



# R-Beton klimafreundlicher und ressourcenschonender

 Leitfaden für Transportbetonhersteller

**GEMEINSAM  
ANPACKEN.  
KLIMANEUTRAL  
2040**



**Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

# Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

in Baden-Württemberg werden jährlich über 35.000 Wohneinheiten, viele weitere Nichtwohngebäude und wertvolle Infrastruktur errichtet. Diese Bauprojekte erfordern einen enormen Ressourcenverbrauch und wirken sich auf unser Klima aus. Die Bauindustrie verarbeitet in Deutschland über 70 Prozent aller abgebauten nicht-nachwachsenden Rohstoffe und verursacht 10 Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen. Für die Transformation in eine nachhaltige und klimafreundliche Kreislaufwirtschaft muss gerade Beton als meistgenutzter Baustoff in Zukunft deutlich ressourcen- und klimaschonender hergestellt werden. R-Beton, der in Anteilen aus aufbereiteter rezyklierter Gesteinskörnung hergestellt wird, bietet dafür einen vielversprechenden und etablierten Ansatz, der insbesondere unsere Primärrohstoffvorkommen schont. Noch relativ neu ist die Entwicklung, RC-Gesteinskörnung aus Altbeton zusätzlich mit CO<sub>2</sub> zu beaufschlagen und damit R-Beton als CO<sub>2</sub>-Senke zu nutzen.

Für Ihr Transportbetonwerk ergibt sich daraus ein erhebliches Potenzial, einen wichtigen Beitrag zum Ressourcenschutz und letztlich zum Klimaschutz zu leisten. Zentral dafür ist eine kombinierte Verwendung ressourcenschonender Rohstoffe und klinkerarmer Zemente. Ihr Angebot an neuen Betonen, die CO<sub>2</sub>-beaufschlagte RC-Gesteinskörnung oder nassklassierte Kiese und Brechsande verwenden, ist ein erster wichtiger Schritt in diese Richtung. Es bedarf Ihrer Expertise und Ihrem Engagement, um unser gemeinsames Ziel – mehr Umwelt- und Klimaschutz im Bausektor – zu erreichen.

Dieser Leitfaden liefert Ihnen dafür wertvolle Anregungen und praktische Hinweise. Ich bedanke mich bereits jetzt für Ihr Engagement und wünsche Ihnen weiterhin viel Erfolg bei der Herstellung ressourcenschonender und klimafreundlicher Betone.

Ihre



Thekla Walker MdL  
Ministerin für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg



*Thekla Walker MdL  
Ministerin für Umwelt, Klima und  
Energiewirtschaft des Landes  
Baden-Württemberg  
(Quelle: UM-Regenscheit)*

## HINTERGRUND

1 Transportbeton nicht nur ressourcenschonend, sondern auch klimafreundlicher herzustellen, ist eine zentrale Aufgabestellung im nachhaltigen Bauen. Beton ist ein Baustoff, der nicht nur im klassischen Massivbau eingesetzt wird. Auch in anderen Bauweisen kann auf Bauteile aus Beton in der Regel nicht verzichtet werden. Der Rückgriff auf mineralische Ressourcen erfolgt vor allem aus der Nachfrage aus dem Bausektor und bei Kies und Sand gerade auch durch den Baustoff Beton.

## ANSATZPUNKT RESSOURCENSCHONENDER

7 Der Baustoff Beton hat einen relevanten Anteil an den nationalen Treibhausgasemissionen. Nach Angaben des Umweltministeriums verursachen die Zementwerke im Land rund 3,5 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr und damit 5% der Emissionen. Die Herstellung von Zement ist in Deutschland mit der Freisetzung von 600 kg CO<sub>2</sub>-Äq./t verbunden, wobei ca. zwei Drittel davon auf rohstoffbedingte Prozess-emissionen zurückzuführen sind, ca. ein Drittel auf den Brennstoffeinsatz im Drehrohrofen. Hier wird der Kalkstein bei 1.450° C zu Zementklinker gebrannt, wobei durch die Kalzinierung des Kalksteins ebenfalls CO<sub>2</sub> freigesetzt wird. [vdz 2020] Kiese, Sande und gebrochene Natursteine werden zu ca. 95 % in der Bauindustrie verwendet. Im Jahr 2020 lag der Verbrauch bei 262 Mio. t Kiese und Sande sowie 223 Mio. t gebrochener Naturstein [BGR 2021]. In vielen Regionen verschlechtert sich die Verfügbarkeit für diese Baurohstoffe.

## ANSATZPUNKT KLIMAFREUNDLICHER

## BETONREZEPTUREN UND IHRE UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

## LITERATURVERZEICHNIS

Ressourcenschonender kann der Beton dann werden, wenn er in Anteilen auf einen Rohstoff zurückgreift, der aus dem Materialkreislauf gewonnen wurde. Altbeton sowie altes Mauerwerk lassen sich zu einer Gesteinskörnung aufbereiten, die in der Lage ist, Kies und gebrochenen Naturstein zu substituieren. Diese Baustoffinnovation R- Beton ist nicht neu, mittlerweile gibt es gerade in Baden-Württemberg hierzu schon einige Expertise und Erfahrung und dies vor allem auch im Raum Stuttgart. So produziert die Fa. Feeß aus Kirchheim/Teck seit vielen Jahren die RC-Gesteinskörnung für die Betonindustrie und Werke der Fa. Holcim sind hier wichtige Abnehmer. Das Umweltministerium Baden-Württemberg hat vor Jahren zu diesem Baustoff einen immer noch aktuellen Leitfaden veröffentlicht [UM 2017].

Ein kleiner Hebel, den Transportbeton klimaschonender zu gestalten, liegt darin, in der Aufbereitung und Produktion der RC-Gesteinskörnung den Altbeton mit CO<sub>2</sub> zu beaufschlagen. Es erfolgt eine Karbonatisierung, auf der Oberfläche und in den Poren bildet sich ein Kalkstein. Das Kohlendioxid wird auf diese Weise dauerhaft gebunden. Hierzu liegen Erfahrungen aus Technikumsanlagen sowie in Grenzen auch aus der Praxis vor. Noch ressourcenschonender kann der Beton zudem dadurch werden, dass die verbleibenden Anteile an Zuschlag nicht klassisch durch Kies- oder gebrochenem Naturstein aus einer primären Rohstoffquelle gedeckt werden, sondern aus der Aufbereitung von Bodenaushubmassen entstammen, die im Rahmen von Baumaßnahmen zur Entsorgung anfallen.

Mit dem vorliegenden Leitfaden werden die Erfahrungen zur Entwicklung von Betonrezepturen aus einem aktuellen kleinen Forschungsprojekt [ifeu / Feeß / Holcim 2023] zusammengestellt und für die Praxis verfügbar gemacht.

# Ansatzpunkt Ressourcenschonender

Um den Transportbeton ressourcenschonender zu machen, lassen sich zwei Ansatzpunkte aufzeigen. In beiden Fällen werden Rohstoffvorkommen primärer Rohstoffe (Kies, Sand, Splitt) geschont, zum einen über die Verwendung von aufbereiteten Altmaterialien, die als RC-Gesteinskörnung genutzt werden können, sowie von Materialien, die aus der Aufbereitung und Klassierung von Bodenaushubmassen gewonnen werden können.

## EINSATZ EINER REZYKLIERTEN GESTEINSKÖRNUNG

Der Einsatz einer rezyklierten Gesteinskörnung im Transportbeton wird seit vielen Jahren durch eine Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton [DAfStb 2013] geregelt. Die rezyklierten Gesteinskörnungen müssen aus einem Betrieb stammen, der für Produktion und Produkt RC-GK eine Zulassung nach [DIN EN 1260] hat, und die RC-Gesteinskörnungen demnach den Nachweis erbracht haben, aus technischer Sicht sowie gemäß [DIN 4226-101] für die umwelttechnischen Belangen den Anforderungen des Regelwerkes zu entsprechen. Die physikalischen / technischen Anforderungen entsprechen denen der primären Gesteinskörnungen, die RC-Gesteinskörnung wird mit einem CE-Kennzeichen versehen. Umwelttechnische Belange spielen alleine bei diesen Gesteinskörnungen, die aus dem Materialkreislauf schöpfen, eine Rolle.

Unterschieden werden zwei Typen von RC-Gesteinskörnung, wobei Typ 1 aus der Aufbereitung von Altbeton hergestellt wird, während die RC-GK Typ 2 aus einer Mischung von maximal 30% gebrochenem Mauerwerk (Ziegel, Kalksandstein) und mindestens 70% Altbeton oder Naturstein besteht. Die wesentlichen Anforderungen an die stoffliche Zusammensetzung sind in nachfolgender Tabelle benannt.

## STOFFLICHE ZUSAMMENSETZUNG DER RC-GESTEINSKÖRNUNG TYP 2 NACH [DIN 4226-101]

Bestandteile	Abkürzung	RC-Körnung Typ 1	RC-Körnung Typ 2
Beton, Betonprodukte, Mörtel, Mauersteine aus Beton, ungebundene Gesteinskörnung, Naturstein, hydraulisch gebundenes Gestein	RC + RU	≥ 90 %	≥ 70 %
Ziegel-Mauersteine (nicht-porisiert), Klinker, Steinzeug, Kalksandstein-Mauersteine, verschiedene Mauer- und Dachziegel, Bimsbeton (Leichtbeton), nicht schwimmender Porenbeton	Rb	≤ 10 %	≤ 30 %
Bitumenhaltige Materialien, Asphalt	Ra	≤ 1 %	≤ 1 %
Glas			
Sonstige Materialien: Bindige Materialien (d.h. Ton und Bodenmaterial), verschiedene sonstige Materialien: Metalle (Eisen- und Nichteisen-metalle), nicht schwimmendes Holz, Kunststoff, Gummi, Gips	X + Rg	≤ 1 %	≤ 2 %
Schwimmendes Material im Volumen	FL	≤ 2 %	≤ 2 %

Mit der Richtlinie des Dt. Ausschusses für Stahlbeton werden die Rahmenbedingungen zum Einsatz einer RC-Gesteinskörnung in Betonrezepturen gesetzt. Eine Begrenzung der Zugabemengen ergibt sich zum einen in Abhängigkeit von den genannten Typen RC-Gesteinskörnung in Verbindung zum anderen mit Beschränkungen hinsichtlich der Expositionsklassen. Die zentralen Informationen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt. Die Druckfestigkeit ist auf maximal C 30/37 begrenzt. Auch wenn bei einem Einsatz einer RC-Gesteinskörnung Typ 1 höhere Anteile an RC-Gesteinskörnung in den Rezepturen möglich werden, gilt die Verwendung einer RC-GK Typ 2 als hinsichtlich des Ressourcenschutzes als vorteilhaft, da für die Massen aus der Aufbereitung von altem Mauerwerk in der Praxis nur bedingt alternative Verwertungswege zur Verfügung stehen.

Das Regelwerk zu R-Beton befindet sich im Moment in Überarbeitung. Dabei wird die Richtlinie als solche nicht fortgeschrieben werden. Alle gesonderten Regelungen zu R-Beton werden zukünftig in die Betonproduktnorm [DIN 1045-2] überführt. Ein deutliches Signal, dass es sich auch hier um einen Beton nach Eigenschaft handelt, der im Gegensatz zu konventionellen Betonen nur in Anteilen auf Rohstoffe aus dem Materialkreislauf zurückgreift. Diese fortgeschriebene Norm liegt derzeit im „Gelbdruck“ und damit im Entwurf vor. Die Anhörungsphase ist seit geraumer Zeit abgeschlossen. Mit dem „Weißdruck“ und damit der gültigen Norm wird noch im Laufe des Jahres 2023 gerechnet.

Nach derzeitigem Stand werden sich gegenüber dem Status Quo folgende Änderungen ergeben. Wie aus der Tabelle zu ersehen ist, werden in Zukunft weitere Expositionsklassen zugelassen werden, während sich an der zugelassenen Druckfestigkeit nichts ändern wird, deren Obergrenze weiterhin bei C 30/37 liegen wird. Eine entscheidende Weichenstellung liegt in der Öffnung der Rezepturen für die Brechsande, die zwangsläufig bei der Aufbereitung der RC-Gesteinskörnung aus Altbeton anfallen. In der Schweiz dürfen diese Brechsande, die in hohen Anteilen aus altem Zementleim bestehen, in Betonrezepturen eingesetzt werden.

Mit dem Entwurf soll dies auch für Deutschland ermöglicht werden, allerdings nur dann, wenn der Brechsand nicht im Rahmen einer RC-Gesteinskörnung Typ 2 anfällt, allerdings nur in den Expositionsklassen X0 und XC1. Zudem ist diese Regelung nur für den Einsatz der RC-GK Typ 1 vorgesehen. Hierauf sind zahlreiche Einsprüche eingegangen.



Gesteinskörnung Typ 2, Größe 8/16

**STATUS QUO: RICHTLINIE DES DEUTSCHEN AUSSCHUSSES FÜR STAHLBETON**

Anwendungsbereich		GK Typ 1	GK Typ 2
Alkalirichtlinie	DIN EN 206-1 und DIN 1045-2		
WO (trocken)	Carbonatisierung XC1		
WF feucht	Kein Korrosionsrisiko X0 Carbonatisierung XC1 bis XC4	≤ 45 Vol. %	≤ 35 Vol. %
	Frost ohne Taumittelwirkung XF1 <sup>1</sup> und XF3 <sup>1</sup> und in Beton mit hohem Wassereindringwiderstand	≤ 35 Vol. %	≤ 25 Vol. %
	Chemischer Angriff (XA1)	≤ 25 Vol. %	≤ 25 Vol. %

<sup>1</sup> Zusätzliche Anforderungen s. Abschnitt 1, (3) und (4)

**ZUKÜNFTIG: DIN 1045-2 FORTGESCHRIEBEN, DERZEIT IM GELBDRUCK**

Anwendungsbereich		Kategorie der Gesteinskörnung	
Alkalirichtlinie	EN 206 und DIN 1045-2	Typ 1	Typ 2
WO	Karbonatisierung XC1		
WF	Kein Korrosionsrisiko X0 Karbonatisierung XC1 bis XC4	≤ 45 %	≤ 35 %
	Frostangriff ohne Taumittelwirkung XF1 und XF3	≤ 45 %	≤ 35 %
	Beton mit hohem Wassereindringwiderstand nach Abschnitt 5.5.3	≤ 45 %	≤ 35 %
	Chemischer Angriff (XA1)	≤ 25 %	≤ 25 %
WA	XD1 und XD2 XS1 und XS2 XF2 und XF4	≤ 30 %	≤ 20 %

Es wäre sinnvoll, dass Betonbrechsande in Zukunft analog auch bei der Herstellung einer RC-GK Typ 2 verwendet werden dürfen. Die Herstellung einer RC-Gesteinskörnung Typ 2 erfolgt für die Massenströme Altbeton und Altmauerwerk getrennt. In beiden Teilströmen fallen Brechsande an, so dass auch bei der Verwendung einer RC-GK Typ 2 reiner Altbetonbrechsand eingesetzt werden könnte. Eine RC-Gesteinskörnung Typ 2 lässt sich mit den geforderten technischen Anforderungen nicht aus einem Gemisch heraus produzieren.

Eine weitere entscheidende Weichenstellung liegt nach dem derzeitigen Entwurf in der Regelung, die sich in der Schweiz über viele Jahre bewähren konnte. Liegt der Anteil an RC-Gesteinskörnung <25 % am gesamten Zuschlag – und dies sowohl für RC-GK Typ 1 als auch für RC-GK Typ 2 –, handelt es sich um einen Normalbeton. Damit entfallen alle Regelungen zu R-Beton, die Druckfestigkeiten und Expositionsklassen begrenzen, sofern sich die Rezepturen in den Bereichen W0 und WF der AKR-Richtlinie [DAfStb 2013] bewegen. Auch weiterhin muss die RC-GK jedoch nach DIN EN 12620 und DIN 4226-101 zugelassen sein und demnach aus einem zertifizierten Betrieb stammen. Auch hier liegt der maximal zugelassene Anteil an Betonbrechsand zudem bei 20 %, bezogen auf die gesamte eingesetzte RC-Gesteinskörnung.

**EINSATZ VON AUS DER KLASSIERUNG VON BODENAUSHUB GEWONNENEN MATERIALIEN**

Die Steigerung der Ressourceneffizienz kann für den R-Beton über den Einsatz von Materialien aus der Nassklassierung von Bodenaushubmassen erfolgen. Werden Bodenaushubmassen in Anlehnung an die in Kieswerken übliche Technik nass klassiert, können den Transportbetonwerken Sande und Kiese bereitgestellt werden. Es handelt sich um natürliche bzw. primäre Gesteinskörnungen aus sekundären Rohstoffquellen. Die Rohstoffe wurden aus Gruben entnommen, die für Baumaßnahmen errichtet wurden, während ansonsten Gruben gezielt für die Rohstoffgewinnung angelegt werden. Die diesen Gruben entnommenen Materialien unterscheiden sich nicht, es handelt sich letztendlich auch hier um die üblichen Kiese und Sande. Der Bodenaushub weist hiervon geringere Anteile dieser Zielkörnungen auf, d.h. der Aufwand der Aufbereitung und Klassierung ist höher, als bei primären Rohstoffen üblich.

Die aus der Nassklassierung von Bodenaushubmassen gewonnen Körnungen sind daher kein RC-Materialien. Sie unterliegen nicht dem Regelwerk für R-Beton, es handelt sich nicht um eine rezyklierte Gesteinskörnung.

Selbstverständlich müssen auch die Aufbereiter von Bodenaushubmassen über eine Zertifizierung nach DIN EN 12620 verfügen, um dieses Material letztendlich an Transportbetonwerke vermarkten zu dürfen.



Gesteinskörnung Typ 2, Größe 2/8

# Ansatzpunkt klimafreundlicher



Anlage zur Aufbereitung von Bodenaushubmassen mittels Schwertwäsche und Nassklassierung © feess



Kiese und Sande aus der Aufbereitung von Bodenaushubmassen © feess

In Verbindung mit den hohen Einsatzmengen beeinflussen Betone deutlich die Klimalasten des Bausektors. Entsprechend groß sind im Moment die Bemühungen, die Möglichkeiten zur Reduktion der spezifischen Klimalasten aufzugreifen. Der wesentliche Ansatzpunkt liegt beim Bindemittel und hier in Umstellungen in der Produktion des Klinkers, der Reduktion der Klinkeranteile in den Zementen sowie letztendlich auch in den Zementgehalten der einzelnen Betonrezepturen. Der Verband der deutschen Zementindustrie hat jüngst die verschiedenen Wege aufgezeigt und in ihren Minderungspotenzialen bewertet [vdz 2020]. Einen zentralen Beitrag werden CCS- und CCU-Ansätze liefern müssen, d.h. die Fassung des CO<sub>2</sub> und seiner anschließenden Nutzung als Rohstoff für bspw. die chemische Industrie oder dessen Speicherung in Hohlräumen im Gesteinsuntergrund, bspw. in alten Erdgaskavernen. Bestimmte Möglichkeiten bestehen aber auch in der Betonherstellung selbst. Dies sind zum einen auf den genauen Einsatzzweck des Betons abgestimmte Rezepturen und Zementgehalte und gerade auch in den Packungsdichten optimierte Kornabstufungen, die den spezifischen Bindemittelbedarf begrenzen lässt. Dies kann für Betonwerke das Vorhalten verschiedener Zemente bedeuten sowie einer Vielzahl von Körnungen unterschiedlicher Materialien, die dann über Doseure auf den Bedarf hin gemischt werden. Kornabstufungen 2/16 bspw. sind dann eher nicht zielführend.

Eine weitere kleine Stellschraube besteht in der Produktion und Verwendung einer karbonatisierten Gesteinskörnung. Hierzu wurden im Rahmen des Forschungsprojektes Untersuchungen durchgeführt, die in einem separaten Leitfaden [ifeu / Fees / Holcim 2023] festgehalten wurden. CO<sub>2</sub> wird in möglichst konzentrierter Form auf die Oberfläche der RC-Gesteinskörnung aus Altbeton aufgegeben. In den Poren und auf der Oberfläche bildet sich Kalkstein. Da gerade die feinen Körnungen mit ihrer großen spezifischen Oberfläche eine hohe CO<sub>2</sub>-Bindungsrate aufweisen, ist die zukünftig mögliche Verwendung von Brechsanden in den Rezepturen von großer Bedeutung. Die Karbonatisierung erfolgt am im Altbeton enthaltenen Zementleim, die eigentliche Körnung bindet kein CO<sub>2</sub>. Die Bindungsrate ist abhängig von der Art des Zementleims, entscheidend ist der Klinkergehalt des ehemals verwendeten Zements. Die Bindungsraten variieren daher in der Praxis in gewissem Umfang.

Die Prüfung und Zulassung dieser RC-Gesteinskörnung nach DIN EN 12620 erfolgt nach der Karbonatisierung. Die geforderten Eigenschaften müssen auch weiterhin eingehalten werden. Mit der Kalksteinbildung und dem Auffüllen von Poren sind aber tendenziell Verbesserungen verbunden, die Kornrohdichte steigt an, die spezifische Oberfläche und damit Bindemittelbedarf und Wassersaugen nehmen ab.

# Betonrezepturen und ihre Untersuchungsergebnisse

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden vom Projektpartner Holcim Betonrezepturen entwickelt, die zum einen eine hohe Ressourceneffizienz gewährleisten, zum anderen auch eine Optimierung hinsichtlich des Klimaschutzes beinhalten sollen. Dies erfolgte zum einen durch den Rückgriff auf eine RC-GK Typ 2 mit karbonatisierten Altbetonanteilen, zum anderen durch den Einsatz von Sanden und Kiesen aus der Aufbereitung und Nassklassierung von Bodenaushubmassen. Ziel war es hier, den Anteil an primären Rohstoffen aus entsprechenden Rohstoffquellen auf ein Minimum beschränken zu können.

Diese Rezepturentwicklung erfolgte unter den gegebenen Rahmenbedingungen.

Die Ressourceneffizienz wurde dadurch gesteigert, dass eine RC-Gesteinskörnung Typ 2 verwendet werden konnte, die nicht nur auf Altbeton, sondern auch auf gebrochenes Mauerwerk (Ziegel, Kalksandstein) zurückgreifen kann. Letzteres sind Rohstoffe aus dem Materialkreislauf, die als Bestandteile von ungebundenen Straßenbaustoffen vor Ort meist auf wenig Akzeptanz stoßen. Die Nutzung als Zuschlag für Transportbetonwerke eröffnet hier hochwertige Verwertungsmöglichkeiten. Die Fa. Feefß ist aktuell einer der wenigen Aufbereiter mineralischer Abfallmassen, der in der Lage ist und die Berechtigung besitzt, RC-GK Typ 2 zu produzieren und zu vermarkten.

Die Fa. Feefß verfügt zudem über eine Aufbereitungsanlage für Bodenaushubmassen. Es handelt sich um eine Schwertwäsche, verbunden mit einer entsprechenden Nassklassiereinheit und einer Abscheidung von Feinpartikeln und deren Entwässerung über Zykclone. Üblich ist auch der Einsatz von Kammerfilterpressen oder auch der Einsatz einer Aufbereitungseinheit mit einer optimierten Auftrennung der Bodenbestandteile.

Die Bodenmassen und damit auch die separierten Körnungen resultieren zudem aus dem geogenen Umfeld. Dies ist für die Region Kirchheim/Teck vor allem Jurakalk.

Zum Zeitpunkt des Forschungsprojektes und damit auch des Leitfadens befand sich das Regelwerk für R-Beton im Umbruch. Das neue Regelwerk DIN 1045-2 lag zum diesem Zeitpunkt nur als Entwurf (Gelbdruck) vor. Die Festlegung der Betonrezepturen konnte sich daher nur an einem zukünftigen Regelwerk anlehnen. Unklar war, inwieweit die Festlegungen im Weißdruck letztendlich von den Vorgaben aus dem Entwurfsstand abweichen werden.

Mit den entwickelten Betonrezepturen werden aber auch grundsätzlich technische Möglichkeiten ausgelotet, auf die im Zweifel über eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) oder bauaufsichtliche Zulassung zurückgegriffen werden müsste.

Die im Rahmen des Projektes entwickelten Rezepturen sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt. Gewählt wurde eine Betonsorte C 25/30 XC4 XF1 XA1, F3, die nach Angaben der Fa. Holcim im Stuttgarter Raum für den Hausbau häufig / üblicherweise angefragt wird.

**BETONREZEPTUREN C25/30XC4 XF1 XA1, F3**

		Ref 1	Ref 2	V1	V2	V3
CEM II B-M (T-LL) 42,5N	kg/m <sup>3</sup>	285	285	275	275	275
Flugasche	kg/m <sup>3</sup>	50	50	75	75	75
Wasser	kg/m <sup>3</sup>	178	178	178	178	178
w/z-Wert		0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
0/2	kg/m <sup>3</sup>	621	410	405	124	124
0/2 (NKA)	kg/m <sup>3</sup>		177	174	177	177
0/2 (Brechsand, karbonatisiert)	kg/m <sup>3</sup>				284	284
2/8	kg/m <sup>3</sup>	535	360	355	360	180
8/16	kg/m <sup>3</sup>	625	395	390	395	215
RC Typ 2	kg/m <sup>3</sup>		418			
RC Typ 2 (karbonatisiert)				413	418	750
Betonverflüssiger	%	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Fließmittel	%	0,3	0,36	0,5	0,7	1,1

Die Betonrezepturen Ref 1 und Ref 2 stellen die Referenzwerte dar. Dabei ist Ref 1 eine übliche Betonrezeptur für einen klassischen Transportbeton, während Ref 2 die übliche Lösung für einen R-Beton darstellt, der auf die RC-Gesteinskörnung Typ 2 zurückgreift. Sie beinhaltet seit vielen Jahren im Umfang von 25% eine RC-GK Typ 2 (bezogen auf den gesamten Zuschlag) und greift zudem seit geraumer Zeit in Anteilen (10 %) auf einen Sand zurück, der aus der Nassklassierung von Bodenaushubmassen gewonnen wurde.

Alle übrigen Varianten (V1 bis V3) sind daraus abgeleitete Weiterentwicklungen, die im Rahmen des Forschungsprojektes so erstmalig umgesetzt und geprüft wurden. Alle diese Rezepturen greifen auf karbonatisierte RC-Gesteinskörnung zurück, wobei in V1 die Möglichkeiten der im Gelbdruck vorliegenden DIN 1045-2 ausgenutzt werden. Im Prinzip erfolgt im Zuschlag ein Austausch der Menge RC-GK Typ 2 durch die nahezu gleiche Menge der karbonatisierten RC-GK Typ 2. Mit dem Einsatz der karbonatisierten RC-GK wird eine Reduktion im Zementgehalt ermöglicht, hier verbunden mit höheren Anteilen an Flugasche. Die RC-GK Typ 2 besteht in der Praxis aus 75 % Altbeton, der karbonatisiert werden kann.



R-Beton nach Variante 3, © Holcim 2023

Die Varianten V2 und V3 befinden sich außerhalb der im Gelbdruck vorliegenden Norm. RC-Brechsande dürfen danach nur bei einem R-Beton eingesetzt werden, der auf RC-GK Typ 1 zurückgreift. Diese Vorgabe dürfte aber im Weißdruck der Norm sehr wahrscheinlich nicht mehr enthalten sein. Außerdem ist nur die Exposition XC1 zugelassen, während hier die andere Expositionsklassen berücksichtigt werden.

Die letzte Modifikation ist durch die Betonrezeptur nach Variante 3 (V3) abgebildet. Hier wird nun aufbauend auf der Rezeptur V2 der Anteil RC-GK Typ 2 auf 45 % erhöht, was die Begrenzung des Normentwurfs (35 %) überschreitet. Der Fließmittelgehalt muss hierfür weiter angepasst werden, ansonsten bleibt die Rezeptur gleich, außer dass ein Teil der primären Gesteinskörnung durch diese RC-GK substituiert wird.

#### PRÜFUNG UND BEWERTUNG

In allen Fällen zeigten die Versuche Druckfestigkeitsentwicklungen, die nach 28 Tagen im Bereich von 37 N/mm<sup>2</sup> oder 38 N/mm<sup>2</sup> lagen. Die mit der Betonsorte angestrebte Druckfestigkeit wurde damit in allen Fällen deutlich erreicht.

Das Ausbreitmaß nach 45 min. liegt im Bereich von 460 bis 480 mm und damit an der oberen Grenze für die Konsistenzklasse F3. Somit ist der Beton bei der Ankunft auf der Baustelle gut verarbeitbar.

#### ERGEBNISSE FÜR DAS AUSBREITMASS FÜR DIE BETONREZEPTUREN C25/30 XC4 XF1 XA1, F3

in N/mm <sup>2</sup>	Ref 1	Ref 2	V1	V2	V3
1d	4	5	5	6	5
2d	13	12	11	12	11
7d	26	24	22	24	22
28d	38	38	37	38	37
56d	43	42	40	43	39

Gegenüber der ersten Rezepturentwicklung [UM 2017] von vor über 10 Jahren werden dieses Mal höhere Gehalte an Betonverflüssiger (BV) und Fließmittel (FM) eingesetzt. Dies resultiert aus dem niedrigeren Zementgehalt und aus der Verwendung von RC-Brechsand. Der Beton mit 100% Natur-sand hat erwartungsgemäß die günstigste Konsistenz im Vergleich zum eingesetzten Betonbrechsand. Brechsand weist scharfe Kanten auf, wodurch das Fließverhalten von Frischbeton beeinträchtigt wird. Grundsätzlich ist das Material aus der Nassklassieranlage sehr für die Betonherstellung geeignet, es weist gegenüber dem üblichen RC-Material deutliche Vorteile auf. So besteht der hohe Anteil an Rundkorn, in der Region Stuttgart wird klassisch auf Splitt aus Steinbrüchen zurückgegriffen. Das Material ist zudem gewaschen, was eine gewisse Kernfeuchte und einen geringen abschlämmbaren Anteil bzw. Staub zur Folge hat, was sich beides positiv auf die Betonherstellung auswirkt.

# Literaturverzeichnis

[BGR 2021], Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Deutschland – Rohstoffsituation 2020, Hannover 2021

[DAfStb 2013], DAfStb-Richtlinie „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton“, Berlin 2013

[DIN 1045-2], Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1, DIN 1045-2:2008-08

[DIN EN 12620], Gesteinskörnungen für Beton, DIN EN 12620:2008-07

[DIN 4226-101], Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 - Teil 101: Typen und geregelte gefährliche Substanzen, DIN 4226-101:2017-08

[ifeu / Feefß / Holcim 2023], ifeu Heidelberg / Feefß Kirchheim/Teck / Holcim Stuttgart, R-Beton klimafreundlich und noch ressourcenschonender, Forschungsprojekt gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2023

[UM 2017], Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Leitfaden zum Einsatz von R-Beton, Stuttgart 2017

[vdz 2020], Verband der Deutschen Zementindustrie, Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien, Düsseldorf 2020

## IMPRESSUM

### HERAUSGEBER

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft  
Kernerplatz 9  
70182 Stuttgart  
Telefon 0711 126-0  
Fax 0711 126-2881

### BEARBEITER:

Florian Knappe (ifeu), Sebastian Rauscher (Feefß)

### PROJEKTBETEILIGTE

Fa. Neustark AG Bern, Fa. Holcim Stuttgart

### GESTALTUNG

ID-Kommunikation, Heidelberg

### BILDNACHWEISE

Titel: © Klaus Epele – stock.adobe.com  
© evannovostro – stock.adobe.com  
Seite 3: © Heinrich Feefß GmbH & Co. KG  
Seite 5: © Heinrich Feefß GmbH & Co. KG  
Seite 6: © Heinrich Feefß GmbH & Co. KG  
Seite 10: © Holcim 2023



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT