



## **Der ressourcenschonende RC-Beton und seine Herstellung**

**- ein Leitfaden -**

erstellt im Rahmen des Forschungsprojektes

**Einsatz von Recycling-Material aus mineralischen  
Baustoffen als Zuschlag in der Betonherstellung am  
Beispiel einer Wohnbebauung an der Rheinallee in  
Ludwigshafen**

gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (AZ 26101-  
23)

Florian Knappe  
Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH

Heidelberg Januar 2011

## **1 Hintergrund**

Transportbeton bietet bisher die einzige Möglichkeit, Baurestmassen aus dem Abriss oder Rückbau von Hochbauten in Anteilen und zu einem RC-Baustoff aufbereitet wieder in den Hochbau zurückzuführen und damit Materialkreisläufe zu schließen.

Basierend auf Erkenntnissen umfangreicher Forschungsprojekte in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts wurden entsprechende Normen und Richtlinien entwickelt, wonach ein Teil der eingesetzten Gesteinskörnungen aus aufbereitetem Altgestein bestehen darf. Auch dieses zur Betonherstellung eingesetzte Altgestein unterliegt wiederum exakten Vorgaben aus Richtlinien und Normen und muss definierte Qualitätskriterien einhalten.

Auf dieser Basis gelang es in den letzten Jahren in der Schweiz, diesen ressourcenschonenden RC-Beton fast landesweit als üblichen Baustoff zu etablieren. In Deutschland dagegen ist die Entwicklung stehen geblieben.

Im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Forschungsprojektes ist es gelungen, über ein konkretes Bauvorhaben hierfür einen ersten Impuls zu setzen in der Hoffnung, diesen Baustoff auch in Deutschland bekannt und ihn zumindest in den Ballungsräumen populär zu machen.

Um dieses zu erreichen, ist der Baustoff RC-Beton noch in vielen weiteren Regionen auf entsprechende Impulse angewiesen und damit auf ein Zusammenspiel aus sich der Nachhaltigkeit verpflichteten fühlenden Bauherren und innovativen Baustofflieferanten.

Mit diesem vorliegenden Leitfaden werden einige Erfahrungen, die in dem Projekt in Ludwigshafen und ersten weiteren Bauprojekten gewonnen wurden, zusammengestellt. Weitere Informationen erhalten Sie auch unter [www.rc-beton.de](http://www.rc-beton.de).

## **2 Transportbeton als ressourcenschonender RC-Beton**

### **Zugelassene Betonsorten**

Nach den Vorgaben des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton darf rezyklierte Gesteinskörnung der Typen 1 und 2 nach DIN 4226-100 bei der Herstellung von Betonen nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 bis zu einer Druckfestigkeitsklasse C 30/37 eingesetzt werden. Je nach Betonsorte sind die in der nachfolgenden Tabelle genannten Höchstanteile zu beachten, sofern die Bauteile aus Beton nach DIN 1045-1 bemessen werden.

Diese Normen wie auch die Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton sind derzeit in der Überarbeitung. Grundlegende fachliche Änderungen sind hierzu jedoch nicht zu erwarten.

Die Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen ist für die Herstellung von Spannbeton und Leichtbeton nicht zugelassen. Rezyklierte Gesteinskörnungen dürfen jedoch bis zur genannten Druckfestigkeit ohne weitere Vorgaben für Bauteile in trockenen Umgebungsbedingungen gemäß WO der Alkalirichtlinie<sup>1</sup> eingesetzt werden. Sind die Bauteile für feuchte Umgebungsbedingungen gemäß WF der Alkalirichtlinie unter den in der Tabelle genannten Randbedingungen vorgesehen, so müssen keine Maßnahmen zur Vermeidung einer schädigenden Alkalikieselsäurereaktion ergriffen werden, so lange die Herkunft der rezyklierten Gesteinskörnung bekannt und aufgrund ihrer Herkunft die im Altbeton enthaltene Gesteinskörnung eindeutig einer unbedenklichen Alkaliempfindlichkeitsklasse zugeordnet werden kann. Dies gilt für weite Bereiche Deutschlands. Die Körnung <2mm d.h. der Sand muss grundsätzlich aus Primärmaterial bereitgestellt werden.

Anwendungsbereich		Gesteinskörnungstyp 1	Gesteinskörnungstyp 2
Alkalirichtlinie	DIN EN 206-1 und DIN 1045-2	nach DIN 4226-100	
zulässige Anteile rezyklierter Gesteinskörnung >2mm in Vol.% der gesamten Gesteinskörnung			
WO (trocken)	Carbonatisierung XC1	≤45	≤35
WF (feucht)	kein Korrosionsrisiko X0		
	Carbonatisierung XC1 bis XC4	≤35	≤25
	Frost ohne Taumittelwirkung XF1 und XF3 und in Beton mit hohem Wassereindringwiderstand		
	chemischer Widerstand XA1	≤25	≤25

Mit dem durch den Deutschen Ausschuss für Stahlbeton gesetzten Rahmen lassen sich nahezu alle Betonsorten, d.h. die großen Massen der Betone herstellen, die typischerweise im Hochbau Verwendung finden. Möglicherweise lassen sich z.B. problematische Anforderungen an Expositionsklassen durch Anstriche umgehen. Die sehr umfangreichen Erfahrungen aus der Schweiz zeigen, dass sich etwa 90% der Betonnachfrage über RC-Betone abdecken lassen können.

Der Bauherr bestellt üblicherweise einen Beton nach Eigenschaft. Ein RC-Beton muss demnach die gleichen Frischbeton- und Festbetoneigenschaften aufweisen, wie man dies für konventionellen Beton gewohnt ist. Entsprechend sind innerhalb des gegebenen Rahmens auch keine Änderungen in der Tragwerksplanung notwendig. Das Bauprojekt in Ludwigshafen zeigt, dass auch Wände in Sichtbetonqualität sowie auf der Baustelle produzierte Fertigteile (Balkonstützen) aus RC-Beton hergestellt werden können.

<sup>1</sup> Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, DAfStb-Richtlinie: Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkalirichtlinie), Februar 2007

## **Beschaffenheit des Ausgangsmaterials**

Bei allen aufgeführten und bis Ende des Jahres 2010 verwirklichten Bauprojekten mit RC-Beton wurde auf RC-Gesteine nach Gesteinskörnungstyp 1 gemäß DIN 4226-100 zurückgegriffen. Dieser RC-Gesteinstyp ist als Betonsplitt beschrieben und muss zu einem Anteil von mindestens 90% aus aufbereitetem Altbeton bestehen. Der Anteil an Klinker und Mauerwerksbruch darf demnach maximal 10% betragen. Bei allen durchgeführten Projekten lag der Anteil an Altbeton tatsächlich bei etwa 99%. Damit können alle anderen Anforderungen wie Kornrohddichte (Vorgabe: >2.000 – erreicht bis >2.500), Wasseraufnahme (Vorgabe: <10% - erreicht maximal 4%) oder Kornform (möglichst kubisch) und Korngrößenverteilung problemlos erreicht werden. Auch die Schadstoffbelastung lag teilweise um Größenordnungen unter den nach der Norm zugelassen Höchstwerten.

### *Sollte die RC-Gesteinskörnung vorbehandelt werden?*

Aufgrund der größeren Oberfläche des gebrochenen Materials und der spezifischen Eigenschaften von RC-Gesteinen besteht ein vergleichsweise hohes Wassersaugen. Es ist daher sinnvoll, das RC-Gestein vor der Verarbeitung zu wässern und wassergesättigt in den Mischprozess zu geben.

### *Was ist bei der Materialprüfung zu beachten?*

Alle Rezepturbestandteile werden üblicherweise in regelmäßigen Abständen auf ihre Zusammensetzung und Qualität geprüft. Dies gilt auch bei der Herstellung von RC-Beton. Neben dem üblichen Prüfumfang sollte bei den RC-Gesteinen auch der abschlämmbare Anteil bestimmt werden. Auf dieser Basis lässt sich der Feinanteil der Körnung in der Rezepturentwicklung berücksichtigen.

Unabhängig von den Vorgaben der verschiedenen Normen und Richtlinien sollte darauf geachtet werden, dass die Kornrohddichte der RC-Gesteinskörnung nicht unter einem Wert von 2,2 liegt. Ist dieses gewährleistet, gibt es keinerlei Eignungseinschränkungen gegenüber primärer Gesteinskörnung, die für die Betonrezepturen relevant wären. Eine höhere Kornrohddichte weist zudem auf einen nur noch geringen Anteil an Zementstein an der RC-Gesteinskörnung hin und damit auch bspw. ein geringeres Wassersaugen.

### *Und wie steht es um die AKR?*

Bei jeder Gesteinskörnung ist die Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) der Gesteine im Festbeton zu beachten. Grundsätzlich gilt: Werden die Betone in Gebäudeteilen verwendet, die nicht der Witterung oder Feuchtigkeit ausgesetzt sind, sind AK-Reaktionen nicht zu beachten. Dies für viele Betoneinsatzbereiche im Hochbau, da die Betone selbst in Außenwänden häufig wegen der Dämmmaßnahmen nicht mehr der Witterung ausgesetzt sind.

In Regionen, in denen üblicherweise Splitt-Beton hergestellt und damit auf gebrochenen Naturstein zurückgegriffen wird, kann man zumindest bei jüngeren Gebäuden davon ausgehen, dass bereits bei der Verwendung des Primärkorns auf

dessen AKR-Eignung geachtet wurde. In diesen Regionen muss der AKR-Eignung des RC-Gesteins tendenziell keine gesonderte Beachtung geschenkt werden.

Dem AKR-Problem muss am ehesten in den Regionen Beachtung geschenkt werden, in denen üblicherweise Kiesbeton hergestellt wird und der Kies ursprünglich nicht aus dem Donaauraum sondern aus dem Oberrhein kommt. Da das Kieskorn bei der Bauschutttaufbereitung gebrochen wird, sollte es in diesen Fällen vor dem Einsatz in der Betonherstellung ggf. auf AKR-Empfindlichkeit analysiert werden. Da bei der Aufbereitung des Altbetons eher der Zementstein abgeschlagen und weniger das Kieskorn selbst in größerem Umfang gebrochen wird, bestehen auch hier in der Regel keine weiteren Probleme. Dies gilt insbesondere dann, wenn in den Betonrezepturen kein Portlandzement in Anteilen von  $>300 \text{ kg/m}^3$  vorgesehen ist, was bei den angesprochenen Betonen bis zu einer Druckfestigkeit von C 25/30 tendenziell immer der Fall sein sollte.

*Kann man bei der Produktion von Kiesbeton auch auf RC-Gestein zurückgreifen?*

In vielen Regionen Deutschlands wird Kiesbeton hergestellt und nicht auf gebrochene Gesteine zurückgegriffen. Mit der Verwendung von RC-Gesteinen für die Herstellung von RC-Beton kommt es so zu einer Mischung aus gebrochenem Gestein und Kies-Rundkorn. Für die Beton-Rezeptur ist dies eher vorteilhaft. Durch die bessere Verzahnung der Gesteine lassen sich tendenziell höhere Packungsdichten erzielen und damit der Bindemittelbedarf in den Rezepturen minimieren.

*Welche Körnungsabstufungen sind sinnvoll?*

RC-Gesteine weisen bestimmte von Liefercharge zu Liefercharge Schwankungen in der Sieblinie auf. Diese sind umso größer, je breiter die Körnungsabstufung gewählt wird. Es ist daher tendenziell sinnvoller auf 2 RC-Gesteinskörnungen bspw. in 2/8mm und 8/16mm zurückzugreifen, um die Notwendigkeit zur häufigeren Anpassung der Betonrezepturen vermeiden zu können.

In der Regel dürften dem Ansinnen beschränkte Silokapazitäten gegenüber stehen. Die Projekte in Baden-Württemberg zeigen eindrücklich, dass RC-Zuschläge auch in einer Lieferkörnung mit sehr guten Erfolgen verwendet werden können.

## **Betonherstellung**

*Unterscheiden sich die RC-Rezepturen gegenüber den konventionellen?*

Der Wasseranspruch der RC-Gesteinskörnungen ist wegen der etwas höheren Porosität der Oberfläche im Vergleich zu Primärgestein etwas erhöht. Angepasst an die jeweils verwendeten Zemente sind bei RC-Beton deshalb Fließmittel zu wählen, die eine ausreichende Nachverflüssigung gewährleisten. Der Fließmittelbedarf kann deshalb geringfügig höher liegen als bei den konventionellen Betonen gleicher Eigenschaften. Um die Wirksamkeit der Fließmittel zu optimieren, sollten diese im Mischprozess erst nach dem Wasser zugegeben werden, ggf. zu Lasten einer etwas längeren Verweilzeit im Mischer. Rücksteifen während des Transportes dürfen nicht zu

Lasten der Frischbetoneigenschaften bzw. der Verarbeitbarkeit auf der Baustelle gehen.

*Was ist wegen der höheren Rücksteifung zu beachten?*

Angepasst an die jeweils verwendeten Zemente sind Fließmittel zu wählen, die eine ausreichende Nachverflüssigung gewährleisten. Der Fließmittelbedarf kann in kleinem Umfang höher liegen als bei den konventionellen Betonen gleicher Eigenschaften. Um die Wirksamkeit der Fließmittel zu optimieren, sollten diese erst nach dem Wasser in den Mischer gegeben werden, ggf. zu Lasten einer ein wenig längeren Verweilzeit im Mischer

Außerdem sollte der Beton möglichst weich verladen werden, d.h. an der oberen Grenze des erlaubten Wertes. Auftretende Rückversteifungen gehen dann nicht zu Lasten der Verarbeitbarkeit auf der Baustelle.

### **3 RC-Gesteinskörnung als Zuschlag**

Bei den bisherigen Praxisbeispielen in Baden-Württemberg wurde immer Lieferkörnung Typ 1 gemäß der DIN 4226-100 eingesetzt. Nach dieser Vorschrift muss das Ausgangsmaterial für diese RC-Gesteinskörnung zu mindestens 90% aus aufbereitetem Altbeton bestehen. Der Anteil Ziegelmauerwerk in dem Ausgangsmaterial darf bei maximal 10% liegen.

Bereits bei der Abbruchmaßnahme selbst ist darauf zu achten, dass Fremdstoffe und weitere das RC-Gestein belastende Bauprodukte möglichst entfernt bzw. getrennt gehalten werden. Dies gilt vor allem für Leicht- und Verbundbaustoffe sowie organische Baustoffe wie Holz und Kunststoffe. Die Qualitäten der hergestellten RC-Gesteinskörnung, insbesondere die Freiheit von Fremdstoffen, wird stark von der Qualität des aufzubereitenden Ausgangsmaterials bestimmt. Dies erfordert einen selektiven Rückbau der Altgebäude, was aber bereits heute dem Stand der Technik entspricht. Diese belastenden Bauwerksbestandteile müssen auch dann getrennt gehalten werden, wenn nur RC-Produkte für den Straßen- und Wegebau hergestellt werden sollen. Die Produktion von RC-Gesteinen für die Betonherstellung stellt damit keine prinzipiell neuen und höheren Anforderungen an diese der Aufbereitung vorgelagerten Prozesse des Gebäudeabbruchs.

Jede Anlage zum Bauschuttrecycling unterscheidet sich in ihrer Konfiguration und im Maschinenpark deutlich - bei grundsätzlich immer gleichem Produktionsziel. Die Anlagen müssen auf die jeweils unterschiedlichen spezifischen Gegebenheiten eingestellt werden. Die Anlagenkonfiguration ist jedoch auch Ausdruck unterschiedlicher Philosophien der Anlagenbetreiber. Trotzdem lassen sich aus der Projekterfahrung heraus ein paar grundsätzliche Anregungen geben:

## **Ausgangsmaterial**

*Wie muss die Zusammensetzung meiner Lieferkörnung sein?*

In den bisherigen Praxisbeispielen wurde immer Lieferkörnung Typ 1 gemäß der DIN 4226-100 eingesetzt; das Ausgangsmaterial muss danach zu mindestens 90% aus Altbeton und darf zu maximal 10% aus Ziegelmauerwerk bestehen.

Auch wenn in den Praxisbeispielen darauf geachtet wurde, Ziegelmauerwerk im Ausgangsmaterial möglichst zu vermeiden, so dürften bis 10% Mauerwerksanteil keine negativen Auswirkungen auf die Betonrezepturen haben

*Welche Herkunft muss das Ausgangsmaterial haben?*

Es muss nicht ausschließlich Stahlbeton aufbereitet werden. Das Ausgangsmaterial kann jede Art von Beton sein, wenn über die Aufbereitung der Zementstein weitgehend abgeschlagen wird.

Wird dies erreicht, wird über die Aufbereitung des Altbetons weitgehend der alte Steinzuschlag wieder separiert und einer erneuten Nutzung als Zuschlagstoff zur Verfügung gestellt. Die Qualität dieses Gesteins unterscheidet sich jedoch nicht von Betonsorte zu Betonsorte. Unabhängig von der Betonqualität des Altbetons als Ausgangsgestein handelt es sich um ein Kieskorn oder um gebrochenen Naturstein.

*Auf welche Merkmale ist beim Ausgangsmaterial zu achten?*

Wie alle Analysen der aufbereiteten Gesteine auf Schadstoffbelastungen zeigten, liegen diese teilweise um Größenordnungen (d.h. Faktor 10 und mehr) unter den nach DIN 4226-100 maximal erlaubten Werten. Stammt das Altmaterial nicht aus problematischen Altgebäuden, sind keinerlei Probleme zu erwarten. Mit einer anthropogenen Schadstoffbelastung hat man grundsätzlich am wenigsten Probleme, wenn das Material aus einem großen heterogenen Gemisch entnommen wurde.

Im Ausgangsmaterial sollte möglichst kein Feinkorn und damit tendenziell Boden enthalten sein. Ist dies nicht gewährleistet, ist in der Aufbereitung als erster Schritt eine Vorsiebung notwendig. Bereits das Ausgangsmaterial sollte möglichst frei von Fremdbestandteilen sein.

## **Aufbereitungselemente**

*Abtrennung der groben Fremdstoffe*

Insbesondere organische Fremdbestandteile (Holz, Kunststoffe) müssen verlässlich aus der Gesteinskörnung entfernt werden. Es ist daher sinnvoll, vor dem ersten Zerkleinerungsschritt grobe Fremdstoffe manuell aus dem Haufwerk des Inputmaterials zu entfernen.

### *Vorbrechen*

Sind große Betonschollen vorhanden, ist ein Vorbrechen entweder über einen Crusher bereits auf der Baustelle oder in der Aufbereitungsanlage über einen Backenbrecher wichtig.

### *Vorsieb*

Das der Prallmühle zugeführte Material sollte möglichst frei von Feianteilen sein. Hierzu kann ein Vorsieb dienen, so nicht auf Bagger mit Sieblöffel zur Beschickung der Brecher zurückgegriffen wird.

### *Zerkleinerung*

Die Zerkleinerung muss über eine Prallmühle erfolgen, da nur so ein weitgehend kubisches Korn zu erzielen ist. Durch die genaue Einstellung der Mühle kann die Qualität des Produktes RC-Gestein stark beeinflusst werden. Wichtige Stellschrauben sind die Prallgeschwindigkeit sowie die jeweilige Einstellung der Werkzeuge (Ablenker).

Über die Geschwindigkeit lässt sich vor allem das Abschlagen des Zementsteins beeinflussen. Über die Einstellung der Werkzeuge vor allem die Gesteinsform, d.h. die Herstellung möglichst wenig plattigen Materials.

Eine ideale Einstellung der Werkzeuge gibt es nicht, die Prallmühle muss für jede Aufgabenstellung neu eingestellt werden.

### *Metallabscheider*

Die Bereitstellung eines Aggregates zur Abtrennung von Nicht-Eisen-Metallen ist nicht sinnvoll, da sich diese Metalle nur in sehr kleinen Anteilen im aufzubereitenden Ausgangsmaterial befinden.

Die Abtrennung von Fe-Metall ist wichtig, sowohl bereits auf der Baustelle als auch auf der Anlage selbst; der Metallabscheider sollte längs zur Bandrichtung ausgelegt werden.

Kleinere Restgehalte an Metall in der Lieferkörnung sind nicht tragisch

### *Ist eine nasse Aufbereitung notwendig?*

Eine nasse Aufbereitung des Altmaterials ist nicht notwendig. Dies zeigen nicht nur die Erfahrungen aus der Schweiz. Auch bei den Projekten in Baden-Württemberg erfolgte die Bauschutttaufbereitung trocken. Die Abscheidung der leichten Fremdbestandteile muss dann jedoch verlässlich über andere Aggregate wie insbesondere Windsichter erfolgen. Über eine nasse Aufbereitung werden zudem Feianteile/Stäube entfernt. Das Gestein nach einer trockenen Aufbereitung sollte deshalb auf abschlämbbare



Bestandteile analysiert werden, um die Beton-Rezepturen exakt darauf einstellen zu können (s.o.).

#### *Leichtstoffabscheider*

Der gesamte Massenstrom sollte einer Leichtstoffabscheidung unterzogen werden; diese sollte möglichst trocken erfolgen. Es gibt hierfür verschiedene technische Lösungen. Es ist sehr wichtig, dass die Anlage gut steuerbar ist und gut auf sich ändernde Aufgabenstellungen (in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial) angepasst werden kann.

#### *Absiebung*

Nach dem Brecher erfolgt eine Absiebung in die einzelnen Korngruppen sowie die Abtrennung des Überkorns. Dies kann erfolgreich z.B. über ein Harfensieb mit Siebstreben in Sägeblattform durchgeführt werden. So lässt sich sicherstellen, dass nur kubisches Material im Produkt landet.

### **Anlagenkonfiguration**

*Welche Aufstellung der Aufbereitungsaggregate ist sinnvoll?*

Aus ökonomischer und ökologischer Sicht sinnvoll ist eine kompakte Anlagenkonfiguration, um insbesondere Radladereinsätze oder Bandlängen vermindern zu können.

*Können die Gesteinskörnungen in der geforderten Qualität auch mit einer semi-mobilen Anlage hergestellt werden?*

Gerade um Radladereinsätze auf das absolut notwendige Maß zu beschränken, kann es sinnvoll sein, Brecher und Sieb direkt am Haufwerk des Ausgangsmaterials zu platzieren. Eine entsprechende Qualität des Ausgangsmaterials vorausgesetzt, lassen sich die geforderten Produktqualitäten auch über eine mobile Anlage herstellen.

#### *Logistik*

Um ausreichende Mengen über kurze Zeiträume bereitstellen zu können, benötigt man ausreichend große Lagerflächen sowohl für das Inputmaterial als auch für die Produkte. Will man über größere Distanzen Material beziehen oder vermarkten, ist ein Gleis- oder Wasserstraßenanschluss für die Aufbereitungsanlage wichtig.