

16 Recycling im Betonbau

16.1 Restwasser- und Restbetonrecycling

Im Rahmen der Abfallvermeidung wird in nahezu allen Transportbeton- und Fertigteilwerken Deutschlands *Restbeton* und *Restwasser* aufbereitet (s. **Bild II.16.1-1**, Verfahren 1). Daneben werden zz. Verfahren zur direkten Wiederverwendung von Restwasser erprobt (s. Bild II.16.1-1, Verfahren 2), was allerdings mit einem wesentlich höheren Aufwand verbunden ist, um negative Auswirkungen auf die planmäßige Zusammensetzung des Betons zu vermeiden (s. Abschnitt II.2.4.3).

Aufbereitung von Restwasser und Restbeton (Verfahren 1)

Bei dem gegenwärtig gängigsten *Frischbetonrecycling*verfahren wird der noch nicht erhärtete Beton oder Mörtel ausgewaschen. Dabei werden die Gesteinskörnungen und das Restwasser – eine wässrige Suspension von Feinstoffen $\leq 0,25$ mm – wieder gewonnen. Die beim Auswaschen von Restbeton und Restmörtel abgetrennten wiedergewonnenen Gesteinskörnungen haben anlagentechnisch bedingt Korndurchmesser über 0,125 oder 0,250 mm [Bun2, Ri5, Sch17, Bre5, Fri2]. Bei der Betonherstellung dürfen nicht getrennt aufbereitete wiedergewonnene Gesteinskörnungen mit höchstens 5 M.-% der Gesamtmenge der Gesteinskörnung zugefügt werden. Höhere Mengen dürfen zugegeben werden, wenn sie von der gleichen Art wie die primäre Gesteinskörnung und in Grob- und Feinkorn getrennt sind sowie die Anforderungen nach DIN 4226-1 erfüllen.

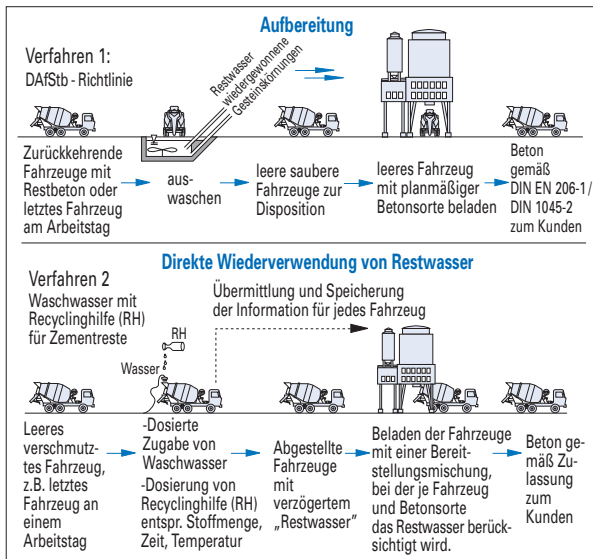


Bild II.16.1-1: Verfahren zum Frischbetonrecycling

Das Restwasser besteht in erster Linie aus einem Gemisch aus Wasser, Zement und weiteren mehlfeinen Stoffen und enthält auch das Wasser, das zum Reinigen der Mischfahrzeuge, Betonpumpen usw. benutzt wird, sowie das auf den Produktionsflächen anfallende Niederschlagswasser.

Die Wiederverwendung von Restwasser als Zugabewasser (s. Abschnitt II.2.3) und der wiedergewonnenen Gesteinskörnung für Beton ist in der „Richtlinie für die Herstellung von Beton unter Verwendung von Restwasser, Restbeton und Restmörtel“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton [Ri5] geregelt.

Danach dürfen dem Frischbeton mit dem Restwasser im Normalfall bis zu 18 kg/m^3 und im Ausnahmefall kurzzeitig bis zu 35 kg/m^3 Feststoffe zugeführt werden. Für beide Fälle fordert die Richtlinie gesonderte Erstprüfungen, wenn es sich um Betone nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 handelt. Die Feststoffe im Restwasser müssen, z. B. durch Rührwerke, homogen verteilt oder durch eine ausreichend lange Verweilzeit im Absetzbecken abgeschieden werden. Die mehlfeinen Feststoffe im Restwasser sind bei der Bestimmung des *Mehlkorn*gehalts der Betonmischung zu berücksichtigen. Um zu verhindern, dass Restwasser Bestandteile, z. B. aus Zusatzmitteln, enthält, die die Stahlkorrosion fördern, fordert die Richtlinie, dass alle im Restbeton oder Restmörtel enthaltenen Zusatzmittel die elektrochemische Prüfung nach der Richtlinie für Zuteilung von Zulassungen für Betonzusatzmittel [Ri23] bestanden haben müssen. Mit Fett oder Öl verunreinigtes Wasser ist gesondert aufzubereiten. Wie Untersuchungen [Spa1, Ric3] ergaben, werden Zusatzmittelwirkstoffe, z. B. von Fließmitteln (s. Abschnitt II.2.4), im Verlauf der Zementhydratation nahezu vollständig und irreversibel an die Zementpartikel gebunden. Deshalb ist eine praxisrelevante Aufkonzentration des Zusatzmittelwirkstoffs im Restwasserbecken unter normalen Produktionsbedingungen im Transportbetonwerk nicht möglich.

Untersuchungen [Ric4] ergaben, dass Restwasser bis zu einer Dichte von $1,07 \text{ kg/dm}^3$ die Frischbetonkonsistenz nicht beeinträchtigt. Dagegen führte eine schnelle Wiederverwendung von feststoffreichem Restwasser mit einer Dichte von $1,15 \text{ kg/dm}^3$ unmittelbar nach dem Auswaschvorgang bei üblichen Standardbetonen zu einer deutlichen Verbesserung der Verarbeitbarkeit. 72 Stunden gelagertes feststoffreiches Restwasser mit einer Dichte von $1,15 \text{ kg/dm}^3$ führte zu einer wesentlich steiferen Konsistenz und zu einem geringfügig stärkeren Ansteifen als die

Verwendung von Restwasser kürzerer Vorlagerung. Dies ist auf die während der Vorlagerung entstandenen Hydratationsprodukte und den damit verbundenen erhöhten Wasseranspruch des Restwasserfeststoffs zurückzuführen. Besonders bei sehr feststoffreichen Restwässern muss deshalb der Restwasserfeststoff im Stoffraum bereits beim Mischungsentwurf berücksichtigt werden, wie es in der DAfStb-Richtlinie [Ri5] verlangt wird. Die im Restwasser enthaltenen gelösten Stoffe beeinflussten die Frischbetonkonsistenz und das Ansteifverhalten kaum.

Untersuchungen normalfester Betone ergaben, dass die Betondruckfestigkeit, der statische Elastizitätsmodul, das Schwind- und Kriechverhalten, der Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand, der Carbonatisierungswiderstand sowie das Elutionsverhalten gegenüber deionisiertem Wasser selbst durch Verwendung von feststoffreichem Restwasser mit einer Dichte von $1,15 \text{ kg/dm}^3$ nicht beeinträchtigt wurden. Das Festigkeitsniveau hochfester Betone war bei Verwendung von feststoffreichem Restwasser nur geringfügig niedriger als bei Verwendung von Trinkwasser. Betone, die mit Restwasser gemäß der Restwasserrichtlinie [Ri5] hergestellt werden, sind dauerhaft und haben die gleichen Gebrauchseigenschaften wie Betone, bei denen Trinkwasser verwendet wird.

16.2 Festbetonrecycling

16.2.1 Rezyklierte Gesteinskörnung

In zunehmendem Maße werden ältere Bauten abgerissen bzw. zurückgebaut, deren Materialien im Sinne des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes aufbereitet und als rezyklierte Gesteinskörnungen im Betonbau verwertet werden können. Art und Kornaufbau der Gesteinskörnung beeinflussen neben der Verarbeitbarkeit und der Festigkeit auch das Verformungsver-

halten und die *Dauerhaftigkeit* des Betons. *Rezyklierte Gesteinskörnung* aus Beton nimmt hierbei eine besondere Stellung ein, da sie nicht nur die ursprüngliche natürliche Gesteinskörnung, sondern auch den Zementstein enthält. Bei Betonsplitt beträgt der Zementsteinanteil rd. 20 %, bei Betonbrechsand bis zu 30 %.

16.2.2 Frischbetoneigenschaften

Die Porosität der rezyklierten Gesteinskörnung führt zu einem gegenüber natürlicher Gesteinskörnung erhöhten Wassersaugen, das erst nach längerer Zeit abgeschlossen ist (s. Abschnitt II.2.5). Trotz Vornässens der rezyklierten Gesteinskörnung saugt diese während der Herstellung und Verarbeitung des Betons Wasser auf. Bei Beton mit *Betonsplitt* ist diese zusätzliche *Wasseraufnahme* gering. Wird auch der *Betonbrechsand* anstelle von Natursand verwendet, macht sich dieses Wassersaugen stärker bemerkbar. Die Zementleim- oder Fließmittel- bzw. Verflüssigermenge muss gegenüber Beton mit natürlichen Gesteinskörnungen erhöht werden, wenn der Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung den gleichen wirksamen w/z-Wert und die gleiche Konsistenz aufweisen soll wie Beton mit normaler Gesteinskörnung [Ker2].

16.2.3 Festbetoneigenschaften

Festigkeit, Permeabilität und Carbonatisierungsfortschritt des Betons werden durch Betonsplitt praktisch nicht und durch Betonbrechsand in nur geringem Maß beeinflusst. Dies gilt im Allgemeinen auch für den Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand, auch wenn die rezyklierte Gesteinskörnung selbst keinen ausreichenden Frostwiderstand (s. Abschnitt II.2.5) aufweist. Dagegen nimmt der Elastizitätsmodul bei Verwendung von Betonsplitt geringfügig ab, liegt aber immer noch innerhalb der

Bandbreite, die bei Beton mit unterschiedlichen natürlichen Gesteinskörnungen gegeben ist. Wird jedoch auch der Natursand durch Betonbrechsand ersetzt, fällt der E-Modul stärker ab, da der E-Modul des Betons in erheblichem Maße von dem der Gesteinskörnung beeinflusst wird. Dieser ist bei Betonsplitt, insbesondere aber bei Betonbrechsand, aufgrund seiner hohen Porosität geringer als bei normaler Gesteinskörnung.

Ausgeprägte Unterschiede zwischen Beton mit rezykliertem Gesteinskörnung und normaler Gesteinskörnung treten beim Schwinden und Kriechen des Betons auf. Je mehr natürliche Gesteinskörnung durch Betonsplitt bzw. Betonbrechsand ersetzt wird, desto größer wird der Einfluss auf die Verformungseigenschaften. So wird allein durch den Einsatz von Betonsplitt das Schwinden um rd. 50 %, bezogen auf den Referenzbeton mit natürlicher Gesteinskörnung, vergrößert. Wird der Natursand durch Betonbrechsand ersetzt, nimmt das Schwinden auf nahezu den doppelten Wert im Vergleich zum Beton mit ausschließlich natürlicher Gesteinskörnung zu. Das Schwinden hängt u. a. von dem E-Modul der Gesteinskörnung ab. Rezyklierte Gesteinskörnung aus Betonbruch hat wegen des anhaftenden Mörtels einen geringeren E-Modul als normale Gesteinskörnung. Zusätzlich werden die Schwindverformungen durch das Schwinden des mit dem Betonbruch, besonders mit dem Betonbrechsand, eingebrachten Zementsteins vergrößert [Ker2].

Die Möglichkeit einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion muss bei der Verwendung rezykliertem Gesteinskörnung in Betracht gezogen werden. Die rezyklierte Gesteinskörnung kann eine alkaliempfindliche primäre Gesteinskörnung und gleichzeitig einen hohen Alkaligehalt aufweisen, sodass in sehr feuchter Umgebung schon ohne weitere Alkalizufuhr eine schädigende Reaktion auftreten kann. Darüber hinaus wird durch den neuen Zementleim der Alkaligehalt weiter erhöht (s. Abschnitt II.7.6).

16.2.4 Richtlinie

Die vorgenannten Untersuchungsergebnisse haben ihren Eingang in die im August 1998 erschienene DAfStb-Richtlinie „Beton mit rezykliertem Zuschlag“ [Ri1] gefunden. Die Einsatzmenge rezyklierter Gesteinskörnung im Beton wurde begrenzt, damit Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung wie Beton mit normaler oder schwerer Gesteinskörnung eingesetzt werden kann, ohne dass bei der Planung, Bemessung und Herstellung gesonderte Maßnahmen zu treffen sind.

Die Richtlinie in der derzeit gültigen Fassung (August 1998) lässt ausschließlich die Verwendung von Betonsplitt und Betonbrechsand (Typ 1 nach DIN 4226-100) zu. Bei Bauteilen in feuchter Umgebung entsprechend WF der Alkalirichtlinie [Ri 13], z. B. für Betone für die Expositionsklassen X0, XC1 bis XC4 und für Beton mit hohem Wassereindringwiderstand nach Abschnitt 5.3.3 in DIN 1045-2, müssen vorab die Herkunft des zu rezyklierenden Altbetons und die darin verarbeitete Gesteinskörnung bekannt sein sowie durch einen Gutachter die Einstufung dieser Gesteinskörnung in eine unbedenkliche Alkaliempfindlichkeitsklasse zweifelsfrei festgestellt werden. Bestehen in dieser Hinsicht keine Bedenken, dürfen rezyklierte Gesteinskörnungen auch für Beton der Expositionsklassen XF1 (Gesteinskörnung Kategorie F₄), XF3 (Gesteinskörnung Kategorie F₂, nachgewiesen an der Gesteinskörnung) und XA1 verwendet werden. Ohne die zuvor genannten Einschränkungen dürfen rezyklierte Gesteinskörnungen nur für Bauteile in trockenen Umgebungsbedingungen entsprechend W0 in der Alkalirichtlinie, z. B. für trockene Innenbauteile XC1, verwendet werden. Betonsplitt und Betonbrechsand > 2 mm können in Innenbauteilbetonen (trockene Umgebungsbedingungen) bis zur Festigkeitsklasse B 25 (C25/30) bis maximal 35 Vol.-%, in der Festigkeitsklasse B 35 (C30/37) bis maximal 25 Vol.-% eingesetzt werden.

In beiden Fällen dürfen maximal 7 Vol.-% Betonbrechsand ≤ 2 mm verwendet werden. Die genannten Werte beziehen sich jeweils auf die Summe der im Beton eingesetzten Gesteinskörnungen. Bei Betonen für Außenbauteile ist der Anteil Betonsplitt und Betonbrechsand > 2 mm auf 20 Vol.-% begrenzt, Betonbrechsand ≤ 2 mm darf nicht eingesetzt werden.

Derzeit wird die Richtlinie überarbeitet. Diese Überarbeitung bezieht sich zunächst auf die Anpassung an die Expositions- und Mindestdruckfestigkeitsklassen der DIN EN 206-1/DIN 1045-2. Später wird der Anwendungsbereich der Richtlinie ggf. auf den Typ 2 der DIN 4226-100 ausgedehnt (s. Abschnitt II.2.5).