

VDI

Zentrum
Ressourceneffizienz

VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 2



Ressourceneffizienz der Tragwerke

Januar 2013

Kurzanalyse Nr. 2: Ressourceneffizienz der Tragwerke
2. Auflage März 2014

Autorin:

Dr.-Ing. Nicole Becker, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

Redaktion:

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)
Johannisstr. 5-6
10117 Berlin
Tel. +49 30 27 59 506-0
Fax +49 30 27 59 506-30
info@vdi-zre.de
www.ressource-deutschland.de

Titelbild: © Bernd S. - Fotolia.com

Kurzanalyse Nr. 2

Ressourceneffizienz
der Tragwerke

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	6
1. RESSOURCENEFFIZIENZ DES TRAGWERKS	7
Rohstoffart	7
Energiebedarf	8
CO ₂ -Emission	9
Entsorgung	10
Zusammenfassung	12
Zukünftige Effizienzpotenziale	12
2. RESSOURCENSCHONUNG DURCH BETON MIT RECYCLING- GESTEINSKÖRNRUNG	12
Mit Recyclingmaterial zur Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie	13
Aus alt mach neu: Gewinnung von Recycling-Gesteinskörnungen	13
Technische Regeln sehen RC-Gesteinskörnungen vor	14
Ökobilanz zeigt Vorteile auf	15
Vom Ausland lernen	15
Optimale Rahmenbedingungen schaffen	15
3. ANHANG	16
Herangehensweise und Rechenweg des Beispiels einer Stütze aus Holz, Stahlbeton und Stahl	16
Statisches System	16
Ökokennzahlen	16
Herstellung: Energieverbrauch und CO ₂ -Emission	19
Entsorgung: Energieverbrauch und CO ₂ -Emission	19
Fußnotenverzeichnis	21
Abbildungsverzeichnis	23

85 Prozent der in Deutschland abgebauten Rohstoffe werden für Gebäude und Infrastruktur verwendet.

EINLEITUNG

Das Bauwesen gehört zu den ressourcenintensivsten Wirtschaftszweigen weltweit. So werden alleine in Deutschland jährlich 550 Millionen Tonnen mineralischer Rohstoffe verbaut, was 85 Prozent der gesamten inländischen Entnahme entspricht¹. Auch der jährliche Einsatz an Baustahl (5,5 Millionen Tonnen) und Zement (28 Millionen Tonnen) ist erheblich², was in der Summe dazu führt, dass der deutsche Gebäudebestand inzwischen schätzungsweise 100 Milliarden Tonnen Material umfasst³. An Bau- und Abbruchabfällen fließen jährlich 192 Millionen Tonnen aus dem Baubereich ab, was 54 Prozent des deutschen Abfallaufkommens entspricht⁴. Gleichzeitig beinhaltet dieser enorme Rohstoffeinsatz große Einsparpotenziale, weshalb dem Bauwesen eine Schlüsselrolle bei der Umsetzung von Ressourceneffizienz zukommt.

Dies geht auch aus dem Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) hervor, das im Februar 2012 von der Bundesregierung verabschiedet wurde. Es zielt auf eine Steigerung der Rohstoffproduktivität ab, das heißt auf eine drastische Verringerung des abiotischen Ressourcenverbrauchs bei gleichbleibendem oder steigendem Bruttoinlandsprodukt.

Betrachtet man den Hochbau, so spielt im Zuge der Umsetzung von Ressourceneffizienzmaßnahmen die Tragkonstruktion aufgrund ihres mengen- und gewichtsmäßigen Anteils eine zentrale Rolle. Von den Fundamenten bis zum Dachstuhl ist sie dafür verantwortlich, dass ein Gebäude allen äußeren Einwirkungen wie Personen und Inventar, Schnee und Wind standhält. Die Inanspruchnahme der Ressourcen hängt dabei entscheidend von der Materialwahl ab, wie das Beispiel einer drei Meter hohen Stütze im Haupttext veranschaulicht.

Neben der Optimierung des Herstellungsprozesses bieten technologische Fortschritte wie beispielsweise der Einsatz höherfester Betone und Stähle die Möglichkeit, zukünftig den Ressourcenbedarf zu reduzieren. Ein wichtiger Aspekt ist hierbei auch die Nachnutzungsphase, das "End of Life". Gelingt es, die Tragwerksmaterialien im Kreislauf zu behalten, kann der Ressourcenverbrauch drastisch verringert werden. Nachfolgend wird daher im Detail auf die großen Einsparpotenziale eingegangen, die durch ein hochwertiges Betonrecycling, den sogenannten RC-Beton, erzielt werden können.

¹ Keßler, H., 2011: Urban Mining – Ressourcenschonungspotenziale einer hochwertigen Nutzung des anthropogenen Lagers im Gebäudebestand, Tagungsband zum 23. Kasseler Abfall- und Bioenergieforum, Hrsg. Witzenhausen-Institut, S. 1

² Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess), Mai 2012, S. 73

³ Schulze-Darup, B. (Hrsg.): Energetische Gebäudesanierung mit dem Faktor 10, Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU-Projekt AZ 19208), S. 5

⁴ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess), Mai 2012, S. 73

1. RESSOURCENEFFIZIENZ DES TRAGWERKS

Für die Erstellung der Tragkonstruktion eines Gebäudes stehen verschiedene Materialien wie Holz, Stahlbeton und Stahl zur Verfügung. Wenngleich sich nicht jedes Material für alle Bauaufgaben eignet, so kann doch bei vielen Anwendungen zwischen ihnen gewählt werden. Für die Umsetzung von Ressourceneffizienz im Bauwesen ist es daher von Interesse, welche Ressourceninanspruchnahme mit den jeweiligen Materialien verbunden ist. Um dies für einen einfachen Fall exemplarisch darzustellen, soll nachfolgend das Beispiel einer drei Meter hohen Stütze vorgestellt werden, die in den gängigen Tragwerksmaterialien Holz, Stahlbeton und Stahl ausgebildet wurde. Für das Beispiel wurde die Stütze neben ihrem Eigengewicht mit einer Last von etwa zehn Tonnen belastet.

Für die Umsetzung von Ressourceneffizienz im Bauwesen ist es von Interesse, welche Ressourceninanspruchnahme mit den jeweiligen Materialien verbunden ist.

Für die ökobilanzielle Bewertung der Materialien wurde die Baustoffdatenbank Ökobau.dat 2011 herangezogen, in der nahezu alle verfügbaren Baustoffe aufgeführt sind⁵. Zur Beurteilung der Ressourceneffizienz wurden dabei die gespeicherten Werte zum Energiebedarf und zur CO₂-Emission bei der Herstellung sowie zur Entsorgung genutzt. Als weiteres, nicht in der Ökobau.dat erfasstes Ressourceneffizienz-Kriterium wurde die Rohstoffart ergänzt, so dass nachfolgend vier Kriterien im Detail untersucht werden:

1. Rohstoffart
2. Energiebedarf (Herstellung)
3. CO₂-Emission (Herstellung)
4. Entsorgung (End of Life)

Eine detaillierte Erläuterung der Herangehensweise bzw. des Rechenwegs finden Sie im Anhang.

Rohstoffart

Holz zeichnet sich als nachwachsender Rohstoff aus, während Stahlbeton und Stahl mineralischen Ursprungs sind. Während das Ausgangsmaterial für Beton in Deutschland vorhanden ist, besteht für Stahl eine Rohstoffabhängigkeit von Einfuhren aus dem Ausland, soweit nicht in Deutschland vorhandenes Recyclingmaterial zur Verfügung steht. Bezogen auf den bundesdeutschen Durchschnitt beträgt bei Stahlprofilen der Schrotanteil 39 Prozent⁶.

⁵ Informationsportal Nachhaltiges Bauen, BMVBS: Ökobau.dat 2011, URL: <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html> [Stand: 13.11.2012]

⁶ Informationsportal Nachhaltiges Bauen, BMVBS: Ökobau.dat 2011, Datenblätter „Stahlprofil“ und „Recyclingpotential – Stahl Grobblech (warmgewalzt)“, URL: <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html> [Stand: 31.07.2012]

Energiebedarf

Beim Energiebedarf zur Baustoffherstellung ist zu unterscheiden zwischen erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergie sowie Sekundärbrennstoffen. Entscheidendstes Bewertungskriterium ist dabei die nicht erneuerbare Primärenergie, deren Bedarf für die drei Baustoffe sehr unterschiedlich ausfällt:

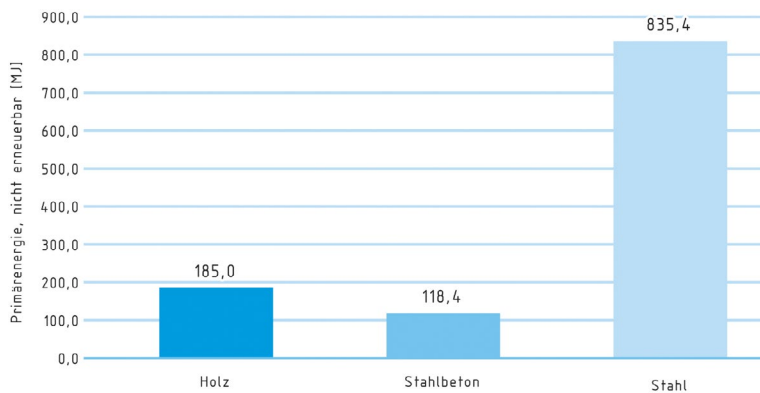


Abb. 1: Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie in MJ bei der Herstellung

Als weiteres Kriterium geringeren Gewichtes ist die Kombination aus Gesamtprimärenergiebedarf und dem Anteil erneuerbarer Primärenergie am Gesamtprimärenergiebedarf zu betrachten:

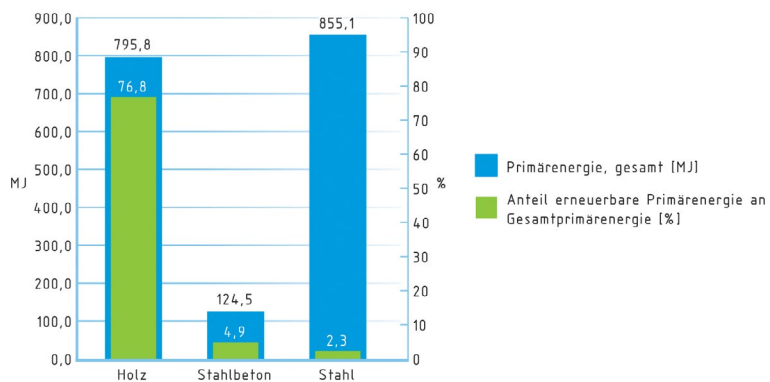


Abb. 2: Bedarf an gesamter Primärenergie in MJ und Anteil erneuerbarer Primärenergie am Gesamtprimärenergiebedarf in % bei der Herstellung

Auffallend ist hier der im Vergleich zum nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf sehr hohe Gesamtprimärenergiebedarf von Holz, der sich durch den hohen erneuerbaren Primärenergiebedarf ergibt. Dieser beinhaltet die im Holz gespeicherte solare Energie, welche während der Verwendung im Gebäude nicht zur Verfügung steht, nach dem Rückbau im Rahmen der thermischen Verwertung aber voll genutzt werden kann. Somit wird der vergleichsweise hohe Gesamtenergiebedarf durch einen entsprechend hohen Anteil der erneuerbaren Energie ausgeglichen. Bei Stahlbeton und Stahl hingegen ist der Anteil erneuerbarer Energie mit unter fünf Prozent gering.

CO₂-Emission

Die CO₂-Bilanz bei der Herstellung fällt je nach Baustoff sehr unterschiedlich aus:

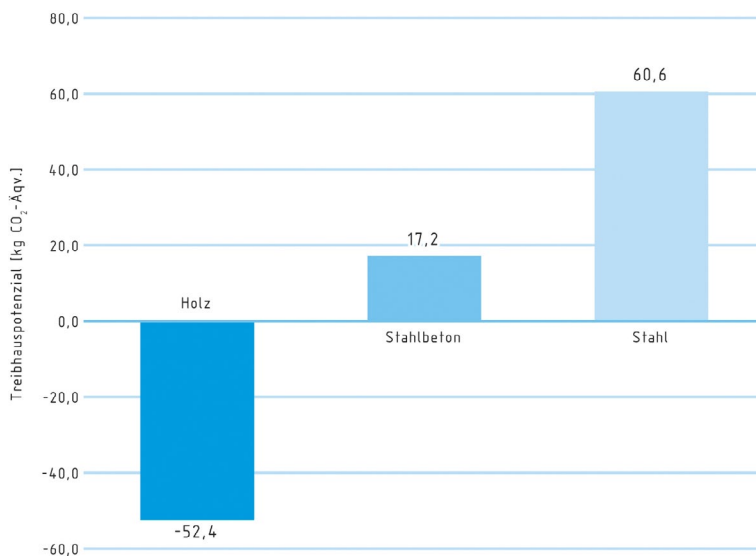


Abb. 3: Treibhausgaspotenzial in kg CO₂-Äqv. bei der Herstellung

Bei Holz ergibt sich eine negative CO₂-Emission, da während des Baumwachstums der Atmosphäre CO₂ entzogen wird, welches über die Nutzungsdauer im Holz gespeichert bleibt. In Analogie zum Verbrauch an nichterneuerbarer Primärenergie ist die CO₂-Emission für die Stahlstütze am höchsten. Wenngleich die Emissionen für den Stahlbeton vergleichsweise gering wirken, sei darauf hingewiesen, dass, weltweit gesehen, die Zementherstellung für mehr CO₂-Ausstoß verantwortlich ist als der gesamte Luftverkehr.

Die Zementherstellung ist für mehr CO₂-Ausstoß verantwortlich als der weltweite Luftverkehr.

Entsorgung

Bauholz wird nach seiner Nutzung einer stofflichen oder thermischen Verwertung zugeführt. Bei der thermischen Verwertung wird die im Holz gespeicherte Energie freigesetzt und zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt. Dies reduziert den Bedarf an fossilen Energieträgern, was durch eine Gutschrift bei der nicht erneuerbaren Primärenergie einbilanziert wird. In Folge der Verbrennung wird das im Holz gespeicherten CO_2 freigesetzt und mit dem durch die reduzierte Verbrennung von fossilen Energieträgern eingesparte CO_2 gegengerechnet.

Die thermische Verwertung wird als End-of-life-Szenario (EoL) in der Ökobau.dat 2011 betrachtet und wirkt sich wie folgt auf den Energiebedarf und die CO_2 -Emissionen am Lebenswegende (EoL) bzw. über die Gesamtbilanz aus Herstellung und Nachnutzung (Ges) aus:

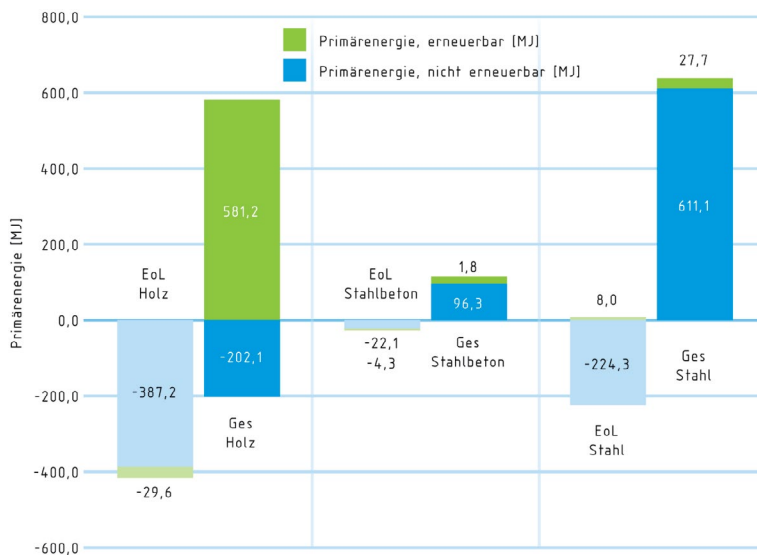


Abb. 4: Primärenergiebilanz in MJ für Lebenswegende (EoL) und gesamten Lebensweg (Ges)

Baustahl wird zu 99 Prozent recycelt. Da beim Materialrecycling der energieintensive Prozessschritt der Vorproduktgewinnung aus Erz entfällt, erfolgt für das End of Life eine Gutschrift von ca. 40 Prozent des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs und der CO_2 -Emissionen.

Der Betonanteil im *Stahlbeton* wird ungefähr zu 76 Prozent recycelt, zu 17 Prozent verwertet und zu sieben Prozent auf Deponien beseitigt⁷. Beim Recycling handelt es sich fast ausschließlich um ein Downcycling, also eine Wiederverwertung von deutlich niedrigerem Wert, etwa im Straßenbau. Dies verdeutlichen Zahlen des Monitoringberichts 2008 der Kreislaufwirtschaft Bau, die sich auf die Gesamtheit der aus mineralischen Bauabfällen gewonnenen Recycling-Baustoffe beziehen: hiervon wurden lediglich 1,2 Prozent zur Betonherstellung verwendet⁸. Dabei bietet gerade der sogenannte RC-Beton mit seinen Recycling-Gesteinskörnungen große Potenziale für ein höherwertiges Recycling (s. nachfolgendes Kapitel). Bisher findet dies im Wesentlichen jedoch noch keine Anwendung, wengleich die notwendigen Technologien und Normen zur Verfügung stehen.

Die Entsorgungssituation von Beton muss durch ein qualitativ hochwertiges Recycling verbessert werden.

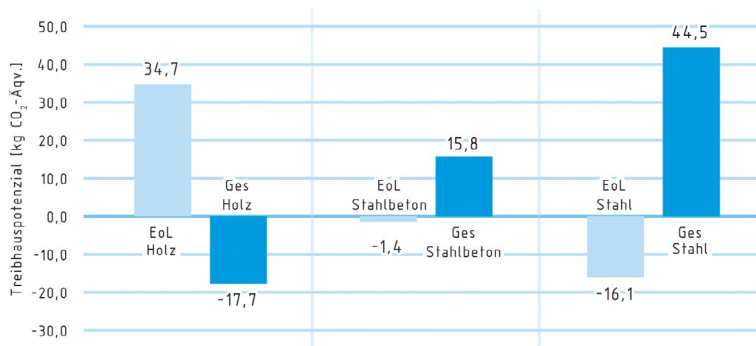


Abb. 5: Treibhausgaspotenzial in kg CO₂-Äqv. für Lebenswegende (EoL) und gesamten Lebensweg (Ges)

Bei der Verwertung kommt Stahlbetonabbruch auf Deponien und zur Verfüllung von Abgrabungen zum Einsatz. Für das Recycling und die Verwertung von Beton am Lebenswegende ergibt sich eine Energie- und CO₂-Gutschrift, da hierdurch der andernfalls erforderliche Energiebedarf sowie die CO₂-Emissionen für die Gewinnung beispielsweise von Schotter aus Primärmaterial entfallen. Diese Gutschrift wird durch Energiebedarf und CO₂-Emissionen für die Deponierung eines Teils des Betons reduziert. Der im Stahlbeton enthaltene Bewehrungsstahl wird vollständig recycelt, was sich jedoch nicht auf die Energie- und CO₂-Bilanz auswirkt, da Bewehrungsstahl vollständig aus Recyclingmaterial besteht und somit die beim Recycling des Baustahls vorhandene Einsparung gegenüber der energieintensiven Vorproduktgewinnung aus Erz entfällt.

⁷ Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. (Hrsg.): *Mineralische Bauabfälle – Monitoring 2008, Kreislaufwirtschaft Bau*, Berlin, 2011, S. 8

⁸ Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. (Hrsg.): *Mineralische Bauabfälle – Monitoring 2008, Kreislaufwirtschaft Bau*, Berlin, 2011, S. 12

Der Einsatz von höherfesten Güten bei Stahlbeton und Stahl sowie der Leichtbau bieten große Effizienzpotenziale.

Während die Entsorgung von Holz und Baustahl als ressourcenschonend eingestuft werden kann, gibt es beim Betonanteil des Stahlbetons noch Verbesserungsbedarf. Im Sinne der Nachhaltigkeit muss hier auf ein qualitativ hochwertiges Recycling hingearbeitet werden.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse für die vier RE-Kriterien lassen sich die drei Materialien im folgenden Diagramm zusammenfassen: Entsprechend einer Ampelkennzeichnung markiert grün einen geringen, gelb einen mittleren und rot einen hohen Ressourcenverbrauch.

		Holz	Stahlbeton	Stahl
Herstellung	Rohstoffart	nachwachsend	mineralisch	mineralisch/ recycelt
	Primärenergie, nicht erneuerbar [MJ]	185,0	118,4	835,4
	Treibhauspotenzial [kg CO ₂ -Äqv.]	-52,4	17,2	60,6
End of Life	Entsorgung	stoffliche/therm. Verwertung	Recycling / Verwertung / Deponierung	Recycling

Abb. 6: Vergleich der Ressourceneffizienz von Holz, Stahlbeton und Stahl

Zukünftige Effizienzpotenziale

Für die Zukunft bietet der Einsatz von höherfesten Güten bei Stahlbeton und Stahl große Effizienzpotenziale. Gegenüber dem hier verwendeten Beispiel ließen sich dadurch der Materialeinsatz und damit auch der Ressourcenverbrauch drastisch reduzieren. In diesem Kontext wird das Thema Leichtbau zunehmend an Bedeutung gewinnen. Auch aktuell laufende Forschungsvorhaben beispielsweise zu ultrahochfestem Beton bieten große Effizienzpotenziale.

Ziel ist eine Verdopplung der Rohstoffproduktivität bis 2020 bezogen auf 1994.

2. RESSOURCENSCHONUNG DURCH BETON MIT RECYCLING-GESTEINSKÖRNUNGEN

Ein Bauen ohne Beton ist heutzutage nur schwer vorstellbar, liegt doch der Betonanteil bei Wohngebäuden inzwischen bei mehr als 50 Prozent, bei gewerblichen Hochbauten häufig sogar bei 90 Prozent⁹. Dies führt dazu, dass 2010 in Deutschland 42 Millionen Kubikmeter bzw. 100 Millionen Tonnen Transportbeton verbaut wurden, zu dem noch der

⁹ Ifeu-Institut, Öko-Institut, iöw gGmbH, Kommunikation- und Konfliktberatung Gerhard Jakobowski, 2008: Steigerung von Akzeptanz und Einsatz mineralischer Sekundärrohstoffe unter Berücksichtigung schutzgutbezogener und anwendungsbezogener Anforderungen, des potenziellen, volkswirtschaftlichen Nutzens sowie branchenbezogener, ökonomischer Anreizinstrumente, UFO-Plan-Vorhaben (FKZ 205 33 313)

Beton für Fertigteile addiert werden muss¹⁰.

Mit Recyclingmaterial zur Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie

Dies stellt einen nicht unerheblichen Materialstrom dar, den es im Zuge der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung zu reduzieren gilt. Eines der Kernziele dieser Strategie ist die Verdopplung der Rohstoffproduktivität bis 2020 bezogen auf 1994¹¹. Da Rohstoffproduktivität definiert ist als der Quotient von Bruttoinlandsprodukt in Euro geteilt durch Einsatz abiotischer Rohstoffe in Tonnen, gilt es, den Rohstoffbedarf zum Beispiel für Sand, Kies und Natursteine zu reduzieren.

Dabei kommt den großen Masseströmen im Bauwesen und hier im Speziellen den mineralischen Gesteinskörnungen zur Betonherstellung eine gewichtige Rolle zu. Letztere stellen als Zuschlag mit circa 80 Prozent der Masse den Hauptbestandteil von Beton dar und können teilweise aus Recycling-Gesteinskörnungen (RC-Gesteinskörnungen) bestehen. Die Verwendung von RC-Material wirkt sich dabei im Sinne der Nachhaltigkeit doppelt positiv aus: zum einen verhindert die Zweitnutzung von Material eine zusätzliche Rohstoffentnahme und trägt somit über die Reduktion des Rohstoffeinsatzes zu einer Erhöhung der Rohstoffproduktivität bei. Zum anderen wird der Flächenverbrauch für die Entnahme von mineralischen Rohstoffen aus oberflächennahen Lagern reduziert. Dass der Verbrauch für den Abbau mineralischer Baumaterialien nicht unerheblich ist, zeigt eine Zahl aus dem Jahr 2008: damals wurden geschätzte 3,8 Hektar pro Tag beansprucht¹². Ein Vergleich mit den Zielen der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie, die den Flächenverbrauch für Siedlungs- und Verkehrsflächen bis 2020 auf 30 Hektar pro Tag reduziert will, verdeutlicht die Größenordnung des mit der Rohstoffgewinnung verbundenen Flächenverbrauchs. Wird Kies im Nassabbau das heißt im Bereich des Grundwasserspiegels gewonnen, so führt dies zusätzlich zu einer Schädigung des Grundwasserleiters.

2008 wurden 3,8 Hektar pro Tag für den Abbau mineralischer Baustoffe beansprucht.

2020 könnten 11 Mio. Tonnen Primärgestein durch Recycling-gesteinskörnung substituiert werden.

Aus alt mach neu: Gewinnung von Recycling-Gesteinskörnungen

Die für RC-Beton benötigten Recycling-Gesteinskörnungen werden aus mineralischen Abbruchmaterialien gewonnen, die nach dem Abriss in mobilen und stationären Anlagen für ihre Verwendung im Beton aufbereitet werden. Der Bauwerksbestand, der bereits im Jahr 2000 rund 50 Milliarden Tonnen mineralischer Baustoffe umfasste und bisher

¹⁰ ATEC Business Information GmbH (Hrsg.): Recycling-Almanach 2012, Imageproblem im Hochbau, S. 112 ff.

¹¹ Nationale Nachhaltigkeitsstrategie, 2002

¹² Keßler, H., 2011: Urban Mining – Ressourcenschonungspotenziale einer hochwertigen Nutzung des anthropogenen Lagers im Gebäudebestand, Tagungsband zum 23. Kasseler Abfall- und Bioenergieforum, Hrsg. Witzenhausen-Institut

stetig weiter wächst, stellt dabei ein riesiges anthropogenes Lager dar¹³. Folgende Faktoren führen dazu, dass in den kommenden Jahrzehnten noch weit mehr potenzielle Recycling-Materialien aus diesem Lager freigesetzt werden, als dies bereits heute der Fall ist:

- Demographischer Wandel
- Abwanderung aus ländlichen Regionen und Ostdeutschland
- Veränderung der Wohnbedürfnisse (mehr Singlehaushalte, altersgerechtes Wohnen)
- Rück- und Umbau von Nachkriegsgebäuden

Die vermehrten Abfallströme aus Nachkriegsgebäuden erhöhen den Betonanteil am Bauschutttaufkommen und somit auch die Substitutionspotenziale als Betonzuschlag, da Abbruchmaterialien mit hohen Ziegelanteilen vergleichsweise schlechter geeignet sind. Insgesamt lässt sich schlussfolgern, dass in weiten Teilen Deutschlands RC-Materialien regional verfügbar sein werden. Dies ist eine Grundvoraussetzung für deren Verwendung, da aufgrund der großen Massen Transportentfernungen von maximal 30 Kilometern wirtschaftlich vertretbar sind¹⁴. Gleichzeitig nimmt der Einsatz von Beton im Wohnungsbau zu, da der Trend weg von Einfamilienhäusern auf der „grünen Wiese“ hin zu Mehrfamilienhäusern in den Siedlungskernen geht, welche vornehmlich in Beton errichtet werden. Die Bedingungen für ein Zusammenfallen von Angebot und Nachfrage sind also gut. Experten gehen davon aus, dass im Jahr 2020 11 Millionen Tonnen Gesteinskörnungen aus RC-Material zum Einsatz kommen könnten¹⁵. Dies entspricht 12,5 Prozent des aktuellen Kies- und Sandeinsatzes beziehungsweise im Jahr 2020 gar 25 Prozent des dann deutlich reduzierten Bedarfs¹⁶.

Technische Regeln sehen RC-Gesteinskörnungen vor

Für RC-Beton können nach geltenden technischen Regeln in Abhängigkeit vom Ziegelanteil 35–45 Vol. % der Gesteinskörnungen bzw. 25–32 Vol. % des Beton-Gesamtvolumens durch RC-Gesteinskörnungen ersetzt werden¹⁷. Die übrige Betonrezeptur bleibt hiervon meist unberührt. Die geltenden Regelwerke decken eine Druckfestigkeit bis C30/37 ab, darüber hinaus ist eine Zulassung im Einzelfall erforderlich. Eine Zulassung für Spann- und Leichtbeton liegt nicht vor.

35-45 Vol. % der Gesteinskörnungen können durch RC-Material ersetzt werden.

¹³ Keßler, H., 2011: Urban Mining – Ressourcenschonungspotenziale einer hochwertigen Nutzung des anthropogenen Lagers im Gebäudebestand, Tagungsband zum 23. Kasseler Abfall- und Bioenergieforum, Hrsg. Witzhausen-Institut

¹⁴ Keßler, H., 2011: Urban Mining – Ressourcenschonungspotenziale einer hochwertigen Nutzung des anthropogenen Lagers im Gebäudebestand, Tagungsband zum 23. Kasseler Abfall- und Bioenergieforum, Hrsg. Witzhausen-Institut

¹⁵ Schiller, G., Deilmann, C., 2010: Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung, UBA-Forschungsvorhaben (FKZ 3708 95 303), Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4040.pdf> [Stand: Juni 2012]

¹⁶ Keßler, H., 2011: Urban Mining – Ressourcenschonungspotenziale einer hochwertigen Nutzung des anthropogenen Lagers im Gebäudebestand, Tagungsband zum 23. Kasseler Abfall- und Bioenergieforum, Hrsg. Witzhausen-Institut

¹⁷ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 2004: Richtlinie – Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton – Teil 1: Allgemeines

Ökobilanz zeigt Vorteile auf

Da sich konventioneller und RC-Beton nur in den Gesteinskörnungen unterscheiden, kann sich ein ökobilanzieller Vergleich hierauf beschränken. Im Hinblick auf Energiebedarf und CO₂-Emissionen bei der Herstellung ergeben sich nur geringfügige Unterschiede. Ein klarer Vorteil für Sekundärmaterial ergibt sich, wenn im städtischen Raum Abbruch, Aufbereitung und Betonwerk in unmittelbarer Nähe zueinander liegen und Primärmaterial von außerhalb herbei transportiert werden müsste. Schwer zu quantifizieren sind die positiven Effekte, die sich aus dem unterlassenen Eingriff in den Natur- und Landschaftshaushalt für den Abbau von Primärrohstoffen ergeben.

Vom Ausland lernen

Wenngleich sich Deutschland noch sichtlich schwer tut, so ist RC-Beton bei unseren Nachbarn längst etabliert. In Belgien kommen landesweit 30 Prozent RC-Gesteinskörnungen zum Einsatz und auch in den Niederlanden werden sie tagtäglich eingesetzt¹⁸. In Zürich wird gar zu 95 Prozent mit RC-Beton gebaut¹⁹.

Optimale Rahmenbedingungen schaffen

Für die Qualität der zur Verfügung stehenden RC-Gesteinskörnungen ist es von zentraler Bedeutung, dass diese möglichst sortenrein dem Aufbereiter zur Verfügung gestellt werden. Hierfür ist zum einen die Einführung eines Gebäudepasses und eines Gebäudekatasters sinnvoll, die Auskünfte über alle verbauten Materialien, deren Mengen und Einbauorte geben. Zum anderen sollte der selektive Rückbau, der zum weitgehend sortenreinen Ausbau der verwendeten Materialien führt, zum Standard werden. Gleichzeitig würde damit der zunehmenden Entsorgungsproblematik aufgrund drastisch abnehmender Deponiekapazitäten wirksam begegnet.

¹⁸ ATEC Business Information GmbH (Hrsg.): Recycling-Almanach 2012, Imageproblem im Hochbau, S. 112 ff.

¹⁹ Ifeu-Institut, Öko-Institut, iöw gGmbH, Kommunikation- und Konfliktberatung Gerhard Jakobowski, 2008: Steigerung von Akzeptanz und Einsatz mineralischer Sekundärrohstoffe unter Berücksichtigung schutzgutbezogener und anwendungsbezogener Anforderungen, des potenziellen, volkswirtschaftlichen Nutzens sowie branchenbezogener, ökonomischer Anreizinstrumente, UFO-Plan-Vorhaben (FKZ 205 33 313)

3. ANHANG

Herangehensweise und Rechenweg des Beispiels einer Stütze aus Holz, Stahlbeton und Stahl

Statisches System

Für den Vergleich wurde beispielhaft eine drei Meter hohe, gelenkig gelagerte Stütze gewählt. Diese wurde neben ihrem Eigengewicht mit einer Last von 100 kN beaufschlagt. Daraus ergibt sich folgende Dimensionierung:

	Holz	Stahlbeton	Stahl
Querschnitt	15/15 cm	15/15 cm, Bewehrungsgrad: 0,000178 m ³	Hohlprofil 80 x 80 x 4 mm
Materialgüte	C 24	C 20/25, BSt 500	S 235

Abb. 7: Dimensionierung der Stütze

Ökokennzahlen

Die Daten für Energieverbrauch und CO₂-Emission bei Herstellung und Entsorgung (End of Life, EoL) wurden der Baustoffdatenbank Ökobau.dat 2011 entnommen²⁰. Für die *Herstellung* wurden folgende Datensätze verwendet:

	Holz	Stahlbeton	Stahl
Datensatzbezeichnung	Schnittholz Fichte (Datensatz 3.1.01, 12 % Feuchte)	Transportbeton C20/25 (Datensatz 1.4.01)	Bewehrungsstahl (Datensatz 4.1.02)
Bezugsgröße	pro m ³	pro m ³	pro kg, Dichte = 7800 kg/m ³
Primärenergie, nicht erneuerbar [MJ/kg bzw. m ³]	2741	1133	10,2
Primärenergie, erneuerbar [MJ/kg bzw. m ³]	9049	20,7	1,13
Sekundärbrennstoffe [MJ/kg bzw. m ³]	0,3	388	-0,0821
Treibhauspotenzial [kg CO ₂ -Äqv./kg bzw. m ³]	-776	217	0,629
			pro kg, Bauteilmasse: 9,44 kg/laufendem m
			29,5
			0,695
			-0,34
			2,14

Abb. 8: Kennzahlen der Ökobau.dat 2011 für die Materialherstellung

Bei allen Baustoffen wurde auf allgemeine Datensätze der Ökobau.dat 2011 zurückgegriffen, da diese den bundesweiten Durchschnitt der eingesetzten Baustoffe widerspiegeln. Auf den Einsatz von Umweltproduktdeklarationen (EPD) einzelner Hersteller wurde bewusst verzichtet, da diese nur die Werte des jeweiligen Unternehmens

²⁰ Informationsportal Nachhaltiges Bauen, BMVBS: Ökobau.dat 2011, URL: <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaodat.html> [Stand: 13.11.2012]

wiedergeben. Zu beachten ist, dass die Werte einiger Unternehmen deutlich unter den hier verwendeten Zahlen liegen. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass die Durchschnittswerte der Datenbank mit einem Sicherheitszuschlag von zehn Prozent versehen sind und zum anderen darauf, dass einzelne Unternehmen dank intensiver Bemühungen um den Umweltschutz ihre Verbräuche und Emissionen stark reduzieren konnten.

Das Treibhauspotenzial, bei dem treibhauswirksame Substanzen in einem CO₂-Äquivalent zusammengefasst werden, bezieht sich auf einen Zeithorizont von 100 Jahren.

Für die *Entsorgung* wurden folgende Datensätze verwendet, die in Abbildung 9 grafisch dargestellt sind.

Diese gehen bei Holz von einer thermischen Verwertung und bei Stahl vom Materialrecycling aus. Für die Stahlbetonvariante kann davon ausgegangen werden, dass 93,5 Prozent des Betons recycelt oder verwertet und 6,5 Prozent deponiert werden²¹. Im Zuge der Verwertung wird der Betonabbruch aufbereitet, um danach als Substitut für Schotter aus Primärmaterial zum Einsatz zu kommen. Damit entfällt der Energieaufwand für die Bereitstellung von Schotter aus Primärmaterial, was durch den negativen Schotterdatensatz Eingang in die EoL-Berechnung findet. Eine Gutschrift für das Recycling des Bewehrungsstahls entfällt, da dieser vollständig aus Sekundärmaterial gewonnen wird und sich somit bei einer erneuten Nutzung keine Energieersparnis im Vergleich zum Ausgangsmaterial der Stütze ergibt²².

²¹ Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. (Hrsg.): *Mineralische Bauabfälle – Monitoring 2008, Kreislaufwirtschaft Bau*, Berlin, 2011, S. 8

²² DGNB GmbH: *DGNB Kriterium Env 1.1: Ökobilanz – Emissionsbedingte Umweltwirkungen, Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude Version 2012*, S. 11 f.

Holz		Beton (93,5 % Verwertung/Recycling, 6,5 % Deponierung)			Bewehrungsstahl	Stahl
Datensatzbezeichnung	End of life - Holz naturbelassen in MVA (Datensatz 3.4.03)	Bauschutt aufbereitung (Datensatz 9.5.01)	negativer Datensatz Schofter 16/32 (Datensatz 1.2.02)	Bauschutt- Deponierung (Datensatz 9.5.02)	keine Gutschrift, da 100 % Recyclingmaterial eingesetzt	Recyclingpotential - Stahlprofil (Datensatz 4.8.09)
Bezugsgröße	pro kg, Dichte: 482 kg/m ³ (s. Datensatz Schmittholz)	pro 1,03 kg, Dichte = 2365 kg/m ³ (s. Datensatz Transportbeton; Aufbereitung zu 1 kg Bauschuttrecyclat)	pro kg	pro kg		pro kg, Bauteilmasse: 9,44 kg/laufendem m
Primärenergie, nicht erneuerbar [MJ]/kg bzw. m ³	-11,9	0,0535	-0,221	0,196		-7,92
Primärenergie, erneuerbar [MJ]/kg bzw. m ³	-0,91	0,00214	-0,0332	0,0145		0,284
Sekundärbrennstoffe [MJ]/kg bzw. m ³	-0,00166	-3,10E-06	-3,34E-05	0,00107		0
Treibhauspotenzial (kg CO ₂ -Äqv./kg bzw. m ³)	1,067	0,00272	-0,014	0,0222		-0,567

Abb. 9: Kennzahlen der Ökobau.dat 2011 für die Entsorgung

Herstellung: Energieverbrauch und CO₂-Emission

Unter Verwendung der angegebenen Querschnitte ergeben sich damit für die Herstellung der drei Stützenvarianten (Holz, Stahl, Stahlbeton) folgende Energieverbräuche und CO₂-Emissionen:

	Holz	Beton	Bewehrungsstahl	Stahlbeton	Stahl
Bauteilmasse [kg]	entfällt, da pro m ³	entfällt, da pro m ³	4,2		28,3
Primärenergie, nicht erneuerbar [MJ]	185,0	75,9	42,5	118,4	835,4
Primärenergie, erneuerbar [MJ]	610,8	1,4	4,7	6,1	19,7
Primärenergie, gesamt [MJ]	795,8	77,3	47,2	124,5	855,1
Anteil erneuerbare Primärenergie an Gesamtprimärenergie [%]	76,8	1,8	10,0	4,9	2,3
Sekundärbrennstoffe [MJ]	0,0	26,0	-0,3	25,6	-9,6
Treibhauspotenzial [kg CO ₂ -Äqv.]	-52,4	14,5	2,6	17,2	60,6

Abb. 10: Energieverbrauch und CO₂-Emissionen bei der Materialherstellung

Die Werte für die Stahlbetonstütze ergeben sich als Summe der Zahlen für Beton und Bewehrungsstahl. Unter den ausgewiesenen Sekundärbrennstoffen sind Abfälle zu verstehen, die besonders in der energieintensiven Zementindustrie zunehmend zur Reduktion der Energiekosten eingesetzt werden²³. Gleichzeitig verringern sie den Bedarf an nicht erneuerbaren Energieträgern. Umgekehrt hierzu entstehen bei der Stahlherstellung Prozessgase, die zum Teil externen Abnehmern zur Verfügung gestellt werden, so dass hier die Abgabe von Sekundärbrennstoffen durch ein negatives Vorzeichen einbilanziert wird.

Entsorgung: Energieverbrauch und CO₂-Emission

Unter Verwendung der angegebenen Querschnitte ergeben sich damit für die Entsorgung folgende Energieverbräuche und CO₂-Emissionen, die in Abbildung 11 grafisch dargestellt sind. EoL“ steht dabei für die Gutschriften, die sich aus Verwertung und Recycling ergeben, beziehungsweise für die zusätzlichen Aufwendungen für die Deponierung. „Ges“ verrechnet die Ergebnisse am Lebenswegende mit den Verbräuchen und Emissionen bei der Produktherstellung.

²³ Achternbosch, M., Bräutigam, K.-R.: Herstellung von Zementklinker – Verfahrensbeschreibung und Analyse zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen, Inst. für Technikfolgeabschätzung und Systemanalyse, Forschungszentrum Karlsruhe, 2000, URL: <http://www.ukba.uni-karlsruhe.de/volltexte/fzk/6508/6508.pdf> [Stand: 31.07.2012]

	EoL Holz		Ges Holz		Bauschutt- aufbereitung (93,5 %)	negativer Schotter (93,5 %)	Bauschutt- deponierung (6,5 %)	EoL Stahlbeton		Ges Stahlbeton		EoL Stahl		Ges Stahl	
Bauteilmasse [kg]	32,5				148,1	143,8	10,3						28,3		
Primärenergie, nicht erneuerbar [MJ]	-387,2			-202,1	7,7	-31,8	2,0						-224,3		611,1
Primärenergie, erneuerbar [MJ]	-29,6			581,2	0,3	-4,8	0,1						8,0		27,7
Sekundärbrennstoffe [MJ]	-0,1			0,0	0,0	0,0	0,0						0,0		-9,6
Treibhauspotenzial [kg CO ₂ -Äqv.]	34,7			-17,7	0,4	-2,0	0,2						-16,1		44,5

Abb. 11: Energieverbrauch und CO₂-Emissionen bei der Entsorgung

Fußnotenverzeichnis

- ¹Keßler, H., 2011: Urban Mining – Ressourcenschonungspotenziale einer hochwertigen Nutzung des anthropogenen Lagers im Gebäudebestand, Tagungsband zum 23. Kasseler Abfall- und Bioenergieforum, Hrsg. Witzenhausen-Institut, S. 1
- ²Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes), Mai 2012, S. 73
- ³Schulze-Darup, B. (Hrsg.): Energetische Gebäudesanierung mit dem Faktor 10, Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU-Projekt AZ 19208), S. 5
- ⁴Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes), Mai 2012, S. 73
- ⁵Informationsportal Nachhaltiges Bauen, BMVBS: Ökobau.dat 2011, URL: <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html> [Stand: 13.11.2012]
- ⁶Informationsportal Nachhaltiges Bauen, BMVBS: Ökobau.dat 2011, Datenblätter „Stahlprofil“ und „Recyclingpotential – Stahl Grobblech (warmgewalzt)“, URL: <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html> [Stand: 31.07.2012]
- ⁷Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. (Hrsg.): Mineralische Bauabfälle – Monitoring 2008, Kreislaufwirtschaft Bau, Berlin, 2011, S. 8
- ⁸Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. (Hrsg.): Mineralische Bauabfälle – Monitoring 2008, Kreislaufwirtschaft Bau, Berlin, 2011, S. 12
- ⁹Ifeu-Institut, Öko-Institut, iöw gGmbH, Kommunikation- und Konfliktberatung Gerhard Jakobowski, 2008: Steigerung von Akzeptanz und Einsatz mineralischer Sekundärrohstoffe unter Berücksichtigung schutzgutbezogener und anwendungsbezogener Anforderungen, des potenziellen, volkswirtschaftlichen Nutzens sowie branchenbezogener, ökonomischer Anreizinstrumente, UFO-Plan-Vorhaben (FKZ 205 33 313)
- ¹⁰A TEC Business Information GmbH (Hrsg.): Recycling-Almanach 2012, Imageproblem im Hochbau, S. 112 ff.
- ¹¹Nationale Nachhaltigkeitsstrategie, 2002
- ¹²Keßler, H., 2011: Urban Mining - Ressourcenschonungspotenziale einer hochwertigen Nutzung des anthropogenen Lagers im Gebäudebestand, Tagungsband zum 23. Kasseler Abfall- und Bioenergieforum, Hrsg. Witzenhausen-Institut
- ¹³Keßler, H., 2011: Urban Mining – Ressourcenschonungspotenziale einer hochwertigen Nutzung des anthropogenen Lagers im Gebäudebestand, Tagungsband zum 23. Kasseler Abfall- und Bioenergieforum, Hrsg. Witzenhausen-Institut
- ¹⁴Keßler, H., 2011: Urban Mining – Ressourcenschonungspotenziale einer hochwertigen Nutzung des anthropogenen Lagers im Gebäudebestand, Tagungsband zum 23. Kasseler Abfall- und Bioenergieforum, Hrsg. Witzenhausen-Institut
- ¹⁵Schiller, G., Deilmann, C., 2010: Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung, UBA-Forschungsvorhaben (FKZ 3708 95 303), Leibniz-Institut für ökologische

Raumentwicklung, URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/pdf-l/4040.pdf> [Stand: Juni 2012]

¹⁶Keßler, H., 2011: Urban Mining – Ressourcenschonungspotenziale einer hochwertigen Nutzung des anthropogenen Lagers im Gebäudebestand, Tagungsband zum 23. Kasseler Abfall- und Bioenergieforum, Hrsg. Witzenhausen-Institut

¹⁷Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 2004: Richtlinie – Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton – Teil 1: Allgemeines

¹⁸ATEC Business Information GmbH (Hrsg.): Recycling-Almanach 2012, Imageproblem im Hochbau, S. 112 ff.

¹⁹Ifeu-Institut, Öko-Institut, iöw gGmbH, Kommunikation- und Konfliktberatung Gerhard Jakobowski, 2008: Steigerung von Akzeptanz und Einsatz mineralischer Sekundärrohstoffe unter Berücksichtigung schutzgutbezogener und anwendungsbezogener Anforderungen, des potenziellen, volkswirtschaftlichen Nutzens sowie branchenbezogener, ökonomischer Anreizinstrumente, UFO-Plan-Vorhaben (FKZ 205 33 313)

²⁰Informationsportal Nachhaltiges Bauen, BMVBS: Ökobau.dat 2011, URL: <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html> [Stand: 13.11.2012]

²¹Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. (Hrsg.): Mineralische Bauabfälle – Monitoring 2008, Kreislaufwirtschaft Bau, Berlin, 2011, S. 8

²²DGNB GmbH: DGNB Kriterium Env 1.1: Ökobilanz – Emissionsbedingte Umweltwirkungen, Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude Version 2012, S. 11 f.

²³Achternbosch, M., Bräutigam, K.-R.: Herstellung von Zementklinker – Verfahrensbeschreibung und Analyse zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen, Inst. für Technikfolgeabschätzung und Systemanalyse, Forschungszentrum Karlsruhe, 2000, URL: <http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/volltexte/fzk/6508/6508.pdf> [Stand: 31.07.2012]

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie in MJ bei der Herstellung

Abb. 2: Bedarf an gesamter Primärenergie in MJ und Anteil erneuerbarer Primärenergie am Gesamtprimärenergiebedarf in % bei der Herstellung

Abb. 3: Treibhausgaspotenzial in kg CO₂-Äqv. bei der Herstellung

Abb. 4: Primärenergiebilanz in MJ für Lebenswegende (EoL) und gesamten Lebensweg (Ges)

Abb. 5: Treibhausgaspotenzial in kg CO₂-Äqv. für Lebenswegende (EoL) und gesamten Lebensweg (Ges)

Abb. 6: Vergleich der Ressourceneffizienz von Holz, Stahlbeton und Stahl

Abb. 7: Dimensionierung der Stütze

Abb. 8: Kennzahlen der Ökobau.dat 2011 für die Materialherstellung

Abb. 9: Kennzahlen der Ökobau.dat 2011 für die Entsorgung

Abb. 10: Energieverbrauch und CO₂-Emissionen bei der Materialherstellung

Abb. 11: Energieverbrauch und CO₂-Emissionen bei der Entsorgung

.

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)
Johannisstr. 5-6
10117 Berlin
Tel. +49 30 27 59 506-0
Fax +49 30 27 59 506-30
info@vdi-zre.de
www.ressource-deutschland.de

Im Auftrag des



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit



NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE