteht ein großes Potential zur Vermeidung von THG-Emissionen in den Szenarien.
 - Bereits im Status-Quo werden durch die Nutzung von Bodenaushub und Filterkuchen netto Emissionen vermieden.
 - In den beiden Szenarien sind die Einsparpotentiale sehr groß (Technik: ca. 240.000 t CO₂-Äq. pro Jahr; Ressourceneffizienz: ca. 350.000 t CO₂-Äq. pro Jahr).
 - Die Einsparungen sind hauptsächlich auf den Ersatz des Porosierungsmittel zurückzuführen. Aber auch die Erhöhung des Einsatzes an Bodenaushub, Filterkuchen und Bruchrückführung führt zu höheren negativen THG-Emissionen.

Im **kumulierten Energieaufwand (KEA)** zeigt sich nur teilweise ein ähnliches Bild (Abbildung 4-2). Die eingesparten CO₂-Rohstoffemissionen spielen hierin keine Rolle.

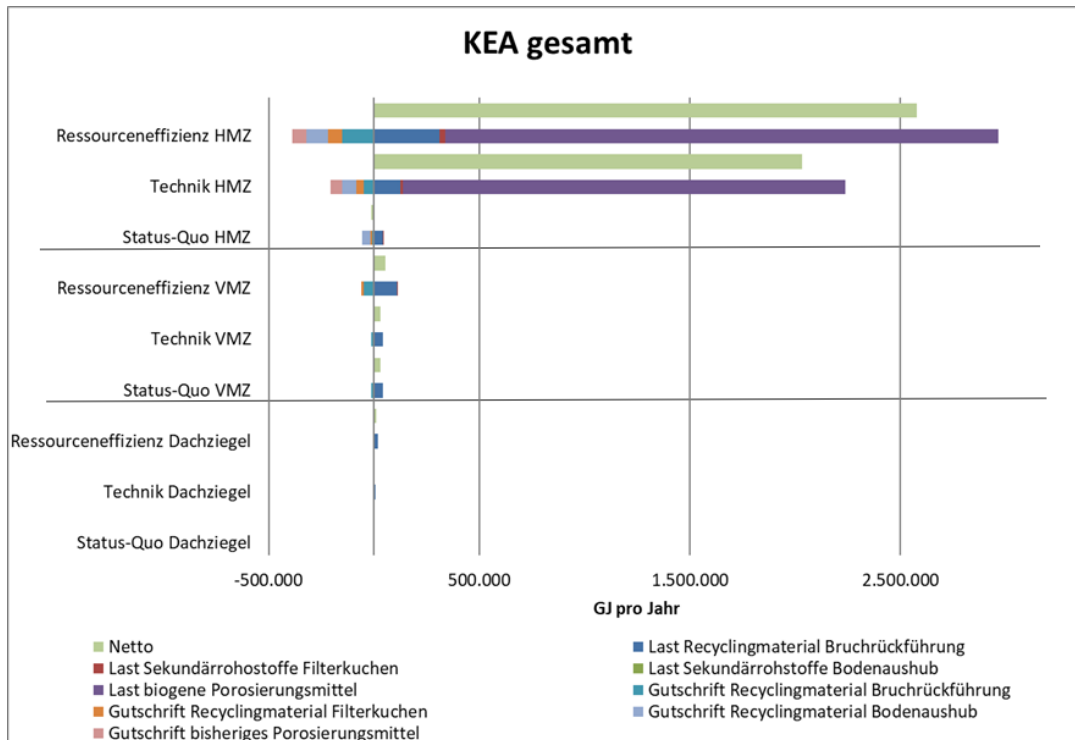


Abbildung 4-2: Gesamter kumulierter Energieaufwand für den Einsatz von Recyclingmaterial und Sekundärrohstoffen im Ziegelproduktionsprozess

Kernerkenntnisse bezgl. des kumulierten Energieaufwands

- Bei den Dachziegeln und den Vormauerziegeln entstehen durch die in den beiden Szenarien angenommenen Veränderungen kaum Änderungen bezüglich des kumulierten Energieaufwands.
 - Die Veränderungen sind zudem negativ, d.h. es entsteht ein zusätzlicher Energieaufwand
- Bei den Hintermauerziegeln ist deutlich zu erkennen, dass die angenommenen Veränderungen große negative Auswirkungen auf das Ergebnis haben.
 - Insbesondere die biogenen Porosierungsmittel bedingen einen zusätzlichen kumulierten Energieaufwand. Die angenommenen Sägespäne besitzen einen Heizwert, der im kumulierten Energieaufwand angelastet wird, da Sägespäne als Sekundärprodukt bei der Holzverarbeitung primären Holzes anfallen.
- Die Bruchrückführung hat keine positiven Auswirkungen auf den kumulierten Energieaufwand. Der zusätzliche Energieaufwand der für das Mahlen des Bruches nötig ist, ist größer als die Einsparungen die durch den Ersatz von Ton erreicht werden können.

Der Vorteil biogener Porosierungsmittel im Treibhauseffekt wird folglich mit Nachteilen im kumulierten Energieaufwand erkauft, solange diese aus der Verarbeitung primärer biogener

Materialien kommen. Solange durch die Porosierungsmittel deutliche Lasten im kumulierten Energieaufwand entstehen, passen sie nur bedingt zu einem Szenario, das möglichst wenig Ressourcen verbrauchen soll.

Die Ergebnisse des **mineralischen kumulierten Rohstoffaufwands (KRA)** sind durchweg positiv einzuschätzen (Abbildung 4-3).

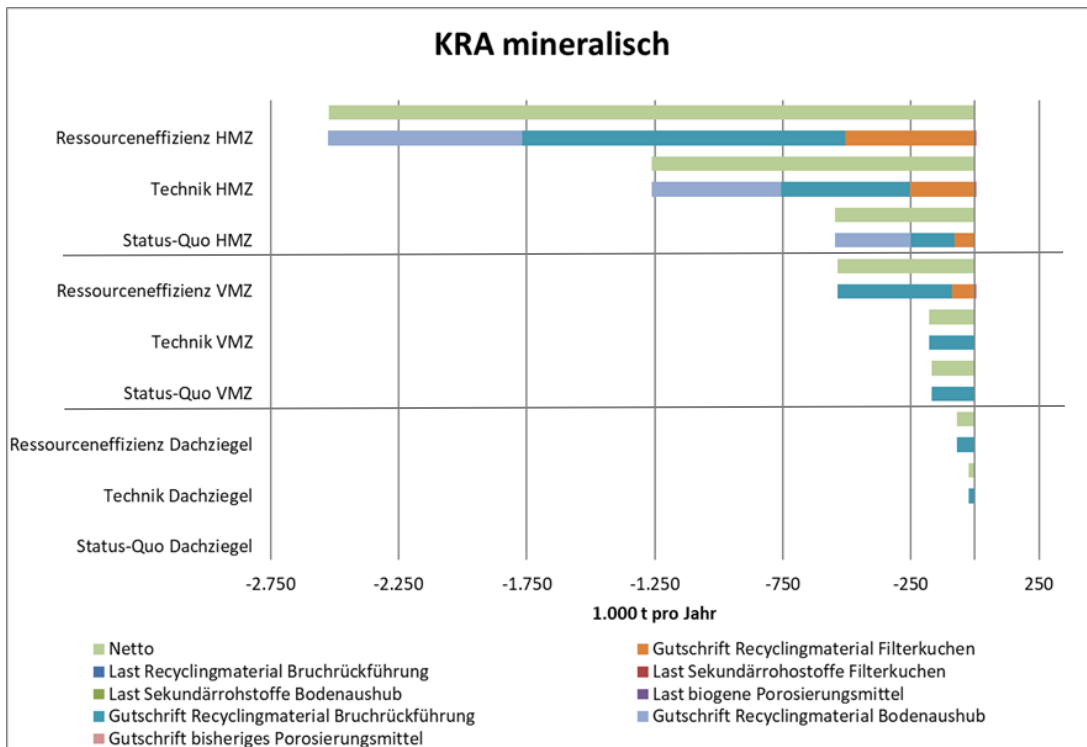


Abbildung 4-3: Mineralischer kumulierter Rohstoffaufwand für den Einsatz von Recyclingmaterial und Sekundärrohstoffen im Ziegelproduktionsprozess

Kernerkenntnisse bezgl. des kumulierten Rohstoffaufwands

- Durch die Nutzung von Bruchrückführung und Sekundärrohstoffen (Bodenaushub und Filterkuchen) entstehen keine zusätzlichen Rohstoffaufwände, da diese Materialien sonst ungenutzt wären und entsorgt werden würden.
- Für alle Ziegel entstehen in den beiden Szenarien positive Auswirkungen auf den kumulierten Rohstoffaufwand.
 - Der vermiedene Aufwand im Szenario Ressourceneffizienz ist bei den Dachziegeln mit ca. -70.000 t pro Jahr und bei den Vormauerziegeln mit ca. - 540.000 t pro Jahr noch verhältnismäßig gering.
 - Bei den Hintermauerziegeln besteht im Vergleich das größte Potential für einen vermiedenen Rohstoffaufwand (Szenario Technik: ca. - 1.250.000 t pro Jahr; Szenario Ressourceneffizienz: ca. - 2.500.000 t pro Jahr)
- Die vermiedenen Aufwände sind hauptsächlich auf den Einsatz von Bruchmaterial zurückzuführen. Aber auch der Einsatz von Bodenaushub und Filterkuchen haben zum Teil große positive Auswirkungen.

4.2 Ökologische Bewertung der Entsorgungswege

Durch die Entsorgungswege lassen sich Entlastungseffekte im **Treibhauseffekt** erzielen (Abbildung 4-4). Bezug ist die derzeit jährlich entsorgte Menge an Dach- und Mauerziegeln (Vor- und Hintermauerziegel).

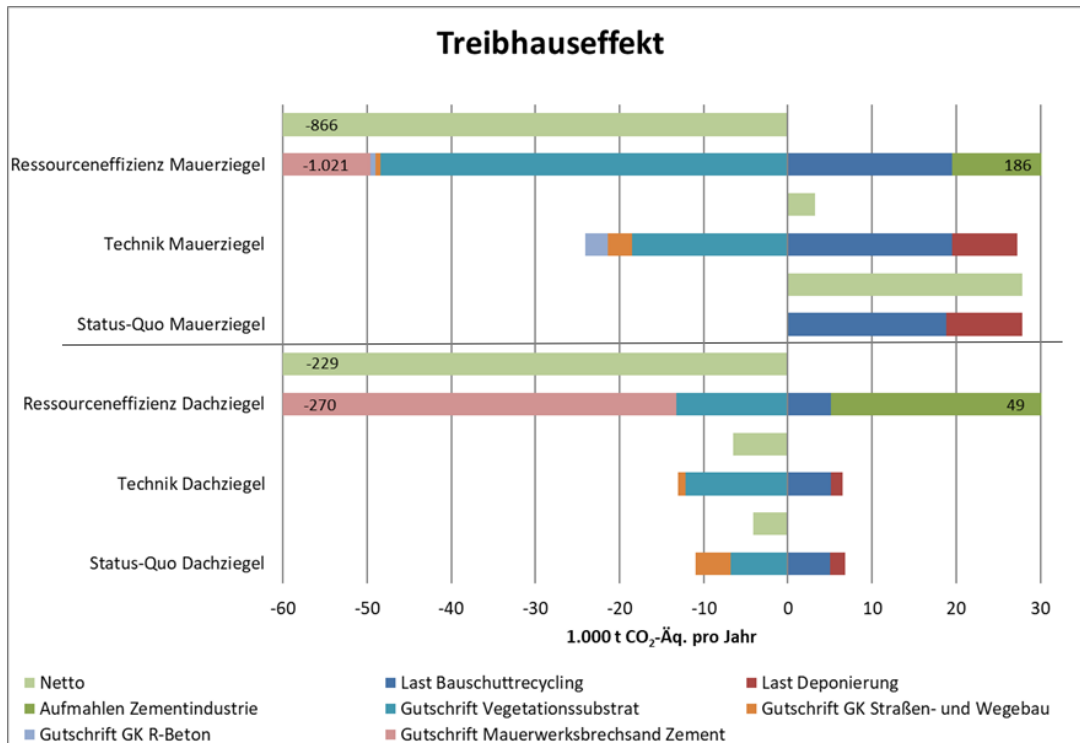


Abbildung 4-4: Treibhauseffekt für die Entsorgung des Ziegelabfalls; Hinweis: zur besseren Lesbarkeit sind die Balken in der Abbildung abgeschnitten, dafür sind bei diesen Balken die Ergebnisse in Zahlen dokumentiert

Kernerkenntnisse bzgl. des Treibhauseffekts

- Bei den Dachziegeln ist die Entsorgung bereits im Status-Quo mit negativen THG-Emissionen verbunden. Dies ist auf die Verwendung der abgebrochenen Materialien als Vegetationssubstrat und im Straßen- und Wegebau zurückzuführen. Durch die Erhöhung des verwerteten Anteils (Szenario Technik) in Richtung Vegetationssubstrat werden die Entlastungen noch größer.
- Bei den Mauerziegeln ist der Status-Quo mit hohen Treibhausgasemissionen verbunden. Dies lässt sich durch die Lasten des Bauschuttrecyclings und der anschließenden Deponierung erklären. Durch die Nutzung des aufbereiteten Abbruchmaterials als Vegetationssubstrat (Szenario Technik) verringern sich die netto Treibhausgasemissionen zwar, sind aber weiterhin noch positiv (ca. 3.000 t CO₂-Äq. pro Jahr).
- Im Szenario Ressourceneffizienz wird die Nutzung von Mauerwerksbrechsand in der Zementindustrie als Substitut für Zementklinker (derzeit Gegenstand der Forschung) angenommen. Durch diese Annahme entstehen hohe Einsparungen THG-Emissionen. Auch ohne die Zementklinkersubstitution ergibt sich gegenüber dem Status-Quo eine Einsparung von 50.000 t CO₂-Äq. pro Jahr.

Im **kumulierten Energieaufwand** zeigt sich ein ähnliches Bild, 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.

Im **mineralischen kumulierten Rohstoffaufwand** wiederum zeigt sich unabhängig von der Zementklinkersubstitution, dass mit dem Szenario Technik und Ressourceneffizienz deutlich mehr Ressourcen eingespart werden können. 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.

4.3 Gesamtbetrachtung der Szenarien

Wenn die Nettoergebnisse für die Produktionsprozesse und die Entsorgung über alle Ziegelprodukte für die einzelnen Szenarien zusammenaddiert werden, ergeben sich die Gesamteinsparungen dieser Szenarien für die Ziegelindustrie (Abbildung 4-5).

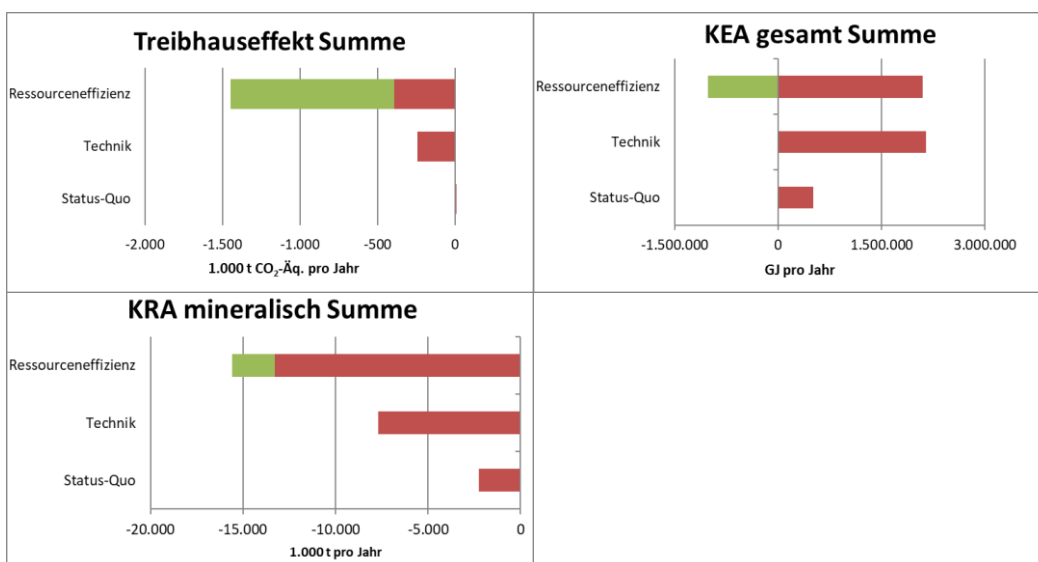


Abbildung 4-5: Summe der über die Szenarien Status-Quo, Technik und Ressourceneffizienz erzielten Einsparungen; rot: ohne Zementklinkereinsparung, grün: mit Zementklinkereinsparung

Die Abbildung zeigt, dass in den Wirkungskategorien Treibhauseffekt und KRA mineralisch in beiden Szenarien positive Effekte erzielt werden können. Je negativer der Wert, desto größer sind die Entlastungen. Ist der Einsatz von abgebrochenen Materialien in der Zementklinkerproduktion möglich, vergrößert sich der positive Effekt weiterhin. In der Wirkungskategorie KEA hingegen entstehen in den Szenarien zusätzliche Energieaufwände. Lediglich bei dem Einsatz in der Zementklinkerproduktion im Szenario Ressourceneffizienz entstehen hier ebenfalls negative Aufwände.

Ökologische Effekte durch Materialeinsparung

Ein weiterer Ansatzpunkt ist, die jährliche Einsatzmenge an Ziegelmaterial bei gleichbleibendem Volumen / Stückzahlen über die Optimierung der Produkte zu verringern. 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. 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.

4.4 Fazit und Empfehlungen

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.

Empfehlungen

- Kurzfristig lässt sich eine ressourcenoptimierte Produktion vor allem durch die Steigerung des Einsatzes von Bodenaushub und Filterkuchen in der Produktion von Hintermauerziegel umsetzen.
- Insbesondere das Vorgehen der Baugrunduntersuchung und die daraus abzuleitende selektive Entnahme einzelner Bodenschichten bzw. Bereiche sollte ausgebaut und optimiert werden.
- Die Bemühungen der Hersteller von Hintermauerziegeln, geeignete alternative biogene Porosierungsmittel zu identifizieren, sollten beibehalten und ausgeweitet werden.
- Die Ziegelindustrie sollte darauf hinwirken, dass Dachziegel und sortenreine Mauerziegelfraktionen an der Baustelle obligatorisch getrennt erfasst werden und möglichst direkt an Substrathersteller oder Bauschuttrecyclinganlagen vermarktet werden.
- Die vom Bundesverband der Ziegelindustrie e.V. gemeinsam mit der Bundesvereinigung Recycling-Baustoffe initiierte Karte „Ziegel-Recycling Netzwerk“¹⁰, die Informationen für Abfallerzeuger und Besitzer bereitstellt und Vernetzung umsetzt, sollte weitergeführt und ausgebaut werden.
- Gleichzeitig sollte die Erarbeitung des Merkblattes Ziegelrecycling vorangetrieben werden, um den Absatz von aufbereitetem Ziegelmaterial in die Produktion der Mauerziegel voranzutreiben.
- Grundsätzlich sind Forschungsvorhaben in alle Richtungen der potenziellen Ressourcenschonung und der Rückführung von Recyclingmaterialien zu unterstützen und voranzutreiben.

¹⁰ <https://www.ziegel.de/recycling#karte>

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. Der Wettbewerbsnachteil der alternativen Rohstoffe, bedingt durch gesetzliche Rahmenbedingungen aufgrund der Einstufung als Abfall sowie der fehlenden permanenten Verfügbarkeit, ist daher besonders groß.

Grundsätzlich können zwei 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.

Es bedarf dem eindeutigen Willen und Bekenntnis ressourcenorientiert zu wirtschaften und dadurch die natürlichen Rohstoffvorkommen zu schonen. Der Einsatz von Recyclingmaterialien ermöglicht einen hohen Imagegewinn, der entsprechend in der Vermarktung der Produkte genutzt werden kann.

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. Eine Rücknahme aus dem post-consumer Bereich, d.h. die Rückführung von Ziegelabfällen aus dem Rückbau oder der Sanierung von Gebäuden, findet nicht statt. 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.

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“¹¹ 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.¹²

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.

¹¹ (Tretau und Leydolph 2019)

¹² (Tretau und Leydolph 2019, S. 76)

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.

Maßnahmen zur Steigerung des Einsatzes von Recyclingmaterial

- Aufbau von Rücknahmesystemen für Übermengen der eigenen Produkte
- Aufbau von Geschäftsbeziehungen zu den ansässigen Bauschuttrecyclern
- Anpassung der Rezepturen
- Entwicklung von Marketingstrategien

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.

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.

Bei der Gewinnung von Kiesen und Sanden fallen Feinanteile an, die in unterschiedlichem Umfang in der Rohstoffaufbereitung entsorgt werden müssen. Rein rechnerisch übersteigen diese allein bei der Klassierung und Wäsche von Kiesen und Sanden anfallenden Feinanteile die Nachfrage nach grobkeramischen Tonen. Zwar müsste die Eignung für die Ziegelindustrie jeweils standortabhängig geprüft werden, die Größenordnungen des Aufkommens zeigen jedoch ein enormes Rohstoffpotential.

Schon heute werden diese Feinanteile 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.

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 anfallen¹³ 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. Diese Nutzungsoption wird auch von der Nachfrageseite her befeuert.

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. Gerade bei den Projekten von DB Netz, die für den Hochgeschwindigkeits- aber auch den schweren Güterverkehr ausgelegt werden, fallen große Überschussmassen zur Entsorgung an.

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. 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 Bayern¹⁴ zeigt.

Maßnahmen zur Steigerung des Einsatzes von Sekundärrohstoffen

- Aufbau einer unternehmensinternen Infrastruktur zur Begutachtung und Eignungsprüfung
- Aufbau von Geschäftsbeziehungen zu regionalen Erdbauunternehmen
- Aufbau von Geschäftsbeziehungen zu Rohstoffmaklern
- Umstellung der Farbgebung auf Digitaldruck bei DZ und VMZ
- Bereitstellung von Lagerflächen
- Entwicklung von Marketingstrategien

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

¹³ <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/Download/Bericht-11.pdf>

¹⁴ https://www.lfu.bayern.de/abfall/mineralische_abfaelle/faq_bodenaushub/index.htm

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 insbesondere durch die Umstellung auf Bauweisen, die Riemchen anstatt Vormauerziegel einsetzen, lassen sich erhebliche Einsparungen erzielen.¹⁵

Änderungen am Produktdesign sind jedoch mit einem erheblichen Genehmigungsaufwand verbunden. Diese Hemmnisse werden von der Ziegelindustrie als entscheidende Bremse für Produktneuerungen und Designoptimierungen genannt. Dringend erforderlich ist ein Abbau dieser Hemmnisse und die Vorgabe von klaren Anforderungen, die für die Zulassung eines Baustoffes erforderlich sind.

5.4 Weitere Empfehlungen an die Ziegelindustrie

Neben der Optimierung der Ressourcennutzung gibt es weitere Aspekte, die für die Erhöhung der Ressourceneffizienz wichtig sind.

Weitere Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz

- 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 von Nachhaltigkeitsindikatoren (z.B. Verwertungsquoten gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz) oder Gebäudezertifizierungssystemen (z.B. DGNB) 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.
- Bereits durch die Ziegelindustrie ergriffene Maßnahmen im Rahmen der Herstellerverantwortung, wie zum Beispiel die Verbesserung der Rückbaubarkeit und der sortenreinen Trennung durch Nut und Federsysteme, sind in den Gebäudezertifizierungssystemen noch nicht berücksichtigt. Die Ziegelindustrie sollte daher auf regelmäßige Aktualisierungen und eine Vereinheitlichung der Bewertungsgrundlagen hinwirken und das Gebäudealter als Bewertungsmaßstab stärker in den Fokus rücken.
- In Zusammenarbeit mit den Substratherstellern und auch der Betonindustrie sollten Marketingstrategien entwickelt werden, die den Einsatz von ziegelhaltigen Sekundärrohstoffen transparent machen und kommunizieren.

¹⁵ (Geres et al. 2021, S. 62)

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.

Anhang – 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 Begleitzirkel eingebunden, der aus Vertreterinnen und Vertretern des Bundesverbandes und der dort organisierten Unternehmen zusammengesetzt war¹⁶.

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.

Für die Erarbeitung und Datenerhebung wurden zum einen Fachaustausche und Besichtigungen von Produktionsanlagen und zum anderen eine Datenerhebung mittels Fragebogen für die Stoffstrombilanzen durchgeführt.

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.

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.

¹⁶ 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 (Girng Huber 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)

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.

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
- die Verwertungs- und Entsorgungswege der ziegelhaltigen post-consumer Abfälle
- Einsparung jährliche produzierte Menge (bspw. durch Verlängerung Lebensdauer)

anhand unterschiedlicher Parameter modelliert. Die getroffenen Annahmen werden nachfolgend zusammenfassend benannt und können in der Studie „Ziegel – Roadmap zur Ressourceneffizienz – detailliert nachgelesen werden.

Annahmen Szenario Status Quo

- Brennbruch: Sand bzw. bei hoher Recyclingquote auch Ton wird substituiert
- Substitution von Ton durch Sekundärrohstoffe bei der Produktion von Hintermauerziegeln
- keine Änderung bei dem Einsatz von Porosierungsmitteln
- zu entsorgendes Material wird einer Bauschutttaufbereitung zugeführt

Annahmen Szenario Technik

- Brennbruch: Übernahme der Sekundärrohstoffquoten des Technologiepfads 2050 aus der Roadmap Klimaneutralität
- Substitution von Ton durch Sekundärrohstoffe bei der Produktion von Hintermauerziegeln
- Filterkuchen und Bodenaushub werden nur in der Produktion von Hintermauerziegel eingesetzt und substituieren Ton
- 80 % der nicht biogenen Porosierungsmittel werden durch biogene ersetzt
- zu entsorgendes Material wird einer erweiterten Bauschutttaufbereitung zugeführt

Annahmen Szenario Ressourceneffizienz

- Brennbruch: Übernahme der Sekundärrohstoffquote des Klimaneutralitätspfad 2050 aus der Roadmap Klimaneutralität
- Filterkuchen und Bodenaushub werden in der Produktion von Hintermauerziegeln und Vormauerziegeln eingesetzt und substituieren Ton
- 100 % der nicht biogenen Porosierungsmittel werden durch biogene ersetzt
- Zu entsorgendes Material wird einer erweiterten Bauschutttaufbereitung zugeführt, wobei kein Material mehr verfüllt oder deponiert wird und gleichzeitig der Anteil Vegetationssubstrat steigt

Datenbasis für die ökologische Bewertung

Als Datenbasis für die ökologische Bewertung dienen zum einen ifeu-Daten und Daten aus der Datenbank ecoinvent 3.8. Zusätzlich werden Daten aus EPDs und Projektpartnern verwendet. Eine genaue Auflistung der Datenquellen sind in der Studie „Ziegel – Roadmap zur Ressourceneffizienz – dargestellt.

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)
THG	Treibhausgas
VMZ	Vormauerziegel
%	Masse-%