

Das Wissen um knapper werdende Ressourcen ist einer der wesentlichen Treiber für nachhaltige Entwicklung. Kreislaufwirtschaft ist ein Konzept, bei dem Produkte und Materialien so lange wie möglich in Wertschöpfungskreisläufen zirkulieren. Beton ist ein sehr dauerhafter Baustoff, der bei entsprechender Planung lange Nutzungszyklen ermöglicht. Nach der Nutzung kann Beton rezykliert werden und ist als Gesteinskörnung eine wertvolle und nachgefragte Ressource. Die technische Qualität und die Verwendbarkeit der Gesteinskörnung ist u. a. von der Reinheit abhängig.

Die aus Abbruchmaterial gewonnene rezyklierte Gesteinskörnung kann einen Teil der aus der Natur gewonnenen Gesteinskörnungen ersetzen. Solch ein Beton darf genauso für die üblichen Bauteile im Hochbau eingesetzt werden wie Normalbeton, sowohl unbewehrt als auch bewehrt.

Bereits die Römer setzten Abbruchmaterial als Ersatz der natürlichen Gesteinskörnung in ihrem römischen Beton, dem Opus Caementitium, ein (Bild 1). Allerdings war die Motivation wohl eher ökonomischer als ökologischer Art. Zusätzlich konnte man durch das Zumischen von zerstoßenen Ziegelsteinen aus einem Luftkalk einen wasserbeständigen hydraulischen Kalk erzeugen.

In diesem Zement-Merkblatt werden die Regelwerke, die Randbedingungen und die Herstellung und Verarbeitung von Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung beschrieben. Des Weiteren werden im Abschnitt 9 ausgeführte Beispiele vorgestellt.

Im Merkblatt nicht behandelt wird das Frischbetonrecycling. In nahezu allen Transportbeton- und Fertigteilwerken Deutschlands wird Restbeton und Reinigungswasser aus der

Betonproduktion sowie Brauchwasser aus der Betonbearbeitung einem anlageninternen Kreislauf zugeführt. Der Einsatz von wiedergewonnener ausgewaschener Gesteinskörnung ist in DIN 1045-2 Abschnitt 5.2.3.2 geregelt [6].

■ 1 Begriffe

Beton

Baustoff, erzeugt durch Mischen von Zement, grober und feiner Gesteinskörnung und Wasser, mit oder ohne Zugabe von Zusatzmitteln und Zusatzstoffen. Der Beton erhält seine Eigenschaften durch die Hydratation des Zements. (siehe auch Merkblatt – Was ist Beton) [1]

Betonrecycling

Erhärteter Beton wird gebrochen, nach Korngrößen sortiert und kann dann u. a. der Betonproduktion wieder zugeführt werden.

Expositionsklassen

Klassifizierung der chemischen und physikalischen Umgebungsbedingungen, denen der Beton ausgesetzt werden kann und die auf den Beton, die Bewehrung oder metallische Einbauteile einwirken können und nicht als Lastannahmen in die Tragwerksplanung eingehen (siehe auch Zement-Merkblatt B9 – Expositionsklassen im Geltungsbereich des EC2 [3]).

Feuchtigkeitsklassen

Die Feuchtigkeitsklassen sind Einstufungen der Umgebungsbedingungen, die vom Planer hinsichtlich einer möglichen schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion immer festzulegen sind. Die Feuchtigkeitsklassen korrelieren mit den Expositionsklassen (siehe auch Zement-Merkblatt [3]).

Gesteinskörnungen

Unter anderem für die Verwendung in Beton geeignete, gekörnte, mineralische Stoffe. Gesteinskörnungen können natürlich oder künstlich sein oder aus vorher beim Bauen verwendeten, rezyklierten Stoffen bestehen (siehe RC-Gesteinskörnung).

Primäre Gesteinskörnung

Gesteinskörnung, die aus der Natur gewonnen wird, wie naturrunder Kies aus Flüssen und Baggerseen oder gebrochener Splitt aus Steinbrüchen. Im Unterschied dazu wird rezyklierte Gesteinskörnung auch Sekundärmaterial genannt.

Ressourcenschonender Beton

Dieser Beton wird auch als Recycling-Beton bezeichnet, da er rezyklierte Gesteinskörnungen enthält. Er gilt als ressourcenschonend, weil durch seinen Einsatz Primärausgangsstoffe eingespart werden können.

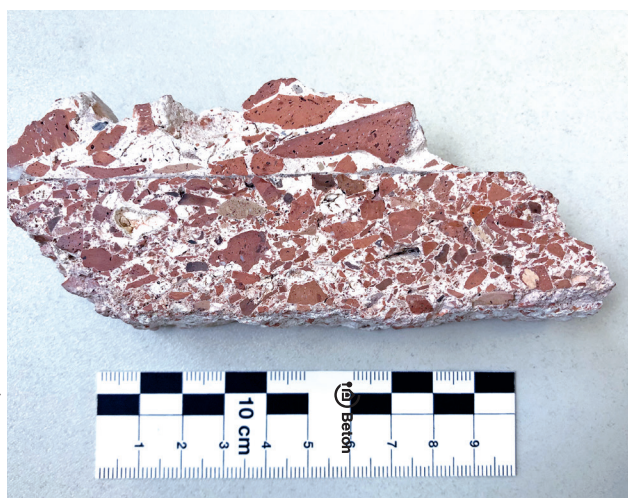


Bild: D. Bosold, IZB

Bild 1: Zweilagiges Bruchstück eines römischen Betons mit Sieblinien unterschiedlicher Korngröße und Ziegelsplitt als Gesteinskörnung

RC-Gesteinskörnung

Abkürzung für **Recycling-Gesteinskörnung**. Die Abkürzung RC nimmt Bezug auf den Anglizismus Recycling. In den deutschen Regelwerken wird der eingedeutschte Begriff „rezykliert“ benutzt.

RC-Gesteinskörnung Typ 1 (Betonsplitt)

Mindestens 90 M.-% dieser Gesteinskörnung muss aus Beton oder aus Naturstein bestehen. Max. 10 % dürfen Nebenbestandteile wie z. B. Ziegel oder Kalksandstein sein.

RC-Gesteinskörnung Typ 2 (Bauwerkssplitt)

Mindestens 70 M. % dieser Gesteinskörnung muss aus Beton oder aus Naturstein bestehen. Max. 30 % dürfen Nebenbestandteile wie z. B. Ziegel oder Kalksandstein sein.

Wiedergewonnene gebrochene Gesteinskörnung

Gesteinskörnung, die durch Brechen von Festbeton gewonnen wird, der noch nicht beim Bauen verwendet wurde.

2 Gesteinskörnungen für Beton

Rezyklierte Gesteinskörnungen weisen eine etwas geringere Rohdichte als primäre Gesteinskörnungen auf (Tafel 1).

Tafel 1: Rohdichte verschiedener Gesteinskörnungen

Gesteinskörnung	Rohdichte (ofentrocken) [kg/m³]
natürliche Gesteinskörnung (Kies-Sand)	2 550 – 2 700
rezyklierte Gesteinskörnung	2 000 – 2 500 [18]

Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzungen der rezyklierten Gesteinskörnungen kann auch die Schwankungsbreite der Rohdichte etwas höher sein.

Tafel 2: Bestandteile der RC-Gesteinskörnungen und ihre Abkürzungen

Bestandteile	Abkürzungen
Beton, Betonprodukte, Mörtel, Mauersteine aus Beton	Rc
ungebundene Gesteinskörnung, Naturstein, hydraulisch ungebundene Gesteinskörnung	Ru
Mauerziegel (d. h. Mauersteine und Ziegel), Kalksandsteine	Rb
bitumenhaltige Materialien	Ra
sonstige Materialien: Bindige Materialien (Ton und Boden), verschiedene sonstige Materialien: Metalle (Eisen- und Nichteisenmetalle), nicht schwimmendes Holz, Kunststoff, Gummi, Gips	X
schwimmendes Material im Volumen	FL

Rezyklierte Gesteinskörnung besteht im Wesentlichen aus den in Tafel 2 aufgeführten Bestandteilen.

Die stoffliche Zusammensetzung der rezyklierten Gesteinskörnung ist an Grenzwerte in Abhängigkeit von Typ 1 und Typ 2 gekoppelt (Tafel 3, Bilder 3 und 4).

3 Ursprung und Verfügbarkeit der rezyklierten Gesteinskörnung

Der bei Rückbaumaßnahmen anfallende Altbeton wird in Deutschland fast vollständig rezykliert (Bild 2). Reiner Betonbruch wird zu 99 % rezykliert. Bauschutt, bestehend aus Beton vermischt mit anderen mineralischen Stoffen (wie z. B. Ziegel, Fliesen und Keramik), wird zu 87 % rezykliert [12].

Tafel 3: Stoffliche Zusammensetzung rezyklierter Gesteinskörnung > 4 mm nach DIN 1045-2, Abschnitt E.3.1.1, Tabelle E.2 [6]

Bestandteile ^{a)}	Kategorie der Gesteinskörnung	
	Typ 1 [M.-%]	Typ 2 [M.-%]
Rc + Ru	≥ 90	≥ 70
Rb	≤ 10	≤ 30
Ra	≤ 1	≤ 1
X + Rg	≤ 1	≤ 2
FL	≤ 2 [cm³/kg]	≤ 2 [cm³/kg]

^{a)} Bestandteile nach Tafel 2

Allerdings steht das Recyclingmaterial nicht nur für die Herstellung von Beton zur Verfügung. Zum überwiegenden Teil fließt es zur Substitution primärer Gesteinskörnungen in andere Anwendungen, wie die Herstellung von Trag- und Frostschuttschichten im Straßenbau.

4 Regelwerke

Das Regelwerk für Beton, Stahl- und Spannbeton im Hochbau lässt sich in drei wesentliche Kategorien unterteilen: Bemessung und Konstruktion, Betonzusammensetzung und -herstellung sowie Verarbeitung und Einbau. Die Bemessungsnorm DIN EN 1992 [8], enthält Bemessungs-, Konstruktions- und Bewehrungsregeln, um Standsicherheit und Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken zu gewährleisten. Darüber hinaus werden in dieser Norm Betoneigenschaften festgelegt, die den Bemessungsregeln zugrunde liegen und Voraussetzung für ihre Anwendbarkeit sind.

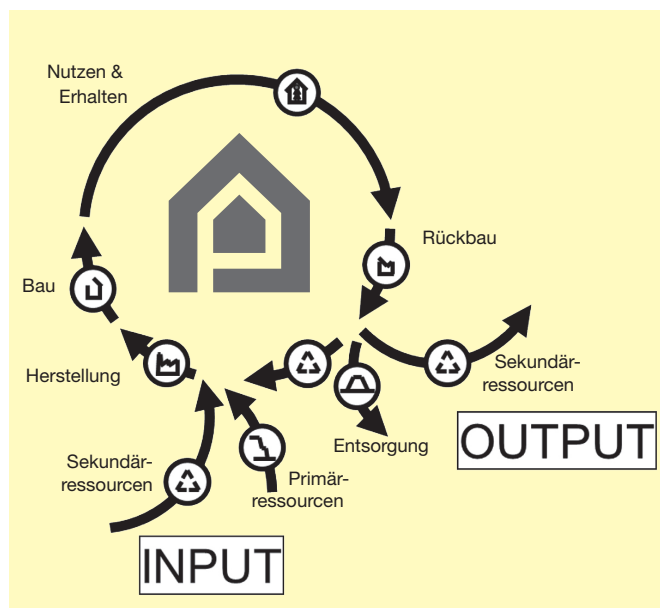
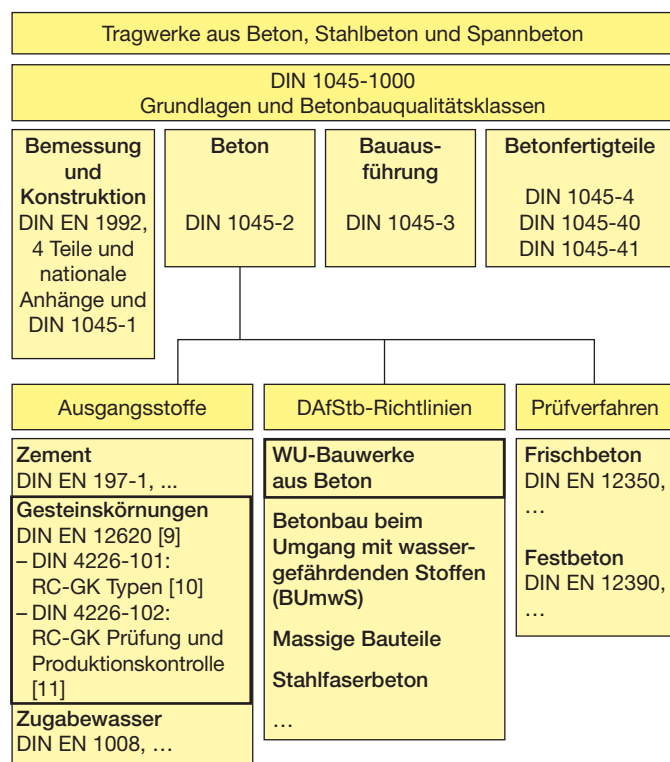


Bild: M. Brunner

Bild 2: Stoffkreislauf von Baustoffen

Wie Beton zusammengesetzt, hergestellt und einzubauen ist, um die geforderten Eigenschaften sicher zu erreichen, wird in der Betonnorm DIN 1045-2 [6], bzw. der Ausführungsnorm DIN 1045-3 [7], geregelt.

Tafel 4: Rezyklierte Gesteinskörnungen im Regelwerk für Bauwerke aus Stahlbeton und Spannbeton



Der Betonnorm zugeordnet sind die Normen für die Betonausgangsstoffe, z. B. Zement, Gesteinskörnungen oder Zugabewasser.

Die Norm für die Gesteinskörnung für Beton, DIN EN 12620 [9], gilt sowohl für natürliche als auch für rezyklierte Gesteinskörnung. Sie enthält neben den allgemeinen Anforderungen an Gesteinskörnungen für Beton, zusätzliche Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen. So müssen für RC-Gesteinskörnungen beispielsweise die Anteile der enthaltenen Materialien oder der Gehalt wasserlöslichen Sulfats ermittelt und deklariert werden.

Hinsichtlich der Besonderheiten rezyklierter Gesteinskörnung wird die allgemeine Gesteinskörnungsnorm DIN EN 12620 [9] durch DIN 4226-101 [10] und DIN 4226-102 [11] ergänzt. In Abhängigkeit des Anteils von Fremdanteilen wie Ziegel oder Kalksandstein, werden in diesen beiden Normen RC-Gesteinskörnungs-Typen definiert und festgelegt, wie Prüfungen und Produktionskontrolle bei der Herstellung der Gesteinskörnung durchzuführen sind.

Die Herstellung und Verwendbarkeit von Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung ist in der Betonnorm DIN 1045-2 [6] geregelt. Sie begrenzt die Zugabemenge von RC-Gesteinskörnung (Tafel 6) und beschränkt die Verwendbarkeit des Betons mit RC-Gesteinskörnung hinsichtlich Festigkeitsklasse ($\leq C50/60$) und Expositionsklassen (Tafel 5) auf einen Bereich, in dem er sich in seinen Eigenschaften und seiner Verarbeitbarkeit nicht, oder nicht wesentlich, von Beton mit primärer Gesteinskörnung unterscheidet. Damit sind die allgemeinen Bemessungs- und

Tafel 5: Anwendungsbereiche für Betone mit rezyklierter Gesteinskörnung

Expositionsklasse	Bemerkung	Beispiel
X0		Füllbeton, Sauberkeitsschichten, Fundamente ohne Bewehrung und Frost, Innenbauteile ohne Bewehrung
XC1		Innenbauteil mit üblicher Luftfeuchte
XC2		Teile von Wasserbehältern, Gründungsbauteile
XC3		Bauteile, zu denen die Außenluft häufig oder ständig Zugang hat, wie offene Hallen; Dachflächen mit flächiger Abdichtung
XC4		Außenbauteil mit direkter Beregnung
XF1 ¹⁾	Kategorie F ₄ (wie bei Normalbeton)	Außenbauteil
XF2 ²⁾	Kategorie MS ₂₅ (wie bei Normalbeton); auch als LP-Beton möglich	Betonbauteile im Sprühnebel- oder Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen (soweit nicht XF4); Betonbauteile im Sprühnebelbereich von Meerwasser
XF3 ¹⁾	Kategorie F ₂ (wie bei Normalbeton); auch als LP-Beton möglich	Außenbauteil mit hoher Durchfeuchtung, offene Wasserbehälter, Bauteile in der Wasserwechselzone von Süßwasser
XF4 ²⁾	Kategorie MS ₁₈ (wie bei Normalbeton); nur als LP-Beton zulässig	Betonflächen, die mit Taumittel behandelt werden; Meerwasserbauteile in der Wasserwechselzone
XA1		Behälter von Kläranlagen, Güllebehälter
XD1 ²⁾		mäßige feuchte; Betonbauteile im Sprühnebelbereich, Einzelgaragen
XD2 ²⁾		Nass, selten trocken; Solebäder; Bauteile, die chloridhaltigen Industrieabwässer ausgesetzt sind
XS1 ²⁾		Außenbauteile in Küstennähe (salzhaltige Luft)
XS2 ²⁾		Betonbauteile in Hafenanlagen, die ständig unter Wasser liegen

¹⁾ Bei diesen Expositionsklassen sind Taumittel ausgeschlossen. Daher ist auch hier eine uneingeschränkte Anwendung möglich.

²⁾ Die Feuchtigkeitsklasse WA darf nur für rezyklierte Gesteinskörnung mit nachgewiesener Alkaliempfindlichkeitsklasse E I-S nach DAfStb-Alkali-Richtlinie verwendet werden.

Verarbeitungsregeln der DIN EN 1992 [8] bzw. DIN 1045-3 [7] ohne Einschränkungen anwendbar.

Von den Vorgaben der Betonnormen kann abgewichen werden, z. B. durch eine Erhöhung des Anteils an RC-Gesteinskörnung, wenn die relevanten Betoneigenschaften durch Gutachten nachgewiesen werden. Herstellung und Verwendung werden dann über allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ) oder Zustimmungen im Einzelfall (ZiE) geregelt, die beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) bzw. der obersten Landesbaubehörde zu beantragen sind.

5 Einsatzmöglichkeiten und -grenzen

Der Gehalt rezyklierter Gesteinskörnung im Beton ist normativ begrenzt. Nach aktuellen Betonnormen für die Verwendung rezyklierter Gesteinskörnungen für die Herstellung von Beton [6] dürfen, in Abhängigkeit von Expositionsklasse und Typ der rezyklierten Gesteinskörnung, bis zu 20 bis 45 Vol.-% der groben natürlichen Gesteinskörnung im Beton durch rezyklierte Gesteinskörnung ersetzt werden (Tafeln 6 und 7, Bild 5). Die Verwendung der feinen rezyklierten Gesteinskörnung ist inzwischen nach DIN 1045-2 [6] für RC-Gesteinskörnung Typ 1 zulässig.

Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen ≤ 25 Vol.-% Austausch der groben Gesteinskörnung kann in die Betonklasse N eingestuft werden.



Bild 3: RC-Gesteinskörnung Typ 1



Bild 4: RC-Gesteinskörnung Typ 2

Soll von dieser Regel abgewichen werden – die Herstellung von Beton mit bis zu 100 % rezyklierter Gesteinskörnung ist technisch prinzipiell möglich – müssen die Produkteigenschaften durch Gutachten nachgewiesen werden. Es dürfen nur rezyklierte Gesteinskörnungen verwendet werden, die keine umweltschädlichen Auswirkungen, insbesondere auf Boden und Grundwasser, haben. Der Nachweis kann durch Einhalten der Anforderungen von DIN 4226-101 [10] und DIN 4226-102 [11] geführt werden.

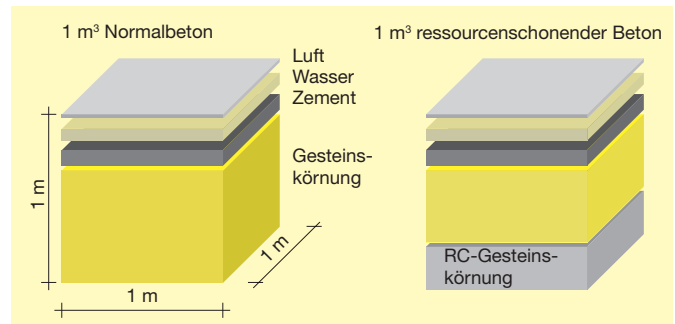


Bild 5: Qualitative Mengenverteilung von 1 m³ Normalbeton und 1 m³ ressourcenschonendem Beton

Tafel 6: Zulässige Anteile rezyklierter grober Gesteinskörnungen (> 4 mm) in Abhängigkeit der Expositionsklasse und des Typs der rezyklierten Gesteinskörnung nach DIN 1045-2 [6]

Anwendungsbereich		Kategorie der Gesteinskörnung	
DAfStb Alkali-Richtlinie	DIN 1045-2	Typ 1	Typ 2
WO (trocken)	X0, XC1	≤ 45 Vol.-% (eventuell feine GK möglich)	≤ 35 Vol.-%
WF (feucht)	X0, XC1, XC2, XC3, XC4	≤ 45 Vol.-%	≤ 35 Vol.-%
	XF1, XF3, Beton mit hohem Wassereindringwiderstand	≤ 45 Vol.-%	≤ 35 Vol.-%
	chemischer Angriff XA1	≤ 25 Vol.-%	≤ 25 Vol.-%
WA (feucht und Alkalizufuhr von außen)	XD1 und XD2* XS1 und XS2* XF2 und XF4	≤ 30 Vol.-%	≤ 20 Vol.-%

* Achtung: XD2 und XS2 (nass, selten trocken) fordert als Mindestfestigkeitsklasse C35/45, maßgebend für Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung ist aber bei einem Volumenanteil von > 25 Vol.-% eine Festigkeitsklassenbeschränkung bei C30/37. Bis 25 Vol.-% Anteilen an RC-Gesteinskörnung gilt als maximale Betondruckfestigkeitsklasse C50/60.

Tafel 7: Maßnahmen hinsichtlich der Alkali-Kieselsäure-Reaktion [4]

Feuchtigkeitsklasse	Maßnahmen	
WO	keine Einschränkung hinsichtlich der Anwendung	
WF	Herkunft bekannt	Nachweis der empfindlichkeitsklasse E I-S nach DAfStb-Richtlinie durch den Lieferanten; ohne Einschränkungen darf höchstens 5% Volumenanteil der Gesamtmenge der Gesteinskörnung zugefügt werden
	Herkunft unbekannt	E III-O – E III-OF in den Regionen nach Alki-Richtlinie des DAfStb; Eine Einstufung in eine unbedenkliche Alkaliempfindlichkeitsklasse kann über ein Gutachten erfolgen.
		außerhalb der Regionen nach Alki-Richtlinie des DAfStb E III-S oder Nachweis Alkaliempfindlichkeitsklasse E I-S
WA	Eine Einstufung in eine unbedenkliche Alkaliempfindlichkeitsklasse kann nur über ein Gutachten erfolgen.	

Für Beton in nicht tragender oder aussteifender Funktion, bzw. in Anwendungen, für die das geltende Betonregelwerk nicht zwingend anzuwenden ist, sind abZ bzw. ZiE nicht erforderlich. Hier deklariert der Produkthersteller die Eigenschaften bzw. es liegt im Ermessen der Bauherrschaft, technische Nachweise zu fordern.

Hinweis: Für andere Bauteile, die nicht DIN EN 206-1 [8] entsprechen, wie z.B. Ausgleichsschichten unter Estrichen oder Verfüllbetone, können RC-Gesteinskörnungen ohne Berücksichtigung der DAfStb-Richtlinie [3] verwendet werden.

■ 6 Praktische Vorgehensweise

Es sollte eine Anfrage an die örtlichen Transportbetonwerke erfolgen, ob ressourcenschonender Beton angeboten wird bzw. ob regionale Aufbereitungskapazitäten für rezyklierte Gesteinskörnungen zur Verfügung stehen.

Für die Planung ist dann Abschnitt 5 dieses Merkblatts zu beachten. Bei vielen Bauteilen – definiert über die Expositionsklassen – kann problemlos ressourcenschonender Beton eingesetzt werden.

Ressourcenschonender Beton kann in der Ausschreibung explizit benannt werden. Einige Bundesländer fordern für Baumaßnahmen der öffentlichen Hand eine Präferenzierung von Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung.

Im Rahmen der Nachhaltigkeitszertifizierung der Betonhersteller durch des CSC-System (Concrete-Sustainable-Council) kann eine ergänzende Zertifizierung für ressourcenschonenden Beton erfolgen. Diese Zertifizierung wird bei der Gebäudezertifizierung der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen DGNB in der Qualitätsstufe 2.2 (Einsatz von zertifizierten Sekundärrohstoffen) anerkannt [14].

Die Verarbeitung von ressourcenschonendem Beton unterscheidet sich nicht von der Verarbeitung von Normalbeton.

■ 7 Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung im Kontext der Betonbauqualitätsklassen (BBQ)

Die wesentlichen Regelwerke für Tragwerke aus Beton, Stahl- und Spannbeton im Hochbau sind in Kapitel 4 – siehe auch Tafel 4 – beschrieben.

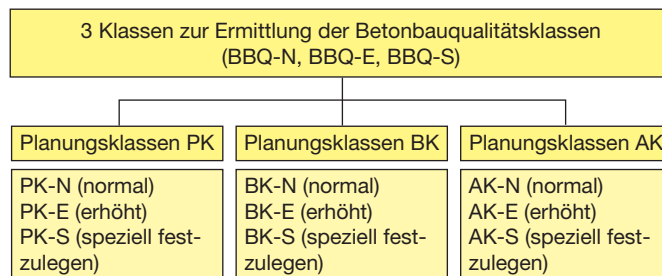
Die DIN 1045-1000 [4] ergänzt die Normenteile für die Planung, Herstellung und Ausführung.

Die Sicherstellung der Qualität und ein reibungsloser Bauablauf im Betonbau ist eine schnittstellenübergreifende Aufgabe von Planung, Baustofftechnik und Bauausführung.

Dafür wurde die DIN 1045-1000 [4] Betonbauqualitätsklassen (BBQ) ins Leben gerufen. Es wird unterschieden in Planungsklassen (PK), Betonklassen (BK) und Ausführungsklassen (AK). Diese 3 Klassen bestimmen dann die Einstufung in die übergeordnete Betonbauqualitätsklasse (BBQ). Die Systematik kann der Tafel 8 entnommen werden.

Die Planungs-, Beton- und Ausführungsklassen werden jeweils in den Anforderungen normale, erhöhte und speziell festzulegende unterschieden (Klassensystematik). Diese Klassensystematik spiegelt sich in der übergeordnete Betonbauqualitätsklasse (BBQ) wider.

Tafel 8: Systematik der Betonbauqualitätsklassen



Die Verknüpfung der Klassensystematik und die Zuordnung der Betonbauqualitätsklasse kann der Tafel 9 entnommen werden.

Tafel 9: Klassensystematik und Zuordnung Betonbauqualitätsklasse

Anforderung	N (normal)	E (erhöht)	S (speziell festzulegen)
Planungsklasse	PK-N und	PK-E oder	PK-S oder
Betonklasse	BK-N und	BK-E oder	BK-S oder
Ausführungsklasse	AK-N	AK-E	AK-S
Betonbauqualitätsklasse	BBQ-N	BBQ-E	BBQ-S

Die schärfste Anforderung aus den Klassen ergibt die übergeordnete Betonbauqualitätsklasse, siehe nachfolgende Beispiele.

Beispiele zur Einordnung:

Planungsklasse N	Betonklasse N	Ausführungsklasse N
BBQ-N		
Planungsklasse N	Betonklasse N	Ausführungsklasse E
BBQ-E		
Planungsklasse S	Betonklasse N	Ausführungsklasse N
BBQ-S		

Die BBQ-Klasse hat aber nichts mit der Überwachungsklasse zu tun, siehe auch Kapitel 11.

Bei BBQ-E und BBQ-S ist ein Betonbaukonzept erforderlich. Es wird unterschieden in ein vorläufiges Betonbaukonzept, welches vor der Ausschreibung erstellt wird und ein im Bauverlauf fort-schreibendes Betonbaukonzept, siehe auch Zementmerkblatt B5 – Überwachung von Beton auf Baustellen [2].

Nach DIN 1045-1000 [4] wird Beton mit grober rezyklierter Gesteinskörnung ≤ 25 Vol.-% in BBQ-N eingestuft und somit ist kein Betonbaukonzept erforderlich. Bei einem Volumenanteil > 25 Vol.-% wird ressourcenschonender Beton zwar in der Planungsklasse als „N“ eingestuft, aber sowohl die Betonklasse als auch die Ausführungsklasse wird in „E“ eingestuft und somit ergibt sich für diesen Fall die Betonbauqualitätsklasse BBQ-E. Dies bedeutet, dass für diesen Fall ein Betonbaukonzept erforderlich ist.

Weicht man von den Vorgaben der DIN 1045-2 Absatz 5.2.3.4 ab, ergibt sich eine Einordnung des verwendeten ressourcenschonenden Betons in die BBQ-S.

Hinsichtlich des Einsatzes von feiner rezyklierter Gesteinskörnung gilt folgendes (siehe Tafel 10):

Tafel 10: Einsatz feiner rezyklierter Gesteinskörnung

Einstufung in BK-N	Einstufung in BK-E*
max. 25 Vol.-% rezyklierter G-Körnung	max. 45 Vol.-% rezyklierter G-Körnung
nur feine rezyklierter G-Körnung Typ 1	nur feine rezyklierter G-Körnung Typ 1
Expositionsklassen X0, XC1, XC2, XC3, XC4, WO, WF	Expositionsklassen X0, XC1, WO, WF
Anteil feiner rezyklierter G-Körnung nicht größer als Anteil feiner G-Körnung in Sieblinie	Anteil feiner rezyklierter G-Körnung nicht größer als Anteil feiner G-Körnung in Sieblinie, max. 20 Vol.-% der austauschbaren rezyklierten G-Körnung

*Ein Betonbaukonzept ist erforderlich

■ 8 Üblicher Betoneinsatz auch mit ressourcenschonendem Beton

Beton mit hohem Wassereindringwiderstand (WU-Beton)

Die Wasserundurchlässigkeit des Betons wird durch die Porosität des Zementsteins und damit durch den w/z-Wert bestimmt. Bei ressourcenschonendem Beton gelten die gleichen Kriterien wie für Normalbeton. WU-Beton wird in der Betonnorm [6] explizit als Anwendungsbereich genannt. Einzelheiten sind im WU-Konzept und im Betonbaukonzept aufzuführen.



Bild: D. Bosold, IZB

Bild 6: Blick aus einer Seitenstraße auf den neuen Rathaus-Anbau

Sichtbeton

Die Optik einer Sichtbetonfläche wird überwiegend von der eingesetzten Schalung, von der Dichtigkeit der Schalungsstöße und der Anordnung und dem Verschluss der Ankerlöcher bestimmt und ist damit zunächst unabhängig von der Betonart.

Die Oberfläche eines Betons hinsichtlich der Farbgebung wird durch die feinen Bestandteile der Betonzusammensetzung bestimmt. Das sind die Zementart, der Sand und ggf. die Betonzusatzstoffe oder Farbpigmente. Hier hat die rezyklierter Gesteinskörnung, die üblicherweise erst in den größeren Körnungen zugegeben wird, keinen Einfluss.

Hinsichtlich der Geschlossenheit der Betonoberfläche gilt, dass die Betonmischung gut verarbeitbar sein muss und der Rüttlereinsatz auf die Konsistenz abgestimmt werden muss. Das geht mit ressourcenschonendem Beton genauso gut wie mit Normalbeton. Gegebenenfalls muss das höhere Wasseraugverhalten der rezyklierten Gesteinskörnung bei der Einstellung der Konsistenz berücksichtigt werden.

Wird hingegen die Betonoberfläche mechanisch bearbeitet, wie z. B. durch Strahlen, Stocken und anderes, wird die rezyklierter Gesteinskörnung sichtbar. Das Erscheinungsbild hängt dann auch von den Bestandteilen der Gesteinskörnung und damit vom Typ 1 oder Typ 2 der rezyklierten Gesteinskörnung ab. Das muss vorher durch entsprechende Erprobungsflächen ausprobiert werden. Sichtbeton ist mit ressourcenschonendem Beton also absolut möglich.

Ressourcenschonender Beton im Fertigteilwerk

Auch in Betonfertigteilwerken wird mit rezyklierten Gesteinskörnungen gearbeitet, siehe auch Merkblätter der Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteile. Dabei wird Betonbruch aus der laufenden Produktion gesammelt und schubweise aufgearbeitet. Die Voraussetzungen im Betonfertigteilwerk sind sogar besonders günstig, da – wenn kein Material von außen zugeliefert wird – ausschließlich Betonbruch verarbeitet wird und sogar Mindestfestigkeiten des Betonbruchs bekannt sind. Dann kann relativ einfach nach DIN 1045-2 [6] gearbeitet werden. Auch Betonwaren (z.B. Pflastersteine, Platten) werden mit rezyklierten Gesteinskörnungen angeboten.

■ 9 Ausgeführte Beispiele

Anbau Rathaus Korbach

Der Neubau des Rathauses im hessischen Korbach folgt einem ganzheitlichen Urban Mining Konzept. Das Abbruchmaterial des Vorgängerbaus wurde ortsnahe recycelt und als Gesteinskörnung im ressourcenschonenden Beton für das Tragwerk und die Fassadenplatten wiederverwendet.

Aushängeschild des Gebäudes ist die aus Betonfertigteilen bestehende Fassade. Die insgesamt 260 Elemente wurden mit Recycling-Beton unter Verwendung von Abbruchmaterialien des Vorgängerbaus gefertigt.

Die Fassadenplatten wurden in einer Dicke von 14 cm für die Anwendung als vorgehängte, hinterlüftete Fassade konzipiert. Durch Strahlen der Oberfläche wurde der rote Ziegelbruch freigelegt, die Fertigteile erhielten so die gewünschte, an die Historie des Ortes erinnernde Optik.

Beim Urban Mining (Stadtschürfung) wird eine Stadt als riesige Rohstofflagerstätte betrachtet. Bereits verbaute Rohstoffe werden beim Abbruch von Gebäuden möglichst im Wertstoffkreislauf gehalten und wiederverwendet. Dies ist besonders bei der Betonherstellung möglich, da die aus Sand und Kies bestehende Gesteinskörnung relativ leicht durch das Recyclingmaterial ersetzt werden kann.

Wenn mit den rezyklierten Gesteinskörnungen sichtbare Bauteile wie z.B. Fassadenplatten oder Sichtbeton gefertigt werden, ist Urban Mining nicht nur nachhaltig, sondern auch architektonisch relevant: Farbe und Materialität des Vorgängerbaus können aufgegriffen werden, der Bezug in die Vergangenheit wird erhalten bzw. hergestellt.

Zur besseren Recyclingfähigkeit wurden viele Flächen unverbaut belassen und Sichtbeton bis zur Sichtbetonklasse SB3 umgesetzt.

Hundertreichs Waldspirale in Darmstadt

Die Waldspirale in Darmstadt ist zunächst ein Mehrfamilienhaus mit Tiefgarage. Dieses Gebäude ist durch den gestalterischen Einfluss des Künstlers Friedensreich Hundertwasser aber ein architektonisches Unikat. Die Fassade ist bunt bemalt und zeigt schwungvolle Linien. Die Dächer sind begrünt und begehbar. Die Fenster sind unregelmäßig angeordnet. Und um den ökologischen Grundgedanken Hundertwassers umzusetzen, wurde ressourcenschonender Beton eingesetzt. Die Waldspirale wurde im Jahr 2000 fertiggestellt. Also lange bevor die DAfStb-Richtlinie erschienen ist. Daher wurde die Umsetzung des ressourcenschonenden Betons auch intensiv wissenschaftlich von der TU Darmstadt begleitet.

Die Tiefgarage wurde als Weiße Wanne ebenso wie weitere Bauteile mit ressourcenschonendem Beton ausgeführt. Insgesamt wurden mehrere 1 000 m³ ressourcenschonender Beton eingesetzt.

Umweltstation der Stadt Würzburg

Der Neubau der Umweltstation der Stadt Würzburg dient als städtisches Informationszentrum zu den Themen Umwelt, Klima und Nachhaltigkeit sowie für die Abfall- und Umweltberatung. Betreiber der Einrichtung ist der Entsorgungsfachbetrieb der Stadt Würzburg, „Die Stadtreiniger“.

Bei dem Nutzungskonzept Nachhaltigkeit und Abfallvermeidung drängt sich der Einsatz von ressourcenschonendem Beton förm-

lich auf. Eingesetzt wurden ca. 650 m³ ressourcenschonender Beton, dessen RC-Gesteinskörnung aus einer alten Autobahnbrücke aus der Region gewonnen wurde.

Dabei musste der ressourcenschonende Beton nicht nur über die ausreichenden statischen Eigenschaften, z. B. für die vorspringenden umlaufenden Dächer, verfügen. Zusätzlich wurden sowohl Deckenuntersichten als auch Wände in der Sichtbetonklasse SB3 ausgeführt.

Die neue Umweltstation setzt zukunftsweisende Zeichen in Sachen ökologisches und nachhaltiges Bauen: Erstmals wurde Recyclingbeton bei einem öffentlichen Gebäude in Bayern eingesetzt und beim Neubau wurde soweit irgend möglich auf die Verwendung von Verbundwerkstoffen verzichtet, so dass alle verwendeten Baustoffe rezyklierbar sind.

Rhoda-Erdmann-Haus in Berlin

Das Rhoda-Erdmann-Haus in Berlin ist ein Forschungs- und Laborgebäude der Humboldt-Universität Berlin. Genutzt wird das Gebäude durch das Institut für Biologie der Lebenswissenschaftlichen Fakultät. Rhoda Erdmann war Biologin, Zellforscherin und Mitbegründerin der experimentellen Zellbiologie in Deutschland.

Das besondere an diesem Neubau ist der Einsatz von ressourcenschonendem Beton auch im Spezialtiefbau. In der Schlitzwand wurden ca. 1 700 m³ ressourcenschonender Beton der Festigkeitsklasse C25/30 mit den Expositionsclassen XA1 und XC4 eingebaut.

Im Gebäude selber wurden ca. 3 800 m³ ressourcenschonender Beton der Festigkeitsklasse C30/37 mit der Expositionsklasse XC3 eingebaut. Eröffnet wurde das Gebäude im Jahr 2016.

10 Recyclinggerechtes Bauen

Beton ist ein sehr dauerhafter Baustoff. Eines der bekanntesten Beispiele dafür ist das vor rund 2 000 Jahren in Rom erbaute Pantheon. Da im Sinne der Kreislaufwirtschaft Wieder- bzw. Weiterverwendung vor Verwertung geht, sollte die Langlebigkeit von Beton gezielt eingesetzt werden, um lange Nutzungszyklen von Bauwerken zu ermöglichen.

Für eine möglichst lange Nutzbarkeit sollten Gebäude so geplant werden, dass sich Komponenten mit unterschiedlichen



Bild: Stefan Meyer

Bild 7: Umweltstation der Stadt Würzburg

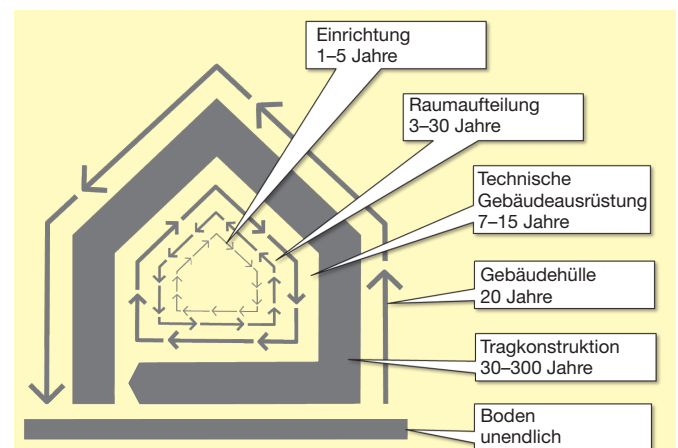


Bild 8: Modell der „Änderungsschichten“ eines Gebäudes [14]

Lebenserwartungen unabhängig voneinander ändern oder erneuern lassen. Andernfalls bestimmen Elemente mit geringerer Lebenserwartung die lange Nutzbarkeit eines Gebäudes.

Eine mögliche Umnutzung sollte genauso Teil der Planung sein wie ein Rückbaukonzept.

Beton kann fast vollständig recykliert und wiederverwendet werden. Wesentliche Voraussetzung dafür ist, dass sich der Beton gut von anderen Materialien trennen lässt.

Je weniger Fremdbestandteile die Betonzusammensetzung enthält, desto einfacher ist der Recyclingprozess bzw. desto hochwertiger ist die daraus hergestellte Gesteinskörnung. Dies gilt für organische Stoffe wie Bitumen, Kunststoff oder Holz, aber auch für anorganische Materialien wie Ziegel, Kalksandstein oder Porenbeton.

Besonders kritisch sind Störstoffe, die die Festigkeitsentwicklung von Beton beeinflussen. So beeinflusst Gips den Erstarrungsbeginn von Beton und kann bei ungünstigen Bedingungen zu Sulfatreiben führen. Der Gehalt an löslichem Sulfat in rezyklierter Gesteinskörnung für Beton ist daher begrenzt. Wird der Grenzwert überschritten, kann die Gesteinskörnung nicht für die Herstellung von Beton verwendet werden und muss in alternativen Anwendungen eingesetzt werden. So sollten beispielsweise Gipsputze nicht auf Betonflächen verwendet werden.

„Materialmix“ oder Verklebungen sollten, wo möglich, vermieden werden. In dieser Hinsicht ist z. B. eine Weiße Wanne günstiger als eine mit dem Beton verklebte Abdichtung. Um die Logistik beim Rückbau zu vereinfachen, sollte unabhängig von der Trennbarkeit die Anzahl verbauter Materialien mit unterschiedlichen Verwertungswegen so klein wie möglich gehalten werden. Stahlbeton ist ein unproblematischer Verbundbaustoff. Durch die unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften lassen sich Beton und Bewehrungsstahl relativ einfach voneinander trennen. Die Verwertbarkeit beider Stoffe wird dabei nicht beeinträchtigt. Allerdings steigt der Aufwand beim Rezyklieren mit zunehmendem Bewehrungsgrad. Durch zwangsvermeidende Bauweise, z. B. durch das Anordnen von Fugen, lässt sich der Bewehrungsgrad verringern, in einigen Fällen kann sogar völlig auf Bewehrung verzichtet werden.

Ressourcenschonender Beton ist ein wichtiger Baustein in „Urban Mining“-Prinzip. Die Städte von heute sind die Rohstofflager von morgen. Zudem können wir Primärressourcen, wie Kies und Sand, schonen.

Grundsätzlich hat der ressourcenschonende Beton einen ähnlich CO₂-Fußabdruck, wie Normalbeton, da er aus ähnlichen Ausgangsstoffen besteht. CO₂ lässt sich mit rezyklierter Gesteinskörnung nur dann sparen, wenn sich durch ihren Einsatz Transportwege deutlich verkürzen. Das ist vor allem dann der Fall, wenn Rückbaumaßnahme, Recyclinganlage und Betonwerk nahe beieinander liegen.

■ 11 Häufig gestellte Fragen (FAQ)

Ist ressourcenschonender Beton überall verfügbar?

Ressourcenschonender Beton und damit die rezyklierte Gesteinskörnung ist noch nicht flächendeckend in Deutschland verfügbar. Voraussetzung ist ein Betrieb, der Abbruchmaterial bzw. Bauschutt aufbereitet. Diese Aufbereitungsbetriebe sind überwiegend in Ballungszentren und damit in Regionen vertreten, in denen mehr Gebäude bestehen und irgendwann abgebrochen werden, und in denen auch mehr Nachfrage nach ressourcenschonendem Beton besteht. Da die Nachfrage noch nicht so groß ist, haben auch nicht alle Transportbetonwerke ressourcenschonenden Beton im Programm. Die Verfügbarkeit wächst kontinuierlich.

Was passiert bisher mit Betonabbruch bzw. Bauschutt?

Gebrochener Altbeton wird zurzeit überwiegend beim Bau von Trag- und Frostschutzschichten im Straßenbau eingesetzt.

Gibt es Besonderheiten bei der Verarbeitung von ressourcenschonendem Beton?

Nein, da Beton mit RC-Gesteinskörnung im Transportbetonwerk so zusammengesetzt wird, dass auf der Baustelle bezüglich der Verarbeitbarkeit kein Unterschied besteht.

Gelten für ressourcenschonenden Beton spezielle Anforderungen hinsichtlich der Überwachung von Beton auf Baustellen?

Die DIN 1045-3 [7] unterscheidet bei der Qualitätssicherung, bzw. bei der Überwachung von Beton auf Baustellen zwei Überwachungsklassen – ÜK 1 und ÜK 2. Bei der Überwachungsklasse ÜK 1 gibt es nur eine Eigenüberwachung durch das Bauunternehmen. Bei der Überwachungsklasse 2 gibt es eine Eigenüberwachung und eine Überwachung durch eine anerkannte Überwachungsstelle (Fremdüberwachung). In Kapitel 5, Tabelle 3 der DIN 1045-3 [7] ist aufgeführt, für welche Betone die Überwachungsklasse 2 zutrifft. So gilt z. B. für alle Betone ab der Festigkeitsklasse C30/37 die Überwachungsklasse 2. Zusätzlich gilt für Betone mit rezyklierter Gesteinskörnung > 25 Vol.-% unabhängig von der Festigkeitsklasse und für Betone der Expositionsklasse WA die Überwachungsklasse 2. Ähnlich sieht es aus, falls ressourcenschonender Beton abweichend von den Vorgaben der DIN 1045-2, Absatz 5.2.3.4 [6] hergestellt wird. Die erforderlichen Prüfungen auf der Baustelle und die Prüfhäufigkeiten – siehe auch Zementmerkleblatt B 5: Überwachung von Beton auf Baustellen [2] – für ressourcenschonende Betone unterscheiden sich nicht von Betonen, die ohne rezyklierte Gesteinskörnung hergestellt worden sind. Das Transportbetonwerk braucht auf dem Lieferschein für Betone, die weniger oder gleich 25 Vol.-% rezyklierte Gesteinskörnung enthalten, diese Mengen nicht ausweisen. Erst ab mehr als 25 Vol.-% muss der Anteil auf dem Lieferschein angegeben werden.

■ 12 Literatur

- [1] Merkblatt „Was ist Beton?“, Schriftenreihe der Zement und Betonindustrie, Download auf www.beton.org
- [2] Zement-Merkblatt B5 – Überwachung von Beton auf Baustellen, Schriftenreihe der Zement- und Betonindustrie, Download auf www.beton.org
- [3] Zement-Merkblatt B9 – Expositionsklassen im Geltungsbereich des EC 2, Schriftenreihe der Zement- und Betonindustrie, Download auf www.beton.org
- [4] DIN 1045-1000 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1000: Grundlagen und Betonbauqualitätsklassen (BBQ), Beuth-Verlag Berlin
- [5] DIN 1045-1 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1 Planung, Bemessung und Konstruktion, Beuth-Verlag Berlin
- [6] DIN 1045-2 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton, Beuth-Verlag Berlin
- [7] DIN 1045-3 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung, Beuth-Verlag Berlin
- [8] DIN EN 1992-1-1 (Eurocode 2) Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Beuth-Verlag Berlin
- [9] DIN EN 12620 Gesteinskörnungen für Beton, Beuth-Verlag Berlin
- [10] DIN 4226-101 Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 – Teil 101: Typen und geregelte gefährliche Substanzen, Beuth-Verlag Berlin
- [11] DIN 4226-102, Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 – Teil 102: Typprüfung und werkseigene Produktionskontrolle, Beuth-Verlag Berlin
- [12] Abfallwirtschaft in Deutschland 2023, Fakten, Daten, Grafiken; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (Verweis auf Statistisches Bundesamt: Abfallentsorgung-2017. Fachserie 19, Reihe 1 vom 25.06.2019)
- [13] Brand S.: How Buildings Learn: What Happens After They're Built, Penguin Books, 1995
- [14] www.csc-zertifizierung.de/dgnb-erkennt-csc-r-modul-an, Stand Juli 2025
- [15] www.transportbeton.org/baustoff/projekte, Stand Juli 2025
- [16] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauwerke (ZTV-ING), Bundesministerium für Digitales und Verkehr
- [17] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien – Wasserbau (ZTV-W) für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton, (Leistungsbereich 215), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- [18] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton DAfStb Heft 639, Seite 63, Beuth Verlag 2022

Beratung und Information zu allen Fragen der Betonanwendung

Herausgeber

InformationsZentrum Beton GmbH, Toulouser Allee 71, 40476 Düsseldorf

www.beton.org

Kontakt und Beratung vor Ort

Büro Berlin, Kochstraße 6–7, 10969 Berlin, Tel.: 030 3087778-0, berlin@beton.org

Büro Hannover, Hannoversche Straße 21, 31319 Sehnde, Tel.: 05132 502099-0, hannover@beton.org

Büro Beckum, Neustraße 1, 59269 Beckum, Tel.: 02521 8730-0, beckum@beton.org

Büro Ostfildern, Gerhard-Koch-Straße 2+4, 73760 Ostfildern, Tel.: 0711 32732-200, ostfildern@beton.org

Verfasser

Dipl.-Ing. Michaela Biscopig, Dr.-Ing. Diethelm Bosold und Dipl.-Ing. (FH) Albrecht Richter, InformationsZentrum Beton GmbH