

Einsatz von Recycling-Baustoffen

Florian Knappe

1.	Grundkonzept	457
2.	Neuer Verwertungsansatz: R-Beton.....	458
3.	Optimierung im Straßen- und Wegebau	461
4.	Ausblick.....	463
5.	Quellen	464

1. Grundkonzept

Mineralische Bauabfälle stellen den mit Abstand größten Abfallmassenstrom dar. Trotzdem waren es in der Vergangenheit vor allem andere Abfallmassenströme, für die man sich um eine Optimierung der Kreislaufwirtschaft bemühte. Dass mit Mineralischen Bauabfällen bislang nicht ähnlich optimal umgegangen wird, rückte erst in den letzten Jahren in das Bewusstsein.

Nach den Angaben dem Monitoringbericht des Kreislaufwirtschaftsträgers Bau gelangten im Jahre 2010 knapp 96 Prozent des Straßenaufbruchs in ein Recycling. Aufgrund der hohen Ölpreise ist der Wiedereinsatz des Altasphaltes gerade in den Heißasphaltmischwerken zur Substitution vor allem von Bitumen auch wirtschaftlich attraktiv. Für Bauschutt lag die Recyclingquote bei 78 Prozent. Etwas über zwei Millionen Tonnen wurden dagegen über Deponien beseitigt, etwas über neun Millionen Tonnen wurden auf Deponien oder im Rahmen von Verfüllmaßnahmen verwertet. Diese Form der Verwertung ist mit keiner Ressourcenschonung verbunden. Die dort eingesetzten Massen stehen nicht in Konkurrenz zu Baustoffen aus primären Rohstoffen, es besteht kein Nutzen im Sinne von Substitutionserfolgen.

Es gibt demnach noch Optimierungspotenzial. Nicht alle Bauschuttmassen gelangen in Recyclinganlagen und werden dort zu RC-Baustoffen aufbereitet. Nicht alle Massen an mineralischen Bauabfällen werden wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt.

Das gilt insbesondere für die Fraktion *Boden und Steine*, die einerseits den weitaus größten Anteil an den mineralischen Bauabfällen aufweist, andererseits zu etwa achtzig Prozent zur Beseitigung auf Deponien oder im Rahmen von Rekultivierungsmaßnahmen eingesetzt wird. Unter *Boden und Steine* verbirgt sich nicht nur klassischer Boden im Sinne von Erdaushub, sondern auch das Altmaterial aus dem Rückbau der Straßen (Altmaterial aus den ungebundenen Schichten) bis hin zu Gleisschotter.

Wie könnte eine hochwertige Verwertung mineralischer Abfälle aussehen, die unter anderem auch von der Abfallgesetzgebung eingefordert wird. Das alte KrWG/AbfG¹ benannte unter §5 Grundpflichten der Kreislaufwirtschaft: Eine der Art und Beschaffenheit des Abfalls entsprechend hochwertige Verwertung ist anzustreben. Hochwertig ist eine Verwertung demnach dann, wenn sie auf die wertgebenden Eigenschaften eines Stoffes/eines Abfalls abzielt und diese möglichst umfasslich nutzt.

Unter mineralischen Bauabfällen finden sich eine Vielzahl von Abfallarten mit deutlich unterschiedlichen Zusammensetzungen und Eigenschaften. Für alle diese mineralischen Bauabfälle ist jeweils eine Verwertung zu suchen, die den wertgebenden Eigenschaften im Einzelnen entspricht und dieses Potenzial möglichst umfassend nutzt. So sollte Hochbauschutt angesichts der Eigenschaften von Ziegelschutt und Altbeton auf den Baustellen bspw. nicht einfach zur Hinterfüllung von Arbeitsräumen oder zur Geländeprofilierung eingesetzt werden. Es entspricht nicht ihrem Potenzial und ihren Eigenschaften als sekundärer Rohstoff. Gelingt es, diese Materialien grundsätzlich einer hochwertigen Verwertung zuzuführen, werden diese einfachen Anwendungsmaßnahmen zudem für die mineralischen Abfallmassen wie insbesondere klassischem Erdaushub frei, die für keine anderen Einsatzzwecke geeignet sind.

Da immer mehr im Bestand gearbeitet wird (sowohl im Hochbau als auch im Straßen- und Wegebau), handelt es sich bei den Böden, die bspw. bei der Ausschachtung von Baugruben anfallen, immer mehr um Boden- Bauschuttgemische bzw. Siedlungsschutt. Gerade für diese ist eine Aufbereitung in Recyclinganlagen sinnvoll, in der es gelingt, Körnung von sandigen und lehmigen Fraktionen zu trennen. Nur mit diesen in sich homogenen Fraktionen mit beschreibbaren Eigenschaften sind Ausgangsmaterialien vorhanden, die als Grundstoff bzw. sekundärer Rohstoff wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden können.

Nur so kann es gelingen, über alle Massenströme hinweg möglichst hohe Recyclingquoten zu erfüllen.

2. Neuer Verwertungsansatz: Recycling-Beton

Im Südwesten Deutschlands wurden vor diesem konzeptionellen Hintergrund die Grundlagen aufgegriffen, die bereits in den 90er Jahren durch das Verbundforschungsvorhaben Baustoffkreislauf im Massivbau [2] gelegt wurden. Mit der Initiierung und Begleitung konkreter Bauprojekte ist es gelungen, einen Beton in gewissem Umfang mittlerweile erfolgreich in der Baupraxis zu etablieren, der nicht nur auf primäre Rohstoffe, sondern auch auf Gesteinskörnungen zurückgreift, die aus der Aufbereitung von Hochbauschutt stammen. Vorbild war hierfür die Schweiz bzw. die Stadt Zürich, die vor vielen Jahren analog vorgegangen ist. In der Schweiz werden mittlerweile sieben Prozent der Betonnachfrage durch diese R(C)-Betone gedeckt [1].

¹ Nach dem aktuellen Kreislaufwirtschaftsgesetz regelt §8 die Rangfolge und Hochwertigkeit von Verwertungsmaßnahmen

Aus der Praxis in der Schweiz wurde der Begriff RC-Beton übernommen. Mittlerweile wird dieser Baustoff in Südwestdeutschland treffender als ressourcenschonender Beton und damit als R-Beton kommuniziert.

Die als Pilotprojekte genutzten Bauvorhaben sind unter www.rc-beton.de [3] dokumentiert. Ausgehend von einem ersten Bauvorhaben in Ludwigshafen, dessen Begleitforschung sowie die Rezepturenentwicklung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt gefördert wurde, wurden auch in Baden-Württemberg mit der Stadsiedlung Heilbronn und dem Bau- und Wohnungsverein aus Stuttgart Bauherren gewonnen, die prominente Baumaßnahmen ebenfalls als Pilotprojekte zur Verfügung stellten. Initiator war in diesen Fällen immer das Umweltministerium in Baden-Württemberg, das diese Bauprojekte und den derzeit erreichten Stand zu R-Beton im Januar dieses Jahres auf einem Fachsymposium [7] vorstellte.

Für die Verwendung für rezyklierte Gesteinskörnungen ist die Richtlinie des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton *Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620* zu beachten. Es dürfen nur die Gesteinskörnungen Typ 1 und Typ 2 nach DIN EN 12620 verwendet werden. Für die R(C)-Betonen gelten damit die gleichen die Produkteigenschaften regelnden Regelwerke wie für konventionelle Betone auch. Die Richtlinie des DAfStb benennt jedoch konkret die Betonsorten. So dürfen nur Betone maximal in der Druckfestigkeitsklasse C 30/37 und bestimmten Expositionsklassen hergestellt werden. Der Herstellung von Spann- und Leichtbetonen ist nicht zulässig. Je nach Expositionsklasse dürfen RC-Gesteinskörnungen des Typs 1 zu 25 bis 45 Prozent im Zuschlag einer Betonrezeptur enthalten sein, beim Typ 2 ist der Anteil auf 25 bis 35 Prozent begrenzt.

Nach DIN EN 12620 besteht die Gesteinskörnung nach Typ 1 aus mindestens neunzig Prozent Altbeton und ungebundenen Gesteinskörnungen und maximal zehn Prozent aus Mauerziegel, Kalksandstein und nicht-schwimmendem Porenbeton. Für Typ 2 liegen die Vorgaben bei mindestens siebenzig Prozent bzw. maximal dreißig Prozent. In beiden Fällen sind Asphalte auf maximal 1 Prozent, Glas und sonstige nicht-schwimmende Fremdbestandteile auf ein Prozent bzw. zwei Prozent begrenzt. Schwimmende Fremdstoffe dürfen in beiden Fällen maximal ein Vol.-% ausmachen.



Bild 1: Altbetonhalde – Ausgangsmaterial für eine Gesteinskörnung nach Typ 1



Bild 2: Gesteinskörnung Typ 1

Da die Gesteinskörnung nach Typ 1 in ihrer Zusammensetzung und ihren Eigenschaften einer primären Gesteinskörnung am nächsten kommt, wurden die ersten R(C)-Beton auf dieser Grundlage hergestellt. Ausgehend von den genannten Pilotprojekten produzieren mehrere Betonwerke vor allem im Stuttgarter Raum seit geraumer Zeit diese Betone.

Zwei Betonwerke der Krieger-Gruppe im Stuttgarter Norden beliefern seit einiger Zeit soweit möglich sämtliche Baustellen mit R(C)-Beton. Nicht alle Baumaßnahmen in Baden-Württemberg, bei denen der Einsatz von R-Beton bekannt ist, haben ihre Betone aus diesen Werken bezogen. Es gibt daher noch weitere Produktionsstätten und eine gewisse Verankerung auf dem Markt, weit über gesonderte Pilot- oder gar Forschungsprojekte hinaus. Die Erfahrungen der Schweiz lehren, dass sich etwa neunzig Prozent der Betonnachfrage bei klassischen Baumaßnahmen grundsätzlich als R(C)-Beton abdecken lassen.

Hierauf aufbauend ist wieder mit Unterstützung des Umweltministeriums in Baden-Württemberg ein neuer Impuls gelungen. In Zusammenarbeit mit den Firmen Krieger (Beton) und Feeb (Bauschuttrecycling) wurden erfolgreich Betonrezepturen entwickelt, die auf die Gesteinskörnung nach Typ 2 zurückgreifen. Zudem musste eine Aufbereitungsstrategie entwickelt werden, mit der sich diese Gesteinskörnung auch über große Massenströme hinweg mit gleichbleibender Zusammensetzung und Eigenschaften herstellen lassen. Dabei sollte die Gesteinskörnung den zulässigen Anteil an Ziegelschutt von dreißig Prozent möglichst weitgehend ausschöpfen. Die Ergebnisse des Projektes wurden in einer Broschüre zusammengefasst [6].

Um die für die Gesteinskörnung geforderten Eigenschaften zu erreichen, bedarf es gerade für die ziegelreiche Komponente einer umfassenderen Aufbereitung. So ist eine Abtrennung von Feinmaterialien über ein Vorsieb unabdingbar. Der Siebschnitt kann hier durchaus groß angesetzt werden. Nur so wird ein Ausgangsmaterial hergestellt, das möglichst frei ist von Böden, Putzen und anderen Feinanteilen. Zudem müssen die Anteile der mineralischen Problemstoffe wie Leicht- und Gipsbaustoffe so gering wie möglich gehalten werden.



Bild 3: Ausgangsmaterial zur Herstellung der Ziegelkomponente einer Gesteinskörnung Typ 2



Bild 4: Gesteinskörnung Typ 2 für Betonwerke

Zur Herstellung einer Gesteinskörnung aus Beton und Ziegel im Verhältnis 70/30 hat sich als Strategie eine getrennte Aufbereitung bewährt. Altbetone und der ziegelreiche Bauschutt werden getrennt gebrochen. Die Mischung des Produktes erfolgt abschließend über einen Radlader. Um hier die richtigen Mischungsverhältnisse zu erhalten, bedarf es anfangs entsprechender Analysen des aufbereiteten Ziegelschutts und der Bestimmung der Zusammensetzung. Auch in diesem Massenstrom sind in der Regel in erheblichem Umfang Altbetone und ungebundene Gesteinskörnungen enthalten.

Die nach diesem Vorgehen produzierte Gesteinskörnung wies einen Ziegelanteil (Rb) von etwa 26 Prozent auf, bei einer Kornrohichte von 2.161 kg/m^3 und einer Wasseraufnahme nach zehn Minuten von 6,1 Prozent. Damit wurden die Anforderungen der Richtlinie des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton ($>2.000 \text{ kg/m}^3$ und <15 Prozent) deutlich erfüllt. Entsprechend konnten alle entwickelten und geprüften Betonrezepturen (C 8/10 X0; C 12/15 X0; C 20/25 XC3; C 25/30 XC4 XF1 XA1; C 30/37 XC4 XF1 XA1) problemlos die geforderten Eigenschaften nachweisen.

Auch dieser Impuls aus Ende 2013 ist bereits im Markt umgesetzt worden. Die Gesteinskörnung wird von dem Bauschuttrecyclingunternehmen weiterhin produziert und dient der Belieferung eines benachbarten Betonwerkes.

In allen Fällen gilt: Die Herstellung und der Einsatz von R-Beton erfolgte innerhalb der bestehenden Regelwerke. Es handelt sich um einen zugelassen Baustoff. Die Verwendung in Baumaßnahmen bedarf daher keiner Begleitung durch klassische Forschungsprojekte. Um den Baustoff und seine Möglichkeiten bekannt zu machen, dürfte es jedoch sinnvoll sein, erste konkrete Bauvorhaben als Impulse zu nutzen. So lassen sich alle Beteiligten wie Architekten, Tragwerksplaner, bauausführende Firmen, Betonwerke, Bauschuttrecycler zunächst über den Baustoff und seine Möglichkeiten aus erster Hand informieren und insbesondere die Rohbauphase nutzen, eigene Eindrücke zu erhalten.

3. Optimierung im Straßen- und Wegebau

Der Straßen- und Wegebau gilt als der klassische Absatzweg für RC-Baustoffe. Analysiert man diese Absatzwege genauer, zeigt sich, dass RC-Baustoffe in vielen Regionen Deutschlands nicht im Oberbau einer Straße, d.h. im eigentlichen Bauwerk Straße, eingesetzt werden, sondern für untergeordnete Einsatzbereiche wie Dammschüttungen, Wälle, Bodenaustausch – Verbesserung der Tragfähigkeit des Untergrundes oder zur Errichtung von temporären Baustraßen verwendet werden.

Grundsätzlich ist die Akzeptanz für RC-Baustoffe auch in ambitionierteren Einsatzgebieten sowohl bei Kommunen wie auch bei den Straßenbauverwaltungen umso größer, je deutlicher diese einen Preisvorteil gegenüber den klassischen auf Basis von primären Gesteinskörnungen hergestellten Baustoffen aufweisen. Je weniger Abbaustätten für primäre Rohstoffe in den Regionen vorhanden sind, desto mehr bietet der Rückgriff auf RC-Baustoffe auch einen deutlichen ökonomischen Vorteil. Interessanterweise lässt sich oft eine sehr heterogene Situation antreffen. So gibt es durchaus Kommunen,

die seit langem und mit guten Erfahrungen RC-Baustoffe auch als Frostschutz- und Schottertragschichten einsetzen, während im Zweifel direkt benachbarte Kommunen einen derartigen Einsatz bspw. über die entsprechende Gestaltung der Leistungsverzeichnisse kategorisch ausschließen. Dies gilt grundsätzlich analog auch für die für das übergeordnete Straßennetz zuständigen Stellen.

Wie die guten Beispiele jedoch immer belegen: Bauschuttzubereiter sind grundsätzlich und ohne Probleme in der Lage, diese hochwertigen Baustoffe für den Straßen- und Wegebau in den geforderten Qualitäten herzustellen. Es scheitert in vielen Fällen an der fehlenden Akzeptanz seitens der Bauherren, teilweise gespeist aus schlechten Erfahrungen aus der weiteren Vergangenheit. Dass sich in der Aufbereitung mineralischer Bauabfälle vieles verbessert hat, sowohl in der Aufbereitungstechnik als auch in der Qualitätssicherung, ist vielen Bauherren nicht bekannt.

Der wichtigste Absatzweg ist bis dato die Aufbereitung zu hochwertigen Straßenbaustoffen wie insbesondere Frostschutz- und Schottertragschichten. Die Technischen Lieferbedingungen des Bundes und der Länder für Schichten ohne Bindemittel (TL SoB-StB 04), die auch für den kommunalen Straßenbau zugrunde gelegt werden, fordert dezidierte Eigenschaften des Straßenbauproduktes ein und dies unabhängig davon, aus welchen Ausgangsmaterialien diese hergestellt wurden.

Gerade Altmaterial aus dem Straßenkörper, d.h. die alten Frostschutz- und Schottertragschichten, sollten sich problemlos aufbereiten und wieder als solche einsetzen lassen. Sie wurden aus dem Straßenkörper entnommen, weil der über die Jahrzehnte hinweg wachsende Feinkornanteil insbesondere die Frostschutzzeignung gefährdet. Wird das Material folglich abgesiebt und leicht gebrochen, lässt sich eine neue Sieblinie einstellen, die wieder einen Einsatz im Straßenkörper erlaubt. Diese hochwertigen Baustoffe lassen sich jedoch auch auf Basis anderer mineralischer Bauabfälle herstellen.

Für die Bauherren wichtig ist die Gewährleistung der geforderten Produkteigenschaften. Die genaue Rezeptur der Baustoffe und damit auch die Frage, ob und in welchem Umfang auf sekundäre Rohstoffe zurückgegriffen wird, ist nachrangig. Der Nachweis

der baustofftechnischen Tauglichkeit erfolgt für Primär- und Sekundärbaustoffe in gleicher Weise durch die in Normen und technischen Richtlinien festgelegten Regelungen zur Güteüberwachung und Produktzertifizierung, so die Baustoffe gemäß TL SoB – StB 04 produziert und vermarktet werden.

Dies ist Bauherren nicht selten weitgehend unbekannt. Auf dieser Grundlage wurden jüngst sowohl in Rheinland-Pfalz als auch in Baden-Württemberg entsprechende Broschüren und Leitfäden erstellt sowie zahlreiche Veranstaltungen durchgeführt,



Bild 5: Frostschutzschicht aus RC-Material, eingebaut

die gute Praxisbeispiele und gezielt die Fragen der Produktion und Gütesicherung in den Mittelpunkt stellen [5]. Akzeptanz für die RC-Baustoffe wird man nur durch eine Qualifizierung der Aufbereitung und einer entsprechenden Güteüberwachung erhalten. Nur so lässt sich andererseits von Bauherren eine zumindest produktneutrale Ausschreibung (gemäß VBO) einfordern.

Eine derartige Bewirtschaftung sekundärer Ressourcen und Herstellung qualitativ hochwertiger, güteüberwachter Baustoffe ist wirtschaftlich dann gesichert, wenn diese Baustoffe auch einen entsprechenden Absatz finden bzw. diese bei den Ausschreibungen berücksichtigt werden. Die mit einem ambitionierten Stoffstrommanagement und guter Aufbereitungstechnik verbundenen Betriebskosten lassen sich nur dann rechtfertigen, wenn die hergestellten Produkte auch gemäß ihrer Eigenschaft vermarktet werden können und nicht nur in untergeordneten Baumaßnahmen eingesetzt werden. Vor allem im Straßen- und Wegebau ist die öffentliche Hand nahezu der einzige Bauherr und kann damit Stoffströme beeinflussen und Vorbild sein.

Eine häufig geäußerte Befürchtung ist ein erhöhter Kontrollaufwand beim Einsatz von RC-Baustoffen. Der Personalaufwand vor Ort auf der Baustelle sowie der generelle Überwachungsaufwand sind bei einem Einsatz von Baustoffen auf Basis von RC-Materialien vergleichbar mit dem von Primärgestein. Dies zeigen die vielen Erfahrungen der Kommunen, die seit Jahren in großem Umfang auf diese Baustoffe zurückgreifen.

Einen wichtigen Aspekt gilt es in diesem Zusammenhang auch immer zu kommunizieren. Will sich die öffentliche Hand als Bauherr im Straßen- und Wegebau Recyclinganlagen als gegenüber Deponien kostengünstige Entsorgungsoption erhalten, muss für einen ausreichenden Absatz der dort hergestellten gütegesicherten RC-Produkte gesorgt werden. Bauschuttrecycler können nur in dem Umfang Material zur Behandlung übernehmen, wie die daraus hergestellten Produkte auch wieder einen Absatz finden.

4. Ausblick

Gerade im Südwesten Deutschlands sind schon einige Strategien zur Optimierung der Bewirtschaftung mineralischer Bauabfälle im Sinne sekundärer Ressourcen auf den Weg gebracht worden. Es sind jedoch nur erste Schritte. Für eine umfassende Lösung bedarf es weiterer Anstrengungen.

Die Rückführung von Hochbauschutt in die Herstellung von Baustoffen für den Hochbau – wohl immer vor allem über Betonwerke möglich – wird umso interessanter werden, je mehr es gelingt, im R-Beton den Anteil an Mauerwerksschutt im Ausgangsmaterial zu erhöhen, und dies über die derzeitigen Regelungen hinaus. Aus Sicht des Ressourcenschutzes verspricht dies, deutlich höhere Anteile so in den Wirtschaftskreislauf rückführen zu können, dass primäre Rohstoffe substituiert werden können. Der Rückgriff auf derartige Ausgangsmaterialien würde den Verwertungsansatz aus Sicht der Bauschuttrecycler sowie der Betonwerke zudem wirtschaftlich noch interessanter machen.

Hier müssen die derzeit geltenden Regelwerke überprüft und an den neuen Stand der Technik angepasst werden. Versuche im Rahmen des Projektes zum Einsatz der Gesteinskörnung Typ 2 haben bereits gezeigt: es geht deutlich mehr.

Eine zentrale Aufgabenstellung wird zukünftig aber vor allem ein qualifizierterer Umgang mit Böden sein. Sie gilt es als sekundären Rohstoff zu verstehen und entsprechend zu nutzen. Damit ist die Notwendigkeit zur Errichtung entsprechender Aufbereitungslinien in den Recyclinganlagen notwendig. Lösungen, die eine Reinigung in Verbindung mit einer Klassierung versprechen (bspw. über Schwertwäsche), könnten hilfreich sein. Je homogener die produzierten Fraktionen, umso einfacher lassen sich für diese hochwertige Verwertungswege erschließen.

In der Aufbereitung von klassischen mineralischen Bauabfällen fallen zudem in erheblichen Umfang Feinmaterialien als Vorsiebmaterial oder Brechsande an. Werden diese analog zu den Böden aufbereitet, sind damit tendenziell auch eine Entfrachtung von Gips bzw. eine Reduktion der Sulfat-Belastung sowie eine Abscheidung von Fremdstoffen möglich [6].

Ein großes Problem stellen die Baustoffe dar, die derzeit aus Gründen der energetischen Optimierung eingesetzt und zukünftig zu Abfall werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn es sich um quasi unlösliche Verbunde handelt. Das gilt sowohl für Konstruktionsverbunde als auch um Materialverbunde. Schon heute kommen auf die Recyclingwirtschaft Baustoffe zu, die sich mit der vorhandenen Technik und Aufbereitungsstrategie nicht verwerten lassen

5. Quellen

- [1] Hoffmann, C.: Ressourceneffizienz im Betonrecycling – Rahmen und Möglichkeiten in der Schweiz, Vortrag auf der Tagung R13 des ABW e.V., 20. September 2013
- [2] <http://www.b-i-m.de/>
- [3] <http://www.rc-beton.de/>
- [4] Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH: Gezielte Aufbereitung von Bauschutt zur Einhaltung auch zukünftiger Sulfat-Grenzwerte. In: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (Hrsg.): Informationsbroschüre, Veröffentlichung 05/2014 vorgesehen.
- [5] Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH: Leitfaden: Optimierung des Stoffstrommanagements für Böden und mineralische Bauabfälle. Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz (Hrsg.): 2012
- [6] Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH: Stoffkreisläufe von RC-Beton. In: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (Hrsg.): Informationsbroschüre für die Herstellung von Transportbeton unter Verwendung von Gesteinskörnungen nach Typ 2., 2014
- [7] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Ressourcenschutz in der Bauwirtschaft: Neue Entwicklung und Erfahrungen im Einsatz von ressourcenschonendem Beton (R-Beton) – <http://www4.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/113977/?shop=true&shopView=113936>, 2014