

Abschlussbericht

Zum Vorhaben:

„Errichtung einer mobilen Anlagenkonfiguration zur Herstellung von rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 12620:2002“, AZ: NKa3 – 002103

Fördernehmer:

Peter Mittelsdorf Recycling

Umweltbereich:

Ressourceneffizienz, integrierter Umweltschutz

Laufzeit des Vorhabens:

17.10.2014 – 30.06.2017

Autoren

Frau Prof. Dr.-Ing. Anette Müller (IAB)

Herr Dipl.-Ing. Steffen Liebezeit (IAB)

Herr Dipl.-Ing. Andreas Ebert (Dyckerhoff Beton)

Frau Dipl.-Ing. Jeanette Orben (Wilhelm Dyckerhoff Institut)

Herr Dipl.-Ing. (FH) Björn Hellmann (Dyckerhoff Beton)

Herr Dipl.-Ing. Peter Mittelsdorf (Mittelsdorf Recycling)

Herr Andreas Kaschadt (EAR)

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Datum der Erstellung

30.09.2017

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen: UBA	Vorhaben-Nr.: AZ: NKa3 - 002103
Tittel des Vorhabens: „Errichtung einer mobilen Anlagenkonfiguration zur Herstellung von rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 12620:2002“	
Autoren: Frau Prof. Dr.-Ing. Anette Müller, Herr Dipl.-Ing. Steffen Liebezeit (IAB - INSTITUT FÜR ANGEWANDTE BAUFORSCHUNG WEIMAR gGmbH), Herr Dipl.-Ing. Andreas Ebert, Herr Dipl.- Ing.(FH) Björn Hellmann (Dyckerhoff Beton GmbH & Co.KG), Frau Dipl.-Ing. (FH) Jeanette Orben (Wilhelm Dyckerhoff Institut) Herr Dipl. – Ing. Peter Mittelsdorf (Mittelsdorf Recycling) Andreas Kaschadt (EAR Mittelsdorf e.K.)	Vorhabensbeginn: 17.10.2014 Vorhabenende: 30.06.2017
Fördernehmer/ -in: Peter Mittelsdorf Recycling Sandfleck 1 98597 Breitung	Veröffentlichungsdatum: Seitenzahl: 45
Gefördert im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
Kurzfassung: Im Projekt wurde der Nachweis erbracht, Betonrezyklate als hochwertige mineralische Zuschlagstoffe für die Betonindustrie mit mobilen Anlagen nach „DIN 126020:2002“ herzustellen. Im Projekt wurden aus sorgfältig selektierten Abbruchmaterialien verschieden Rezyklate mit der mobilen Anlagenkonfiguration hergestellt. Anschließend wurden diese Rezyklate aufwändig in Laboren auf ihre Eigenschaften untersucht. Gleichzeitig wurden aus den produzierten Rezyklaten, sowohl im Labor- als auch im Werksversuch, nach verschiedene Betone hergestellt, welche ebenfalls im Anschluss in Prüflaboren untersucht und mit entsprechenden Referenzbetonen verglichen wurden. Das Ergebnis ist durchweg positiv ausgefallen, die erzeugten Rezyklate sind geeignete Zuschlagstoffe um RC-Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 herzustellen.	
Schlagwörter: Kreislaufwirtschaftsgesetz, Erzeugung hochwertiger Betonrezyklate als Zuschlagstoffe für die Betonindustrie, Substitution natürlicher Rohstoffe, Ressourcenschonung, mobile Anlagenkonfiguration	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 6 Elektronischer Datenträger: 1	Sonstige Medien: Fachzeitschriften „Abbruch aktuell“ und „Steinbruch & Sandgrube“

Berichts-Kennblatt

File reference: UBA	Project No.: AZ: NKa3 - 002103
Titel of the project: „Composition of a mobile plant configuration for the production of recycled aggregates according to DIN12620:2002“	
Authors: Frau Prof. Dr.-Ing. Anette Müller, Herr Dipl.-Ing. Steffen Liebezeit (IAB - INSTITUT FÜR ANGEWANDTE BAUFORSCHUNG WEIMAR gGmbH), Herr Dipl.-Ing. Andreas Ebert, Herr Dipl.- Ing.(FH) Björn Hellmann (Dyckerhoff Beton GmbH & Co.KG), Frau Dipl.-Ing. (FH) Jeanette Orben (Wilhelm Dyckerhoff Institut) Herr Dipl. – Ing. Peter Mittelsdorf (Mittelsdorf Recycling) Andreas Kaschadt (EAR Mittelsdorf e.K.)	commencing the project: 17.10.2017 projects end: 30.06.2017
Beneficiary: Peter Mittelsdorf Recycling Sandfleck 1 98597 Breitung	Date of disclosure: Number of pages: 45
Funded by the Environmental Innovation Program of the Federal Ministry for the Environment	
Summary: The project has demonstrated that concrete recyclates can be produced as high-quality mineral aggregates for the concrete industry using mobile plants according to "DIN 126020: 2002". In the project, different recyclates were produced from carefully selected demolition materials with the mobile plant configuration. Subsequently, these recyclates were laboriously tested for their properties in laboratories. At the same time, various concretes were produced from the produced recyclates, both in the laboratory and in the factory test, which were subsequently examined in test laboratories and compared with corresponding reference concretes. The result has been positive, the recycled products are suitable additives to produce RC concrete according to DIN EN 206-1 and DIN 1045-2 with recycled aggregates according to DIN EN 12620.	
Tags: Circular economy law, Production of high-quality concrete recyclates as aggregates for the concrete industry, Substitution of natural raw materials, Resource conservation, mobile plant configuration	
Number of delivered reports Paper shape: 6 Electronic data carrier: 1	Other Media: professional journals „Abbruch Aktuell“ und „Steinbruch und Sandgrube“

Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung
 - 1.1 Motivation des Projekts
 - 1.2 Stand der Technik
- 2 Vorhabensumsetzung: Konfiguration und Zusatzausrüstung der mobilen Aufbereitungsanlage
- 3 Ergebnisse
 - 3.1 Untersuchte Eigenschaften und angewandte Methoden
 - 3.2 Qualität der erzeugten rezyklierten Gesteinskörnung
 - 3.2.1 Ergebnisse zur stofflichen Zusammensetzung der Proben
 - 3.2.2 Ergebnisse zu Dichten und Wasseraufnahmen
 - 3.2.3 Ergebnisse zur Granulometrie der Proben
 - 3.2.4 Ergebnisse zum Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel und zum Widerstand gegen Zertrümmerung
 - 3.2.5 Chemische Zusammensetzung der Produkte
- 4 Betonherstellung unter Verwendung der Rezyklate
- 5 Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit
- 6 Zusammenfassung

Literatur

Anhang 1: Ergebnisse der Untersuchungen der erzeugten Rezyklate

Anhang 2: Ergebnisse der Untersuchungen bei Dyckerhoff Beton

Bildverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Bildverzeichnis

Bild 1: Zeitreihe zum Aufkommen an Bauabfällen (Daten entnommen aus)	5
Bild 2: Gesamtansicht der Anlage mit Materialaufgabe, Brecher und Siebanlage	9
Bild 3: Anlagenschema mit Angabe der untersuchten Materialien.....	10
Bild 4: Materialaufgabe in den Brecher und Vorsiebmaterial.....	10
Bild 5: Schlitzdüse zum Ausblasen der Leichtstoffe und Gebläse für die Sichtluftzufuhr.....	10
Bild 6: Ausgeschleuste Leichtstoffe (oben) und nach Stoffgruppen sortierte Leichtstoffe	11
Bild 7: Vorrichtungen zur Wasserbedüsung der fraktionierten Produkte	11
Bild 8: Aufhaldung der Rezyklate, Fraktionen 0/4 mm und 4/8 mm im Hintergrund, Fraktion 8/16 mm links und Fraktion 16/32 mm rechts im Vordergrund	12
Bild 9: Beispielhafte Massenbilanz für den Aufbereitungsprozess mit der Anlage „Mittelsdorf“.....	12
Bild 10: Außen- und Innenansicht des Laborcontainers	13
Bild 11: Proben des vor dem Brecher abgetrennten Vorsiebmaterials (links), des Inputmaterials für die Produktsiebung (Mitte), der Fraktion 0/4 mm aus der Produktsiebung (rechts).....	14
Bild 12: Fraktionen aus der Produktsiebung 4/8 mm (links), 8/16 mm (Mitte) jeweils nach der Wäsche und Windsichtung und 8/16 mm nach der Windsichtung (rechts)	14
Bild 13: Pulverpyknometer zur Bestimmung der Rohdichte.....	15
Bild 14: Messgerät zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung und der Partikelform	16
Bild 15: Gehalte der Hauptbestandteile der rezyklierten Gesteinskörnungen (Vergleichswerte für güteüberwachtes Tragschichtmaterial aus der Auswertung von 71 Prüfprotokollen)	17
Bild 16: Gehalte der Nebenbestandteile der rezyklierten Gesteinskörnungen.....	17
Bild 17: Rohdichten von Aufgabematerial und Zwischenprodukten sowie der rezyklierten Gesteinskörnungen (Vergleichswerte aus 0).....	18
Bild 18: Wasseraufnahme nach 10 min des Aufgabematerials, von Zwischenprodukten sowie der rezyklierten Gesteinskörnungen	18
Bild 19: Wasseraufnahme des Aufgabematerials, von Zwischenprodukten sowie der rezyklierten Gesteinskörnungen	19
Bild 20: Spezifische Oberfläche des Aufgabematerials, von Zwischenprodukten sowie der rezyklierten Gesteinskörnungen.....	19
Bild 21: Sieblinien von Vorsiebmaterial und Input der Produktsiebung.....	20
Bild 22: Sieblinien der für die Betonherstellung vorgesehenen Körnungen	20
Bild 23: Gegenüberstellung der Sollsieblinien der Korngruppe 2/16 mm der Kategorie Gc 90/15, der Körnungen 4/8 mm und 8/16 mm sowie Mischungen beider Körnungen	20
Bild 24: Feinanteile der für die Betonherstellung vorgesehenen Körnungen	21
Bild 25 und Bild 26: Mit dem Camsizer gemessene Partikelgrößenverteilungen der Körnung 8/16 mm ohne Windsichtung und Wäsche (links) und mit Windsichtung und Wäsche (rechts)	21
Bild 27: Gegenüberstellung der Partikelgrößen bei 50 Masse-% Durchgang von Siebanalyse und optischer Analyse.....	22
Bild 28: Einordnung der hier untersuchten Körnungen in die Bereiche für die Masseverluste durch Frost-Tau-Wechsel von natürlichen Gesteinskörnungen und Rezyklaten [10].....	23
Bild 29 und Bild 30: Einordnung der chemischen Zusammensetzung von Aufgabematerial, Zwischenprodukt und feiner Gesteinskörnung sowie der Rezyklate in dem Bereich von sortenreinem Beton.....	24

Bild 31: Schematische Darstellung einer Verarbeitungskette vom Gebäudeabbruch bis zur Betonherstellung für die Errichtung eines neuen Gebäudes 28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anforderungen an die bautechnischen Eigenschaften von rezyklierten Gesteinskörnungen für die Betonherstellung [5].....	7
Tabelle 2: Anforderungen an die Umweltverträglichkeit von rezyklierten Gesteinskörnungen [6]	8
Tabelle 3: Parameter des hergestellten Betons mit rezyklierten Gesteinskörnungen	26

1 Einleitung

1.1 Motivation des Projekts

Der Sekundärrohstoff „Bauabfall“ fällt im Unterschied zu natürlichen mineralischen Rohstoffen an vielen Standorten an. Inbegriffen sind Standorte, an welchen ein Mangel an groben Gesteinskörnungen besteht und diese erst über weite Distanzen antransportiert werden müssen, wie es für Norddeutschland typisch ist. Um die auf die Erstverwendung zurückgehende Verteilung als Vorteil zu nutzen, ist es erforderlich, dass am Standort der Entstehung des Bauabfalls eine mobile Aufbereitung erfolgt. Als an vielen Standorten angesiedelte Verwertung des aufbereiteten Produkts bietet sich die Transportbetonherstellung unter Verwendung von Rezyklaten an. Um einen solchen Stoffkreislauf mit minimiertem Transportaufwand zu realisieren, muss die mobile Aufbereitung besonders im Hinblick auf die Abtrennung von Störstoffen ausgebaut werden. Gleichzeitig ist es erforderlich eine mobile Güteüberwachung einzuführen, mit der die Eignung der rezyklierten Gesteinskörnungen für die Betonherstellung fortlaufend überwacht wird. Beide Schwerpunkte wurden in einem von der Firma Mittelsdorf durchgeführten Projekt bearbeitet. Über die Ergebnisse wird berichtet.

1.2 Stand der Technik

Bauabfälle machen etwa 55 % der insgesamt in Deutschland anfallenden Abfälle aus. Sie bestehen aus Boden, Steinen und Baggergut, Bauschutt, Straßenaufbruch, gemischten Bau- und Abbruchabfällen und Gipsabfällen. Bild 1 ist zu entnehmen, dass sich die Stoffströme in ihrer Menge über die letzten Jahrzehnte wenig verändert haben.

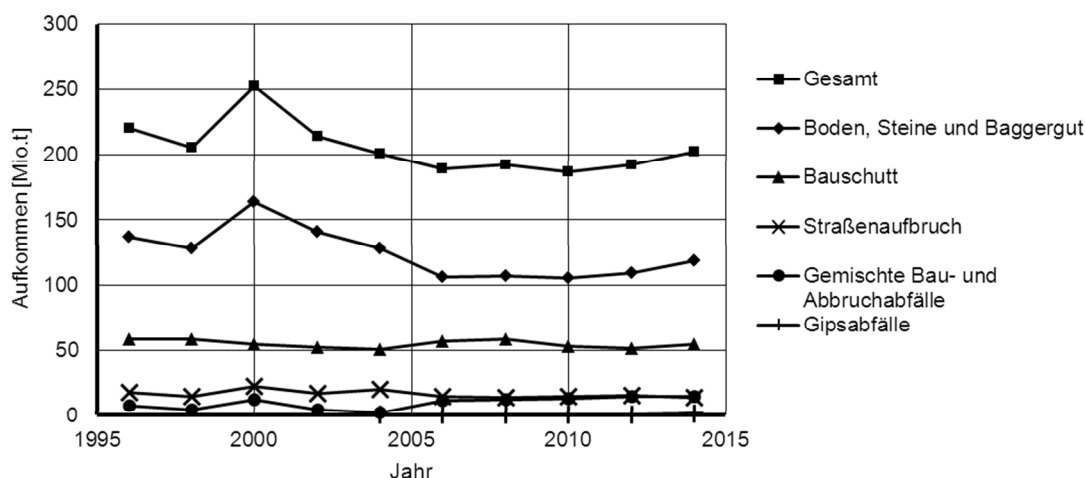


Bild 1: Zeitreihe zum Aufkommen an Bauabfällen (Daten entnommen aus [1])

Die Aufbereitung der Bauabfälle erfolgt in verschiedenen Anlagentypen. Unterschieden werden muss zwischen:

- Anlagen zur Aufbereitung von Bodenaushub. Auch wenn unkontaminiertes Material vorliegt, ist eine Nassaufbereitung zu bevorzugen, insbesondere wenn der Boden einen hohen Anteil an bindigem Material aufweist.
- Anlagen zur Aufbereitung von Betonstraßenaufbruch sowie Bauschutt aus Betonbruch oder Mauerwerkbruch. Hier kommen mobile oder stationäre Anlagen zum Einsatz. Die eingesetzten Maschinen entsprechen im Wesentlichen den bei der Natursteinaufbereitung eingesetzten Anlagen. Zusätzlich können Sortieraggregate erforderlich sein.
- Anlagen zur Sortierung von Baustellenabfällen. Den Schwerpunkt dieser Anlagen bilden Sortierprozesse, die dazu dienen, das sehr heterogene Ausgangsgemisch

in Stofffraktionen wie Metalle, Kunststoffe, Papier, Holz sowie Mineralisches zu trennen. Die Sortierung erfolgt zum Teil händisch und wird durch mechanische Verfahren ergänzt. Zunehmend sind sensorbasierte Sortieraggregate integriert.

Für Asphaltaufbruch als Teilmenge des Straßenaufbruchs sind spezielle Aufbereitungstechniken verfügbar. Gipskartonplattenabfälle werden ebenfalls in eigens dafür entwickelten Anlagen aufbereitet.

Für die Verarbeitung von Bauschutt gibt es in Deutschland ein Netz von stationären und mobilen Recyclinganlagen. 2012 wurden 779 stationäre und semimobile sowie 1393 mobile Anlagen betrieben [2]. In den Anlagen wurde insgesamt mehr als 60 Mio. t Bauschutt verarbeitet, wobei die mobil bzw. stationär aufbereiteten Mengen etwa gleich groß waren. Die stationären Anlagen wurden in der Mehrzahl bereits in den 1980er Jahren in Westdeutschland bzw. in den 1990er Jahren in Ostdeutschland errichtet. Ihre Kapazitäten sind nur zum Teil ausgeschöpft. Größere Mengen könnten angenommen und verarbeitet werden. Aus den statistischen Angaben zu der verarbeiteten Menge und der Anzahl der Anlagen ergeben sich mittlere Anlagendurchsätze von 41.900 t/a für stationäre und semi-mobile Anlagen und 24.800 t/a für mobile Anlagen.

Die Aufbereitung von mineralischen Bauabfällen hat die Aufgabe aus dem Abbruchmaterial ein verwertbares Produkt mit definierten Eigenschaften zu erzeugen. Die Anlagenkonfigurationen können sehr unterschiedlich sein. Die Mindestvariante, die für mobile Aufbereitungsanlagen typisch war, ist in der VDI-Richtlinie 2095 beschrieben [3]: „Bei der einfachsten technologischen Variante wird das Aufgabematerial zunächst durch Vorabsiebung in zwei Kornklassen getrennt. Das Grobgut wird dem Brecher zugeführt und zerkleinert. Ein nach dem Brecher angeordneter Überbandmagnet entfernt freigelegte Eisenteile.“ Eine Weiterentwicklung ist die direkt in die Brechereinheit integrierte Absiebung des Überkorns, das über ein Förderband zum Brechereinlauf zurückgeführt wird. In Ergänzung zu der Brechereinheit sind mobile Siebanlagen und Windsichter verfügbar, so dass mit mobilen Anlagen in Fraktionen klassierte, von leichten Störstoffen befreite Recycling-Baustoffe hergestellt werden können.

Die Verwertungswege von Recycling-Baustoffen richten sich nach ihrer Qualität. Als „worst-case“ sind völlig ohne Güteüberwachung hergestellte Rezyklate zu betrachten, die am Ort der Entstehung für Verfüllungen von Hohlräumen genutzt werden. Ein erheblicher Anteil an Recycling-Baustoffen wird in Frostschutz- und Schottertragsschichten des Straßenbaus verwendet. Diese güteüberwachten Produkte müssen die Anforderungen des Straßenbaus erfüllen. Das ist durch eine kontinuierliche Eigen- und Fremdüberwachung nachzuweisen, die auch für mobil hergestellte Produkte erforderlich ist. Die Vorgehensweise und die einzuhaltenden Parameter sind in der RAL-Vorschrift RAL-GZ 501/5 enthalten [4]. Rezyklierte Gesteinskörnungen für die Betonherstellung werden bisher nur in wenigen stationären Anlagen hergestellt. Die Qualität der Rezyklate muss die in der Tabelle 1 zusammengestellten Anforderungen erfüllen. Es dürfen nur Rezyklate mit Partikelgrößen > 2 mm, beispielsweise die Fraktionen 2/8 mm oder 8/16 mm eingesetzt werden.

Tabelle 1: Anforderungen an die bautechnischen Eigenschaften von rezyklierten Gesteinskörnungen für die Betonherstellung [5]

		Typ 1: Betonsplitt	Typ 2: Bau- werksplitt
Stoffliche Zusammensetzung		[Masse-%]	
Beton, Betonprodukte, Mörtel, Mauersteine aus Beton	Rc	Rc + Ru $\geq$ 90	Rc + Ru $\geq$ 70
Ungebundene Gesteinskörnung, Naturstein, hydraulisch gebundene Gesteinskörnung	Ru		
Mauerziegel aus gebranntem Ton, Kalksandsteine, nicht schwimmender Porenbeton	Rb	$\leq$ 10	$\leq$ 30
Bitumenhaltige Materialien	Ra	$\leq$ 1	$\leq$ 1
Glas	Rg	Rg + X $\leq$ 1	Rg + X $\leq$ 2
Sonstige Materialien - Bindige Materialien, d. h. Ton und Boden - Verschiedene sonstige Materialien: (eisenhaltige und nicht eisenhaltige) Metalle, nicht schwimmendes Holz, Kunststoff, Gummi, Gips	X		
Schwimmendes Material im Volumen	FL	$\leq$ 2 cm ³ /kg	$\leq$ 2 cm ³ /kg
Dichten und Wasseraufnahme			
Kornrohichte auf ofentrockener Basis	[kg/m ³]	$\geq$ 2000	$\geq$ 2000
Schwankungsbreite bezogen auf den vom Hersteller deklarierten Mittelwert der Kornrohichte	[kg/m ³]	$\pm$ 150	$\pm$ 150
Wasseraufnahme nach 10 min	[Masse-%]	10	15
Korngrößenverteilung		Gc 85/20	Gc 80/20
Gehalt an Feinanteilen		Gehalt f4	
Kornformkennzahl		Plattigkeitskennzahl FI 50 oder Kornformkennzahl SI55	
Schlagzertrümmerungswert SZ		Keine Anforderung	
Frost-Tau-Wechselbeständigkeit F		F4	
Chemische Bestandteile			
Säurelösliches Chlorid	[Masse-%]	$\leq$ 0,04	
Wasserlösliches Sulfat	[Masse-%]	$\leq$ 0,2	
Säurelösliches Sulfat	[Masse-%]	$\leq$ 0,8	
Gesamtschwefel	[Masse-%]	$\leq$ 1,0	

Tabelle 2: Anforderungen an die Umweltverträglichkeit von rezyklierten Gesteinskörnungen [6]

Parameter		Höchstwert (entspricht Z.1.2 der LAGA M 20)
pH-Wert		12,5
Elektrische Leitfähigkeit	[$\mu\text{S}/\text{cm}$]	3000
Chlorid	[mg/l]	150
Sulfat	[mg/l]	600
Arsen	[$\mu\text{g}/\text{l}$]	50
Blei	[$\mu\text{g}/\text{l}$]	100
Cadmium	[$\mu\text{g}/\text{l}$]	5
Chrom (gesamt)	[$\mu\text{g}/\text{l}$]	100
Kupfer	[$\mu\text{g}/\text{l}$]	200
Nickel	[$\mu\text{g}/\text{l}$]	100
Quecksilber	[$\mu\text{g}/\text{l}$]	2
Zink	[$\mu\text{g}/\text{l}$]	400
Phenolindex	[$\mu\text{g}/\text{l}$]	100
Kohlenwasserstoffe	[mg/kg]	100
PAK nach EPA	[mg/kg]	25
EOX	[mg/kg]	10
PCB	[mg/kg]	1

Bei der Herstellung von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen können die Rezyklate 45 Vol.-% (Betonspalt) bzw. 35 Vol.-% (Bauwerksplatt) der natürlichen Gesteinskörnungen ersetzen. Betone bis zur Festigkeitsklasse bis C 30/37 können hergestellt werden, die in Expositionsklassen mit geringem oder moderatem Korrosions- und Angriffsrisiko eingesetzt werden können [7],[8].

Wenn davon ausgegangen wird, dass eine mobile Anlage ab einer Bauschuttmenge von ca. 5.000 t wirtschaftlich eingesetzt werden kann und 60 % davon zu anforderungsgerechten Rezyklaten aufbereitet werden können, stehen 3.000 t für die Betonherstellung zur Verfügung. Dem steht ein durchschnittlicher Bedarf an Gesteinskörnungen für die Transportbetonherstellung von 48.000 t pro Werk und Jahr gegenüber, der sich aus der in Deutschland insgesamt produzierten Menge an Transportbeton und der Anzahl der Werke ergibt [9],[10]. Die Aufnahmekapazität liegt also deutlich über der zur Verfügung stehenden Menge. Das Konzept der Vor-Ort-Aufbereitung und Verwertung zur Betonherstellung scheint von den Massenströmen her realistisch zu sein, wenn die vorgegebenen Qualitätsparameter erfüllt werden.

2 Vorhabensumsetzung: Konfiguration und Zusatzausrüstungen der mobilen Aufbereitungsanlage

Um das Projektziel – die mobile Herstellung von rezyklierten Gesteinskörnungen für die Betonherstellung – zu erreichen, wurden eine Anlage für die Zerkleinerung und Klassierung von Bauschutt (Bild 2) mit Zusatzeinrichtungen zur Verbesserung der Produktqualität versehen. Die Zusatzeinrichtungen haben in erster Linie das Ziel, leichte Störstoffe und an der Oberfläche der groben Körnungen haftende feine Partikel abzutrennen. Als Prozessraum für diese Aufgaben werden die vorhandenen Übergabestellen und Förderbänder der Anlagen genutzt. Die Energieversorgung der Zusatzaggregate erfolgte teilweise mit Hilfe der vorhandenen Antriebsaggregate der Brecher- und der Siebanlage. Für den Windsichter und die Aufrechterhaltung des Wasserkreislaufs für den Waschprozess ist eine zusätzliche Stromversorgung notwendig, der notwendige Strom wurde mit Hilfe eines Dieselgenerators erzeugt.



Bild 2: Gesamtansicht der Anlage mit Materialaufgabe, Brecher und Siebanlage

Das Konzept soll Verbesserungen der Produktqualität ohne den Einsatz von zusätzlichen Aggregaten und den damit verbundenen zusätzlichen Schwerlasttransporten ermöglichen. Das Anlagenschema im Bild 3 zeigt, dass das Aufgabematerial nach der Zerkleinerung drei Klassierstufen und zwei Sortierstufen durchläuft. Es kann erwartet werden, dass dadurch Qualitätsverbesserungen erreicht werden.

Das Ausgangsmaterial wird auf ein Zwei-Deck-Sieb aufgegeben. Der Siebdurchgang stellt das Vorsiebmaterial dar. Es enthält Bodenbestandteile sowie leicht zerkleinerbare Bestandteile des Bauschutts und wird ausgeschleust (Bild 4). Die mittlere Fraktion wird am Brecher vorbeigeführt, während der Siebüberlauf in den Brecher aufgegeben wird. Das unterhalb des Brechers abgezogene Brechgut, aus dem die magnetischen Fe - Metalle mittels Überbandmagnet entfernt werden, und die mittlere Fraktion der Vorabsiebung werden einem Eindeck-Zwischensieb zugeführt. Der Siebüberlauf > 40mm wird am Ende des abführenden Transportbandes von einem gerichteten Luftstrom durchströmt (Bild 5). Leichte Störstoffe wie Folien, Papier, Dämmstoffe werden ausgeblasen (Bild 6) und in einem Container aufgefangen. Da nur die groben Fraktionen > 40 mm der Windsichtung unterzogen werden, können vergleichsweise hohe Luftaustrittsgeschwindigkeiten aus der Schlitzdüse realisiert werden, ohne dass mineralische Bestandteile in das Leichtgut gelangen oder eine nennenswerte Staubentwicklung stattfindet. Trotzdem können so neben den o.g. genannten leichten Störstoffen auch Holz, Gummi als schwerere Störstoffe abgetrennt werden.

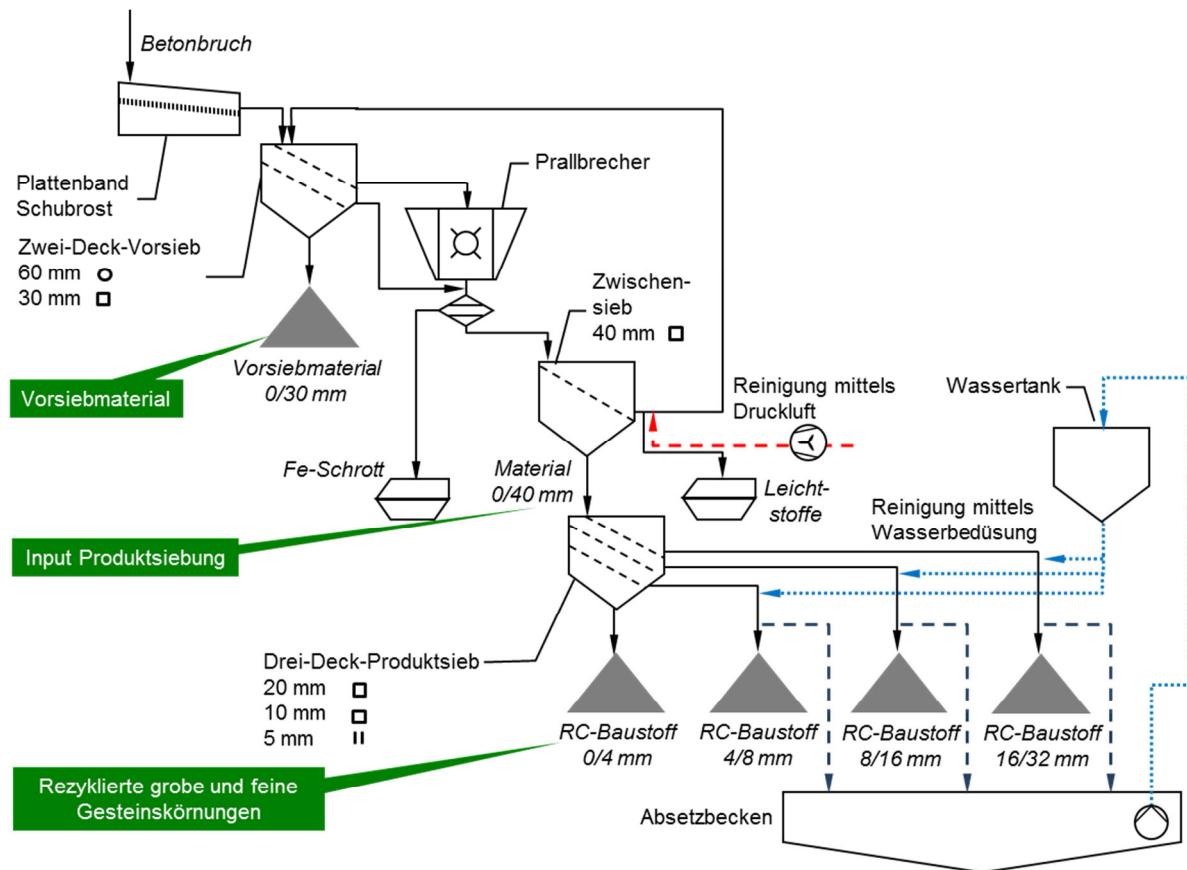


Bild 3: Anlagenschema mit Angabe der untersuchten Materialien



Bild 4: Materialaufgabe in den Brecher und Vorsiebmaterial



Bild 5: Schlitzdüse zum Ausblasen der Leichtstoffe und Gebläse für die Sichtluftzufuhr



Bild 6: Ausgeschleuste Leichtstoffe (oben) und nach Stoffgruppen sortierte Leichtstoffe

Der nächste Verfahrensschritt ist die Produktsiebung mit einer Drei-Deck-Siebmaschine. Das zugeführte Material 0/40 mm wird in 4 Fraktionen getrennt. Die Splittfraktionen, die mit Hilfe der Siebe mit Maschenweiten von 5, 10 und 20 mm getrennt werden, werden auf den abführenden Förderbändern einer Nassreinigung unterzogen (Bild 7). Im Bild 8 ist die Aufhaltung der erzeugten Produkte dargestellt



Bild 7: Vorrichtungen zur Wasserbedüsung der fraktionierten Produkte



Bild 8: Aufteilung der Rezyklate, Fraktionen 0/4 mm und 4/8 mm im Hintergrund, Fraktion 8/16 mm links und Fraktion 16/32 mm rechts im Vordergrund

Die Bilanz für einen Versuchsdurchlauf mit vergleichsweise „schlechtem“ Aufgabematerial zeigt die Aufteilung des Inputstromes in die Produkte, die als Fraktionen vorliegen, sowie in die abgetrennten Stoffströme (Bild 9). Für die Betonherstellung kann in diesem Fall 38 Masse-% des Aufgabematerials verwertet werden. Für die Fraktion 0/2 mm, die 21 Masse-% ausmachen, ist eine Zudosierung zu einem Tragschichtmaterial denkbar, wenn die Anforderungen hinsichtlich der Korngrößenverteilung insbesondere des Anteils $< 0,063$ mm sowie weiterer Parameter eingehalten werden. Das Vorsiebmaterial ist mit 40,8 Masse-% der größte Bilanzposten. In der gegenwärtigen Konfiguration ist es für eine Verwertung mit hohem technischem Anspruch nicht geeignet. Der darin enthaltene, erhebliche Anteil an groben Körnungen geht so „verloren“. Er könnte durch eine zusätzliche Siebung als Gesteinskörnung gewonnen werden.

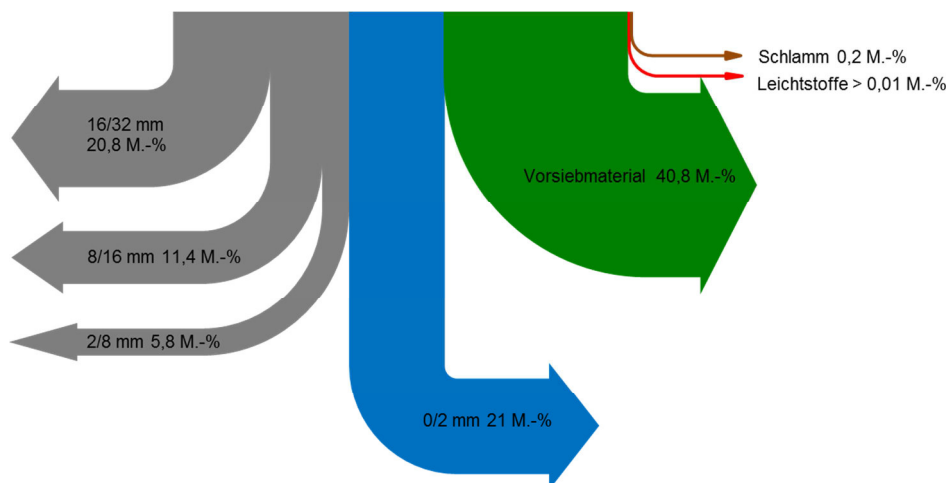


Bild 9: Beispielhafte Massenbilanz für den Aufbereitungsprozess mit der Anlage „Mittelsdorf“

Die zweite Voraussetzung für die Herstellung von rezyklierten Gesteinskörnungen für die Betonherstellung mittels mobiler Anlagentechnik ist die vom Hersteller vorzunehmende kontinuierliche Überwachung der Produktion. Damit wird sichergestellt, dass die hergestellten rezyklierten Gesteinskörnungen den Anforderungen der DIN 4226-101 [6] entsprechen. Für die werkseigene Produktionskontrolle wurde ein containermobiles Labor gebaut, das mit den notwendigen Ausrüstungen versehen ist. Vorhanden sind ein Trockenschrank, Waagen sowie eine Siebmaschine mit den erforderlichen Sieben (Bild 10).



Bild 10: Außen- und Innenansicht des Laborcontainers

Die erforderliche Typ-Prüfung und die werkseigene Produktionskontrolle werden für jeweils 5.000 t Material vorgenommen. Die Typ-Prüfung (bisher: Erstprüfung) umfasst die Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung, der Korngrößenverteilung, des Gehaltes an Feinanteilen und der Kornformkennzahl sowie die erstmalige Überprüfung der Umweltverträglichkeit zu Beginn der Herstellung.

3 Ergebnisse

3.1 Untersuchte Eigenschaften und angewandte Methoden

Für die Überprüfung der Qualität der erzeugten Gesteinskörnungen wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Dabei lag der Schwerpunkt auf den Körnungen 4/8 mm, 8/16 mm und 16/32 mm, die für die Betonherstellung eingesetzt werden. Zusätzlich wurden das Vorsiebmaterial, das Inputmaterial der Produktsiebung und die Fraktion 0/4 mm untersucht. Im Bild 3 ist dargestellt, an welchen Stellen des Verfahrensablaufs die Proben entnommen wurden.

Ein Überblick über die untersuchten Proben ist in den Bildern 11 und 12 dargestellt. Das Vorsiebmaterial weist Fremdbestandteile auf und hat einen hohen Feinkornanteil. Daneben hat es aber auch noch einen erheblichen Anteil an groben Körnungen. Das gebrochene Material, dass den Input für die Produktsiebung darstellt, ist ebenfalls vergleichsweise feinkornreich. Gleiches gilt für die Fraktion 0/4 mm. Die Körnungen 4/8 mm, 8/16 mm und 16/32 mm sind nach Augenschein homogen und ohne Fremdstoffe.

Einen Überblick über die geprüften Eigenschaften und die Vorschriften, nach denen geprüft wurde, gibt die Tabelle 3.



Bild 11: Proben des vor dem Brecher abgetrennten Vorsiebmaterials (links), des Inputmaterials für die Produktsiebung (Mitte), der Fraktion 0/4 mm aus der Produktsiebung (rechts)



Bild 12: Fraktionen aus der Produktsiebung 4/8 mm (links), 8/16 mm (Mitte) jeweils nach der Wäsche und Windsichtung und 8/16 mm nach der Windsichtung (rechts)

Tabelle 3: Geprüfte Eigenschaften und Messverfahren [11]-[15]

Eigenschaft	Messverfahren
Stoffliche Zusammensetzung	DIN EN 933-11
Kornzusammensetzung, Feinanteile	Siebung in Anlehnung an DIN EN 933-1,
Kornrohddichte, Wasseraufnahme	Pyknometerverfahren nach DIN EN 1097-6 und DAfStb-Richtlinie, Anhang B
Widerstand gegen Zertrümmerung	Schlagzertrümmerungswert DIN EN 1097-2
Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel	DIN EN 1367-1

Um die Gesteinskörnungen noch ausführlicher zu charakterisieren, wurden in Ergänzung zu den o.g. Prüfungen zusätzliche bzw. von den Vorschriften abweichende Untersuchungen vorgenommen:

- Die abschlämmbaren Bestandteile, die Schüttdichte und die Rütteldichte wurden bestimmt.
- Die Kornrohddichte wurde zusätzlich mit einem Pulverpyknometer gemessen (Bild 13). Hierbei wird die Probe anstelle von Wasser in ein gut fließfähiges Pulver eingebettet und so das Volumen ermittelt. Die Messunsicherheiten, die bei Wasseraufnehmendem Probematerial bestehen, werden so ausgeschlossen.
- Die Kornform wurde abweichend von der Vorschrift mit dem optischen Partikelanalysator Camsizer bestimmt (Bild 14). Die Vorteile dieser Bestimmung bestehen darin, dass die Partikelgrößenverteilung und die Kornformparameter in einem Messvorgang und an einer erheblich größeren Partikelanzahl bestimmt werden können. Zum Vergleich wurden die Kornformparameter von natürlichen Sanden und Splitten gemessen.



Bild 13: Pulverpyknometer zur Bestimmung der Rohddichte

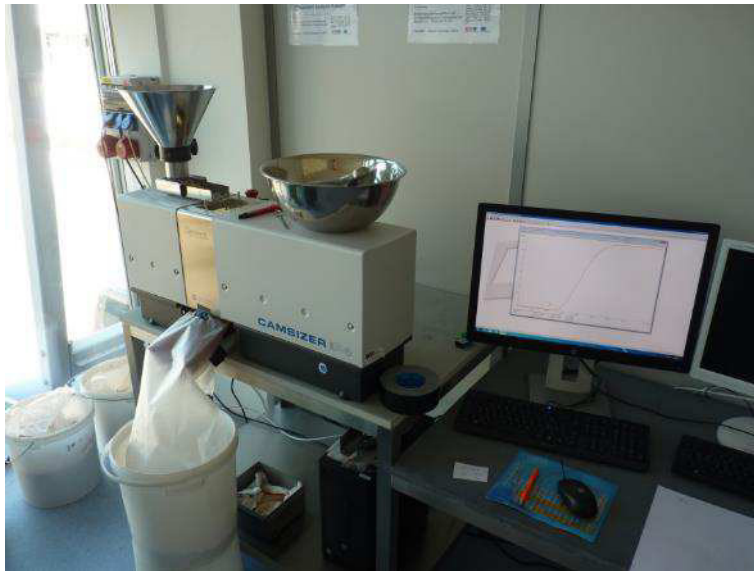


Bild 14: Messgerät zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung und der Partikelform

Die chemische Zusammensetzung der Proben wurde mittels Röntgenfluoreszenz-Analyse gemessen. Sie dient der Einordnung des Materials in eine Übersicht sortenreiner Betone bzw. betonstämmiger Rezyklate. Außerdem werden Aussagen zum Gesamtsulfat- und -Chloridgehalt gemacht.

3.2 Qualität der erzeugten rezyklierten Gesteinskörnungen

3.2.1 Ergebnisse zur stofflichen Zusammensetzung der Proben

Die Gehalte der Haupt- und Nebenbestandteile der rezyklierten Gesteinskörnungen ist in dem Bild 15 dargestellt. Alle Anforderungen, die an eine rezyklierte Gesteinskörnung Typ 1 gestellt werden, werden eingehalten. Die hohe Sortenreinheit ist zum einen auf den sorgfältigen selektiven Rückbau zurückzuführen. Bereits im Anlieferungszustand enthält das Abbruchmaterial nur geringe Mengen an mineralischen Fremdbestandteilen. Im Unterschied zu vielen im Straßenbau verwendeten Rezyklaten, die zum Teil einen beträchtlichen Anteil an natürlichen Gesteinskörnungen enthalten, bleibt dieser Anteil hier bei 4 der insgesamt 6 untersuchten Körnungen unter 10 Masse-%. Die Betonrezyklate dominieren und sind eigenschaftsbestimmend. Der Einfluss der Sortierung durch die Ausblaseinrichtung kann an der groben Körnung abgelesen werden (Bild 16). Das Volumen an schwimmendem Material wird durch die Windsichtung verringert. Es geht von 4 cm³/kg auf 1,5 cm³/kg zurück.

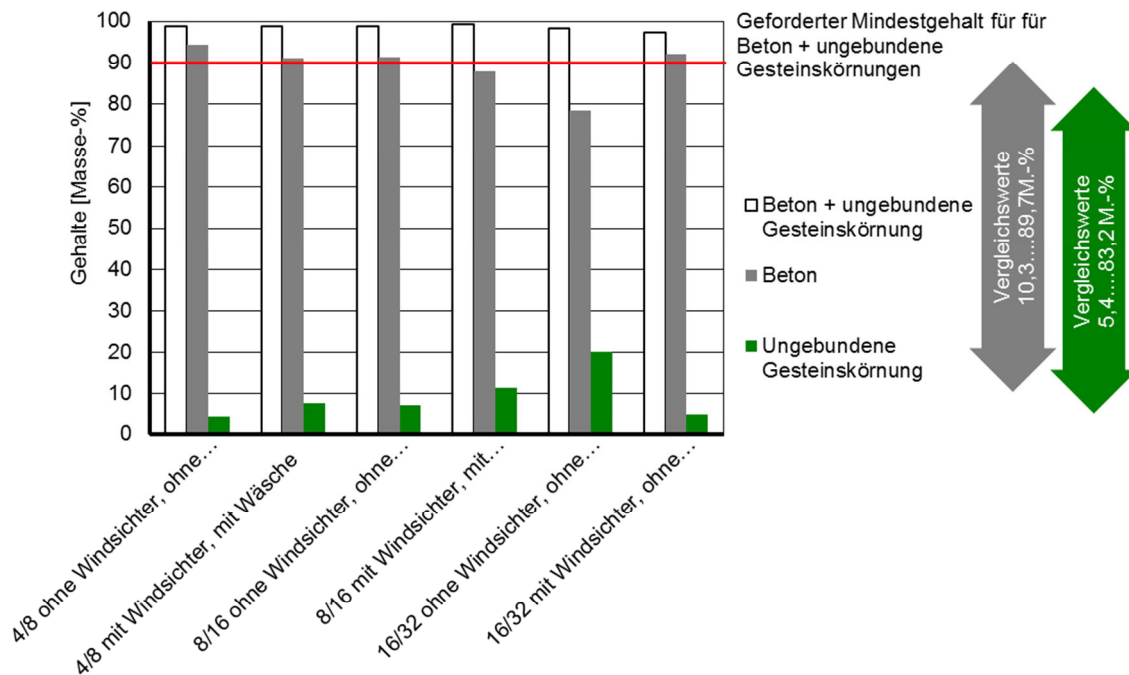


Bild 15: Gehalte der Hauptbestandteile der rezyklierten Gesteinskörnungen (Vergleichswerte für güteüberwachtes Tragschichtmaterial aus der Auswertung von 71 Prüfprotokollen)

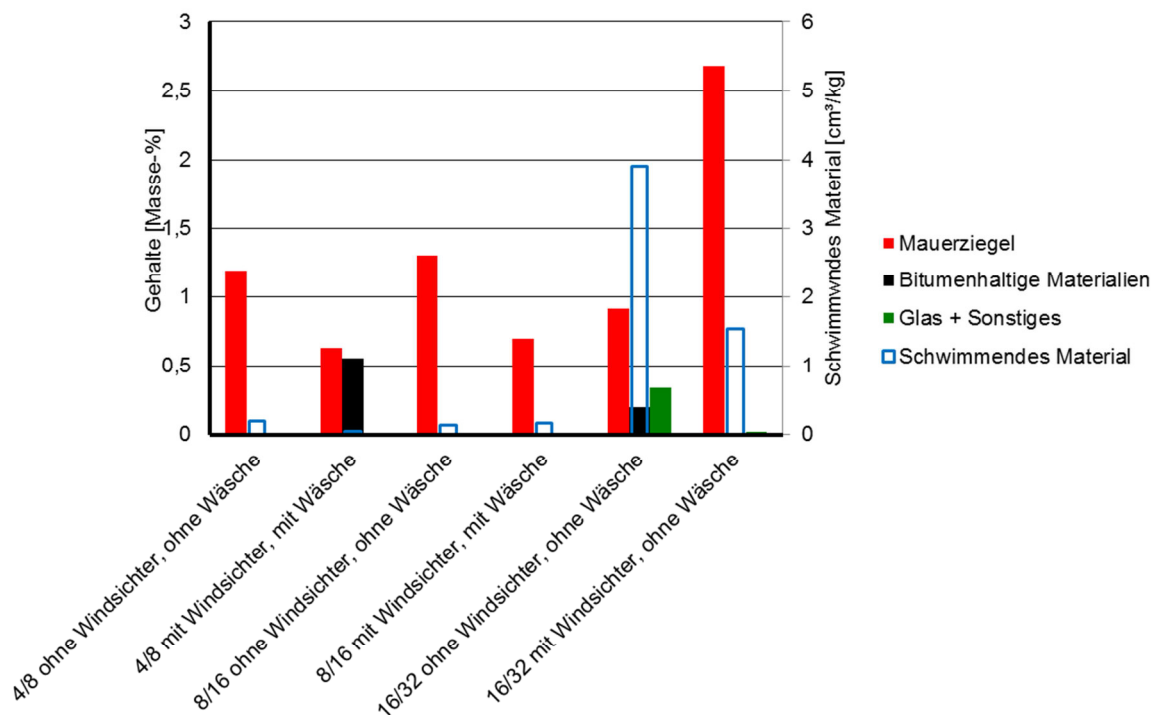


Bild 16: Gehalte der Nebenbestandteile der rezyklierten Gesteinskörnungen

3.2.2 Ergebnisse zu Dichten und Wasseraufnahmen

Alle für die Betonherstellung vorgesehenen Körnungen weisen die erforderliche Rohdichte auf (Bild 17). Gleiches gilt für die Wasseraufnahme nach 10 min, die bei den rezyklierten Gesteinskörnungen deutlich unter 10 Masse-% bleibt (Bild 18). Erkennbar ist, dass die Wasseraufnahme mit abnehmender Partikelgröße zunimmt. Hauptursache dafür ist der Anstieg der spezifischen Oberfläche mit zunehmender Feinheit der Rezyklate (Bild 19 und 20). Die Rezyklate mit Partikelgrößen unter 4 mm bzw. mit hohem Feinkornanteil weisen eine erhöhte Wasseraufnahme auf. Sie sind nicht für die Betonherstellung vorgesehen.

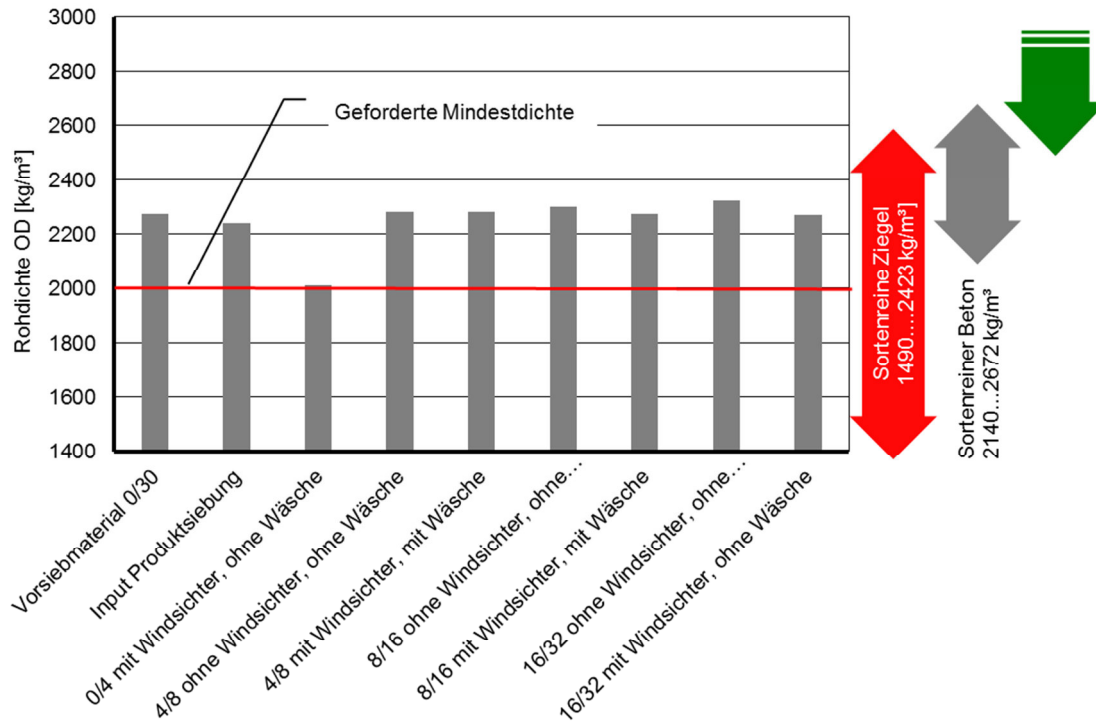


Bild 17: Rohdichten von Aufgabematerial und Zwischenprodukten sowie der rezyklierten Gesteinskörnungen (Vergleichswerte aus [10])

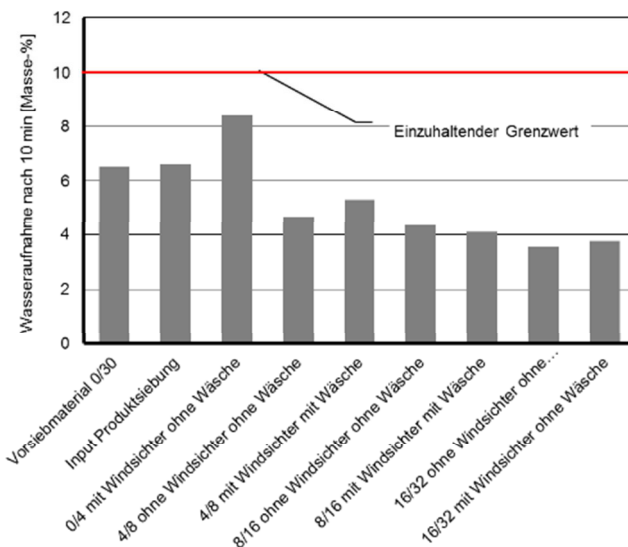


Bild 18: Wasseraufnahme nach 10 min des Aufgabematerials, von Zwischenprodukten sowie der rezyklierten Gesteinskörnungen

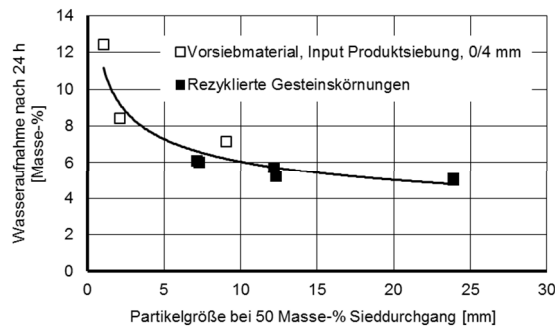


Bild 19: Wasseraufnahme des Aufgabematerials, von Zwischenprodukten sowie der rezyklierten Gesteinskörnungen

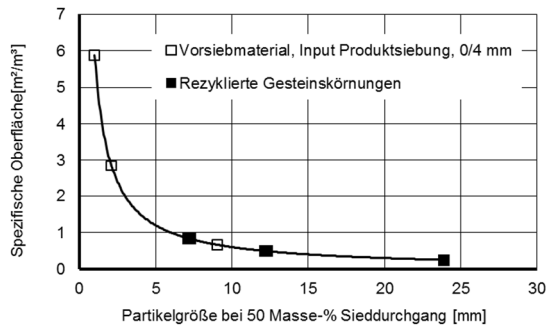


Bild 20: Spezifische Oberfläche des Aufgabematerials, von Zwischenprodukten sowie der rezyklierten Gesteinskörnungen

3.2.3 Ergebnisse zur Granulometrie der Proben

Die Sieblinien des Vorsiebmaterials und des Inputmaterials zeigen einen stetigen Verlauf (Bild 21). Der Anteil der Fraktion > 4 mm ist bei dem Vorsiebmaterial mit etwa 30 Masse-% hoch. Es verbleiben also etwa 30 Masse-% grobkörniges Material im Vorsiebmaterial und werden so einer Verwertung mit hohem technischem Anspruch entzogen. Die Senkung des Siebschnitts von gegenwärtig 30 mm auf eine geringere Maschenweite oder eine zusätzliche Siebung sind mögliche Maßnahmen, um die Ausbeute zu verbessern. Die feine Gesteinskörnung, die nach dem Brechen abgeseibt wird, besteht zu 90 Masse-% aus Partikeln < 4 mm bzw. zu 70 Masse-% aus Partikeln < 2 mm. Auch hier bleiben 30 Masse-% der potentiell für die Betonherstellung geeigneten Körnungen ungenutzt. Die für die Betonherstellung vorgesehenen Körnungen 4/8 mm, 8/16 mm und 16/32 mm weisen sehr enge Sieblinien auf (Bild 22). Ein Vergleich mit den Sieblinien der Körnungen 2/8 mm und 8/16 mm, die im Rahmen der Betonuntersuchungen der Dyckerhoff Beton GmbH & Co. KG ermittelt wurden, zeigt, dass die Ergebnisse nahezu deckungsgleich sind. Da die Proben aus unterschiedlichen Probenahmen stammten, kann aus der Übereinstimmung gefolgert werden, dass die Produktklassierung im Zuge der Aufbereitung gut reproduzierbare Ergebnisse liefert.

Eine Einordnung in die Kategorie Gc 85/20 als Regelanforderung nach der DAfStb-Richtlinie ist für die Rezyklate 8/16 mm und 16/32 mm möglich. Das Rezyklat 4/8 mm erfüllt diese Anforderung nicht. Wird die in der Betonherstellung aus Rezyklaten bereits erprobte Korngruppe 2/16 mm der Kategorie Gc 90/15 als Vergleichsmaßstab herangezogen, liegt das Rezyklat 4/8 mm im Sollsieblinienbereich, während das Rezyklat 8/16 mm herausfällt. Durch eine Mischung beider Fraktionen können anforderungsgerechte Sieblinien erzeugt werden (Bild 23).

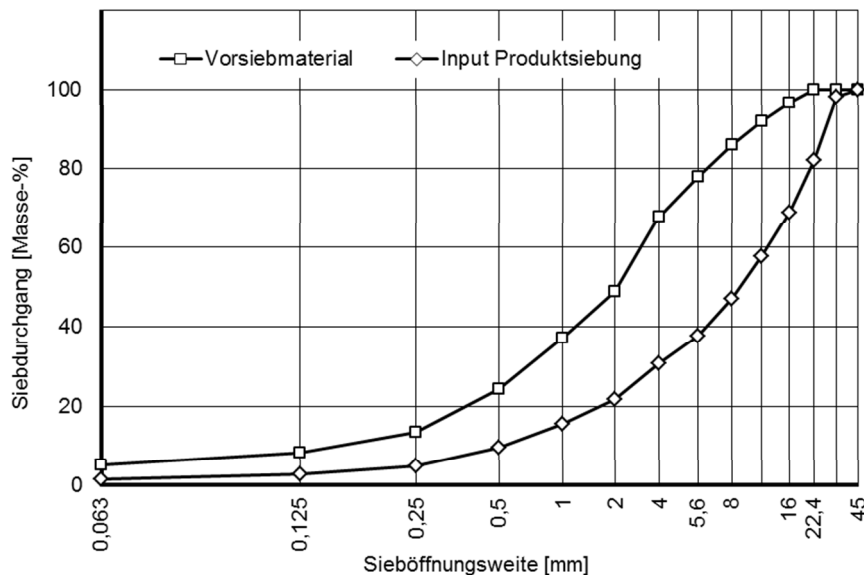


Bild 21: Sieblinien von Vorsiebmaterial und Input der Produktsiebung

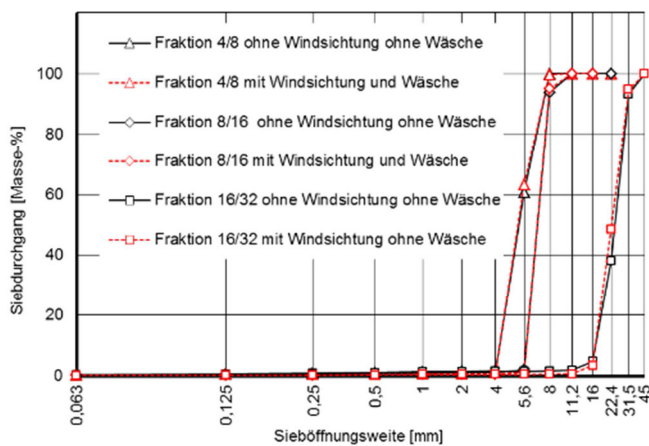


Bild 22: Sieblinien der für die Betonherstellung vorgesehenen Körnungen

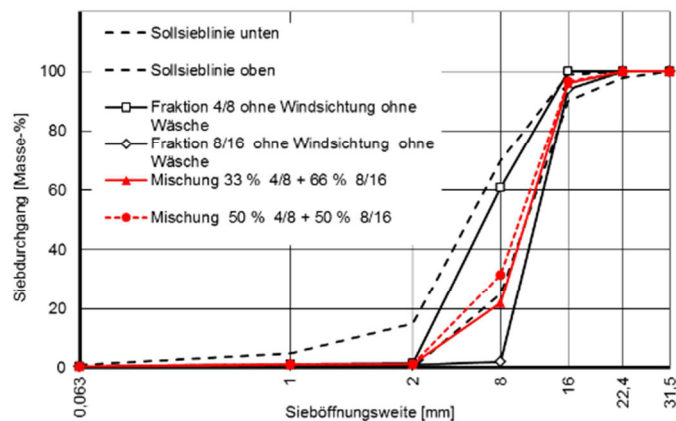


Bild 23: Gegenüberstellung der Sollsieblinien der Korngruppe 2/16 mm der Kategorie Gc 90/15, der Körnungen 4/8 mm und 8/16 mm sowie Mischungen beider Körnungen
Die Feinkornanteile der Körnungen sind bereits ohne die zusätzlichen Sortierschritte gering, werden aber durch die Sichtung und die Wäsche noch verbessert (Bild 24). An den Partikelgrößenverteilungen, die mit dem optischen Partikelanalysator ermittelt wurden, werden diese Verbesserungen besonders augenscheinlich (Bild 25).

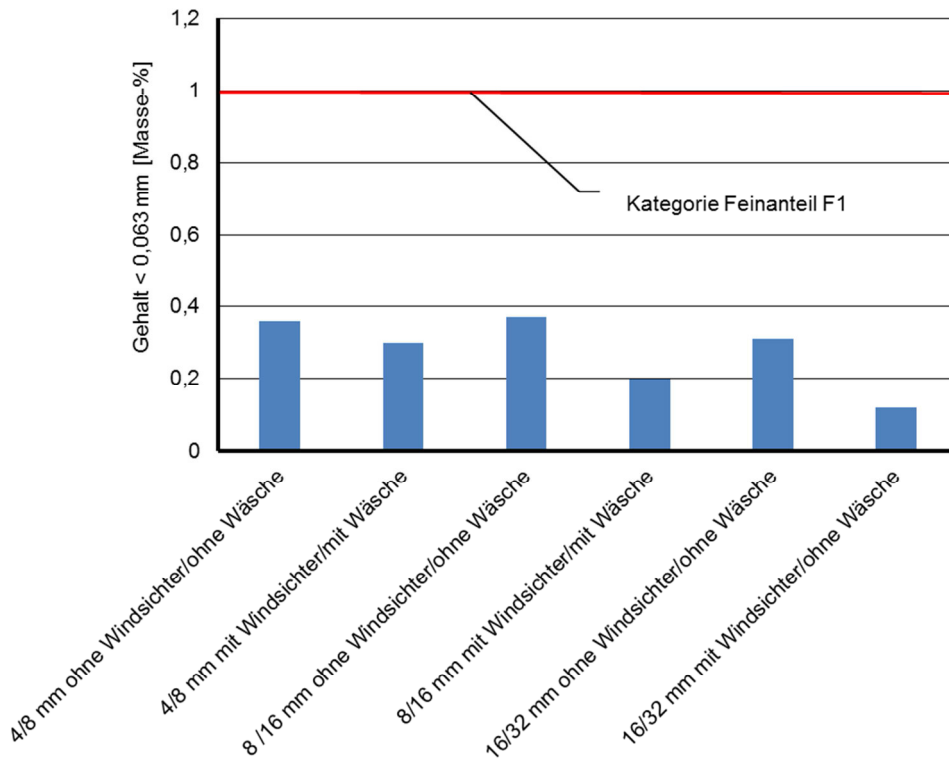
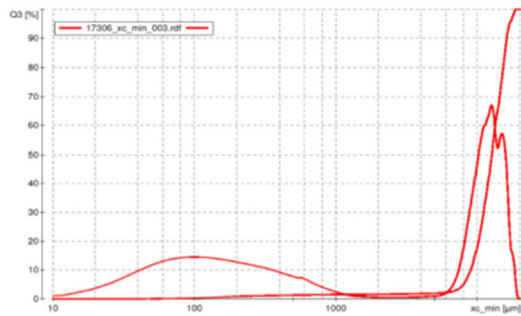


Bild 24: Feinanteile der für die Betonherstellung vorgesehenen Körnungen

Messergebnisdiagramm:
L:\ParticleLibrary\CAMDAT\Leibzeit\17306_xc_min_003.rdf
Messaufgabe: Split 0-16 R10 Mittelstorf.atg



Messergebnisdiagramm:
L:\ParticleLibrary\CAMDAT\Leibzeit\17323_xc_min_001.rdf
Messaufgabe: Split 0-16 R10 Mittelstorf.atg

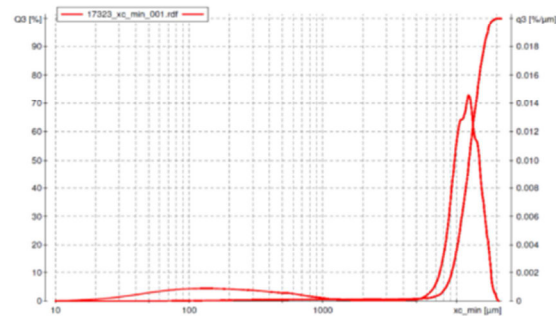


Bild 25 und Bild 26: Mit dem Camsizer gemessene Partikelgrößenverteilungen der Körnung 8/16 mm ohne Windsichtung und Wäsche (links) und mit Windsichtung und Wäsche (rechts)

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse der optischen Bildanalyse mit denen der Siebanalyse (Bild 27) zeigt eine gute Übereinstimmung der Partikelgrößen bei 50 % Siebdurchgang. Wenn erwogen wird, die optische Analyse für die werkseigene Produktionskontrolle zu nutzen, ist das ein notwendiges Ergebnis. Allerdings reicht diese Aussage nicht aus. Genauere statistische Aussagen an einer breiten Palette von Gesteinskörnungen der verschiedenen Körnungskategorien, die sich einerseits aus der Siebanalyse und andererseits aus der optischen Analyse ergeben, wären zu ergänzen.

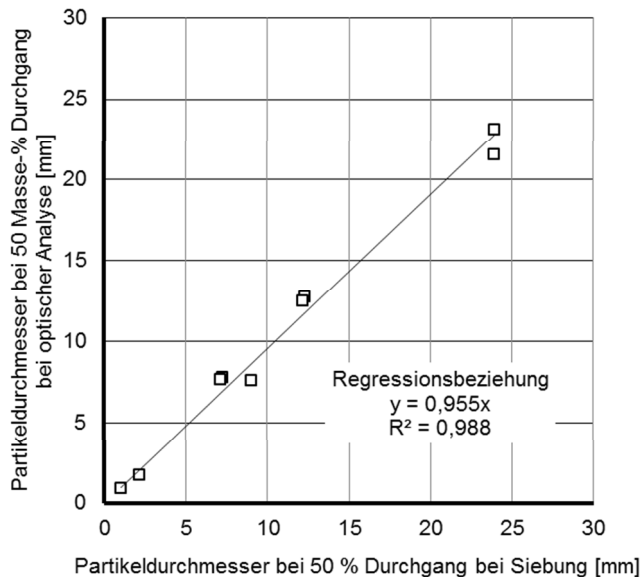


Bild 27: Gegenüberstellung der Partikelgrößen bei 50 Masse-% Durchgang von Siebanalyse und optischer Analyse

Bei der Bestimmung der Kornform nach dem genormten Verfahren wird zunächst die Masse der nicht-kubisch geformten Körner händisch unter Zuhilfenahme des Kornform-Mess-schiebers bestimmt. Als nicht kubisch werden solche Körner definiert, deren Länge-zu- Breite-Verhältnis 3 übersteigt. Der Kornformindex SI wird als Verhältnis der Masse der nicht-kubisch geformten Körner zu der Gesamtmasse der untersuchten Probe berechnet. Bei einem SI-Wert von 15 % sind beispielsweise 15 Masse-% der untersuchten Probe nicht kubische geformte Partikel und 85 Masse-% kubisch geformte Partikel. Bei der Camsizer-messung werden für jedes untersuchte Partikel u.a. die Länge und die Breite gemessen, die orthogonal aufeinander stehen. Daraus wird das Breite-zu-Länge-Verhältnis gebildet. Ein Verhältnis $B/L = 0,33$ entspricht also der Messschieberdefinition. Zusätzlich wird die Sphärizität ermittelt, die eine Aussage dazu macht, in wie weit die Projektionsfläche des Partikels von der Kreisform abweicht. Kreisförmige Partikel haben die Sphärizität von 1. Aus den Kornformkennwerten (Tabelle A 4 der Ergebniszusammenstellung) können folgende Aussagen abgeleitet werden:

- Bei den durchschnittlichen B/L-Verhältnissen bestehen keine Unterschiede zwischen den Körnungen der Anlage Mittelsdorf EAR e.K. und den zum Vergleich herangezogenen Sanden und Kiesen.
- Der Anteil der nicht kubisch geformten Partikel bewegt sich für beide Gruppen zwischen 10 und 40 Volumen-%.
- Die durchschnittliche Sphärizität ist bei den Sanden und Kiesen höher als bei den Körnungen der Anlage Mittelsdorf EAR e.K. Die stärkeren Abweichungen von der Kreisform sind die Folge des Brechvorgangs, den die Körnungen durchlaufen haben.

Werden nur die für die Betonherstellung vorgesehenen Körnungen betrachtet, beträgt der mittels optischer Bildanalyse ermittelte SI-Wert 10. Der SI-Wert, der im Rahmen der Betonuntersuchungen ermittelt wurde, betrug SI 20. Der Sollwert von SI 55 wird auf jeden Fall eingehalten.

3.2.4 Ergebnisse zum Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel und zum Widerstand gegen Zertrümmerung

Der Widerstand von Recycling-Baustoffen gegen Frost-Tau-Wechsel wird ermittelt, indem die Gesteinskörnungen nach einer 24-stündigen Wasserlagerung einer 10-maligen Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung unterzogen werden. Im Anschluss wird der Masseverlust der Körnungen durch frostinduzierte Absplitterungen bestimmt. Dabei ist die prozentuale Veränderung des Rückstands auf dem Sieb mit der halben Maschenweite der unteren Korngröße der betrachteten Körnung ausschlaggebend. Die an zwei Körnungen aus der Anlage Mittelsdorf EAR e.K. gemessenen Absplitterungen betragen

- Körnung 4/8 mm mit Windsichtung, mit Wäsche: 2,8 Masse-%
- Körnung 8/16 mm mit Windsichtung, mit Wäsche: 7,6 Masse-%

Die geforderte Kategorie F 4 wird nur von der Körnung 4/8 mm erreicht.

Es ist bekannt, dass der Frostwiderstand von Betonrezyklaten ungünstiger als der von natürlichen Gesteinskörnungen ist. Ursache ist die erhöhte Wasseraufnahme. Bei einer Einordnung der Werte der Körnungen in eine Übersichtsdarstellung mit Messwerten aus unterschiedlichen Quellen ergibt sich, dass die erreichten Werte tendenziell etwas günstiger als die Vergleichswerte sind (Bild 28).

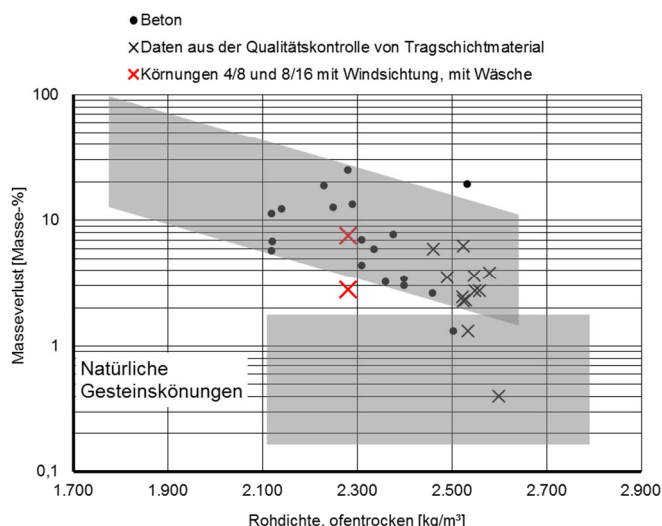


Bild 28: Einordnung der hier untersuchten Körnungen in die Bereiche für die Masseverluste durch Frost-Tau-Wechsel von natürlichen Gesteinskörnungen und Rezyklaten [10]

Trotz der ungünstigeren Werte für den Frostwiderstand der Rezyklate weisen daraus hergestellte Betone oftmals einen sehr guten Frostwiderstand auf. Als Ursache wird die Porosität der Rezyklate angenommen, die Ausdehnungsräume für das gefrierende Wasser bereitstellt. Nach der DAfStb-Richtlinie darf der Frost-Tau-Widerstand rezyklierter Gesteinskörnungen alternativ mittels Betonprüfung nachgewiesen werden. Diese Prüfungen wurden von der Dyckerhoff Beton GmbH & Co. KG an einem Beton vorgenommen. Es ergaben sich eine positiv zu bewertende geringe Abwitterung und eine negativ zu bewertende relativ hohe Abnahme des E-Moduls. Endgültige Aussagen können auf der Basis der vorliegenden, wenigen Untersuchungen nicht getroffen werden.

Bei der Bestimmung des Schlagzertrümmerungswertes wird die zu prüfende Körnung einer definierten Beanspruchung durch einen Fallhammer ausgesetzt. Die Menge der dabei entstehenden Absplitterungen dient als Maß für den Schlagwiderstand. Die Prüfung erfolgte an der Prüfkörnung 8/12,5 mm, die aus der Körnung 8/16 mm mittels Siebung abgetrennt wurden. Es ergab sich ein mittlerer Schlagzertrümmerungswert von 25,4 Masse-%, der mit den Werten für Recycling-Baustoffe, die für Tragschichten im Straßenbau eingesetzt werden, übereinstimmt. Für rezyklierte Gesteinskörnungen besteht keine Anforderung.

3.2.5 Chemische Zusammensetzung der Produkte

Die chemische Zusammensetzung von Betonrezyklaten wird hauptsächlich von den im Mutterbeton verwendeten Gesteinskörnungen und in geringerem Ausmaß von der verwendeten Zementart und Menge bestimmt. Bei einem Vergleich mit denen für sortenreine Betone zusammengetragenen Daten zeigt sich, dass die Gehalte der Oxide der untersuchten Proben innerhalb der Spannweiten liegen (Bild 29 und 30). Auch zwischen den Proben gibt es keine nennenswerten Unterschiede, die auf An- und Abreicherungen hinweisen würden.

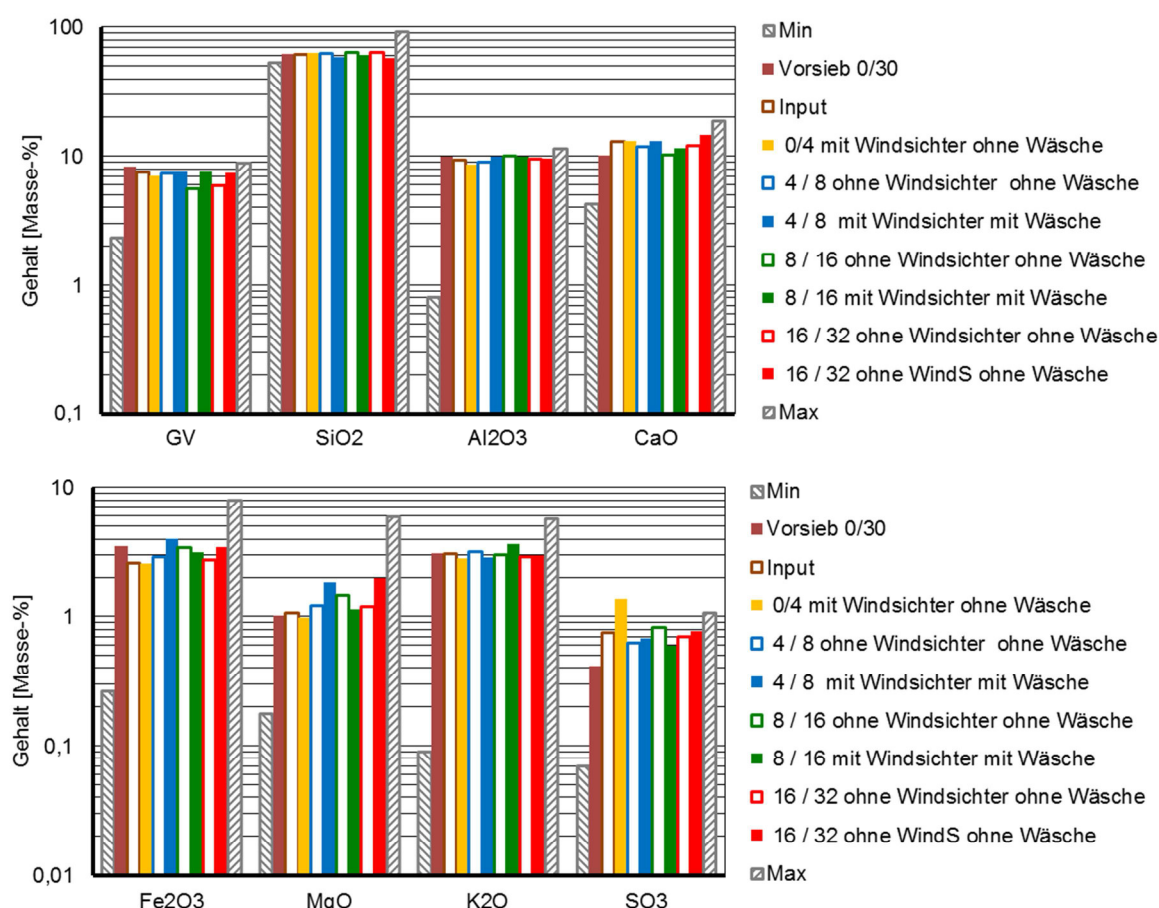


Bild 29 und Bild 30: Einordnung der chemischen Zusammensetzung von Aufgabematerial, Zwischenprodukt und feiner Gesteinskörnung sowie der Rezyklate in dem Bereich von sortenreinem Beton

Der einzige kritische Wert ist der Sulfatgehalt in der Körnung 0/4 mm. Mit der RFA-Analyse wird allerdings der Gesamtschwefelgehalt bestimmt und auf den Gesamtsulfatgehalt umgerechnet. Nur ein Teil dieses Sulfats geht in Wasser oder Säure in Lösung. Sowohl der wasser- als auch der säurelösliche Sulfatgehalt liegt unter dem

Gesamtgehalt, so dass auch in diesem Fall keine Grenzwertüberschreitung vorliegen wird.

4 Betonherstellung unter Verwendung der Rezyklate

Die Betonherstellung gliederte sich in zwei Abschnitte:

- In Ergänzung zu den Untersuchungen der hergestellten rezyklierten Körnungen wurde ein erster Orientierungsversuch zur Betonherstellung durchgeführt. Der Anteil an rezyklierten Gesteinskörnungen lag über dem zulässigen Anteil von 45 Volumen-%.
- Von der Mittelsdorf EAR e.K. wurden umfangreiche Betonversuche bei der Dyckerhoff Beton GmbH & Co. KG in Auftrag gegeben. Es wurden Betone der Festigkeitsklassen C 8/10 bis C 30/37 hergestellt. Der Anteil der rezyklierten Gesteinskörnungen 2/8 mm und 8/16 mm betrug 35 Masse-%. Ausgewählte Rezepturen wurden unter Werksbedingungen erprobt. Am Ende der Ergebniszusammenstellung sind die Rezepturen und ausgewählte Frisch- und Festbetoneigenschaften zusammengestellt.

Der Beton des Orientierungsversuchs setzte sich aus 42 Masse-% Sand + 33 Masse-% Rezyklat 4/8 mm + 25 Masse-% Rezyklat 8/16 zusammen. Weitere Angaben zur Rezeptur und zu den Eigenschaften des Betons sind in der Tabelle 3 zusammengefasst.

Um die Wasseraufnahme der Rezyklate zu berücksichtigen, wurde bei der Betonherstellung wie folgt vorgegangen:

- Aufgabe der Rezyklate in den Mischer, Zugabe eines Teils des Wassers (1,0 Liter) bis die Oberfläche erkennbar feucht war,
- Zugabe des Natursandes und erneute Zudosierung von Wasser (0,45 Liter),
- Zugabe des Zements,
- Zugabe des Wassers nach Augenmaß, Rückwaage des nicht zugegebenen Wassers,
- Zugabe des Fließmittels bis plastisch-weiche Konsistenz erkennbar,
- Bestimmung von Ausbreitmaß, Luftporengehalt und Frischbetondichte,
- Befüllung der Formen und Verdichtung durch Rütteln.

Die Verarbeitbarkeit des Betons unterschied sich nicht von der von Beton mit ausschließlich natürlichen Gesteinskörnungen. Während der Verdichtung war der Austritt einer großen Menge an Luft erkennbar. Deshalb war eine längere Verdichtung erforderlich. Nach dem Ausschalen waren nur wenige Lunker erkennbar. Die angestrebte Festigkeitsklasse C 20/25 wurde deutlich überschritten.

Tabelle 3: Parameter des hergestellten Betons mit rezyklierten Gesteinskörnungen

Festigkeitsklasse			C 20/25
Zusammensetzung	Gesteinskörnung Gesamt	[kg/m ³]	1616,8
	Nat. GK	[kg/m ³]	685,6
	RC 4/8	[kg/m ³]	531,4
	RC 8/16	[kg/m ³]	399,8
	Zement	[kg/m ³]	286,7
	Wasser	[kg/m ³]	179,3
	Zusatzstoff	[kg/m ³]	0
	Zusatzmittel	[kg/m ³]	2,3
	Summe	[kg/m ³]	2085,1
	Anteil RC	[Masse-%]	57,6
	w/z	[-]	0,63
Frischbeton-Kennwerte	Rohdichte	[kg/dm ³]	2,17
	Ausbreitmaß	[cm]	44,5
Festbeton-Kennwerte	Rohdichte	[kg/dm ³]	
	7 d		2,236
	28 d		2,210
	Festigkeit	[N/mm ²]	
	7 d		43,4
	28 d		50,9
	Dynamischer E-Modul	[GPa]	
	28 d		24,8

Die ausführlichen Untersuchungen zu den Rezyklatbetonen (Anlage 2), die von der Dyckerhoff Beton GmbH & Co. KG durchgeführt wurden, reichten von der Auswahl vorschrittkonformer Rezepturen über die Bestimmung der Eigenschaften der Rezyklate bis zur Betonherstellung in einem Transportbetonwerk. Es wurden Betone von der Festigkeitsklasse C 8/10 bis zur Festigkeitsklasse C 30/37 hergestellt. Die Eigenschaften der Rezyklate entsprachen mit wenigen Ausnahmen den Anforderungen an den Typ 1 entsprechend der DAfStb-Richtlinie. Ausnahmen bilden der Überkornanteil der Gesteinskörnung 2/8 und der Gehalt an saurelöslichem Sulfat der Gesteinskörnung 8/16. Bei der Frischbetonherstellung zeigten die einzelnen Mischungen mit Rezyklaten eine weiche, homogene Konsistenz ohne die als Bluten bezeichnete Wasserabsonderung. Ein scheinbares Ansteifen trat auf, was aber die gute Verdichtungsfähigkeit des Betons nicht beeinträchtigte. Die Ergebnisse der Festbetonuntersuchungen zeigen, dass die Druckfestigkeitswerte der Recycling-Betone im Vergleich zum Referenzbeton mit natürlicher Gesteinskörnung nicht abfallen. Die E-Moduli und die Biegezugfestigkeiten erreichen nicht die Werte des Referenzbetons. Dieses Merkmal ist für Betone mit rezyklierten Gesteinskörnungen typisch und wird durch eine entsprechende Auswahl der Anwendungsbereiche berücksichtigt.

Baupraktische Versuche an einer Transportbetonanlage, bei denen jeweils 3 m³ der Betone C 20/25 und C 30/37 unter Verwendung von Rezyklaten hergestellt wurden,

bestätigten die Ergebnisse der Laborversuche. Der Beton zeigte gute Verarbeitungseigenschaften. Die Druckfestigkeiten, die an Bohrkernen ermittelt wurde, bestätigen die projektierten und mit den Würfelprüfungen nachgewiesenen Festigkeitsklassen auch am Bauteilbeton.

5 Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit

Gegenstand des Projektes war es, die Machbarkeit der Herstellung von rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 12620:2002 mit einer mobilen Aufbereitungsanlage nachzuweisen. Die am Anfang vorgesehene Anlagenkonfiguration setzte sich aus mehreren Brechern und einer separaten Nasswäsche zusammen. Die am Ende favorisierte Konfiguration bestand - wie im Bericht dargestellt – aus mehreren z.T. modifizierten Siebstufen und einem Prallbrecher. Dadurch konnte der Aufwand gegenüber der ursprünglichen Konfiguration gesenkt werden. Trotzdem ist der Aufwand deutlich höher als bei einer Brechanlage mit integrierter Nachsieveinheit, mit welcher Abbruchmaterial üblicherweise verarbeitet wird. Allerdings erlaubt eine solche einfache Anlagenkonfiguration bei störfstoffhaltigem Aufgabematerial höchstens die Herstellung von Damm- und Verfüllbaustoffen.

Der Einsatz der entwickelten Anlagenkonfiguration erfordert, dass eine bestimmte Mindestmenge an Abbruchmaterial am Aufstellungsort vorhanden ist. Außerdem ist der höhere Platzbedarf der Anlage einschließlich der Fahrwege zu berücksichtigen. Prozesswasser muss verfügbar sein. Die höheren Transport- und Rüstkosten für die Inbetriebnahme der Anlage führen zu einem Anstieg der Herstellungskosten. Beim Einhalten der Randbedingung, dass ausreichend aufzubereitendes Material am Aufstellungsstandort zur Verfügung steht, ist der Anstieg der spezifischen Kosten pro Tonne Material unkritisch.

Eine zahlenmäßige Zusammenstellung der Kosten, die beim Einsatz der erweiterten, hier beschriebenen mobilen Anlage entstehen, war zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch nicht möglich. Erst nach der Bearbeitung mehrerer Abbruch- und Aufbereitungsprojekte können aussagekräftige Daten abgeleitet werden. Im Gesamtablauf vom Abbruch eines alten Bauwerks bis zur Errichtung eines neuen Bauwerks - wie ihn Bild 31 zeigt - hängt die Wirtschaftlichkeit bezogen auf die Herstellung der rezyklierten Gesteinskörnungen von folgenden Faktoren ab:

- Kosten für die Abbrucharbeiten
- Erlöse aus den Abbrucharbeiten
- Kosten für die Aufbereitung
- Erlöse für das Produkt
- Kosten für die Beseitigung oder Verwertung von Rückständen der Aufbereitung.

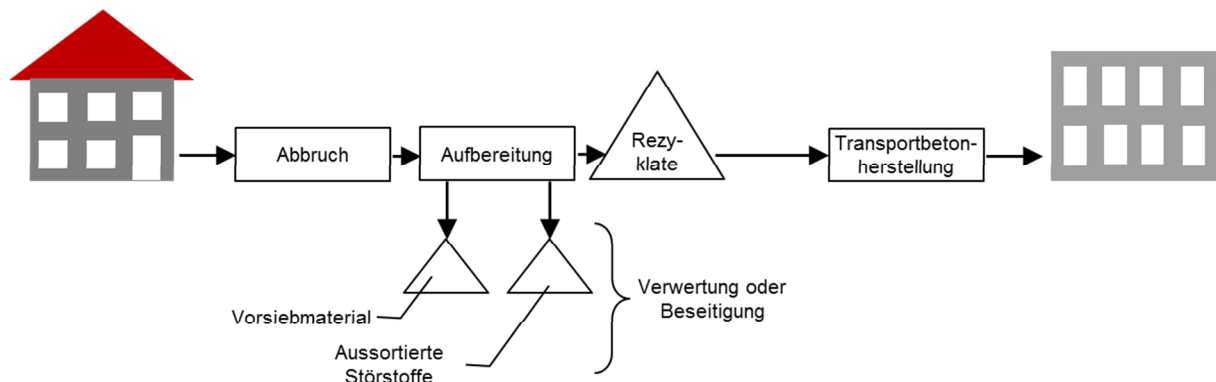


Bild 31: Schematische Darstellung einer Verarbeitungskette vom Gebäudeabbruch bis zur Betonherstellung für die Errichtung eines neuen Gebäudes

Für die Kosten und die Erlöse der Abbrucharbeiten wurde vereinfachend angenommen, dass sie sich gegenseitig aufheben. Weil das Material in dem dargestellten Szenario vom Abbruchunternehmen vor Ort aufbereitet wird, entfallen die Kosten für die Materialanlieferung aber auch die Erlöse für die Materialannahme. Mit den Erlösen für das Produkt „Rezyklierte Gesteinskörnungen“ müssen also alle Kosten für die Aufbereitung einschließlich der Transport- und Rüstkosten sowie die Kosten für die Verwertung oder Beseitigung von Rückständen gedeckt werden:

- Die zusätzlichen Prozessschritte und die dafür erforderlichen Ausrüstungen sowie der höhere Personalaufwand führen zwangsläufig zu höheren Kosten der Aufbereitung gegenüber den mit einer Minimalvariante aufbereiteten Damm- und Verfüllbaustoffen.
- Die erforderliche Güteüberwachung ist ein zusätzlicher Kostenfaktor.
- Die bei der Aufbereitung entstehenden Rückstände der Aufbereitung verursachen ebenfalls Kosten.

Bei der Störstofffraktion hat die Minimierung im Produkt absoluten Vorrang vor der Kostenminimierung. Bei dem Vorsiebmaterial besteht dagegen Potenzial, die Ausbeute an verwertbaren Rezyklaten zu erhöhen. Die Massenbilanz aus Bild 9 zeigt, dass 40 Masse-% Vorsiebmaterial anfällt, das nach Augenschein (Bild 11) und entsprechend der Sieblinie (Bild 21) noch erhebliche Anteile an verwertbaren groben Körnungen enthält. Durch eine Veränderung der Siebschnitte der Vorabsiebung könnte eine Erhöhung der Produktausbeute erreicht werden, die zu einer Erhöhung der Einnahmen für das Produkt und einer Erniedrigung der Beseitigungskosten führen würde. Eine Kostenreduzierung ist auch bei der Güteüberwachung denkbar. Der Einsatz moderner, miniaturisierter Prüfgeräte, die den Einsatz des Laborcontainers überflüssig machen, sollte nachgegangen werden und ggf. erforderliche Modifizierungen in einem Forschungsprojekt untersucht werden.

An die Rezyklatherstellung schließt sich die Betonherstellung an. Die Transportentfernungen zwischen der Herstellungsorten der Gesteinskörnungen und dem Standort der Transportbetonherstellung sind entscheidend für die Wirtschaftlichkeit des Gesamtkreislaufes. Die im Vergleich zu Primärmaterial ggf. höheren Kosten für die Herstellung qualitätsgerechter Rezyklate können in Abhängigkeit von den Standortbedingungen kompensiert werden:

- Die Rezyklate werden in Gebieten mit geringem Primärmaterialvorkommen hergestellt, so dass hohe Transportkosten für das Primärmaterial entstehen, wenn

diese eingesetzt würden. Dadurch kann die Anwendung der Rezyklate aktiviert und die höheren Aufbereitungskosten ausgeglichen werden.

- Die Rezyklate können direkt am Ort der Aufbereitung verarbeitet und eingesetzt werden. Die Kosten für die Anlieferung des – eigentlich verfügbaren - Primärmaterials werden dadurch reduziert. Die höheren Rezyklatkosten werden durch die entfallenden Transportkosten kompensiert.
- Es bestehen keine Absatzmöglichkeiten für das Verfüllmaterial, das bei einer konventionellen Aufbereitung des Abbruchmaterials erzeugt würde. Durch die Herstellung von güteüberwachten Rezyklaten wird „die Flucht nach vorn angetreten“, um Absatzgebiete zu erschließen und eine teure Deponierung zu reduzieren.

Als Beispiel für ein Gebiet mit geringem Primärrohstoffaufkommen kann Norddeutschland genannt werden. Hier besteht ein Defizit an groben Gesteinskörnungen, das durch den Einsatz von Rezyklaten ausgeglichen werden könnte. Ähnliches gilt – wenn auch weniger ausgeprägt – für den Niederrhein. Für Ballungsgebiete ist der Einsatz von Vor-Ort aufbereiteten Rezyklaten ebenfalls eine Option mit großem Potenzial, weil Rohstofftransporte reduziert werden können.

6 Zusammenfassung

Die Firma Mittelsdorf EAR e.K. hat aufbauend auf einer mobilen Anlage zur Zerkleinerung und Klassierung von mineralischen Bauabfällen eine technologische Linie aufgebaut, die den Anspruch hat, Betonbruch aus dem selektiven Rückbau vor Ort zu rezyklierten Gesteinskörnungen für die erneute Betonherstellung aufzubereiten. Die Standardkomponenten der Anlage sind

- Zwei-Deck-Vorsieb,
- Prallbrecher,
- Zwischensieb,
- Drei-Deck-Produktsieb.

Um Fremdstoffe abzutrennen, sind zwei Zusatzeinrichtungen installiert:

- Der Siebüberlauf > 40 mm des Zwischensiebs wird am Ende des abführenden Transportbandes von einem gerichteten Luftstrom durchströmt. So können leichte Störstoffe, aber auch Holz und Gummi als schwerere Störstoffe abgetrennt werden.
- Die Splittfraktionen 4/8 mm, 8/16 mm und 16/32 mm werden mit Hilfe von Bedüsungsvorrichtungen, die über den abführenden Förderbändern des Drei-Deck-Produktsiebs angebracht sind, einer Nassreinigung unterzogen.

Als weitere Innovation wurde ein Container mit Laborausrüstungen wie Waage, Trockenschrank, Laborsiebmaschine etc. ausgestattet, der an den jeweiligen Aufbereitungsstandort transportiert werden kann. Damit ist die werkseigene Produktionskontrolle vor Ort möglich.

Im Hinblick auf die Technologie kann aus der Massenbilanz und den Sieblinien der Zwischenprodukte abgeleitet werden, dass die Ausbeute an rezyklierten Gesteinskörnungen ausbaufähig ist. Sowohl das Vorsiebmaterial als auch die Fraktion 0/4 mm enthalten grobe Anteile, die den rezyklierten Gesteinskörnungen zugeführt werden könnten.

Im Hinblick auf die Produktqualität folgt aus den Untersuchungen der ausgewählten Zwischenprodukte und der erzeugten rezyklierten Gesteinskörnungen, dass durch die Zusatzeinrichtungen eine Verbesserung der Produktqualität erreicht wird:

- Die Windsichtung bewirkt, dass der Gehalt an Störstoffen in den Rezyklaten sehr gering ist. In der Fraktion 16/32 mm konnte der Gehalt an schwimmendem Material im Volumen von 3,9 cm³/kg auf 1,5 cm³/kg gesenkt werden. Insgesamt sind wenig leichte Störstoffe im Material vorhanden, was aber auch darauf zurückzuführen ist, dass bereits vergleichsweise sortenreiner Beton aufgegeben wurde.
- Durch die Wasserbedüsung wird insbesondere der Anteil an Partikeln < 0,063 mm aus den rezyklierten Gesteinskörnungen abgetrennt. Die Güteklasse f1 mit einem Anteil < 1 Masse-% wird sicher erreicht.

Die hergestellten rezyklierten Gesteinskörnungen entsprechen in Bezug auf die stoffliche Zusammensetzung, die Dichten und Wasseraufnahmen, die Sieblinien sowie die Kornform den Anforderungen. Lediglich der Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel der Fraktion 8/16 mm ist nicht anforderungsgerecht, was aber ein bei Rezyklaten bekanntes Phänomen ist und deren Einsatz im Beton nicht beeinträchtigt.

Die rezyklierten Gesteinskörnungen 4/8 mm und 8/16 mm wurden zusammen mit Natursand zur Herstellung von Beton eingesetzt. Der Rezyklatanteil lag bei 57,6 Masse-% und überschreitet damit den zulässigen Anteil von 45 Vol.-%. Der Frischbeton war gut verarbeitbar. Die erreichten Festigkeiten erlauben eine Einordnung oberhalb der Festigkeitsklasse C 25/30.

Ausführliche Untersuchungen zur Herstellung von Betonen der Festigkeitsklassen C 8/10 bis C 30/37 bestätigen die Eignung der Rezyklate. Die Betone ließen sich gut verarbeiten und erreichten die vorgesehenen Festigkeiten.

Für die mobile Herstellung betontauglicher Rezyklate werden mehr Maschinenteknik, Personal und Betriebsmittel benötigt, was sich zwangsläufig im Preis der erzeugten Produkte widerspiegelt. Dem stehen eine bessere Materialausbeute und Produktqualität gegenüber. Letztere kann aber kaum „ausgespielt“ werden, weil die Akzeptanz der hergestellten Recyclingprodukte durch die anhaltende, einseitige Betrachtungsweise unter dem Blickwinkel der Elution von Schadstoffen nachhaltig beschädigt ist. Selbst bei öffentlichen Baumaßnahmen ist der Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen bisher noch die Ausnahme.

Als Fazit ergibt sich, dass bei einer entsprechenden technologischen Ausstattung auch mit mobilen Anlagen Rezyklate in einer Qualität hergestellt werden können, die den Einsatz für die Betonherstellung erlauben. Die Herstellung von rezyklierten Gesteinskörnungen muss somit nicht auf stationäre Recyclinganlagen beschränkt bleiben.

- [1] Mineralische Bauabfälle Monitoring-Berichte 1996 bis 2014.
- [2] Umwelt. Abfallentsorgung. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 1996, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012.
- [3] Emissionsminderung. Behandlung von mineralischen Bau-und Abbruchabfällen. Stationäre und mobile Bauschuttzubereitungsanlagen. Verein Deutscher Ingenieure. VDI-Richtlinie 2095. März 2011.
- [4] RAL-GZ 501/5: Recycling-Baustoffe - mobile Aufbereitung. Gütesicherung. RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. Bonn, Januar 2014.
- [5] DIN EN 12620, 2008-07: Gesteinskörnungen für Beton. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin, 2008.
- [6] DIN 4226-101: Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 - Teil 101: Typen und geregelte gefährliche Substanzen. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin, 2017.
- [7] DIN 4226-102: Rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 für Beton-Teil 102: Typprüfung und Werkseigene Produktionskontrolle. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin, 2017.
- [8] DAfStb-Richtlinie: Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. Berlin, 2010.
- [9] Jahresbericht 2013/2014: Wertvolle Verbindungen. Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e.V. Berlin, August 2014.
- [10] Müller, A.: Erschließung der Ressourceneffizienzpotenziale im Bereich der Kreislaufwirtschaft Bau. Im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) Stand 12.2.2016.
- [11] DIN EN 933-11: Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen. Teil 11: Einteilung der Bestandteile in grober recycelter Gesteinskörnung; Stoffliche Zusammensetzung. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin, Mai 2011.
- [12] DIN EN 933-1: Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen. Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung. Siebverfahren. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin, Januar 2006.
- [13] DIN EN 1097-6: Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen. Teil 6: Bestimmung der Rohdichte und der Wasseraufnahme. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin, September 2013.
- [14] DIN EN 1367-1: Prüfverfahren für thermische Eigenschaften und Verwitterungsbeständigkeit von Gesteinskörnungen. Teil 1: Bestimmung des Widerstandes gegen Frost-Tau-Wechsel. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin, Juni 2007.
- [15] DIN EN 1097-2: Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen. Teil 2: Verfahren zur Bestimmung des Widerstandes gegen Zertrümmerung. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin, Juli 2010.

Anhang 1: Ergebnisse der Untersuchungen der erzeugten Rezyklate

Tabelle 1: Anforderungen an die bautechnischen Eigenschaften von rezyklierten Gesteinskörnungen für die Betonherstellung

		Typ 1: Betonsplitt	Typ 2: Bau- werksplitt
Stoffliche Zusammensetzung		[Masse-%]	
Beton, Betonprodukte, Mörtel, Mauersteine aus Beton	Rc	Rc + Ru $\geq$ 90	Rc + Ru $\geq$ 70
Ungebundene Gesteinskörnung, Naturstein, hydraulisch gebundene Gesteinskörnung	Ru		
Mauerziegel aus gebranntem Ton, Kalksandsteine, nicht schwimmender Porenbeton	Rb	$\leq$ 10	$\leq$ 30
Bitumenhaltige Materialien	Ra	$\leq$ 1	$\leq$ 1
Glas	Rg	Rg + X $\leq$ 1	Rg + X $\leq$ 2
Sonstige Materialien - Bindige Materialien, d. h. Ton und Boden - Verschiedene sonstige Materialien: (eisenhaltige und nicht eisenhaltige) Metalle, nicht schwimmendes Holz, Kunststoff, Gummi, Gips	X		
Schwimmendes Material im Volumen	FL	$\leq$ 2 cm ³ /kg	$\leq$ 2 cm ³ /kg
Dichten und Wasseraufnahme			
Kornrohddichte auf ofentrockener Basis	[kg/m ³]	$\geq$ 2000	$\geq$ 2000
Schwankungsbreite bezogen auf den vom Hersteller deklarierten Mittelwert der Kornrohddichte	[kg/m ³]	$\pm$ 150	$\pm$ 150
Wasseraufnahme nach 10 min	[Masse-%]	10	15
Korngrößenverteilung			
Gehalt an Feinanteilen	[Masse-%]		
Kornformkennzahl			
Chemische Bestandteile			
Säurelösliches Chlorid	[Masse-%]	$\leq$ 0,04	
Wasserlösliches Sulfat	[Masse-%]	$\leq$ 0,2	
Säurelösliches Sulfat	[Masse-%]	$\leq$ 0,8	
Gesamtschwefel	[Masse-%]	$\leq$ 1,0	

Tabelle 2: Anforderungen an die Umweltverträglichkeit von rezyklierten Gesteinskörnungen

Parameter		Höchstwert (entspricht Z.1.2 der LAGA M 20)
pH-Wert		12,5
Elektrische Leitfähigkeit	[µS/cm]	2500
Chlorid	[mg/l]	40
Sulfat	[mg/l]	300
Arsen	[µg/l]	40
Blei	[µg/l]	100
Cadmium	[µg/l]	5
Chrom (gesamt)	[µg/l]	75
Kupfer	[µg/l]	150
Nickel	[µg/l]	100
Quecksilber	[µg/l]	1
Zink	[µg/l]	300
Phenolindex	[µg/l]	50
Kohlenwasserstoffe	[mg/kg]	500
PAK nach EPA	[mg/kg]	15
EOX	[mg/kg]	5
PCB	[mg/kg]	0,5

Ergebniszusammenstellung

Tabelle 3: Materialbestandteile

		4/8 mm		8/16 mm		16/32 mm		
		ohne Wind- sichter und Wäsche	mit Wind- sichter und Wäsche	ohne Wind- sichter und Wäsche	mit Wind- sichter und Wäsche	ohne Wind- sichter und Wäsche	mit Wind- sichter ohne- Wäsche	
Materialbestandteile [Masse-%]								
Beton, Betonprodukte, Mörtel, Mauersteine aus Beton	Rc		94,3	91,2	91,4	88,0	78,4	92,2
Ungebundene Gesteinskörnung, Naturstein, hydraulisch gebundene Gesteinskörnung	Ru		4,5	7,7	7,3	11,3	20,0	5,0
Summe Rc + Ru	≥ 90		98,8	98,8	98,7	99,3	98,4	97,2
Mauerziegel aus gebranntem Ton, Kalksandsteine, nicht schwimmender Porenbeton	Rb	≤ 10	1,2	0,6	1,3	0,7	0,9	2,7
Bitumenhaltige Materialien	Ra	≤ 1	0	0,6	0,0	0,0	0,2	0
Glas	Rg		0	0	0,0	0,0	0,0	0
Sonstige Materialien - Bindige Materialien, d. h. Ton und Boden - Verschiedene sonstige Materialien: (eisenhaltige und nicht eisenhaltige) Metalle, nicht schwimmendes Holz, Kunststoff, Gummi, Gips	X		0	0	0,0	0,0	0,34	0,02
Summe Rg + X	≤ 1		0,00	0,00	0,0	0,00	0,34	0,02
Schwimmendes Material im Volumen FL	≤ 2 cm³/kg		0,200	0,042	0,139	0,159	3,899	1,542

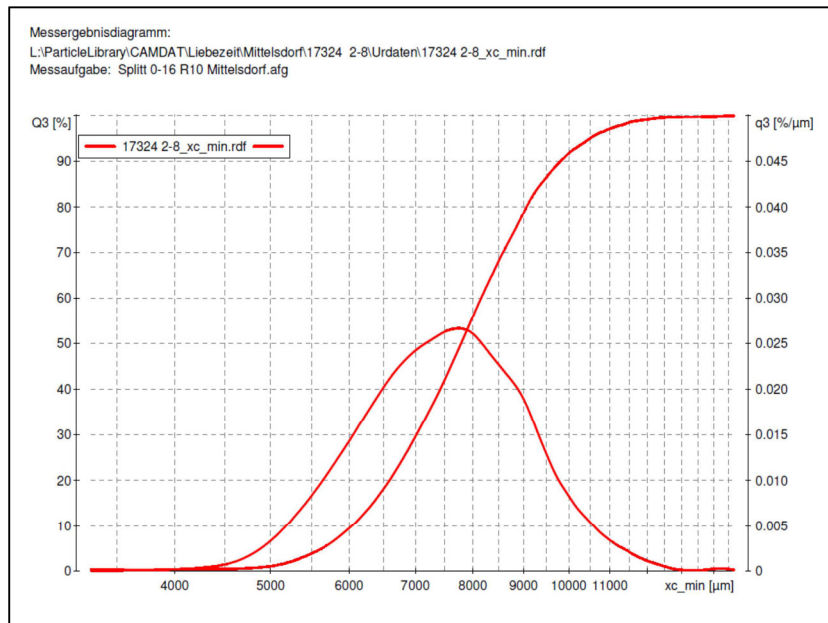
Tabelle 4: Dichten und Wasseraufnahmen

			0/4 mm	4/8 mm		8/16 mm		16/32 mm	
	Vorsieb- material 17309	Input für die Produkt- siebung 17308	17366	ohne Wind- sichter und Wäsche 17324	mit Wind- sichter und Wäsche 17305	ohne Wind- sichter und Wäsche 17306	mit Wind- sichter und Wäsche 17323	ohne Wind- sichter und Wäsche 17365	mit Wind- sichter ohne Wäsche 17307
Scheinbare Rohdichte [kg/m ³] <i>Ofengetrocknete Masse der Gesteinskör- nungsprobe geteilt durch das Volumen, das sie in Wasser einnimmt, einschließlich des Volumens innerer geschlossener Hohlräume, aber ausschließlich des Vo- lumens wasserzugänglicher Hohlräume</i>	2510	2410	2310	2660	2680	2630	2640	2640	2570
Rohdichte auf ofentrockener Basis (Wasserpyknometer) [kg/m ³] <i>Ofengetrocknete Masse der Gesteinskör- nungsprobe geteilt durch das Volumen, das sie in Wasser einnimmt, einschließlich des Volumens innerer geschlossener Hohlräume und des Volumens wasserzu- gänglicher Hohlräume.</i>	2370	2240	2010	2280	2280	2300	2280	2320	2270
Rohdichte auf ofentrockener Basis (Pul- verpyknometer) [kg/m ³]	1810	2170	1840	2400	2490	2630	2550	2220	2230
Schüttdichte [kg/m ³]	1410	1500	1460	1170	1160	1150	1140	1150	1130
Rütteldichte [kg/m ³]	1660	1700	1590	1370	1380	1340	1360	1330	1310
Wasseraufnahme nach 10 min [Masse-%]	6,5	6,6	8,4	4,7	5,3	4,4	4,1	3,6	3,8
Wasseraufnahme nach 24 h [Masse-%]	8,4	7,1	12,4	6,0	6,1	5,2	5,7	5,1	5,0

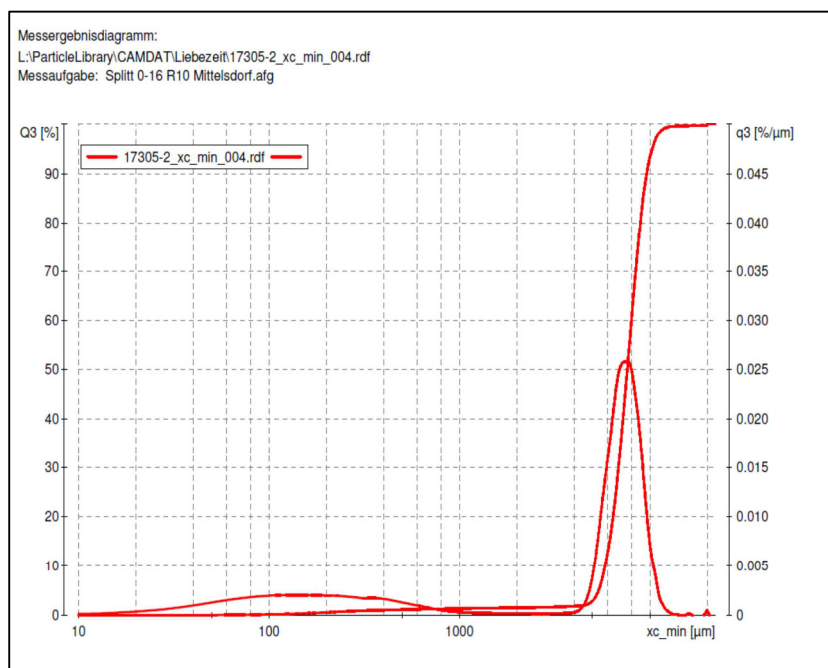
Tabelle 5: Partikelgrößenverteilung

	Vor-siebma- terial 0/30 mm 17309	Input Pro- duktsie- bung 17308	0/4 mm mit Wind- sichter, ohne Wäsche 17366	4/8 mm ohne Windsich- ter, ohne Wäsche 17324	4/8 mm mit Wind- sichter, mit Wä- sche 17305	8/16 mm ohne Windsich- ter, ohne Wäsche 17306	8/16 mm mit Wind- sichter, mit Wä- sche 17323	16/32 mmohne Windsich- ter, ohne Wäsche 17365	16/32 mm mit Wind- sichter, ohne Wäsche 17307
	[mm]								
Partikel- größe bei Siebdurch- gang von 50 % Siebung	2,1	9,1	1,0	7,3	7,1	12,3	12,2	23,9	23,9
Partikel- größe bei Siebdurch- gang von 50 % Camsizer	1,8	7,6	0,9	7,8	7,6	12,7	12,4	23,1	23,6
	[Masse-%]								
Anteil < 0,063 mm				0,36	0,30	0,37	0,2	0,31	1,19
Anteil < 1 mm				1,31	0,70	0,94	0,52	1,19	0,39

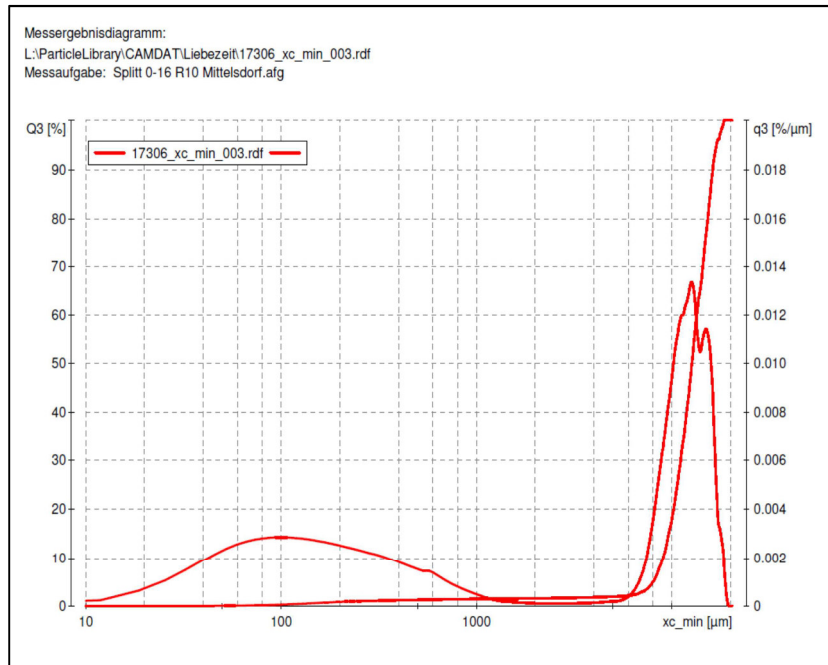
17324: 4/8 mm ohne WS/ohne Wäsche



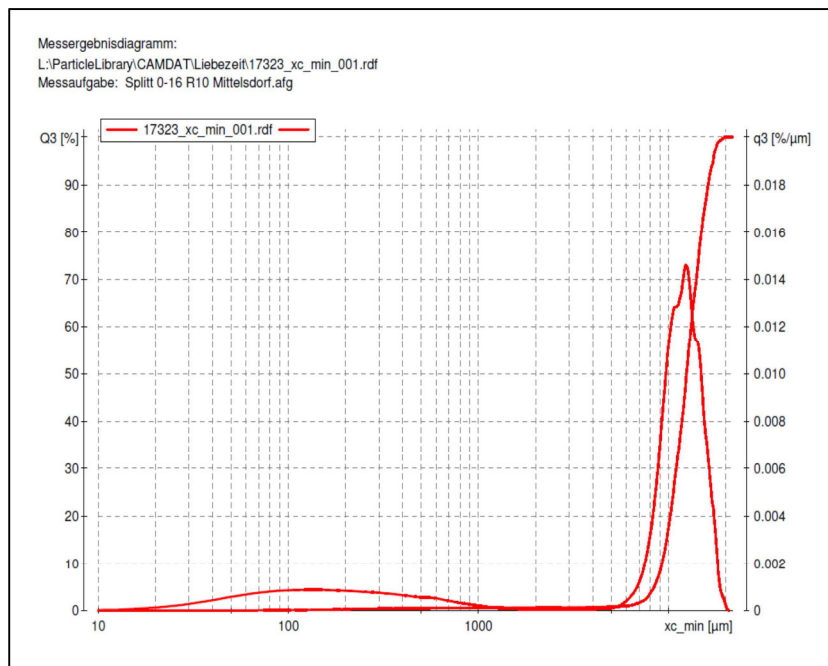
17305: 4/8 mm mit WS/mit Wäsche



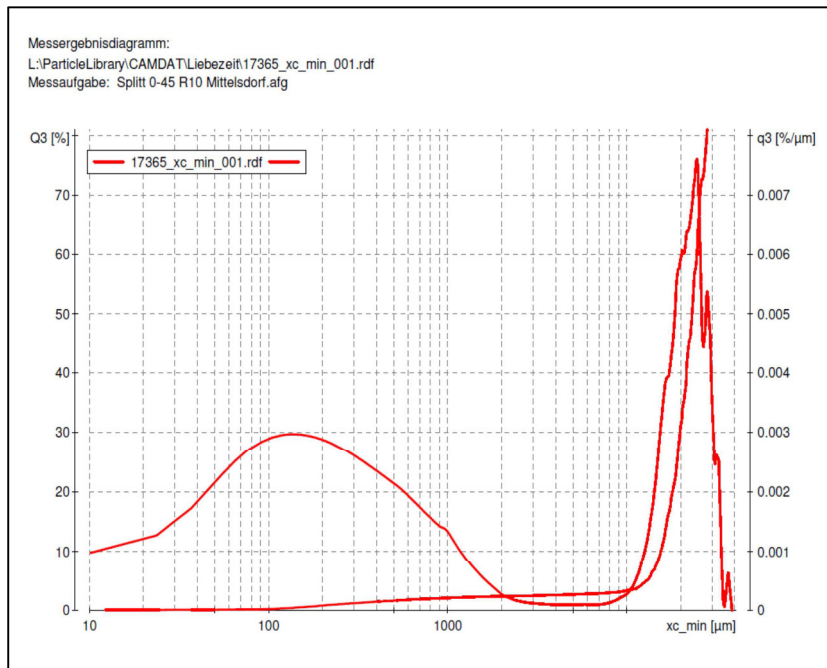
17306: 8/16 mm ohne WS/ohne Wäsche



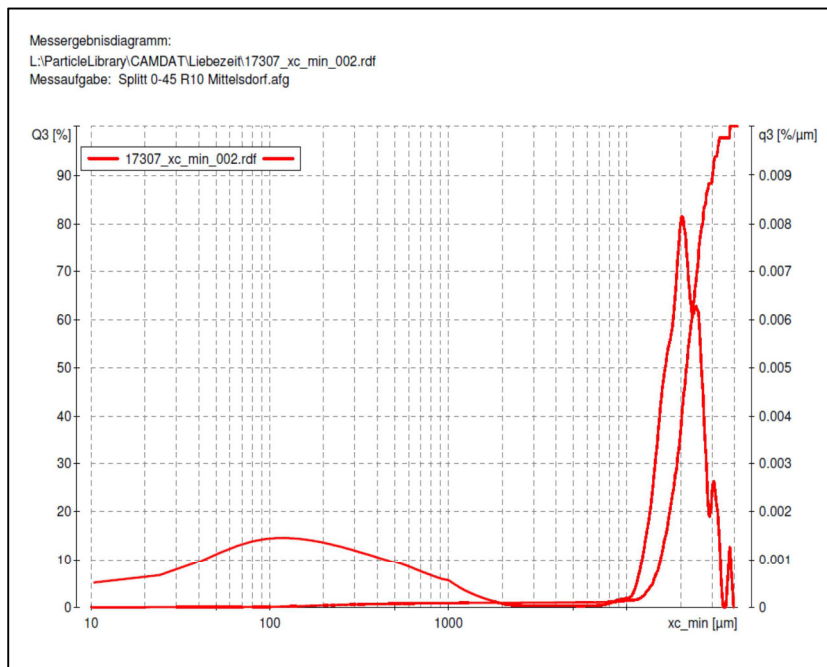
17323: 8/16 mm mit WS/mit Wäsche



17365: 16/32 mm ohne WS/ohne Wäsche



17307: 16/32 mm mit WS/ohne Wäsche



Partikelgrößenverteilungen der für die Betonherstellung vorgesehenen Körnungen, gemessen mit dem Camsizer

Anhang 2: Ergebnisse der Untersuchungen bei Dyckerhoff Beton

Arbeitspaket 1: Erstellen von Betonrezepturen

Arbeitspaket 2: Untersuchung der Gesteinskörnungen

Arbeitspaket 3: Untersuchung der Betone

Arbeitspaket 4: Vergleich mit Referenzrezepturen und Darstellung funktionaler Zusammenhänge

Arbeitspaket 5: Hochskalierung der Laborergebnisse

Arbeitspaket 6: Technologieentwicklung

Arbeitspaket 7: Erprobung der Rezepturen unter Werksbedingungen

Arbeitspaket 8: Dokumentation der Ergebnisse

Arbeitspaket 1: Erstellen von Betonrezepturen

Nach Abschätzung des Bedarfs und unter Berücksichtigung der Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen gem. DAfStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620“ wurde eine Übersicht über mögliche Betonrezepturen erstellt.

Rezepturvorschläge mit rezyklierter GK

Expo-Klasse (max. entsprechend Festigkeits- klasse)	Festigkeits- klasse	Konsistenz	Größtkorn	Anteil der rez.GK in M-% GK _{ges}	Rez. GK
X0	C 8/10	C1	16	50 / 50	Typ 1 / 2
	C 12/15	C1	16	50 / 50	Typ 1 / 2
	C 20/25	C1 / F3	16	50 / 50	Typ 1 / 2
XC1, XC2	C 12/15	C1	16	30	Typ 1
	C 20/25	C1 / C2	16	30 / 20	Typ 1 / 2
XC3, XC4, XF1, XF3, XA1	C 20/25	F3	16 / 32	30	Typ 1
	C 25/30	F3	16 / 32	30	Typ 1
	C 30/37	F3	16 / 32	30	Typ 1

Nach Vorlage der bereitgestellten Gesteinskörnungen wurde der Entwicklungsumfang der im Laborversuch zu beprobenden Rezepturen festgelegt.

Expo-Klasse (max. entsprechend Festigkeits- klasse)	Festigkeits- klasse	Konsistenz	Größtkorn	Anteil der rez.GK in M-% GK_{ges}	Rez. GK
X0	C 8/10	C1	16	35 (2 Fraktionen)	Typ 1
X0	C 12/15	C1	16	35 (2 Fraktionen)	Typ 1
XC1, XC2	C 20/25	F3	16	35 (2 Fraktionen)	Typ 1
XC4, XF1, XA1	C 25/30	F3	16	35 (2 Fraktionen)	Typ 1
Xc4, XF3, XA1	C 30/37	F3	16	35 (2 Fraktionen)	Typ 1

Arbeitspaket 2: Untersuchung der Gesteinskörnungen

Am 3.4.2017 wurde am Standort Breitungen die durch die Firma Mittelsdorf Recycling hergestellte rezyklierten Gesteinskörnung in den angegebenen Fraktionen 2/8 und 8/16 beprobt und in den für die Laboruntersuchungen erforderlichen Mengen dem Haufwerk entnommen. Zum gleichen Zeitpunkt wurden die für den im Laborversuch herzustellen- den Referenzbeton benötigten natürlichen groben Gesteinskörnungen im TB-Werk der Dyckerhoff in Wernshausen entnommen.

Die Proben für die chemischen und physikalischen Untersuchungen wurden dem Wilhelm-Dyckerhoff-Institut Wiesbaden übergeben.

Im Vorfeld wurden die Korngrößenverteilung, die Kornformkennzahl SI sowie die Zusammensetzung der rezyklierten Gesteinskörnungen für die Sieblinienzusammensetzung geprüft.

Die Materialien entsprechen in Bezug auf die Kategorien nach DIN EN 12620 überwiegend dem Typ 1 nach DAfStb-Richtlinie. Lediglich im Bereich des Überkorns bei GK 2/8 und bei dem Gehalt an säurelöslichem Sulfat bei GK 8/16 werden die geforderten Kategorien nicht eingehalten.

Bezeichnung	Kategorie 2/8	Soll Typ 1	Kategorie 8/16	Soll Typ 1
Überkorn/Unterkorn	$G_c 70/5$	$G_c 85/20$	$G_c 90/5$	$G_c 85/20$
Kornform	SI 20	SI 55	SI 20	SI 55
Feinanteile < 0,063mm	f_1	f_4	f_1	f_4
Wasseraufnahme 24h	6,7 M-%	< 10 M-%	6,4 M-%	< 10 M-%
Rohdichte in kg/dm ³	2,38	> 2,00	2,41	> 2,00
Chlorid in M-%	0,003	< 0,04	0,002	< 0,04
Gesamtschwefel in M-%	0,2	< 1,0	0,4	< 1,0
Säurelösliches Sulfat	AS 0,8	AS 0,8	AS 0,9	AS 0,8

Arbeitspaket 3: Untersuchung der Betone

Im Labor der Dyckerhoff Beton GmbH & Co. KG in Mülsen wurden die Frisch- und Festbetonuntersuchungen durch die GfBB Prüftechnik GmbH & Co. KG durchgeführt.

Auf Grundlage der erhaltenen Ergebnisse aus den Voruntersuchungen und unter Berücksichtigung der für die zu untersuchenden Betone erforderlichen Grenzwerte wurde ein Prüfplan für die Laborversuche gewählt. Aus den ermittelten Korngrößenverteilungen der natürlichen GK 0/2, 2/8 und 8/16 sowie der rezyklierten GK 2/8 und 8/16 wurden Sieblinienoptimierungen vorgenommen und 5 Rezeptur-Zusammensetzungen entwickelt.

Da die bereitgestellten rezyklierten GK mit der angegebenen Bezeichnung 2/8 und 8/16 nicht den Anforderungen für die jeweilige Korngruppe entsprechen (hohe Überkornanteile), wurde für die Sieblinienerstellung eine Optimierung nach Sieblinienbereich A/B16 gewählt. Dafür war der Einsatz von Rundkornmaterial 2/8 und 8/16 erforderlich. Der Anteil rezyklierter GK 2/8 und 8/16 wurde in der zulässigen Maximalausprägung von 35% vom Gesamtzuschlag in Ansatz gebracht.

Wesentliche Voraussetzung war die möglichst vollständige Sättigung der rezyklierten GK vor Prüfbeginn. Dazu wurden die GK vorgemischt und luftdicht gelagert. Unmittelbar vor Prüfbeginn wurden die Oberflächenfeuchten bestimmt und bei der Einwaage der benötigten Massen berücksichtigt.

Wesentliche Erkenntnisse wurden aus den Probemischungen über die Mischungsstabilität, Ansteifverhalten und Wasserhaushalt gewonnen. Die einzelnen Mischungen mit rezyklierten GK in weicher Konsistenz waren ausnahmslos homogen und zeigten keine Blutneigung im Gegensatz zur Mischung mit natürlichen GK (Referenzbeton).

Das „scheinbare“ Ansteifen, ermittelt mit dem Ausbreitmaß, war erwartungsgemäß hoch (50 bis 80 mm). Das ist auf die raue Oberfläche des gebrochenen Recyclingmaterials zurück zu führen. Die gute Verdichtungsfähigkeit des Betons nach 60 min blieb davon unberührt. Die Wassergehaltsbestimmung mit dem Darr-Verfahren ist relativ ungenau. Der Ansatz der ermittelten Kernfeuchte bei 4 Versuchen ergab sehr niedrige Wassergehalte / wz-Werte, was offenbar auf Schwankungen in der Zusammensetzung der rezyklierten GK zurück zu führen ist. Ein unkontrollierter Lufteintrag in den Beton konnte nicht festgestellt werden.

Es wurde für die einzelnen Betone Prüfumfänge festgelegt, die den späteren Anwendungen genügen sollen und Vergleichswerte innerhalb bestimmter Rezepturgruppen ermöglichen. Die Frischbetonuntersuchungen beinhalteten durchgängig:

- Konsistenzmessung durch Ermittlung der Null-Konsistenz (ohne BV) sowie nach 10 und 60 Minuten
- Bestimmung des Luftgehaltes
- Bestimmung der Frischbetondichte
- Bestimmung der Wassergehalte / wz-Wert durch Darren bei den Betonen für konstruktive Stahlbetonbauwerke.

Die Festbetonprüfungen wurden differenziert festgelegt:

- Druckfestigkeit für alle Betone nach 2, 7 und 28 Tagen (Ausnahme C8/10 und C12/15:7 und 28d)
- Wassereindringverhalten für alle Betone (Ausnahme C8/10 und C12/15)
- E-Modul als Vergleichsprüfung der Betone C 30/37 (Referenz und Rec)
- Biegezugprüfung als Vergleichsprüfung der Betone C 30/37 (Referenz und Rec)
- CIF Frost-Tauwechselprüfung für C 30/37 Rec. als Kriterium für Expositionsklasse XF3

Arbeitspaket 4/5: Vergleich mit Referenzrezepturen und Darstellung funktionaler Zusammenhänge

Ergebnis-Übersicht der Frisch- und Festbetonprüfungen im Labor

Probe		1	2	3	4	5	6
Beton		C30/37 Ref	C20/25 REC	C25/30 REC	C30/37 REC	C8/10 REC	C12/15 REC
Frischbeton							
Konsistenz	A 10	500	490	550	510	1,22	500
	A 60	450	440	470	450	1,35	460
	Δ A	-50	-70	-80	-60	+0,13	-40
Luftgehalt	%	1,7	1,5	1,5	1,3		
Rohdichte	kg/dm³	2,33	2,29	2,27	2,29	2,21	2,22
Wassergehalt / w/z	Kg/dm³	168		171	165		
		0,47		0,51	0,45		
Festbeton							
Druckfestigkeit [N/mm²]	2 d	18,1		22,3	25,2		
	7 d	36,1		36,5	36,2	16,6	10,7
	28 d	46,1		46,0	46,1	18,5	22,3
WUD [mm]	28 d	15		18	16		
E-Modul [N/mm²]	28 d	25600			25800		
Biegezug [N/mm²]	28 d	4,2			4,0		
CIF [zum Grenzwert]	Abwitterung				193 << 1000 g/m²		
	Schädigung				53,7 > 75%		

Neben dem oben bereits beschriebenen Frischbetonverhalten der Betone mit rezyklierten GK ist bei den Festbetonergebnissen die offenbar gute innere Nachbehandlung der Matrix auffällig. Im Vergleich zum Referenzbeton mit ungeschädigter natürlicher Gesteinskörnung fallen die Druckfestigkeitswerte der Recycling-Betone nicht ab. Ausnahme bilden der E-Modul und die Biegezugfestigkeit. Unterstellt man, dass sich mit Einsatz einer oder mehrere Fraktionen gebrochener Körnungen diese Kennwerte im Vergleich zu Kiesbetonen verbessern lassen, so wird hier deutlich, dass das aufbereitete Recyclingmaterial den Erwartungen nicht gerecht werden kann. Die innere Schädigung der Körnung wirkt offenbar festigkeitsmindernd bei den genannten Kenngrößen.

Diesen technologisch bedingten Einflüssen bei der Wiederaufbereitung von Betonbruch muss bei der baupraktischen Verwendung von rezyklierten GK im Beton durch Ausschluss von Anwendungsbereichen Rechnung getragen werden, wenn diese Kenngrößen statisch erforderlich werden.

Der Frost-Tauwechsel-Widerstand der Betonoberflächen der Betonproben ist mit einer Abwitterung von i. M. 169 g/m² positiv zu bewerten. Hingegen ist die innere Schädigung durch Bestimmung des E-Modul vor und nach FT-Prüfung mit ca. 54% relativ hoch. Auch hier ist zu vermuten, dass das vorgeschädigte, durch Brechen aufbereitete Korn dem Schädigungsmechanismus Vorschub leistet.

Arbeitspaket 7: Erprobung der Rezepturen unter Werksbedingungen

Auf der Grundlage der labortechnischen Vorversuche wurden für baupraktische Erprobung 2 Rezepturen ausgewählt:

C 20/25 XC3 F3
C 30/37 XC4 XF3 XA1 F3

Dabei wurde auch hier bei der Rezepturgestaltung auf die Ausnutzung der maximal zulässigen Zugabe von rezyklierten GK zum Beton geachtet. Da es anlagentechnisch Probleme bereitet, Mengen von groben Gesteinskörnungen < 150 kg/m³ exakt zu dosieren, wurde ausschließlich auf die Verwendung der Fraktion 8/16 der rezyklierten GK abgestellt. Diese ist mit jeweils 35 M-% der gesamten Zuschlagmenge angesetzt.

An der Transportbetonanlage Wernshausen wurden für die baupraktischen Versuche Flächenschalungen 3m x 3m x 0,25m erstellt. Es wurden jeweils 3 m³ der Betone C 20/25 und C 30/37 hergestellt und aus dem Fahrmischer in die Schalungen entladen. Die Verdichtung erfolgte mittels Flaschenrüttler und nachfolgendem Abziehen / Glätten der Oberflächen. Die Nachbehandlung erfolgte durch Folienabdeckung. Im Zuge der Entladung wurden Proben für die Frisch- und Festbetonprüfungen entnommen.

Im Vorfeld wurden die Prüfungen festgelegt:

- Konsistenz nach 10 und 45 Minuten
- Wassergehalt und w/z-Wert durch Darren
- Luftgehalt
- Druckfestigkeit nach 2d, 7d und 28d
- Ermittlung E-Modul am C 30/37
- Bohrkernentnahme zur visuellen Beurteilung des Gefüges und Ermittlung der Druckfestigkeit nach 28d

Der Beton zeigt gute Verarbeitungseigenschaften. Das Rücksteifverhalten ist ähnlich ausgeprägt wie in den Laborversuchen, wobei hier die geringere Zeitspanne zwischen erster und zweiter Prüfung zu beachten ist (45 min).

Die Bestimmung des Ist-Wassergehaltes in der Mischung als Kriterium für die zu erzielenden Festbetoneigenschaften sind ähnlich zu bewerten wie in den Laborversuchen. Trotz vollständiger Sättigung der GK ist die tatsächliche Kernfeuchte offenbar geringer anzunehmen als die in den Voruntersuchungen festgestellte Wasseraufnahme.

Die Druckfestigkeiten der Würfel-Prüfungen liegen erwartungsgemäß im Werksversuch unter denen der Laborprüfungen. Sie stellen jedoch einen typischen Festigkeitsverlauf für die jeweilige Festigkeitsklasse dar.

Die Prüfung der Druckfestigkeit an den entnommenen Bohrkernen bestätigen die projizierten und mit Würfelprüfung nachgewiesenen Festigkeitsklassen auch am Bauteilbeton. Der E-Modul, geprüft am Beton C 30/37 korreliert mit dem erzielten Ergebnis aus der Laborprüfung.

Arbeitspaket 8: Dokumentation der Ergebnisse

Der vorliegende Prüfbericht stellt die Arbeitsschritte ausschließlich auf Grund der Beurteilung und Verwendung des durch die Firma Mittelsdorf Recycling bereitgestellten Recycling-Materials dar.

Anlagen Prüfbericht:

- 1 WDI Gesteinskörnung Recycling-Material
- 2 Korngrößenverteilung
- 3 Plan Eignungsprüfung Labor Mülsen
- 4 Zusammenstellung der Frisch- und Festbetonprüfungen Labor
- 5 Mischungsberechnungen Wernshausen
- 6 Ergebnisübersicht Wernshausen

Anlage 1 *WDI Gesteinskörnung Recycling-Material*

9 Seiten



Untersuchungsbericht

Dyckerhoff GmbH
- Geschäftsleitung -
Postfach 2247
65012 Wiesbaden

Verantwortlich im WDI: Stefan Schubert
Telefon: 0611/676-1715
Auftragseingang: 20.04.2017
Bezug: Gespräch Herr Ebert 20.04.2017
Projekt: BMU-Innovationsprogramm Mittelsdorf Recycling

Fragestellung:

An 2 Gesteinskörnungen aus Recycling-Material, Korngruppen 2/8 und 8/16, sind verschiedene Untersuchungen zu deren Beurteilung durchzuführen.

Zusammenfassung:

An den beiden Gesteinskörnungen wurden der Gesamtschwefelgehalt, der Gehalt an wasserlöslichen Chloriden, der Gehalt an säurelöslichem Sulfat, die Reindichte, die Kornrohichte, die Wasseraufnahme nach 24 Stunden und die Korngrößenverteilung bestimmt. Die Ergebnisse sind in Form von Tabellen und bei der Korngrößenverteilung in Form einer Tabelle und einem Diagramm dokumentiert und in den Anlagen zu finden.

An beiden Gesteinskörnungen wurde mit dem Natronlauge-Test das Vorhandensein von humosen Bestandteilen überprüft und die Verfärbung der Prüflüssigkeit ist mit einem Foto dokumentiert. Die schwach gelbliche bzw. schwach trübe Verfärbung gibt keinen Hinweis auf humose Bestandteile in den beiden Gesteinskörnungen.

Eine Liste der zu diesem Auftrag gehörenden Proben finden Sie nachfolgend.

Datum:
31.08.2017

Stichworte:
Recycling

Bearbeiter(in):
Stefan Schubert

f. Schubert

20.08.17



Liste der zu den Untersuchungen herangezogenen Proben:

Proben-Nr. WDI Proben-Nr. Kunde	Material Handelsname	Lieferant Hersteller	Probenahmedatum Probennahmestelle	Eingang WDI
17/1026	Recyclingmaterial RC-Splitt 2-8	Fa. Mittelsdorf Recycling	03.04.2017 Produktionsstandort in Breitungen/Thüringen	21.04.2017
	Überbracht durch Herrn Andreas Ebert/Dy.-Beton			
17/1027	Recyclingmaterial RC-Splitt 8-16	Fa. Mittelsdorf Recycling	03.04.2017 Produktionsstandort in Breitungen/Thüringen	21.04.2017
	Überbracht durch Herrn Andreas Ebert/Dy.-Beton			

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die uns zur Verfügung gestellten untersuchten Proben. Sie sind nach den geltenden Regelwerken und Normen ermittelt worden. Dabei ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik berücksichtigt worden.

Unsere Prüfungen unterliegen einer Qualitätssicherung in Anlehnung an DIN EN ISO/IEC 17025. Die Messunsicherheit sowie die Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der verwendeten Prüfverfahren teilen wir Ihnen gerne auf Anfrage mit.

Die Veröffentlichung und Vervielfältigung unserer Prüfberichte und Gutachten – auch auszugsweise – bedürfen in jedem Fall ausdrücklich unserer schriftlichen Genehmigung.

WDI-Auftrags-Nr. 17-00232		Gesamtschwefel, wasserlösliches Chlorid und säurelösliches Sulfat			11.08.2017
Lfd. Nr.	Proben Nr.	Gesteinskörnung	Gesamtschwefel	Gehalt an wasserlöslichen Chloriden	Säurelösliches Sulfat
			<i>DIN EN 1744-1 Abschnitt 11</i>	<i>DIN EN 1744-1 Abschnitt 7</i>	<i>DIN EN 1744-1 Abschnitt 12</i>
			[M.-%]	[M.-%]	[M.-%]
1	17/1026	RC-Splitt 2-8mm	0,2	0,003	0,4
2	17/1027	RC-Splitt 8-16mm	0,4	0,002	0,9

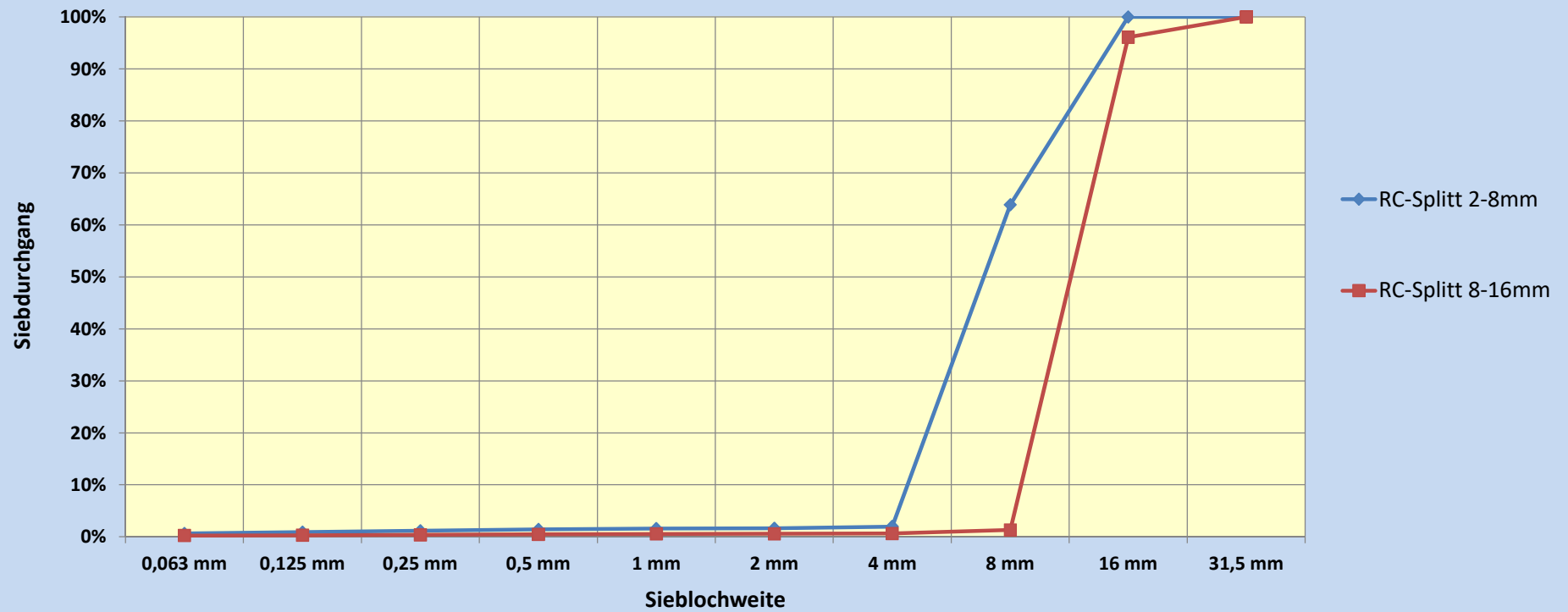
WDI-Auftrags-Nr. 17-00232			Dichte und Wasseraufnahme der Gesteinskörnungen				11.08.2017
Lfd. Nr.	Proben Nr.	Gesteinskörnung	A	B	C	D	E
			Reindichte mit dem Heliumpyknometer	Scheinbare Rohdichte ρ_a	Rohdichte auf ofentrockener Basis ρ_{rd}	Rohdichte auf wassergesättigter und oberflächentrockener Basis ρ_{ssd}	Wasseraufnahme nach 24h
[/]	[/]	[/]	[g/cm³]	[g/cm³]	[g/cm³]	[g/cm³]	[M.-%]
1	17/1026	2-8mm	2,55	2,66	2,26	2,41	6,70
2	17/1027	8-16mm	2,56	2,62	2,24	2,38	6,40
Erläuterung der einzelnen Dichten							
A	Reindichte mit dem Heliumpyknometer		Ofengetrocknete Masse der Gesteinskörnungsprobe geteilt durch das Volumen, das die Probe in Helium-Gas einnimmt, einschließlich des Volumens innerer geschlossener Hohlräume, aber ausschließlich des Volumens gaszugänglicher Hohlräume.				
B	Scheinbare Rohdichte <i>vergleichbar mit der Reindichte DIN EN 1097-6 September 2013</i>		Ofengetrocknete Masse der Gesteinskörnungsprobe geteilt durch das Volumen, das sie in Wasser einnimmt, einschließlich des Volumens innerer geschlossener Hohlräume, aber ausschließlich des Volumens wasserzugänglicher Hohlräume.				
C	Rohdichte auf ofentrockener Basis <i>auch als Kornrohddichte bekannt DIN EN 1097-6 September 2013</i>		Ofengetrocknete Masse der Gesteinskörnungsprobe geteilt durch das Volumen, das sie in Wasser einnimmt, einschließlich des Volumens innerer geschlossener Hohlräume und des Volumens wasserzugänglicher Hohlräume.				
D	Rohdichte auf wassergesättigter und oberflächentrockener Basis <i>DIN EN 1097-6 September 2013</i>		Ofengetrocknete Masse der Gesteinskörnungsprobe zuzüglich der Masse des Wassers in wasserzugänglichen Hohlräumen durch das Volumen, das die Probe in Wasser einnimmt, einschließlich des Volumens innerer geschlossener Hohlräume und des Volumens wasser-zugänglicher Hohlräume.				



Natronlauge-Test



WDI-Auftrags-Nr. 17-00232	Übersicht Siebungen RC-Splitt	Freitag, 11. August 2017
---------------------------	-------------------------------	--------------------------



Lfd. Nr.	WDI Proben Nr.	Gesteinskörnung	Prüfdatum	0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm	31,5 mm	63 mm
				[M.-%]	[M.-%]	[M.-%]	[M.-%]	[M.-%]	[M.-%]	[M.-%]	[M.-%]	[M.-%]	[M.-%]	[M.-%]
1	17/1026	RC-Splitt 2-8mm	25.04.2017	0,6	0,9	1,1	1,4	1,6	1,6	2,0	63,9	100,0	100,0	100,0
2	17/1027	RC-Splitt 8-16mm	25.04.2017	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	1,3	96,1	100,0	100,0

WDI- Auftrags-Nr.	17-00232		 Bestimmung der Korngrößenverteilung (Nasssiebung) DIN EN 933-1, Januar 2006					
Material + Herkunft:	RC-Splitt 2-8mm				Trocken-Masse der Sandprobe vor dem Auswaschen m_1 :		1147,2 g	
WDI-Proben-Nr.	17/1026		Trocken-Masse (Rückstände) der Sandprobe nach dem Auswaschen auf dem 0,063mm Sieb m_2 :				1140,8 g	
Prüfer:	Bamberg		Ausgewaschene und ausgesiebte Fein-Anteile [f]				0,6 M.-%	
Prüfdatum:	20.07.2015		Siebverlust bei der Trockensiebung				0,0 M.-%	
Sieb- Öffnungsweite	Rückstand [R]	Masse des Rückstandes (R_i)	Anteil des Rückstandes (R_i / m_1) * 100		Summe der Rückstände		Summe der Durchgänge	
63 mm	R_1	0,0 g	(0,0g / 1147,2g) * 100 =	0,0 M.-%		0,0 M.-%	100 M.-% - 0,0 M.-% =	100,0 M.-%
31,5 mm	R_2	0,0 g	(0,0g / 1147,2g) * 100 =	0,0 M.-%	0,0 M.-% + 0,0 M.-% =	0,0 M.-%	100 M.-% - 0,0 M.-% =	100,0 M.-%
16 mm	R_3	0,0 g	(0,0g / 1147,2g) * 100 =	0,0 M.-%	0,0 M.-% + 0,0 M.-% =	0,0 M.-%	100 M.-% - 0,0 M.-% =	100,0 M.-%
8 mm	R_4	414,2 g	(414,2g / 1147,2g) * 100 =	36,1 M.-%	0,0 M.-% + 36,1 M.-% =	36,1 M.-%	100 M.-% - 36,1 M.-% =	63,9 M.-%
4 mm	R_5	710,4 g	(710,4g / 1147,2g) * 100 =	61,9 M.-%	36,1 M.-% + 61,9 M.-% =	98,0 M.-%	100 M.-% - 98,0 M.-% =	2,0 M.-%
2 mm	R_6	3,8 g	(3,8g / 1147,2g) * 100 =	0,3 M.-%	98,0 M.-% + 0,3 M.-% =	98,4 M.-%	100 M.-% - 98,4 M.-% =	1,6 M.-%
1 mm	R_7	0,7 g	(0,7g / 1147,2g) * 100 =	0,1 M.-%	98,4 M.-% + 0,1 M.-% =	98,4 M.-%	100 M.-% - 98,4 M.-% =	1,6 M.-%
0,5 mm	R_8	1,7 g	(1,7g / 1147,2g) * 100 =	0,1 M.-%	98,4 M.-% + 0,1 M.-% =	98,6 M.-%	100 M.-% - 98,6 M.-% =	1,4 M.-%
0,25 mm	R_9	3,3 g	(3,3g / 1147,2g) * 100 =	0,3 M.-%	98,6 M.-% + 0,3 M.-% =	98,9 M.-%	100 M.-% - 98,9 M.-% =	1,1 M.-%
0,125 mm	R_{10}	3,0 g	(3,0g / 1147,2g) * 100 =	0,3 M.-%	98,9 M.-% + 0,3 M.-% =	99,1 M.-%	100 M.-% - 99,1 M.-% =	0,9 M.-%
0,063 mm	R_{11}	2,7 g	(2,7g / 1147,2g) * 100 =	0,2 M.-%	99,1 M.-% + 0,2 M.-% =	99,4 M.-%	100 M.-% - 99,4 M.-% =	0,6 M.-%
Auffangschale	P	1,0 g	(1,0g / 1147,2g) * 100 =	0,1 M.-%				
Summe	$R_i + P$	1140,8 g						

WDI-Auftrags-Nr.	17-232		1 BUZZI Bestimmung der Korngrößenverteilung (Nasssiebung) DIN EN 933-1, Januar 2006					
Material + Herkunft:	RC-Splitt 8-16mm				Trocken-Masse der Sandprobe vor dem Auswaschen m ₁ :		1188,0 g	
WDI-Proben-Nr.	17/1027		Trocken-Masse (Rückstände) der Sandprobe nach dem Auswaschen auf dem 0,063mm Sieb m ₂ :				1186,4 g	
Prüfer:	Bamberg		Ausgewaschene und ausgesiebte Fein-Anteile [f]				0,2 M.-%	
Prüfdatum:	24.04.2017		Siebverlust bei der Trockensiebung				0,1 M.-%	
Sieb-Öffnungsweite	Rückstand [R]	Masse des Rückstandes (R _i)	Anteil des Rückstandes (R _i / m ₁) * 100		Summe der Rückstände		Summe der Durchgänge	
63 mm	R ₁	0,0 g	(0,0g / 1188,0g) * 100 =	0,0 M.-%		0,0 M.-%	100 M.-% - 0,0 M.-% =	100,0 M.-%
31,5 mm	R ₂	0,0 g	(0,0g / 1188,0g) * 100 =	0,0 M.-%	0,0 M.-% + 0,0 M.-% =	0,0 M.-%	100 M.-% - 0,0 M.-% =	100,0 M.-%
16 mm	R ₃	46,4 g	(46,4g / 1188,0g) * 100 =	3,9 M.-%	0,0 M.-% + 3,9 M.-% =	3,9 M.-%	100 M.-% - 3,9 M.-% =	96,1 M.-%
8 mm	R ₄	1125,9 g	(1125,9g / 1188,0g) * 100 =	94,8 M.-%	3,9 M.-% + 94,8 M.-% =	98,7 M.-%	100 M.-% - 98,7 M.-% =	1,3 M.-%
4 mm	R ₅	7,9 g	(7,9g / 1188,0g) * 100 =	0,7 M.-%	98,7 M.-% + 0,7 M.-% =	99,3 M.-%	100 M.-% - 99,3 M.-% =	0,7 M.-%
2 mm	R ₆	0,7 g	(0,7g / 1188,0g) * 100 =	0,1 M.-%	99,3 M.-% + 0,1 M.-% =	99,4 M.-%	100 M.-% - 99,4 M.-% =	0,6 M.-%
1 mm	R ₇	0,4 g	(0,4g / 1188,0g) * 100 =	0,0 M.-%	99,4 M.-% + 0,0 M.-% =	99,4 M.-%	100 M.-% - 99,4 M.-% =	0,6 M.-%
0,5 mm	R ₈	1,0 g	(1,0g / 1188,0g) * 100 =	0,1 M.-%	99,4 M.-% + 0,1 M.-% =	99,5 M.-%	100 M.-% - 99,5 M.-% =	0,5 M.-%
0,25 mm	R ₉	1,2 g	(1,2g / 1188,0g) * 100 =	0,1 M.-%	99,5 M.-% + 0,1 M.-% =	99,6 M.-%	100 M.-% - 99,6 M.-% =	0,4 M.-%
0,125 mm	R ₁₀	0,9 g	(0,9g / 1188,0g) * 100 =	0,1 M.-%	99,6 M.-% + 0,1 M.-% =	99,7 M.-%	100 M.-% - 99,7 M.-% =	0,3 M.-%
0,063 mm	R ₁₁	0,7 g	(0,7g / 1188,0g) * 100 =	0,1 M.-%	99,7 M.-% + 0,1 M.-% =	99,8 M.-%	100 M.-% - 99,8 M.-% =	0,2 M.-%
Auffangschale	P	0,4 g	(0,4g / 1188,0g) * 100 =	0,0 M.-%				
Summe	R _i + P	1185,5 g						

Anlage 2 Korngrößenverteilung

2 Seiten

Bestimmung der Korngrößenverteilung nach DIN EN 933-1 (Siebverfahren)

Auftrag: **BMU-Projekt Rezyklierte GK** Monat/Jahr: **04/2017**

Auftraggeber: **Dyckerhoff** Herstellwerk: **Mittelsdorf EAR**

Entnahmestelle: **Lager Breitungen Mittelsdorf** entnommen am: **03.04.2017**

Bezeichnung der Probe: **Rezyklierter Betonbruch** Probenehmer: **Hellmann**

Korngruppe: **2/8** (angegebene Bezeichnung) (Nichtzutreffendes streichen)

Angewandetes Verfahren: **Naß-/Trockensiebung** (Nichtzutreffendes streichen)

Prüfung

Zählanalyse:

Einwaage in g	Art	Masse in g	Anteil in %	Soll Typ 1	Soll Typ 2
962	Ziegel (mürber Sandstein)	3	0,3	Rb 10- ($\leq 10\%$)	Rb 30- ($\leq 30\%$)
	bituminöse Stoffe	6	0,6	Ra 1- ($\leq 1\%$)	Ra 1- ($\leq 1\%$)
	Holz			NPD	NPD
	Beton, Mörtel, GK	953	99,1	Ru 90- ($> 90\%$)	Ru 70- ($> 70\%$)

Siebanalyse:

Gesamtmasse der trockenen Messprobe in kg (100%) M_1 : **2,255 kg**

Gesamtmasse der feuchten Messprobe in kg (100%) M_2 : **2,393 kg**

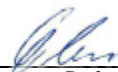
Gesamtfeuchte der Messprobe in M-%: **6,1 %**

Siebweite (+Ergänz. 1) [mm]	typische Kornzusammens. Siebweite [mm]	Durchgang [%]	Masse Rückstand R_{1-n} [kg]	Anteil Rückstand [%]	Anteil Durchgang [%]	Feinanteil (f) [%]
63					100	<0,063 mm
31,5					100	0,7%
22,4 optional					100	
16					100	
11,2 optional					100	
8			0,631	28,0	72,0	Siebverlust [%]
5,6 optional			2,128	94,4	5,6	(<1,0%)
4			2,192	97,2	2,8	k-Wert 5,18
2,8 optional					100,0	
2			2,204	97,7	2,3	
1			2,212	98,1	1,9	
0,5			2,221	98,5	1,5	
0,25			2,228	98,8	1,2	
0,125			2,235	99,1	0,9	
0,063			2,240	99,3	0,7	
Schale P					100,0	

	Anteil in %	Kategorie	Soll Typ 1	Soll Typ 2
Überkorn	72	Gc 70/5	Gc 85/20	Gc 80/20
Unterkorn	2			
Kornform SI	18	SI ₂₀	SI ₅₅	

28.04.2017

Ort / Datum


GfBB prüftechnik GmbH & Co. KG
 Prüfer / 1. Unters. **Hellmann**
 Telefon: +49 3 64 63 / 7 40 15
 Telefax: +49 3 64 63 / 7 40 15

Bestimmung der Korngrößenverteilung nach DIN EN 933-1 (Siebverfahren)

Auftrag: **BMU-Projekt Rezyklierte GK** Monat/Jahr: **04/2017**

Auftraggeber: **Dyckerhoff** Herstellwerk: **Mittelsdorf EAR**

Entnahmestelle: **Lager Breitungen Mittelsdorf** entnommen am: **03.04.2017**

Bezeichnung der Probe: **Rezyklierter Betonbruch** Probenehmer: **Hellmann**

Korngruppe: **8/16** (angegebene Bezeichnung) (Nichtzutreffendes streichen)

Angewandetes Verfahren: **Naß-/Trockensiebung** (Nichtzutreffendes streichen)

Prüfung

Zählanalyse:

Einwaage in g	Art	Masse in g	Anteil in %	Soll Typ 1	Soll Typ 2
1455	Ziegel (mürber Sandstein)	10	0,7	Rb 10- ($\leq 10\%$)	Rb 30- ($\leq 30\%$)
	bituminöse Stoffe			Ra 1- ($\leq 1\%$)	Ra 1- ($\leq 1\%$)
	Holz			NPD	NPD
	Beton, Mörtel, GK	1445	99,3	Ru 90- ($> 90\%$)	Ru 70- ($> 70\%$)

Siebanalyse:

Gesamtmasse der trockenen Messprobe in kg (100%) M_1 : **2,618 kg**

Gesamtmasse der feuchten Messprobe in kg (100%) M_2 : **2,782 kg**

Gesamtfeuchte der Messprobe in M-%: **6,3 %**

Siebweite (+Ergänz. 1) [mm]	typische Kornzusammens. Siebweite [mm]	Durchgang [%]	Masse Rückstand R_{1-n} [kg]	Anteil Rückstand [%]	Anteil Durchgang [%]	Feinanteil (f) [%]
63					100	<0,063 mm
31,5					100	0,2%
22,4 optional					100	
16			0,172	7	93	
11,2 optional			2,376	91	9	Siebverlust [%]
8			2,591	99,0	1,0	
5,6 optional					100,0	<1,0%
4			2,596	99,2	0,8	k-Wert 6,03
2,8 optional					100,0	
2			2,598	99,2	0,8	
1			2,602	99,4	0,6	
0,5			2,607	99,6	0,4	
0,25			2,613	99,8	0,2	
0,125			2,613	99,8	0,2	
0,063			2,614	99,8	0,2	
Schale P					100,0	

	Anteil in %	Kategorie	Soll Typ 1	Soll Typ 2
Überkorn	93	Gc 90/5	Gc 85/20	Gc 80/20
Unterkorn	1			
Kornform SI	14	SI ₂₀	SI ₅₅	

28.04.2017

Ort / Datum


GfBB prüftechnik GmbH & Co. KG
 Prüfer / Prüfingenieur
Prüfingenieur: +49 3 64 53 7 40 15
Telefax: +49 3 64 53 7 40 15

Anlage 3 Plan Eignungsprüfung Labor Mülsen

8 Seiten

Eignungsprüfungen Labor – Voruntersuchung / Referenzbeton / RC-Betone

Mülsen, am 10.5.2017

Vorbereitung:

- Homogenisierung der wassergesättigten GK
- Bestimmung der Oberflächen- und Gesamtfeuchte der GK
- Einwaage unter Berücksichtigung der OF
 - Referenzbeton: 16532401 C 30/37 XC4 XF1 XD1 XA1 (75 ltr.für 2 Mischungen)
 - RC-Beton: 64236499 C 20/25 XC3 (30 ltr.für 1 Mischungen)
 - 65336499 C 25/30 XC4 XF1 WU (75 ltr.für 2 Mischungen)
 - 66536499 C 30/37 XC4 XF3 WU (75 ltr.für 2 Mischungen)

Mischungsablauf:

- Eingabe GK → mischen → Zugabe ca. 1/3 Zugabewasser → Ruhezeit ca. 10 min
- Zugabe Zement + Wasser → Mischzeit: ca. 2 min → Zielkonsistenz: A=380 – 400 mm
- Zugabe BV VC 1068 → Zielkonsistenz: A= 480 – 500 mm

Prüfungen:

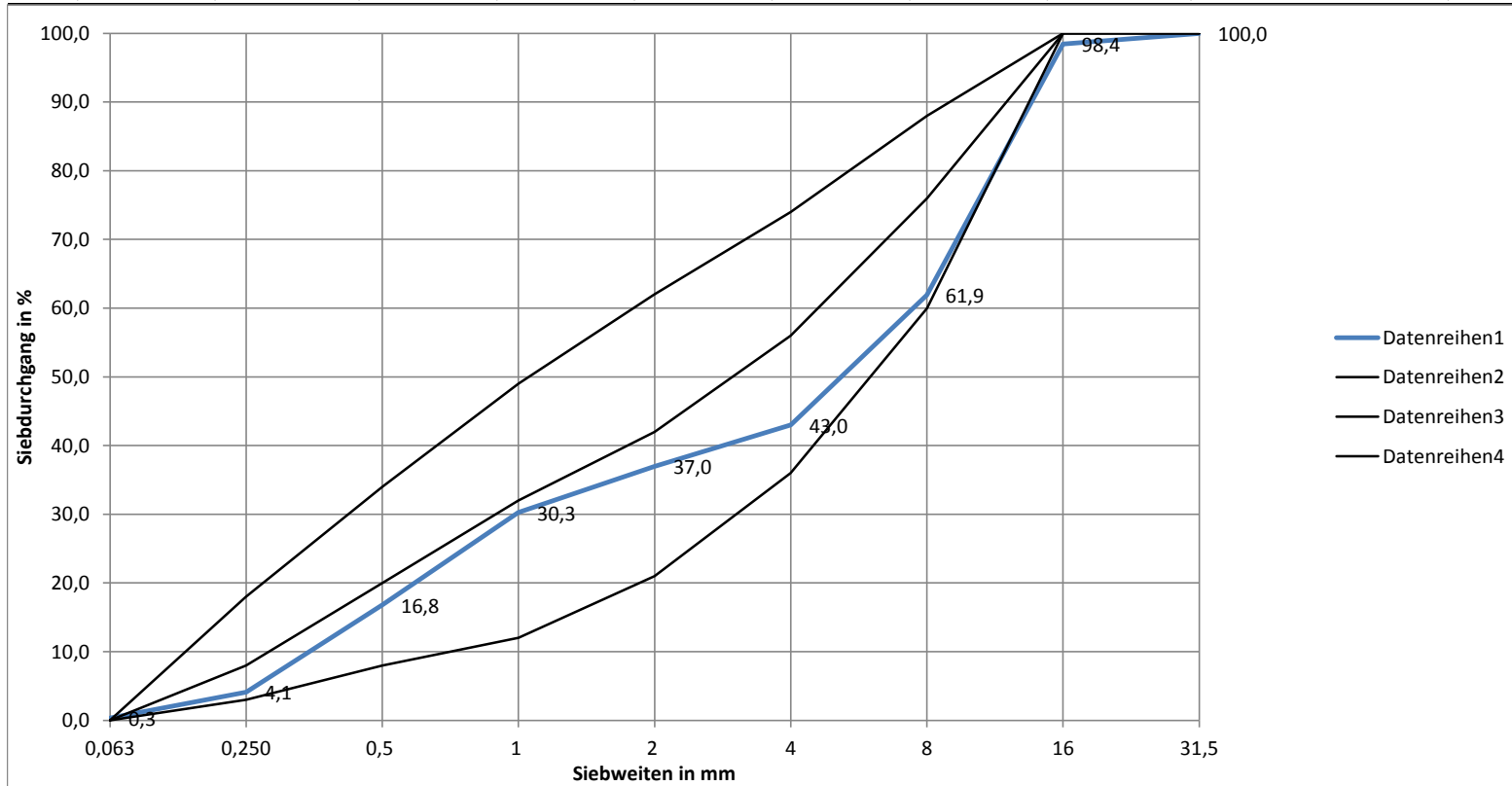
- Bestimmung Ausbreitmaß nach 10' und 45', ggf. nach 90'
- Bestimmung Luftgehalt nach 10'
- Bestimmung Wassergehalt nach 10'
- Probekörper für Druckfestigkeit nach 2, 7 und 28 Tagen jeweils 2 Würfel
- Probekörper für WU-Prüfung am C 25/30 und C 30/37 (Ref/REC) jeweils 2 Würfel
- Probekörper für E-Modul am C 30/37 (Ref/REC) jeweils 3 Zylinder
- Probekörper für Biegezugfestigkeit am C 30/37 (Ref/REC) jeweils 2 Balken

Materialbedarf:

	CEM	0/2	2/8	8/16	4/8REC	8/16REC
- C 30/37 Referenzbeton						
○ 2 Mischungen	29	57	33	53		
- C 20/25 RC-Beton						
○ 1 Mischung	13	30	7	10	11	14
- C 25/30 RC-Beton						
○ 2 Mischungen	27	60	14	18	21	28
- C 30/37 RC-Beton						
○ 2 Mischungen	29	55	11	23	21	28
- Gesamt	100	200	65	105	55	70

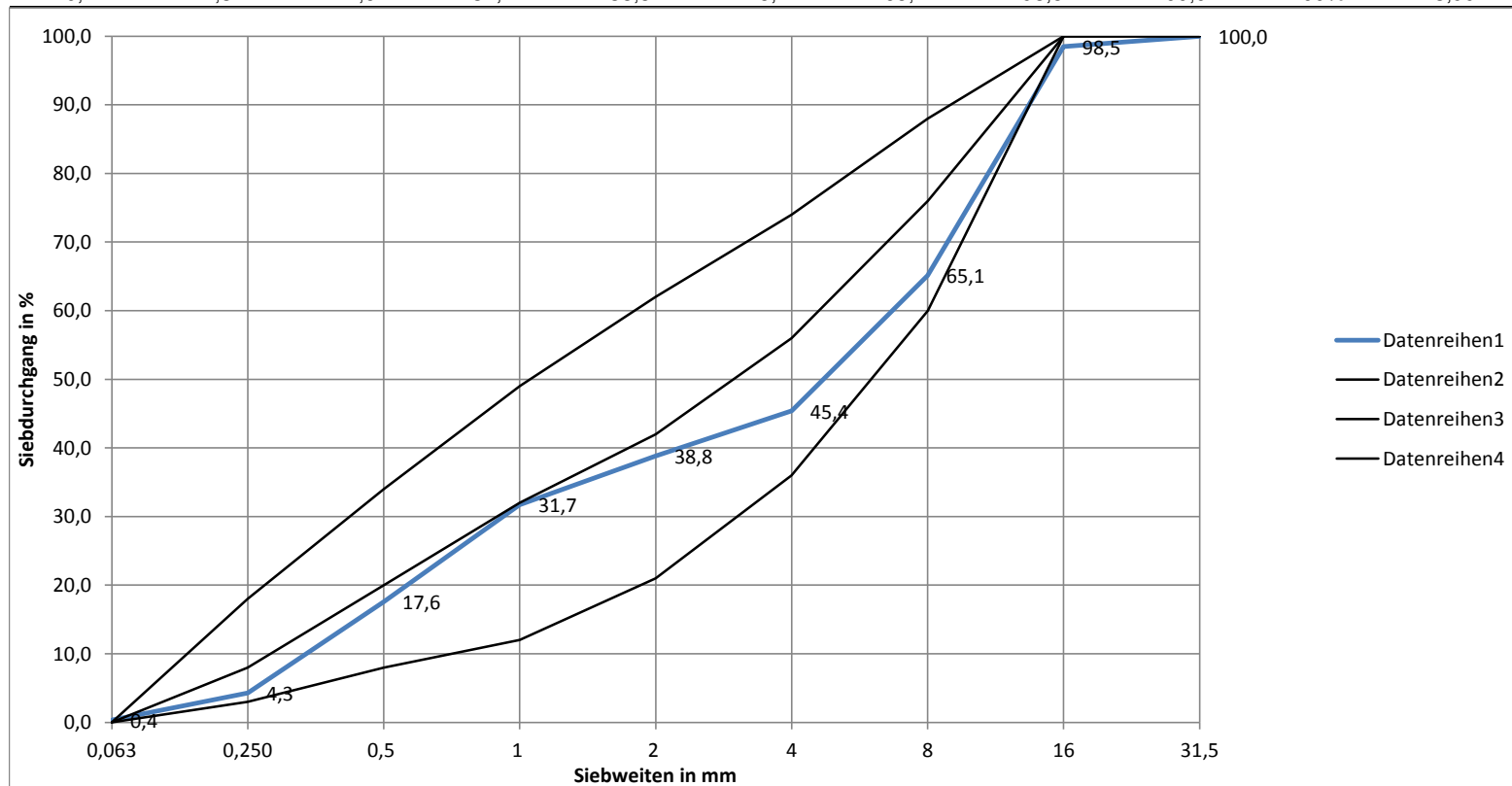
Sieblinienanforderungen an Recycling-Gemisch 0/16 RC-Beton Mittelsdorf

0,063	0,250	0,5	1	2	4	8	16	31,5		
0,5	9,5	40,5	74,0	90,0	100,0	100,0	100,0	100,0		Fambach 0/2
0,0	0,5	1,0	1,0	4,0	25,0	98,0	100,0	100,0		Fambach 2/8
0,7	1,0	1,5	2,0	2,0	3,0	72,0	100,0	100,0		REC 4/8
0,0	0,5	1,0	1,0	1,0	2,0	18,0	99,0	100,0		Fambach 8/16
0,2	0,2	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	93,0	100,0		REC 8/16
0,2	3,8	16,2	29,6	36,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40%	Fambach 0/2
0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	2,0	7,8	8,0	8,0	8%	Fambach 2/8
0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	10,8	15,0	15,0	15%	REC 4/8
0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	3,1	16,8	17,0	17%	Fambach 8/16
0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	18,6	20,0	20%	REC 8/16
0,3	4,1	16,8	30,3	37,0	43,0	61,9	98,4	100,0	100%	4,09



Sieblinienanforderungen an Recycling-Gemisch 0/16 RC-Beton Mittelsdorf

0,063	0,250	0,5	1	2	4	8	16	31,5		
0,5	9,5	40,5	74,0	90,0	100,0	100,0	100,0	100,0		Fambach 0/2
0,0	0,5	1,0	1,0	4,0	25,0	98,0	100,0	100,0		Fambach 2/8
0,7	1,0	1,5	2,0	2,0	3,0	72,0	100,0	100,0		REC 4/8
0,0	0,5	1,0	1,0	1,0	2,0	18,0	99,0	100,0		Fambach 8/16
0,2	0,2	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	93,0	100,0		REC 8/16
0,2	4,0	17,0	31,1	37,8	42,0	42,0	42,0	42,0	42%	Fambach 0/2
0,0	0,1	0,1	0,1	0,4	2,5	9,8	10,0	10,0	10%	Fambach 2/8
0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	10,8	15,0	15,0	15%	REC 4/8
0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	2,3	12,9	13,0	13%	Fambach 8/16
0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	18,6	20,0	20%	REC 8/16
0,4	4,3	17,6	31,7	38,8	45,4	65,1	98,5	100,0	100%	3,99



Dyckerhoff Beton GmbH & Co.KG Bereich Betontechnologie Hammerstedter Weg 99441 Mellingen Tel.: 036453-74024 Fax: 036453-74020	Beton Mischungsrechnung	 Dyckerhoff Dyckerhoff Beton GmbH
--	---	--

DyTB Schmalkalden GmbH & Co.KG Werk Wernshausen An der B 19 98590 Wernshausen	Rezept-Nr. : 64236499 Sorten-Nr. : 64236499 Abruf-Nr. : 2xREC Betontyp : Beton nach Eigenschaften Änderungsdatum : 09:01 / 06.07.2017
--	--

Anforderungen

Projekt / Bauteil	: EAR Mittelsdorf		
Ergänzung Anwendung	: Recyclingbeton		
Anwendung / E-Klasse	:		
Weitere Anforderungen	:		
Norm	: EN 206-1/DIN 1045-2		

Festigkeitsklasse	: C 20/25	fc, cube, 150 nach 28 d	= 32 N/mm²	Bewehrung	:
Konsistenz [Herstellung]	: F3	Ausbreitmaß [mm] nach 10 min	= 480 mm	Chloridklasse	:
Konsistenz [Baustelle]	:			Expos.-Gruppe	:
Rohdichteklasse	:	Zementgehalt	[Min] = kg/m³	Überw.-Klasse	:
Größtkorn [D, max]	: 16	Luftporengehalt	[Min] = Vol.-%	Feuchtekasse	:
Sieblinien-Nr.	: THÜ-WE-REC-AB2	w/z	[Max] =		

Zusammensetzung Beton

Bezeichnung	d/D	V.-%	M.-%	Herkunft	V [dm³]	[kg/dm³]	M [kg]	F [%]	F [kg]	M [kg]
Sand	0/2	40,7	42,0	Fambach	283,1	2,60	736	3,0	22,1	759
Kies	2/8	9,8	10,0	Fambach	68,2	2,58	176	1,5	2,6	178
Recycling	4/8	15,8	15,0	Mittelsdorf EAR	109,9	2,40	264	1,0	2,6	266
Kies	8/16	12,7	13,0	Fambach	88,3	2,58	228	0,5	1,1	229
Recycling	8/16	21,0	20,0	Mittelsdorf EAR	146,1	2,40	351			351
CEM II/A-LL 32,5 R				Dy Deuna 200	100,0	3,05	305			305
Frischwasser					188,0	1,00	188			159
ViscoCrete 1068 (BV/FM)			0,50	Sika	1,41	1,08	1,53			1,53
Luftporen					15,0					
				Gesamt	1000		2249			2249
				w/z-Wasser	188,0		188			
				Saugwasseranteil	0,00		0,00			

Kennwerte (Rezeptur mit trockenen Gesteinskörnungen)

Komponenten	Stoffraum		Mörtel <2mm		Leim <0,125mm		Mehlkorn <0,125mm		(w/z) eq	
	kg	dm³	kg	dm³	kg	dm³	kg	dm³		
Gesteinskörnung	1754	696	680	262	14	5	14	5	(w/z)	: 0,62
Zement	305	100	305	100	305	100	305	100		: 0,62
Wasser	188	188	188	188	188	188			Luftporen	[Vol.-%] : 1,5
Zusatzstoff (trocken)									Flugasche k(f) - Wert	: 0,4
Zusatzmittel	2	1	2	1	2	1			Zementfestigkeit	[N/mm²] : 50,0
Luftporen		15		15		15			Betondruckfestigkeit	[N/mm²] :
Summe	2249	1000	1175	566	509	309	319	105		

Die Ausgangsstoffe können entsprechend ihrer Verfügbarkeit ggf. variieren.	18.09.2017 Datum	
--	---------------------	--

Dyckerhoff Beton GmbH & Co.KG Bereich Betontechnologie Hammerstedter Weg 99441 Mellingen Tel.: 036453-74024 Fax: 036453-74020	Beton Mischungsrechnung	Dyckerhoff Dyckerhoff Beton GmbH
--	---	--

DyTB Schmalkalden GmbH & Co.KG Werk Wernshausen An der B 19 98590 Wernshausen	Rezept-Nr. : 65336499 Sorten-Nr. : 65336499 Abruf-Nr. : 2xREC Betontyp : Beton nach Eigenschaften Änderungsdatum : 09:01 / 06.07.2017
--	--

Anforderungen

Projekt / Bauteil	: EAR Mittelsdorf
Ergänzung Anwendung	: Recyclingbeton
Anwendung / E-Klasse	:
Weitere Anforderungen	:
Norm	: EN 206-1/DIN 1045-2

Festigkeitsklasse	: C 25/30	fc, cube, 150 nach 28 d	= 38 N/mm²	Bewehrung	:
Konsistenz [Herstellung]	: F3	Ausbreitmaß [mm] nach 10 min	= 480 mm	Chloridklasse	:
Konsistenz [Baustelle]	:			Expos.-Gruppe	:
Rohdichteklasse	:	Zementgehalt	[Min] = kg/m³	Überw.-Klasse	:
Größtkorn [D, max]	: 16	Luftporengehalt	[Min] = Vol.-%	Feuchtekasse	:
Sieblinien-Nr.	: THÜ-WE-REC-AB2	w/z	[Max] =		

Zusammensetzung Beton	trocken	feucht																																																																																																																																															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Bezeichnung</th> <th>d/D</th> <th>V.-%</th> <th>M.-%</th> <th>Herkunft</th> <th>V [dm³]</th> <th>[kg/dm³]</th> <th>M [kg]</th> <th>F [%]</th> <th>F [kg]</th> <th>M [kg]</th> </tr> <tr> <td>Sand</td> <td>0/2</td> <td>40,7</td> <td>42,0</td> <td>Fambach</td> <td>278,2</td> <td>2,60</td> <td>723</td> <td>3,0</td> <td>21,7</td> <td>746</td> </tr> <tr> <td>Kies</td> <td>2/8</td> <td>9,8</td> <td>10,0</td> <td>Fambach</td> <td>67,0</td> <td>2,58</td> <td>173</td> <td>1,5</td> <td>2,6</td> <td>175</td> </tr> <tr> <td>Recycling</td> <td>4/8</td> <td>15,8</td> <td>15,0</td> <td>Mittelsdorf EAR</td> <td>108,0</td> <td>2,40</td> <td>259</td> <td>1,0</td> <td>2,6</td> <td>261</td> </tr> <tr> <td>Kies</td> <td>8/16</td> <td>12,7</td> <td>13,0</td> <td>Fambach</td> <td>86,8</td> <td>2,58</td> <td>224</td> <td>0,5</td> <td>1,1</td> <td>225</td> </tr> <tr> <td>Recycling</td> <td>8/16</td> <td>21,0</td> <td>20,0</td> <td>Mittelsdorf EAR</td> <td>143,6</td> <td>2,40</td> <td>345</td> <td></td> <td></td> <td>345</td> </tr> <tr> <td>CEM II/A-LL 32,5 R</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Dy Deuna 200</td> <td>109,8</td> <td>3,05</td> <td>335</td> <td></td> <td></td> <td>335</td> </tr> <tr> <td>Frischwasser</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>190,0</td> <td>1,00</td> <td>190</td> <td></td> <td></td> <td>162</td> </tr> <tr> <td>ViscoCrete 1068 (BV/FM)</td> <td></td> <td>0,50</td> <td></td> <td>Sika</td> <td>1,55</td> <td>1,08</td> <td>1,68</td> <td></td> <td></td> <td>1,68</td> </tr> <tr> <td>Luftporen</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>15,0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Gesamt</td> <td>1000</td> <td></td> <td>2251</td> <td></td> <td></td> <td>2251</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>w/z-Wasser</td> <td>190,0</td> <td></td> <td>190</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Saugwasseranteil</td> <td>0,00</td> <td></td> <td>0,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Bezeichnung	d/D	V.-%	M.-%	Herkunft	V [dm³]	[kg/dm³]	M [kg]	F [%]	F [kg]	M [kg]	Sand	0/2	40,7	42,0	Fambach	278,2	2,60	723	3,0	21,7	746	Kies	2/8	9,8	10,0	Fambach	67,0	2,58	173	1,5	2,6	175	Recycling	4/8	15,8	15,0	Mittelsdorf EAR	108,0	2,40	259	1,0	2,6	261	Kies	8/16	12,7	13,0	Fambach	86,8	2,58	224	0,5	1,1	225	Recycling	8/16	21,0	20,0	Mittelsdorf EAR	143,6	2,40	345			345	CEM II/A-LL 32,5 R				Dy Deuna 200	109,8	3,05	335			335	Frischwasser					190,0	1,00	190			162	ViscoCrete 1068 (BV/FM)		0,50		Sika	1,55	1,08	1,68			1,68	Luftporen					15,0										Gesamt	1000		2251			2251					w/z-Wasser	190,0		190								Saugwasseranteil	0,00		0,00					
Bezeichnung	d/D	V.-%	M.-%	Herkunft	V [dm³]	[kg/dm³]	M [kg]	F [%]	F [kg]	M [kg]																																																																																																																																							
Sand	0/2	40,7	42,0	Fambach	278,2	2,60	723	3,0	21,7	746																																																																																																																																							
Kies	2/8	9,8	10,0	Fambach	67,0	2,58	173	1,5	2,6	175																																																																																																																																							
Recycling	4/8	15,8	15,0	Mittelsdorf EAR	108,0	2,40	259	1,0	2,6	261																																																																																																																																							
Kies	8/16	12,7	13,0	Fambach	86,8	2,58	224	0,5	1,1	225																																																																																																																																							
Recycling	8/16	21,0	20,0	Mittelsdorf EAR	143,6	2,40	345			345																																																																																																																																							
CEM II/A-LL 32,5 R				Dy Deuna 200	109,8	3,05	335			335																																																																																																																																							
Frischwasser					190,0	1,00	190			162																																																																																																																																							
ViscoCrete 1068 (BV/FM)		0,50		Sika	1,55	1,08	1,68			1,68																																																																																																																																							
Luftporen					15,0																																																																																																																																												
				Gesamt	1000		2251			2251																																																																																																																																							
				w/z-Wasser	190,0		190																																																																																																																																										
				Saugwasseranteil	0,00		0,00																																																																																																																																										

Kennwerte (Rezeptur mit trockenen Gesteinskörnungen)

Komponenten	Stoffraum		Mörtel <2mm		Leim <0,125mm		Mehlkorn <0,125mm		(w/z) eq	
	kg	dm³	kg	dm³	kg	dm³	kg	dm³		
Gesteinskörnung	1724	684	669	257	14	5	14	5	(w/z)	: 0,57
Zement	335	110	335	110	335	110	335	110		: 0,57
Wasser	190	190	190	190	190	190			Luftporen [Vol.-%]	: 1,5
Zusatzstoff (trocken)									Flugasche k(f) - Wert	: 0,4
Zusatzmittel	2	2	2	2	2	2			Zementfestigkeit [N/mm²]	: 50,0
Luftporen		15		15		15			Betondruckfestigkeit [N/mm²]	:
Summe	2251	1000	1196	574	541	322	349	115		

Die Ausgangsstoffe können entsprechend ihrer Verfügbarkeit ggf. variieren.

18.09.2017

 Datum

Dyckerhoff Beton GmbH & Co.KG Bereich Betontechnologie Hammerstedter Weg 99441 Mellingen Tel.: 036453-74024 Fax: 036453-74020	Beton Mischungsrechnung	Dyckerhoff Dyckerhoff Beton GmbH
--	---	--

DyTB Schmalkalden GmbH & Co.KG Werk Wernshausen An der B 19 98590 Wernshausen	Rezept-Nr. : 66536499 Sorten-Nr. : 66536499 Abruf-Nr. : 2xREC Betontyp : Beton nach Eigenschaften Änderungsdatum : 08:59 / 06.07.2017
--	--

Anforderungen

Projekt / Bauteil	: EAR Mittelsdorf	
Ergänzung Anwendung	: Recyclingbeton	
Anwendung / E-Klasse	:	
Weitere Anforderungen	:	
Norm	: EN 206-1/DIN 1045-2	

Festigkeitsklasse	: C 30/37	fc, cube, 150 nach 28 d	= 45 N/mm²	Bewehrung	:
Konsistenz [Herstellung]	: F3	Ausbreitmaß [mm] nach 10 min	= 480 mm	Chloridklasse	:
Konsistenz [Baustelle]	:			Expos.-Gruppe	:
Rohdichteklasse	:	Zementgehalt	[Min] = kg/m³	Überw.-Klasse	:
Größtkorn [D, max]	: 16	Luftporengehalt	[Min] = Vol.-%	Feuchtekasse	:
Sieblinien-Nr.	: THÜ-WE-REC-AB1	w/z	[Max] =		

Zusammensetzung Beton	trocken	feucht																																																																																																																																															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Bezeichnung</th> <th>d/D</th> <th>V.-%</th> <th>M.-%</th> <th>Herkunft</th> <th>V [dm³]</th> <th>[kg/dm³]</th> <th>M [kg]</th> <th>F [%]</th> <th>F [kg]</th> <th>M [kg]</th> </tr> <tr> <td>Sand</td> <td>0/2</td> <td>38,8</td> <td>40,0</td> <td>Fambach</td> <td>261,0</td> <td>2,60</td> <td>679</td> <td>3,0</td> <td>20,4</td> <td>699</td> </tr> <tr> <td>Kies</td> <td>2/8</td> <td>7,8</td> <td>8,0</td> <td>Fambach</td> <td>52,5</td> <td>2,58</td> <td>135</td> <td>1,5</td> <td>2,0</td> <td>138</td> </tr> <tr> <td>Recycling</td> <td>4/8</td> <td>15,8</td> <td>15,0</td> <td>Mittelsdorf EAR</td> <td>106,3</td> <td>2,40</td> <td>255</td> <td>1,0</td> <td>2,6</td> <td>257</td> </tr> <tr> <td>Kies</td> <td>8/16</td> <td>16,6</td> <td>17,0</td> <td>Fambach</td> <td>111,7</td> <td>2,58</td> <td>288</td> <td>0,5</td> <td>1,4</td> <td>290</td> </tr> <tr> <td>Recycling</td> <td>8/16</td> <td>21,0</td> <td>20,0</td> <td>Mittelsdorf EAR</td> <td>141,2</td> <td>2,40</td> <td>339</td> <td></td> <td></td> <td>339</td> </tr> <tr> <td>CEM II/A-LL 32,5 R</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Dy Deuna 200</td> <td>119,7</td> <td>3,05</td> <td>365</td> <td></td> <td></td> <td>365</td> </tr> <tr> <td>Frischwasser</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>191,0</td> <td>1,00</td> <td>191</td> <td></td> <td></td> <td>165</td> </tr> <tr> <td>ViscoCrete 1068 (BV/FM)</td> <td></td> <td>0,50</td> <td></td> <td>Sika</td> <td>1,69</td> <td>1,08</td> <td>1,83</td> <td></td> <td></td> <td>1,83</td> </tr> <tr> <td>Luftporen</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>15,0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Gesamt</td> <td>1000</td> <td></td> <td>2254</td> <td></td> <td></td> <td>2254</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>w/z-Wasser</td> <td>191,0</td> <td></td> <td>191</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Saugwasseranteil</td> <td>0,00</td> <td></td> <td>0,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Bezeichnung	d/D	V.-%	M.-%	Herkunft	V [dm³]	[kg/dm³]	M [kg]	F [%]	F [kg]	M [kg]	Sand	0/2	38,8	40,0	Fambach	261,0	2,60	679	3,0	20,4	699	Kies	2/8	7,8	8,0	Fambach	52,5	2,58	135	1,5	2,0	138	Recycling	4/8	15,8	15,0	Mittelsdorf EAR	106,3	2,40	255	1,0	2,6	257	Kies	8/16	16,6	17,0	Fambach	111,7	2,58	288	0,5	1,4	290	Recycling	8/16	21,0	20,0	Mittelsdorf EAR	141,2	2,40	339			339	CEM II/A-LL 32,5 R				Dy Deuna 200	119,7	3,05	365			365	Frischwasser					191,0	1,00	191			165	ViscoCrete 1068 (BV/FM)		0,50		Sika	1,69	1,08	1,83			1,83	Luftporen					15,0										Gesamt	1000		2254			2254					w/z-Wasser	191,0		191								Saugwasseranteil	0,00		0,00					
Bezeichnung	d/D	V.-%	M.-%	Herkunft	V [dm³]	[kg/dm³]	M [kg]	F [%]	F [kg]	M [kg]																																																																																																																																							
Sand	0/2	38,8	40,0	Fambach	261,0	2,60	679	3,0	20,4	699																																																																																																																																							
Kies	2/8	7,8	8,0	Fambach	52,5	2,58	135	1,5	2,0	138																																																																																																																																							
Recycling	4/8	15,8	15,0	Mittelsdorf EAR	106,3	2,40	255	1,0	2,6	257																																																																																																																																							
Kies	8/16	16,6	17,0	Fambach	111,7	2,58	288	0,5	1,4	290																																																																																																																																							
Recycling	8/16	21,0	20,0	Mittelsdorf EAR	141,2	2,40	339			339																																																																																																																																							
CEM II/A-LL 32,5 R				Dy Deuna 200	119,7	3,05	365			365																																																																																																																																							
Frischwasser					191,0	1,00	191			165																																																																																																																																							
ViscoCrete 1068 (BV/FM)		0,50		Sika	1,69	1,08	1,83			1,83																																																																																																																																							
Luftporen					15,0																																																																																																																																												
				Gesamt	1000		2254			2254																																																																																																																																							
				w/z-Wasser	191,0		191																																																																																																																																										
				Saugwasseranteil	0,00		0,00																																																																																																																																										

Kennwerte (Rezeptur mit trockenen Gesteinskörnungen)

Komponenten	Stoffraum		Mörtel <2mm		Leim <0,125mm		Mehlkorn <0,125mm		(w/z) eq	:	0,52
	kg	dm³	kg	dm³	kg	dm³	kg	dm³			
Gesteinskörnung	1696	673	628	242	13	5	13	5	(w/z)	:	0,52
Zement	365	120	365	120	365	120	365	120	Luftporen	[Vol.-%]	1,5
Wasser	191	191	191	191	191	191			Flugasche k(f) - Wert	:	0,4
Zusatzstoff (trocken)									Zementfestigkeit	[N/mm²]	50,0
Zusatzmittel	2	2	2	2	2	2			Betondruckfestigkeit	[N/mm²]	
Luftporen		15		15		15					
Summe	2254	1000	1186	570	571	333	378	125			

Die Ausgangsstoffe können entsprechend ihrer Verfügbarkeit ggf. variieren.

18.09.2017
 Datum

BET - Mischungsrechnung v3.2.0.10
DOKID_10

Dyckerhoff Beton GmbH & Co.KG Bereich Betontechnologie Hammerstedter Weg 99441 Mellingen Tel.: 036453-74024 Fax: 036453-74020	Beton Mischungsberechnung	Dyckerhoff Dyckerhoff Beton GmbH
--	---	--

DyTB Schmalkalden GmbH & Co.KG Werk Wernshausen An der B 19 98590 Wernshausen	Rezept-Nr. : 61016499 Sorten-Nr. : 61016499 Abruf-Nr. : 2xREC Betontyp : Beton nach Eigenschaften Änderungsdatum : 17:42 / 18.09.2017
--	--

Anforderungen

Projekt / Bauteil	: EAR Mittelsdorf
Ergänzung Anwendung	: Recyclingbeton
Anwendung / E-Klasse	:
Weitere Anforderungen	:
Norm	: EN 206-1/DIN 1045-2

Festigkeitsklasse	: C 8/10	fc, cube, 150 nach 28 d	= 16 N/mm²	Bewehrung	:
Konsistenz [Herstellung]	: C1	Verdichtungsmaß nach 10 min	= 1,35	Chloridklasse	:
Konsistenz [Baustelle]	:			Expos.-Gruppe	:
Rohdichteklasse	:	Zementgehalt	[Min] = kg/m³	Überw.-Klasse	:
Größtkorn [D, max]	: 16	Luftporengehalt	[Min] = Vol.-%	Feuchtekasse	:
Sieblinien-Nr.	: THÜ-WE-REC-AB2	w/z	[Max] =		

Zusammensetzung Beton

Bezeichnung	d/D	V.-%	M.-%	Herkunft	V [dm³]	[kg/dm³]	M [kg]	F [%]	F [kg]	M [kg]
Sand	0/2	40,7	42,0	Fambach	298,7	2,60	777	3,0	23,3	801
Kies	2/8	9,8	10,0	Fambach	71,9	2,58	186	1,5	2,8	188
Recycling	4/8	15,8	15,0	Mittelsdorf EAR	116,0	2,40	278	1,0	2,8	280
Kies	8/16	12,7	13,0	Fambach	93,2	2,58	241	0,5	1,2	242
Recycling	8/16	21,0	20,0	Mittelsdorf EAR	154,1	2,40	370			370
CEM II/A-LL 32,5 R				Dy Deuna 200	59,0	3,05	180			180
Frischwasser					157,0	1,00	157			127
Luftporen					50,0					
Gesamt					1000		2188			2188
w/z-Wasser					157,0		157			
Saugwasseranteil					0,00		0,00			

Kennwerte (Rezeptur mit trockenen Gesteinskörnungen)

Komponenten	Stoffraum		Mörtel <2mm		Leim <0,125mm		Mehlkorn <0,125mm			
	kg	dm³	kg	dm³	kg	dm³	kg	dm³		
Gesteinskörnung	1851	734	718	276	15	6	15	6	(w/z) eq	: 0,87
Zement	180	59	180	59	180	59	180	59	(w/z)	: 0,87
Wasser	157	157	157	157	157	157			Luftporen [Vol.-%]	: 5,0
Zusatzstoff (trocken)									Flugasche k(f) - Wert	: 0,4
Zusatzmittel									Zementfestigkeit [N/mm²]	: 50,0
Luftporen		50		50		50			Betondruckfestigkeit [N/mm²]	:
Summe	2188	1000	1055	542	352	272	195	65		

Die Ausgangsstoffe können entsprechend ihrer Verfügbarkeit ggf. variieren.	18.09.2017 Datum	
--	---------------------	--

Dyckerhoff Beton GmbH & Co.KG Bereich Betontechnologie Hammerstedter Weg 99441 Mellingen Tel.: 036453-74024 Fax: 036453-74020	Beton Mischungsrechnung	Dyckerhoff Dyckerhoff Beton GmbH
--	---	--

DyTB Schmalkalden GmbH & Co.KG Werk Wernshausen An der B 19 98590 Wernshausen	Rezept-Nr. : 62036499 Sorten-Nr. : 62036499 Abruf-Nr. : 2xREC Betontyp : Beton nach Eigenschaften Änderungsdatum : 18.18 / 18.09.2017
--	--

Anforderungen

Projekt / Bauteil	: EAR Mittelsdorf
Ergänzung Anwendung	: Recyclingbeton
Anwendung / E-Klasse	:
Weitere Anforderungen	:
Norm	: EN 206-1/DIN 1045-2

Festigkeitsklasse	: C 12/15	fc, cube, 150 nach 28 d	= 21 N/mm²	Bewehrung	:
Konsistenz [Herstellung]	: F3	Ausbreitmaß [mm] nach 10 min	= 480 mm	Chloridklasse	:
Konsistenz [Baustelle]	:			Expos.-Gruppe	:
Rohdichteklasse	:	Zementgehalt	[Min] = kg/m³	Überw.-Klasse	:
Größtkorn [D, max]	: 16	Luftporengehalt	[Min] = Vol.-%	Feuchtekasse	:
Sieblinien-Nr.	: THÜ-WE-REC-AB2	w/z	[Max] =		

Zusammensetzung Beton

Bezeichnung	d/D	V.-%	M.-%	Herkunft	V [dm³]	[kg/dm³]	M [kg]	F [%]	F [kg]	M [kg]
Sand	0/2	40,7	42,0	Fambach	286,8	2,60	746	3,0	22,4	769
Kies	2/8	9,8	10,0	Fambach	69,1	2,58	178	1,5	2,7	180
Recycling	4/8	15,8	15,0	Mittelsdorf EAR	111,3	2,40	267	1,0	2,7	269
Kies	8/16	12,7	13,0	Fambach	89,5	2,58	231	0,5	1,2	232
Recycling	8/16	21,0	20,0	Mittelsdorf EAR	148,0	2,40	355			355
CEM II/A-LL 32,5 R				Dy Deuna 200	80,3	3,05	245			245
Frischwasser					195,0	1,00	195			166
Luftporen					20,0					
Gesamt					1000		2217			2217
w/z-Wasser					195,0		195			
Saugwasseranteil					0,00		0,00			

Kennwerte (Rezeptur mit trockenen Gesteinskörnungen)

Komponenten	Stoffraum		Mörtel <2mm		Leim <0,125mm		Mehlkorn <0,125mm			
	kg	dm³	kg	dm³	kg	dm³	kg	dm³		
Gesteinskörnung	1777	705	689	265	14	6	14	6	(w/z) eq	: 0,80
Zement	245	80	245	80	245	80	245	80	(w/z)	: 0,80
Wasser	195	195	195	195	195	195			Luftporen [Vol.-%]	: 2,0
Zusatzstoff (trocken)									Flugasche k(f) - Wert	: 0,4
Zusatzmittel									Zementfestigkeit [N/mm²]	: 50,0
Luftporen		20		20		20			Betondruckfestigkeit [N/mm²]	:
Summe	2217	1000	1129	560	454	301	259	86		

Die Ausgangsstoffe können entsprechend ihrer Verfügbarkeit ggf. variieren.

18.09.2017
 Datum

***Anlage 4 Zusammenstellung der Frisch- und
Festbetonprüfungen Labor
19 Seiten***

Eignungsprüfung Labor Mülsen, 10.05.2017 / 11.05.2017

Voruntersuchung Gesteinskörnung:	0/2 Sand	2/8 Kies	8/16 Kies	2/8 Rec	8/16 Rec
	Fambach	Fambach	Fambach	Breitungen	Breitungen
Oberflächenfeuchte in %	3,0	1,5	0,5	1,0	0,0
Gesamtfeuchte in %	4,4	3,5	2,9	7,0	6,2
Wasseraufnahme aus PÜZ STB / WED übernommen	1,9	2,8	2,5	6,7	6,4

Probe-Nr.		1		2		3		4		5		6	
Beschreibung		Referenzbeton C 30/37		Rec-Beton C 20/25		Rec-Beton C 25/30		Rec-Beton C 30/37		Rec-Beton C 8/10		Rec-Beton C 12/15	
Rezept-Nr.		16532401		64236499		65336499		66536499		61016499		62036499	
Rezepturvorgabe		in M-%	in kg/m³	in M-%	in kg/m³	in M-%	in kg/m³	in M-%	in kg/m³	in M-%	in kg/m³	in M-%	in kg/m³
CEM II/A-LL 32,5 R Deuna			355		305		335		365		180		245
Sand 0/2 Fambach		40%	706	42%	736	42%	745	40%	679	42%	777	42%	746
Kies 2/8 Fambach		23%	406	10%	176	10%	175	8%	135	10%	186	10%	178
Kies 8/16 Fambach		37%	653	13%	228	13%	225	17%	288	13%	241	13%	231
Rec 2/8 Breitungen				15%	264	15%	262	15%	255	15%	278	15%	267
Rec 8/16 Breitungen				20%	351	20%	345	20%	339	20%	370	20%	355
Wasser			185		188		190		191		157		195
BV Sika VC 1068		0,50%	1,78	0,50%	1,53	0,50%	1,68	0,50%	1,83	0%	0	0%	0
w/z			0,52		0,62		0,57		0,52		0,87		0,80
Mischungs-Nr	je 40 ltr.	1/1	1/2	2/1		3/1		4/1	4/2	5/1		6/1	
Korr. Wasser-Zugabe	pro m³	-16 ltr.		-19 ltr.		-20 ltr.		-5 ltr.		+5 ltr.		-5 ltr.	
Korr. BV-Zugabe	pro m³	-200 g		-225g									
A 0	mm	380		380		400		380					
A 10 / Vz 10	mm	500		490		550		510		1,22		500	
A 60 / Vz 45	mm	450		440		470		450		1,35		460	
Temp. Beton	°C	15		15		16		17		18		18	
LP 10	%	1,7		1,5		1,5		1,3					
Rohdichte LP-Topf	kg/dm³	2,33		2,29		2,27		2,29					
Rohdichte Würfel i.M.	kg/dm³	2,35		2,30		2,29		2,30		2,21		2,22	
Wassergehalt absolut	Darre	209				235		228					
Kernfeuchte		41				64		63					
Wassergehalt w/z		168				171		165					
w/z-Wert		0,47				0,51		0,45					
Probekörper													
Würfel für Druckfestigkeit (zzgl. E-Modul)	2d	2		2		2		2					
	7d	2		2		2		2		2		2	
	28d	5		2		2		5		3		3	
WUD-Platten	28d	1		1		1		1					
Zylinder (E-Modul)	28d	3						3					
Balken (Biegezug)	28d	2						2					
Würfel FTW (CIF)	28d							3					

Bemerkungen:

Probe 1: Bluten nach Probekörperherstellung

Probe 2-4: Beton mit REC wurde mit ca. 2/3 des Zugabewasser angemischt --> Ruhezeit 10 min; starkes Ansteifen

Betonprüfungen - Druckfestigkeit nach DIN EN 12390-3

TB-Lieferwerk

Labor Mülsen - Eignungsprüfung

Firma, Niederlassung

Mittelsdorf Recycling

Baustelle, Feldfabrik, Werk

BMU-Projekt Rezyklierte Gesteinskörnung

Blatt 1

Probenahme	Probekörper-Nummer		17_REC_M_1_1	17_REC_M_1_2	17_REC_M_1_3	17_REC_M_1_4	17_REC_M_1_5	17_REC_M_1_6
	Druckfestigkeitsklasse		C 30/37	C 30/37	C 30/37	C 30/37	C 30/37	C 30/37
	Beton-/Abruf-Nummer		16532401	16532401	16532401	16532401	16532401	16532401
	Lieferschein-Nummer							
	Herstelldatum/Uhrzeit		10.05.17	10.05.17	10.05.17	10.05.17	10.05.17	10.05.17
	Bauteil/Entnahmestelle		Referenzbeton Naturkies	Referenzbeton Naturkies	Referenzbeton Naturkies	Referenzbeton Naturkies	Referenzbeton Naturkies	Referenzbeton Naturkies
	Prüfalter (Soll)		Tage	2	2	7	7	28
Frischbeton	Luft-/Frischbetontemperatur		°C	20°C/18°C	20°C/18°C	20°C/18°C	20°C/18°C	20°C/18°C
	Ausbreitmaß	10 min	mm	500	500	500	500	500
	Ausbreitmaß	45 min	mm	450	450	450	450	450
	Verdichtungsgerät/-dauer		s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	RT 30s
	Masse	Form + Beton	kg					
		Form	kg					
		Beton m	kg	7,92	7,88	7,86	7,87	7,84
	Volumen (Form) V		dm³	3,375	3,375	3,375	3,375	3,375
	Rohdichte $P = m/V$		kg/dm³	2,35	2,33	2,33	2,33	2,32
	Luftgehalt (LP-Topf)		Vol.-%	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
	Lagerung (Form)		Tage/ °C	1	1	1	1	1
	Lagerung (Wasser)		Tage/ °C					
	Unterschrift (Baustelle)							
Feststellungen in der ständigen Betonprüfstelle								
Festbeton	Einlieferungsdatum		-	11.05.2017	11.05.2017	11.05.2017	11.05.2017	11.05.2017
	Lagerung (Wasser)		Tage/ °C	1	1	6	6	6
	Lagerung (Luft)		Tage/ °C				21	21
	Prüfdatum		-	12.05.2017	12.05.2017	17.05.2017	17.05.2017	07.06.2017
	Prüfalter (Ist)		Tage	2	2	7	7	28
	Ebenflächigkeit		-	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.
	Abmessungen	a/b	mm	150/150	150/150	150/150	150/150	150/150
		h	mm	150	150	150	150	150
	Masse (Beton) m_b		kg	7,807	7,872	7,843	7,855	7,715
	Volumen (Beton) V_b		dm³	3,375	3,375	3,375	3,375	3,375
	Rohdichte $P = m_b/V_b$		kg/dm³	2,31	2,33	2,32	2,33	2,29
	Bruchlast F_u		MN, kN ¹⁾	401	413	805	820	1124
	Druckfestigkeit $f_{c,cube} = 0,92 * f_{c,dry}$ ²⁾		N/mm²	17,8	18,4	35,8	36,4	46,0
Mittelwert f_{cm}		N/mm²	18,1		36,1		46,0	

¹⁾ Nichtzutreffendes streichen²⁾ $f_{c,dry} = F/A_c$

Bemerkungen:

Melling, den 07.06.2017

Ort, Datum

© 06/06 GUB Beton B-BP-01_0606 - Betonprüfungen DIN 1045-3 (www.gueb-online.de)



GfBB prüftechnik
GmbH & Co. KG
Hammersteiner Weg 4, 59441 Melling
Telefon: +49 3 84 53 / 7 40 15
Telefax: +49 3 84 53 / 7 40 16

Stempel, Unterschrift (Ständige Betonprüfstelle)

Betonprüfungen - Druckfestigkeit nach DIN EN 12390-3

TB-Lieferwerk

Labor Mülsen - Eignungsprüfung

Firma, Niederlassung

Mittelsdorf Recycling

Baustelle, Feldfabrik, Werk

BMU-Projekt Rezyklierte Gesteinskörnung

Blatt 2

Probenahme	Probekörper-Nummer		17_REC_M_2_1	17_REC_M_2_2	17_REC_M_2_3	17_REC_M_2_4	17_REC_M_2_5	17_REC_M_2_6
	Druckfestigkeitsklasse		C 20/25	C 20/25	C 20/25	C 20/25	C 20/25	C 20/25
	Beton-/Abruf-Nummer		64236499	64236499	64236499	64236499	64236499	64236499
	Lieferschein-Nummer							
	Herstelldatum/Uhrzeit		10.05.17	10.05.17	10.05.17	10.05.17	10.05.17	10.05.17
	Bauteil/Entnahmestelle		Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK
	Prüfalter (Soll)		Tage	2	2	7	7	28
Frischbeton	Luft-/Frischbetontemperatur		°C	21°C/19°C	21°C/19°C	21°C/19°C	21°C/19°C	21°C/19°C
	Ausbreitmaß	10 min	mm	490	490	490	490	490
		60 min	mm	440	440	440	440	440
	Verdichtungsgerät/-dauer		s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	RT 30s
	Masse	Form + Beton	kg					
		Form	kg					
		Beton m	kg	7,76	7,79	7,75	7,78	7,77
	Volumen (Form) V		dm³	3,375	3,375	3,375	3,375	3,375
	Rohdichte $P = m/V$		kg/dm³	2,30	2,31	2,30	2,31	2,30
	Luftgehalt (LP-Topf)		Vol.-%	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Lagerung (Form)		Tage/ °C	1	1	1	1	1
	Lagerung (Wasser)		Tage/ °C					
	Unterschrift (Baustelle)							
Feststellungen in der ständigen Betonprüfstelle								
Festbeton	Einlieferungsdatum		-	11.05.2017	11.05.2017	11.05.2017	11.05.2017	11.05.2017
	Lagerung (Wasser)		Tage/ °C	1	1	6	6	6
	Lagerung (Luft)		Tage/ °C				21	21
	Prüfdatum		-	12.05.2017	12.05.2017	17.05.2017	17.05.2017	07.06.2017
	Prüfalter (Ist)		Tage	2	2	7	7	28
	Ebenflächigkeit		-	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.
	Abmessungen	a/b	mm	150/150	150/150	150/150	150/150	150/150
		h	mm	150	150	150	150	150
	Masse (Beton) m_b		kg	7,740	7,748	7,822	7,814	7,82
	Volumen (Beton) V_b		dm³	3,375	3,375	3,375	3,375	3,375
	Rohdichte $P = m_b/V_b$		kg/dm³	2,29	2,30	2,32	2,32	2,32
	Bruchlast F_u		MN, kN ¹⁾	467	479	673	648	955
	Druckfestigkeit $f_{c,cube} = 0,92 * f_{c,dry}$ ²⁾		N/mm²	20,8	21,3	29,9	28,8	39,0
Mittelwert f_{cm}		N/mm²	21,0		29,4		39,3	

¹⁾ Nichtzutreffendes streichen²⁾ $f_{c,dry} = F/A_c$

Bemerkungen:

Mellingen, den 07.06.2017

Ort, Datum

© 06/06 GUB Beton B-BP-01_0606 - Betonprüfungen DIN 1045-3 (www.gueb-online.de)



GfBB prüftechnik
GmbH & Co. KG
Hammarskjöldstr. Weg 4, 90441 Mellingen
Telefon: +49 3 64 53 / 7 40 15
Telefax: +49 3 64 53 / 7 40 79

Stempel, Unterschrift (Ständige Betonprüfstelle)

Betonprüfungen - Druckfestigkeit nach DIN EN 12390-3

TB-Lieferwerk

Labor Mülsen - Eignungsprüfung

Firma, Niederlassung

Mittelsdorf Recycling

Baustelle, Feldfabrik, Werk

BMU-Projekt Rezyklierte Gesteinskörnung

Blatt 3

Probenahme	Probekörper-Nummer		17_REC_M_3_1	17_REC_M_3_2	17_REC_M_3_3	17_REC_M_3_4	17_REC_M_3_5	17_REC_M_3_6
	Druckfestigkeitsklasse		C 25/30	C 25/30	C 25/30	C 25/30	C 25/30	C 25/30
	Beton-/Abruf-Nummer		65336499	65336499	65336499	65336499	65336499	65336499
	Lieferschein-Nummer							
	Herstelldatum/Uhrzeit		10.05.17	10.05.17	10.05.17	10.05.17	10.05.17	10.05.17
	Bauteil/Entnahmestelle		Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK
	Prüfalter (Soll)		Tage	2	2	7	7	28
Frischbeton	Luft-/Frischbetontemperatur		°C	21°C/19°C	21°C/19°C	21°C/19°C	21°C/19°C	21°C/19°C
	Ausbreitmaß	10 min	mm	550	550	550	550	550
		60 min	mm	470	470	470	470	470
	Verdichtungsgerät/-dauer		s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	RT 30s
	Masse	Form + Beton	kg					
		Form	kg					
		Beton m	kg	7,80	7,75	7,71	7,70	7,75
	Volumen (Form) V		dm³	3,375	3,375	3,375	3,375	3,375
	Rohdichte $P = m/V$		kg/dm³	2,31	2,30	2,28	2,28	2,30
	Luftgehalt (LP-Topf)		Vol.-%	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Lagerung (Form)		Tage/ °C	1	1	1	1	1
	Lagerung (Wasser)		Tage/ °C					
	Unterschrift (Baustelle)							
Feststellungen in der ständigen Betonprüfstelle								
Festbeton	Einlieferungsdatum		-	11.05.2017	11.05.2017	11.05.2017	11.05.2017	11.05.2017
	Lagerung (Wasser)		Tage/ °C	1	1	6	6	6
	Lagerung (Luft)		Tage/ °C				21	21
	Prüfdatum		-	12.05.2017	12.05.2017	17.05.2017	17.05.2017	07.06.2017
	Prüfalter (Ist)		Tage	2	2	7	7	28
	Ebenflächigkeit		-	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.
	Abmessungen	a/b	mm	150/150	150/150	150/150	150/150	150/150
		h	mm	150	150	150	150	150
	Masse (Beton) m_b		kg	7,723	7,73	7,688	7,705	7,654
	Volumen (Beton) V_b		dm³	3,375	3,375	3,375	3,375	3,375
	Rohdichte $P = m_b/V_b$		kg/dm³	2,29	2,29	2,28	2,28	2,27
	Bruchlast F_u		MN, kN ¹⁾	491	512	825	819	1111
	Druckfestigkeit $f_{c,cube} = 0,92 * f_{c,dry}$ ²⁾		N/mm²	21,8	22,8	36,7	36,4	45,4
Mittelwert f_{cm}		N/mm²	22,3		36,5		46,0	

¹⁾ Nichtzutreffendes streichen²⁾ $f_{c,dry} = F/A_c$

Bemerkungen:



GfBB prüftechnik
GmbH & Co. KG
Hammendorfer Weg 4, 39441 Mellingingen
Telefon: +49 3 54 53 7 40 15
Telefax: +49 3 54 53 7 40 15

Mellingingen, den

07.06.2017

Ort, Datum

© 06/06 GUB Beton B-BP-01_0606 - Betonprüfungen DIN 1045-3 (www.gueb-online.de)

Stempel, Unterschrift (Ständige Betonprüfstelle)

Betonprüfungen - Druckfestigkeit nach DIN EN 12390-3

TB-Lieferwerk

Labor Mülsen - Eignungsprüfung

Firma, Niederlassung

Mittelsdorf Recycling

Baustelle, Feldfabrik, Werk

BMU-Projekt Rezyklierte Gesteinskörnung

Blatt 4

Probenahme	Probekörper-Nummer		17_REC_M_4_1	17_REC_M_4_2	17_REC_M_4_3	17_REC_M_4_4	17_REC_M_4_5	17_REC_M_4_6
	Druckfestigkeitsklasse		C 30/37	C 30/37	C 30/37	C 30/37	C 30/37	C 30/37
	Beton-/Abruf-Nummer		66536499	66536499	66536499	66536499	66536499	66536499
	Lieferschein-Nummer							
	Herstelldatum/Uhrzeit		10.05.17	10.05.17	10.05.17	10.05.17	10.05.17	10.05.17
	Bauteil/Entnahmestelle		Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK
	Prüfalter (Soll)		Tage	2	2	7	7	28
Frischbeton	Luft-/Frischbetontemperatur		°C	21°C/17°C	21°C/17°C	21°C/17°C	21°C/17°C	21°C/17°C
	Ausbreitmaß	10 min	mm	510	510	510	510	510
		60 min	mm	450	450	450	450	450
	Verdichtungsgerät/-dauer		s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	RT 30s
	Masse	Form + Beton	kg					
		Form	kg					
		Beton m	kg	7,80	7,78	7,81	7,82	7,81
	Volumen (Form) V		dm³	3,375	3,375	3,375	3,375	3,375
	Rohdichte $P = m/V$		kg/dm³	2,31	2,31	2,32	2,32	2,31
	Luftgehalt (LP-Topf)		Vol.-%	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
	Lagerung (Form)		Tage/ °C	1	1	1	1	1
	Lagerung (Wasser)		Tage/ °C					
	Unterschrift (Baustelle)							
Feststellungen in der ständigen Betonprüfstelle								
Festbeton	Einlieferungsdatum		-	11.05.2017	11.05.2017	11.05.2017	11.05.2017	11.05.2017
	Lagerung (Wasser)		Tage/ °C	1	1	6	6	6
	Lagerung (Luft)		Tage/ °C				21	21
	Prüfdatum		-	12.05.2017	12.05.2017	17.05.2017	17.05.2017	07.06.2017
	Prüfalter (Ist)		Tage	2	2	7	7	28
	Ebenflächigkeit		-	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.
	Abmessungen	a/b	mm	150/150	150/150	150/150	150/150	150/150
		h	mm	150	150	150	150	150
	Masse (Beton) m_b		kg	7,810	7,795	7,78	7,83	7,78
	Volumen (Beton) V_b		dm³	3,375	3,375	3,375	3,375	3,375
	Rohdichte $P = m_b/V_b$		kg/dm³	2,31	2,31	2,31	2,32	2,31
	Bruchlast F_u		MN, kN ¹⁾	558	577	823	808	1140
	Druckfestigkeit $f_{c,cube} = 0,92 * f_{c,dry}$ ²⁾		N/mm²	24,8	25,6	36,6	35,9	46,6
Mittelwert f_{cm}		N/mm²	25,2		36,2		46,1	

¹⁾ Nichtzutreffendes streichen²⁾ $f_{c,dry} = F/A_c$

Bemerkungen:

Melling, den 07.06.2017

Ort, Datum

© 06/06 GUB Beton B-BP-01_0606 - Betonprüfungen DIN 1045-3 (www.gueb-online.de)



GfBB prüftechnik
GmbH & Co. KG
Hammelsdorfer Weg 4, 99441 Melling
Telefon: +49 3 54 53 / 7 40 15
Telefax: +49 3 54 53 / 7 40 715

Stempel, Unterschrift (Ständige Betonprüfstelle)

Betonprüfungen - Druckfestigkeit nach DIN EN 12390-3

TB-Lieferwerk

Labor Mülsen - Eignungsprüfung

Firma, Niederlassung

Mittelsdorf Recycling

Baustelle, Feldfabrik, Werk

BMU-Projekt Rezyklierte Gesteinskörnung

Blatt 5

Probenahme	Probekörper-Nummer		17_REC_M_5_1	17_REC_M_5_2	17_REC_M_5_3	17_REC_M_5_4	17_REC_M_5_5		
	Druckfestigkeitsklasse		C 8/10	C 8/10	C 8/10	C 8/10	C 8/10		
	Beton-/Abruf-Nummer		61016499	61016499	61016499	61016499	61016499		
	Lieferschein-Nummer								
	Herstelldatum/Uhrzeit		11.05.17	11.05.17	11.05.17	11.05.17	11.05.17		
	Bauteil/Entnahmestelle		Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK		
	Prüfalter (Soll)		Tage	7	7	28	28	28	
Frischbeton	Luft-/Frischbetontemperatur		°C	22°C/18°C	22°C/18°C	22°C/18°C	22°C/18°C	22°C/18°C	
	Verdichtungszahl Vz10		mm	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	
	Verdichtungszahl Vz45		mm	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	
	Verdichtungsgerät/-dauer		s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	
	Masse	Form + Beton	kg						
		Form	kg						
		Beton m	kg	7,46	7,45	7,44	7,43	7,44	
	Volumen (Form) V		dm³	3,375	3,375	3,375	3,375	3,375	
	Rohdichte $P = m/V$		kg/dm³	2,21	2,21	2,20	2,20	2,20	
	Luftgehalt (LP-Topf)		Vol.-%						
	Lagerung (Form)		Tage/ °C	1	1	1	1	1	
	Lagerung (Wasser)		Tage/ °C						
	Unterschrift (Baustelle)								
Feststellungen in der ständigen Betonprüfstelle									
Festbeton	Einlieferungsdatum		-	12.05.2017	12.05.2017	12.05.2017	12.05.2017	12.05.2017	
	Lagerung (Wasser)		Tage/ °C	1	1	6	6	6	
	Lagerung (Luft)		Tage/ °C	6	6	21	21	21	
	Prüfdatum		-	18.05.2017	18.05.2017	18.05.2017	18.05.2017	08.06.2017	
	Prüfalter (Ist)		Tage	7	7	7	7	28	
	Ebenflächigkeit		-	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	
	Abmessungen	a/b	mm	150/150	150/150	150/150	150/150	150/150	
		h	mm	150	150	150	150	150	
	Masse (Beton) m_b		kg	7,430	7,44	7,42	7,41	7,41	
	Volumen (Beton) V_b		dm³	3,375	3,375	3,375	3,375	3,375	
	Rohdichte $P = m_b/V_b$		kg/dm³	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	
	Bruchlast F_u		MN, kN ¹⁾	367	379	448	477	439	
	Druckfestigkeit $f_{c,cube} = 0,92 * f_{c,dry}$ ²⁾		N/mm²	16,3	16,8	18,3	19,5	18,0	
Mittelwert f_{cm}		N/mm²	16,6			18,6			

¹⁾ Nichtzutreffendes streichen²⁾ $f_{c,dry} = F/A_c$

Bemerkungen:

Melling, den 08.06.2017

Ort, Datum

© 06/06 GUB Beton B-BP-01_0606 - Betonprüfungen DIN 1045-3 (www.gueb-online.de)



GfBB prüftechnik
GmbH & Co. KG
Hammensacker Weg 4, 39441 Melling
Telefon: +49 3 64 63 / 7 40 15
Telefax: +49 3 64 63 / 7 40 15

Stempel, Unterschrift (Ständige Betonprüfstelle)

Betonprüfungen - Druckfestigkeit nach DIN EN 12390-3

TB-Lieferwerk

Labor Mülsen - Eignungsprüfung

Firma, Niederlassung

Mittelsdorf Recycling

Baustelle, Feldfabrik, Werk

BMU-Projekt Rezyklierte Gesteinskörnung

Blatt 6

Probenahme	Probekörper-Nummer		17_REC_M_6_1	17_REC_M_6_2	17_REC_M_6_3	17_REC_M_6_4	17_REC_M_6_5		
	Druckfestigkeitsklasse		C 12/15	C 12/15	C 12/15	C 12/15	C 12/15		
	Beton-/Abruf-Nummer		62036499	62036499	62036499	62036499	62036499		
	Lieferschein-Nummer								
	Herstelldatum/Uhrzeit		11.05.17	11.05.17	11.05.17	11.05.17	11.05.17		
	Bauteil/Entnahmestelle		Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK	Laborbeton rez. GK		
	Prüfalter (Soll)		Tage	7	7	28	28	28	
Frischbeton	Luft-/Frischbetontemperatur		°C	20°C/18°C	20°C/18°C	20°C/18°C	20°C/18°C	20°C/18°C	
	Ausbreitmaß	10 min	mm	500	500	500	500	500	
		60 min	mm	460	460	460	460	460	
	Verdichtungsgerät/-dauer		s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	
	Masse	Form + Beton	kg						
		Form	kg						
		Beton m	kg	7,50	7,52	7,49	7,51	7,52	
	Volumen (Form) V		dm³	3,375	3,375	3,375	3,375	3,375	
	Rohdichte $P = m/V$		kg/dm³	2,22	2,23	2,22	2,23	2,23	
	Luftgehalt (LP-Topf)		Vol.-%						
	Lagerung (Form)		Tage/ °C	1	1	1	1	1	
	Lagerung (Wasser)		Tage/ °C						
	Unterschrift (Baustelle)								
Feststellungen in der ständigen Betonprüfstelle									
Festbeton	Einlieferungsdatum		-	12.05.2017	12.05.2017	12.05.2017	12.05.2017	12.05.2017	
	Lagerung (Wasser)		Tage/ °C	1	1	6	6	6	
	Lagerung (Luft)		Tage/ °C	6	6	21	21	21	
	Prüfdatum		-	18.05.2017	18.05.2017	18.05.2017	18.05.2017	08.06.2017	
	Prüfalter (Ist)		Tage	7	7	7	7	28	
	Ebenflächigkeit		-	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	
	Abmessungen	a/b	mm	150/150	150/150	150/150	150/150	150/150	
		h	mm	150	150	150	150	150	
	Masse (Beton) m_b		kg	7,500	7,51	7,46	7,45	7,45	
	Volumen (Beton) V_b		dm³	3,375	3,375	3,375	3,375	3,375	
	Rohdichte $P = m_b/V_b$		kg/dm³	2,22	2,23	2,21	2,21	2,21	
	Bruchlast F_u		MN, kN ¹⁾	262	219	522	563	551	
	Druckfestigkeit $f_{c,cube} = 0,92 * f_{c,dry}$ ²⁾		N/mm²	11,6	9,7	21,3	23,0	22,5	
Mittelwert f_{cm}		N/mm²	10,7			22,3			

¹⁾ Nichtzutreffendes streichen²⁾ $f_{c,dry} = F/A_c$

Bemerkungen:

Mellingen, den 08.06.2017

Ort, Datum

© 06/06 GUB Beton B-BP-01_0606 - Betonprüfungen DIN 1045-3 (www.gueb-online.de)



GfBB prüftechnik
GmbH & Co. KG
Hammerstecker Weg 4, 99441 Mellingen
Telefon: +49 3 64 63 / 7 40 15
Telefax: +49 3 64 11 / 87 88 36 79

Stempel, Unterschrift (Ständige Betonprüfstelle)

Dyckerhoff Transportbeton Thüringen GmbH & Co. KG

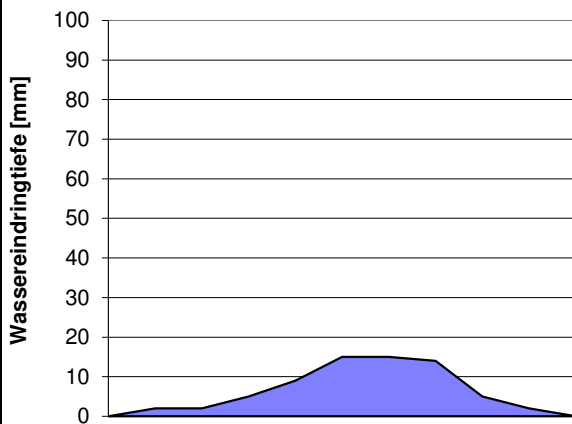
An der Lache 27
99086 Erfurt

Prüfbericht

Wassereindringtiefe

Nr. 17/EP_REC_Mülsen/001

Prüfergebnisse nach DIN EN 12 390-8

Druckfestigkeitsklasse:		C 30 / 37			Konsistenz:		F3									
Sorten-Nr.:		16532401			Graphische Darstellung 											
Mittelsdorf Recycling EP Mülsen																
Probe / Laufende Nr.		WU 01														
Lieferschein		-														
Tag der Herstellung		10.05.17														
Prüfalter		28d														
Prüftag		07.06.17														
Masse [kg]		7,86														
Länge [mm]		150														
Breite [mm]		150														
Höhe [mm]		150														
Fläche [cm²]		225														
Volumen [dm³]		3,375														
Rohdichte [kg/dm³]		2,33														
Wassereindringtiefe Einzelwerte [mm]		0	2	2	5	9	15	15	14	5	2	0				
Wassereindringtiefe Maximalwert [mm]		15														
Anforderung [mm]		≤ 30														

Bemerkungen:


**GfBB prüftechnik
GmbH & Co. KG**
 Hammerstecker Weg 1, 99441 Meiningen
 Telefon: +49 3 64 53 / 7 40 15
 Telefax: +49 3 64 53 / 7 40 15

12.06.2017

Prüfstellenleiter

Dyckerhoff Transportbeton Thüringen GmbH & Co. KG

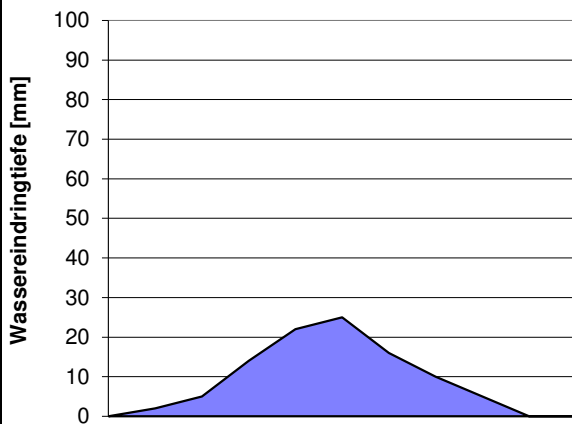
An der Lache 27
99086 Erfurt

Prüfbericht

Wassereindringtiefe

Nr. 17/EP_REC_Mülsen/002

Prüfergebnisse nach DIN EN 12 390-8

Druckfestigkeitsklasse:		C 20 / 25			Konsistenz:		F3									
Sorten-Nr.:		64236499			Graphische Darstellung 											
Mittelsdorf Recycling EP Mülsen																
Probe / Laufende Nr.		WU 02														
Lieferschein		-														
Tag der Herstellung		10.05.17														
Prüfalter		28d														
Prüftag		07.06.17														
Masse	[kg]	7,70														
Länge	[mm]	150														
Breite	[mm]	150														
Höhe	[mm]	150														
Fläche	[cm²]	225														
Volumen	[dm³]	3,375														
Rohdichte	[kg/dm³]	2,28														
Wassereindringtiefe Einzelwerte	[mm]	0	2	5	14	22	25	16	10	5	0	0				
Wassereindringtiefe Maximalwert	[mm]	25														
Anforderung	[mm]	≤ 30														

Bemerkungen:


GfBB prüftechnik GmbH & Co. KG
 Hammerstecker Weg 4, 99441 Meiningen
 Telefon: +49 3 64 63 / 7 40 15
 Telefax: +49 3 61 / 67 66 96 79

12.06.2017

Prüfstellenleiter

Dyckerhoff Transportbeton Thüringen GmbH & Co. KG

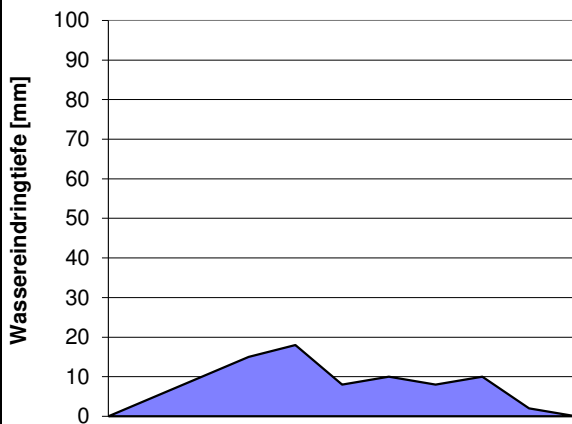
An der Lache 27
99086 Erfurt

Prüfbericht

Wassereindringtiefe

Nr. 17/EP_REC_Mülsen/003

Prüfergebnisse nach DIN EN 12 390-8

Druckfestigkeitsklasse:		C 25 / 30			Konsistenz:		F3									
Sorten-Nr.:		65336499			Graphische Darstellung 											
Mittelsdorf Recycling EP Mülsen																
Probe / Laufende Nr.		WU 03														
Lieferschein		-														
Tag der Herstellung		10.05.17														
Prüfalter		28d														
Prüftag		07.06.17														
Masse	[kg]	7,73														
Länge	[mm]	150														
Breite	[mm]	150														
Höhe	[mm]	150														
Fläche	[cm²]	225														
Volumen	[dm³]	3,375														
Rohdichte	[kg/dm³]	2,29														
Wassereindringtiefe Einzelwerte	[mm]	0	5	10	15	18	8	10	8	10	2	0				
Wassereindringtiefe Maximalwert	[mm]	18														
Anforderung	[mm]	≤ 30														

Bemerkungen:


**GfBB prüftechnik
GmbH & Co. KG**
 Hammerdecker Weg 4, 99441 Meiningen
 Telefon: +49 3 84 53 / 7 40 15
 Telefax: +49 3 84 53 / 7 40 15

12.06.2017

Prüfstellenleiter

Dyckerhoff Transportbeton Thüringen GmbH & Co. KG

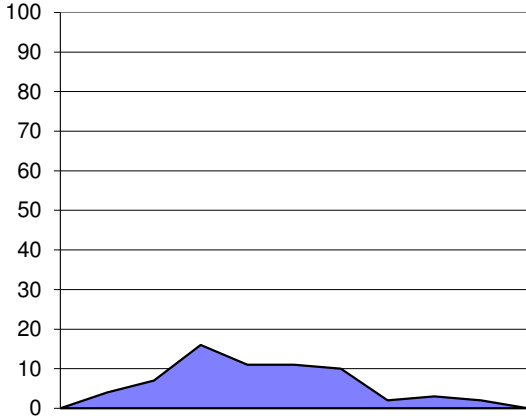
An der Lache 27
99086 Erfurt

Prüfbericht

Wassereindringtiefe

Nr. 17/EP_REC_Mülsen/004

Prüfergebnisse nach DIN EN 12 390-8

Druckfestigkeitsklasse:		C 30 / 37			Konsistenz:		F3																					
Sorten-Nr.:		66536499			Graphische Darstellung  <table><caption>Wassereindringtiefe [mm]</caption><thead><tr><th>Position (mm)</th><th>Wassereindringtiefe [mm]</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>25</td><td>16</td></tr><tr><td>50</td><td>10</td></tr><tr><td>75</td><td>2</td></tr><tr><td>100</td><td>0</td></tr></tbody></table>												Position (mm)	Wassereindringtiefe [mm]	0	0	25	16	50	10	75	2	100	0
Position (mm)	Wassereindringtiefe [mm]																											
0	0																											
25	16																											
50	10																											
75	2																											
100	0																											
Mittelsdorf Recycling EP Mülsen																												
Probe / Laufende Nr.		WU 04																										
Lieferschein		-																										
Tag der Herstellung		10.05.17																										
Prüfalter		28d																										
Prüftag		07.06.17																										
Masse [kg]		7,76																										
Länge [mm]		150																										
Breite [mm]		150																										
Höhe [mm]		150																										
Fläche [cm²]		225																										
Volumen [dm³]		3,375																										
Rohdichte [kg/dm³]		2,30																										
Wassereindringtiefe [mm]		0	4	7	16	11	11	10	2	3	2	0																
Einzelwerte																												
Wassereindringtiefe [mm]		16																										
Maximalwert																												
Anforderung [mm]		≤ 30																										

Bemerkungen:


GfBB prüftechnik GmbH & Co. KG
 Hammesfelder Weg 4, 99441 Mellingen
 Telefon: +49 3 64 93 / 7 40 15
 Telefax: +49 3 64 93 / 66 96 79

12.06.2017

Prüfstellenleiter

Gfbb prüftechnik GmbH & Co. KG
 Außenstelle Zwickau
 Lippoldsrh 8
 98132 Mülsen St. Jacob

Dyckerhoff Transportbeton Thüringen GmbH & Co. KG
 An der Lache 27
 99086 Erfurt

PRÜFUNGSZEUGNIS

Nr.: 17_EP_REC_Mülsen_01_E-Mod

Allgemeine Angaben

Bezeichnung (Auftrag):	Prüfung des Statischen E- Moduls nach 28 Tagen
Bezeichnung (Beton):	C30/37 nat. GK (Referenzbeton)
Baustelle:	BMU-Projekt Rezyklierte Gesteinskörnung
Bauteil:	Eignungsprüfung Labor

Angaben zur Probe

Beton –Nr.	Festigkeitsklasse	Prüfalter (d)	Datum	
			Herstellung	Prüfung
16532401	C 30/37 Ref nat.GK	28	10.05.2017	07.06.17

Prüfung der Druckfestigkeit (nach DIN EN 12390-3) - Würfeldruckfestigkeit

Proben-Nr.	Abmessungen			Gewicht	Dichte	Bruchlast	Druckfestigkeit	UF	Druckfestigkeit
	L	B	H						
	mm	mm	mm	kg	kg/m ³	kN	N/mm ²		N/mm ²
W 1/1	150	150	149	7,937	2369	1124,1	49,8	1,00	49,8
W 1/2	151	151	149	7,932	2352	1127,3	49,6	1,00	49,6
W 1/3	150	150	149	7,922	2363	1125,3	49,6	1,00	49,6
Mittelwert					2361				49,7

Prüfung der Druckfestigkeit (nach DIN EN 12390-3) – Zylinderdruckfestigkeit

Proben-Nr.	Abmessungen			Gewicht	Dichte	Bruchlast	Druckfestigkeit	UF	Druckfestigkeit
	D		H						
	mm	mm	mm	kg	kg/m ³	kN	N/mm ²		N/mm ²
E 1/1	150		298	12,181	2332	790,9	45,1	1,00	45,1
E 1/2	149		297	12,218	2347	754,5	43,1	1,00	43,1
E 1/3	149		297	12,149	2344	719,7	41,3	1,00	41,3
Mittelwert					2341				43,2

Prüfung des E-Moduls (nach DIN 1048-5)

Proben-Nr.	Prüfspannung		Dehnung		Elastizitätsmodul	
	σ_o	σ_u	ϵ_o	ϵ_u	E_b	
	N/mm ²		mm/m		N/mm ²	
E 1/1	16,6	0,50	0,0716	0,0031	23500	25600
E 1/2	16,6	0,50	0,0579	0,0016	28600	
E 1/3	16,6	0,50	0,0679	0,0034	25000	
Mittelwert					25678	

07.06.2017


GfBB prüftechnik GmbH & Co. KG
 Prüfungscenter-Weg 4-99441 Mühlhausen
 Telefon: +49 3 84 83 / 7 40 15
 Telefax: +49 3 84 83 79

GfBB prüftechnik GmbH & Co. KG

Gfbb prüftechnik GmbH & Co. KG
 Außenstelle Zwickau
 Lippoldsrh 8
 98132 Mülsen St. Jacob

Dyckerhoff Transportbeton Thüringen GmbH & Co. KG
 An der Lache 27
 99086 Erfurt

PRÜFUNGSZEUGNIS

Nr.: 17_EP_REC_Mülsen_04_E-Mod

Allgemeine Angaben

Bezeichnung (Auftrag):	Prüfung des Statischen E- Moduls nach 28 Tagen
Bezeichnung (Beton):	C30/37 rez. GK
Baustelle:	BMU-Projekt Rezyklierte Gesteinskörnung
Bauteil:	Eignungsprüfung Labor

Angaben zur Probe

Beton –Nr.	Festigkeitsklasse	Prüfalter (d)	Datum	
			Herstellung	Prüfung
66536499	C 30/37 rez.GK	28	10.05.2017	07.06.17

Prüfung der Druckfestigkeit (nach DIN EN 12390-3) - Würfeldruckfestigkeit

Proben- Nr.	Abmessungen			Gewicht	Dichte	Bruchlast	Druckfestigkeit	UF	Druckfestigkeit
	L	B	H						
	mm	mm	mm	kg	kg/m ³	kN	N/mm ²		N/mm ²
W 4/1	151	151	149	7,799	2313	1057,1	47,0	1,00	47,0
W 4/2	150	150	149	7,745	2296	1016,4	45,2	1,00	45,2
W 4/3	151	150	149	7,785	2307	1064,8	47,3	1,00	47,6
Mittelwert					2305				46,6

Prüfung der Druckfestigkeit (nach DIN EN 12390-3) – Zylinderdruckfestigkeit

Proben-Nr.	Abmessungen			Gewicht	Dichte	Bruchlast	Druckfestigkeit	UF	Druckfestigkeit
	D		H						
	mm	mm	mm	kg	kg/m ³	kN	N/mm ²		N/mm ²
E 4/1	150		294	11,873	2291	704,7	40,0	1,00	40,0
E 4/2	150		295	11,920	2295	738,5	41,8	1,00	41,8
E 4/3	151		295	11,966	2282	710,9	40,0	1,00	40,0
Mittelwert					2289				40,6

Prüfung des E-Moduls (nach DIN 1048-5)

Proben-Nr.	Prüfspannung		Dehnung		Elastizitätsmodul	
	σ_o	σ_u	ϵ_o	ϵ_u	E_b	
	N/mm ²		mm/m		N/mm ²	
E 4/1	15,5	0,50	0,0583	0,0007	26000	25800
E 4/2	15,5	0,50	0,0554	...	26800	
E 4/3	15,5	0,50	0,0642	0,0034	24700	
Mittelwert					25841	

07.06.2017


GfBB prüftechnik GmbH & Co. KG
 Hammerstedter Weg 4, 99441 Mellingen
 Telefon: +49 3 84 53 / 7 40 15
 Telefax: +49 3 84 53 / 7 40 15

GfBB prüftechnik GmbH & Co. KG

An der Lache 27
99086 Erfurt

Prüfbericht

Biegezugfestigkeit - 2 Punkt

Nr. 17/EP_REC_Mülsen/001

Prüfung nach DIN EN 12 390-5

Sorten-Nr.: 16532401					
Mittelsdorf Recycling EP Mülsen	Probe / Laufende Nr.	1/1	1/2		
Bauvorhaben		Projekt Recyclingbaustoffe			
Bauteil		Referenzbeton Naturkies			
Tag der Herstellung		10.05.2017	10.05.2017		
Prüfalter		28	28		
Prüftag		07.06.2017	07.06.2017		
Lagerungsart		Trockenlagerung	Trockenlagerung		
Stützweite	[mm]	450	450		
Masse	[kg]	36,83	36,79		
Bruchlast	[kN]	31,450	31,6		
Länge	[mm]	700	700		
Breite	[mm]	150	150		
Höhe	[mm]	150	150		
Querschnitt	[cm²]	1050	1050		
Volumen	[dm³]	15,750	15,750		
Rohdichte	[kg/dm³]	2,34	2,34		
Mittel					
Biegezugfestigkeit f _{ct}	[N/mm²]	4,2	4,2		
Mittel			4,2		

 GfBB prüftechnik
GmbH & Co. KG
Hammerstecker Weg 4, 99041, Meiningen
Tel: +49 3 64 53 / 7 40 15
Fax: +49 3 64 53 / 7 40 16
Prüfstellenleiter

Datum 07.06.2017

An der Lache 27
99086 Erfurt

Prüfbericht

Biegezugfestigkeit - 2 Punkt

Nr. 17/EP_REC_Mülsen/004

Prüfung nach DIN EN 12 390-5

Sorten-Nr.: 66536499					
Mittelsdorf Recycling EP Mülsen	Probe / Laufende Nr.	4/1	4/2		
Bauvorhaben		Projekt Recyclingbaustoffe			
Bauteil		Beton mit rezyklierter GK			
Tag der Herstellung		10.05.2017	10.05.2017		
Prüfalter		28	28		
Prüftag		07.06.2017	07.06.2017		
Lagerungsart		Trockenlagerung	Trockenlagerung		
Stützweite	[mm]	450	450		
Masse	[kg]	36,03	36,21		
Bruchlast	[kN]	30,284	28,8		
Länge	[mm]	700	700		
Breite	[mm]	150	150		
Höhe	[mm]	150	150		
Querschnitt	[cm²]	1050	1050		
Volumen	[dm³]	15,750	15,750		
Rohdichte	[kg/dm³]	2,29	2,30		
Mittel					
Biegezugfestigkeit f _{ct}	[N/mm²]	4,0	3,8		
Mittel			4,0		

 GfBB prüftechnik
GmbH & Co. KG
Hammarskjölds Weg 4, 99441 Mellingen
Telefon: +49 3 64 03 17 60 15
Telefax: +49 3 64 03 17 60 16
E-Mail: info@gfbb-prueftechnik.de

Prüfstellenleiter

Datum 07.06.2017

Prüfung des Frostwiderstand nach dem CIF-Verfahren nach BAW-Merkblatt "Frostprüfung von Beton"

Abwitterung nach 28 Frost-Tauwechseln

Betonprobe: C 30/37 XF3 mit rezyklierten GK aus Laborversuch v. 10.5.2017
Sorten-Nr.: 66536599

Probenbezeichnung	CIF1	CIF2	CIF3	CIF4	CIF5
Länge l [mm]	150,1	150,2	150,2	150,0	150,2
Breite b [mm]	148,8	149,0	150,0	150,2	149,3
Prüffläche A [cm²]	223,35	223,80	225,30	225,30	224,25

Kapillares Saugen	Masse PK trocken [g]	3924,4	3683,5	3661,3	3945,7	3927,6
	Masse PK nach kapillarem Saugen [g]	3962,5	3726,0	3699,9	3975,0	3971,6
	Masse Flüssigkeit [g]	38,1	42,5	38,6	29,3	44,0

Abwitterung	Abwitterung nach 6 Frost-Tau-Wechseln					
	Einzelmasse μ_s [g]	1,02	0,76	1,46	1,01	0,89
	Gesamtmasse ΣM_n [g]	1,02	0,76	1,46	1,01	0,89
	Abwitterung nach 14 Frost-Tau-Wechseln					
	Einzelmasse μ_s [g]	1,01	0,78	1,06	0,81	0,92
	Gesamtmasse ΣM_n [g]	2,03	1,54	2,52	1,82	1,81
	Abwitterung nach 19 Frost-Tau-Wechseln					
	Einzelmasse μ_s [g]	0,49	0,32	0,38	0,55	0,70
	Gesamtmasse ΣM_n [g]	2,52	1,86	2,90	2,37	2,51
	Abwitterung nach 28 Frost-Tau-Wechseln					
	Einzelmasse μ_s [g]	1,63	1,17	1,99	2,17	2,56
	Gesamtmasse ΣM_n [g]	4,15	3,03	4,89	4,54	5,07
	Gesamtmasse Einzelwert m_n [g/m²]	186	135	217	202	226
	Mittelwert m_{nm} [g/m²]	193				
	Standardabweichung S [g/m²]	36				
	95%-Quantil $x_{95\%}$ [g/m²]	269				

Kriterium	Grenzwert Mittelwert m_{nm} [g/m²]	< 1000
	erfüllt	ja
	Grenzwert 95%-Quantil $x_{95\%}$ [g/m²]	< 1750
	erfüllt	ja

Prüfung des Frostwiderstand nach dem CIF-Verfahren nach BAW-Merkblatt "Frostprüfung von Beton"

Innere Schädigung ermittelt durch Ultraschall-Laufzeit

Betonprobe: C 30/37 XF3 mit rezyklierten GK aus Laborversuch v. 10.5.2017

Sorten-Nr.: 66536599

Probenbezeichnung	CIF1	CIF2	CIF3	CIF4	CIF5
Länge l [mm]	150,1	150,2	150,2	150,0	150,2
Breite b [mm]	148,8	149,0	150,0	150,2	149,3
Prüffläche A [cm²]	223,35	223,80	225,30	225,30	224,25

Änderung des relativen dynamischen E-Moduls	Ausgangsmessung vor Frostprüfung					
	dynamische E-Modul [%]	100	100	100	100	100
	Anderung nach 6 Frost-Tau-Wechseln					
	relative dynamische E-Modul	84,3	82,5	81,9	81,2	88,8
	Abwitterung nach 14 Frost-Tau-Wechseln					
	relative dynamische E-Modul	58,9	63,5	60,8	63,0	70,9
	Abwitterung nach 19 Frost-Tau-Wechseln					
	relative dynamische E-Modul	57,4	56,6	51,6	59,3	63,9
	Abwitterung nach 28 Frost-Tau-Wechseln					
	relative dynamische E-Modul	53,3	51,7	48,2	55,2	60,3
Mittelwert $R_{u,n}$		53,7				

Kriterium	Grenzwert Mittelwert $R_{u,n}$	> 75,0
	erfüllt	nein


**GIBB prüftechnik
GmbH & Co. KG**
 Hammerstecker Weg 4, 59441 Mellingen
 Telefon: +49 3 64 53 / 7 40 15
 Telefax: +49 3 64 53 / 7 40 15

Anlage 5 Mischungsberechnungen Wernshausen

2 Seiten

Dyckerhoff Beton GmbH & Co.KG Bereich Betontechnologie Hammerstedter Weg 99441 Mellingen Tel.: 036453-74024 Fax: 036453-74020	Beton Mischungsrechnung	Dyckerhoff Dyckerhoff Beton GmbH
--	---	--

DyTB Schmalkalden GmbH & Co.KG Werk Wernshausen An der B 19 98590 Wernshausen	Rezept-Nr. : 64236498 Sorten-Nr. : 64236498 Abruf-Nr. : REC 8_16 Betontyp : Beton nach Eigenschaften Änderungsdatum : 11:26 / 16.06.2017
--	---

Anforderungen

Projekt / Bauteil	: EAR Mittelsdorf		
Ergänzung Anwendung	: Recyclingbeton		
Anwendung / E-Klasse	: XC3		
Weitere Anforderungen	:		
Norm	: EN 206-1/DIN 1045-2		

Festigkeitsklasse	: C 20/25	fc, cube, 150 nach 28 d	= 32 N/mm²	Bewehrung	: StB
Konsistenz [Herstellung]	: F3	Ausbreitmaß [mm] nach 10 min	= 480 mm	Chloridklasse	: Cl 0.40
Konsistenz [Baustelle]	:			Expos.-Gruppe	:
Rohdichteklasse	:	Zementgehalt	[Min] = 260 kg/m³	Überw.-Klasse	:
Größtkorn [D, max]	: 16	Luftporengehalt	[Min] = Vol.-%	Feuchtekasse	: WF
Sieblinien-Nr.	: THÜ-WE-REC-AB3	w/z	[Max] = 0,65		

Zusammensetzung Beton

Bezeichnung	d/D	V.-%	M.-%	Herkunft	V [dm³]	[kg/dm³]	M [kg]	F [%]	F [kg]	M [kg]
Sand	0/2	40,7	42,0	Fambach	283,4	2,60	737			737
Kies	2/8	22,5	23,0	Fambach	156,4	2,58	403			403
Recycling	8/16	36,8	35,0	Mittelsdorf EAR	255,8	2,40	614			614
CEM II/A-LL 32,5 R				Dy Deuna 200	100,0	3,05	305			305
Frischwasser					188,0	1,00	188			188
ViscoCrete 1068 (BV/FM)			0,50	Sika	1,41	1,08	1,53			1,53
Luftporen					15,0					
				Gesamt	1000		2249			2249
				w/z-Wasser	188,0		188			
				Saugwasseranteil	0,00		0,00			

Kennwerte (Rezeptur mit trockenen Gesteinskörnungen)

Komponenten	kg	dm³	kg	dm³	kg	dm³	kg	dm³	
Gesteinskörnung	1754	696	677	261	13	5	13	5	(w/z) eq : 0,62
Zement	305	100	305	100	305	100	305	100	(w/z) : 0,62
Wasser	188	188	188	188	188	188			Luftporen [Vol.-%] : 1,5
Zusatzstoff (trocken)									Flugasche k(f) - Wert : 0,4
Zusatzmittel	2	1	2	1	2	1			Festigkeitsentwicklung : mittel (r = 0.30)
Luftporen		15		15		15			Zementfestigkeit [N/mm²] : 50,0
Summe	2249	1000	1172	565	508	309	318	105	Betondruckfestigkeit [N/mm²] :

Die Ausgangsstoffe können entsprechend ihrer Verfügbarkeit ggf. variieren.	18.09.2017 Datum
--	--

Dyckerhoff Beton GmbH & Co.KG Bereich Betontechnologie Hammerstedter Weg 99441 Mellingen Tel.: 036453-74024 Fax: 036453-74020	Beton Mischungsberechnung	Dyckerhoff Dyckerhoff Beton GmbH								
DyTB Schmalkalden GmbH & Co.KG Werk Wernshausen An der B 19 98590 Wernshausen	Rezept-Nr. : 66536498 Sorten-Nr. : 66536498 Abruf-Nr. : REC 8_16 Betontyp : Beton nach Eigenschaften Änderungsdatum : 19:21 / 18.09.2017									
Anforderungen										
Projekt / Bauteil : EAR Mittelsdorf Ergänzung Anwendung : Recyclingbeton; WU-Beton nach DafStb-Richtlinie, Bkl.1 Anwendung / E-Klasse : XC4, XF3, XA1 Weitere Anforderungen : Norm : EN 206-1/DIN 1045-2										
Festigkeitsklasse : C 30/37 Konsistenz [Herstellung] : F3 Konsistenz [Baustelle] : Rohdichteklasse : Größtkorn [D, max] : 16 Sieblinien-Nr. : THÜ-WE-REC-AB3	fc, cube, 150 nach 28 d = 45 N/mm² Ausbreitmaß [mm] nach 10 min = 480 mm Zementgehalt [Min] = 320 kg/m³ Luftporengehalt [Min] = Vol.-% w/z [Max] = 0,50	Bewehrung : StB Chloridklasse : Cl 0.40 Expos.-Gruppe : Überw.-Klasse : Feuchtekategorie : WF								
Zusammensetzung Beton							trocken	feucht		
Bezeichnung	d/D	V.-%	M.-%	Herkunft	V [dm³]	[kg/dm³]	M [kg]	F [%]	F [kg]	M [kg]
Sand	0/2	40,7	42,0	Fambach	275,2	2,60	715			715
Kies	2/8	22,5	23,0	Fambach	151,9	2,58	392			392
Recycling	8/16	36,8	35,0	Mittelsdorf EAR	248,4	2,40	596			596
CEM II/A-LL 32,5 R				Dy Deuna 200	121,3	3,05	370			370
Frischwasser					186,0	1,00	186			186
ViscoCrete 1068 (BV/FM)			0,65	Sika	2,23	1,08	2,41			2,41
Luftporen					15,0					
				Gesamt	1000		2262			2262
				w/z-Wasser	186,0		186			
				Saugwasseranteil	0,00		0,00			
Kennwerte (Rezeptur mit trockenen Gesteinskörnungen)										
	Stoffraum		Mörtel <2mm		Leim <0,125mm		Mehlkorn <0,125mm		(w/z) eq : 0,50	
	kg	dm³	kg	dm³	kg	dm³	kg	dm³	(w/z) : 0,50	
Komponenten	kg	dm³	kg	dm³	kg	dm³	kg	dm³	Luftporen [Vol.-%] : 1,5	
Gesteinskörnung	1703	675	658	253	13	5	13	5	Flugasche k(f) - Wert : 0,4	
Zement	370	121	370	121	370	121	370	121	Festigkeitsentwicklung : mittel (r = 0.30)	
Wasser	186	186	186	186	186	186			Zementfestigkeit [N/mm²] : 50,0	
Zusatzstoff (trocken)									Betondruckfestigkeit [N/mm²] :	
Zusatzmittel	2	2	2	2	2	2				
Luftporen		15		15		15				
Summe	2261	1000	1216	577	571	329	383	126		
Die Ausgangsstoffe können entsprechend ihrer Verfügbarkeit ggf. variieren.										
					18.09.2017		Datum			
										

Anlage 6 Ergebnisübersicht Wernshausen
8 Seiten

Eignungsprüfung Werk Wernshausen, 22.08.2017

Voruntersuchung Gesteinskörnung:	0/2 Sand Fanbach	2/8 Kies Fanbach	8/16 Kies Fanbach	2/8 Rec Breitungen	8/16 Rec Breitungen
Oberflächenfeuchte in %	3,5%	1,8%	n.b.	n.b.	2,0%
Gesamtfeuchte in %	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Wasseraufnahme aus PÜZ STB/WDI übernommen	1,9%	2,8%	2,5%	6,7%	6,4%

Versuch-Nr.		V1		V2	
Beschreibung		Rec-Beton C20/25		Rec-Beton C 30/37	
Rezeptur-Nr.		64236499		66536499	
Rezepturvorgabe		in M-%	in kg/m ³	in M-%	in kg/m ³
CEM II/A-LL 32,5 R			305		365
Sand 0/2 Fambach		42%	737	42%	712
Kies 2/8 Fambach		23%	403	23%	390
Rec 8/16 Breitungen		35%	614	35%	593
Wasser			188		191
BV Sika VC 1068		0,50%	1,53	0,57%	2,08
w/z			0,62		0,52

Frischbeton		V1	V2
Korrektur Wasserzugabe	pro m ³	-20 l/m ³	-20 l/m ³
A 10	in mm	510	490
A 45	in mm	480	450
T Beton	in °C	20	24
Luftgehalt	%	1,3	1,6
Rohdichte LP-Topf	in kg/dm ³	2,29	2,30
Rohdichte Würfel	in kg/dm ³	2,31	2,32
Wassergehalt absolut	in l/m ³	240	244
Kernfeuchte	in l/m ³	64	64
Wassergehalt w/z	in l/m ³	176	180
w/z-Wert		0,58	0,49

Festbeton		V1	V2
Druckfestigkeit in N/mm ²	2d	14,2	21,5
	7d	28,1	38,0
	28d	33,7	45,3
Druckfestigkeit an Bohrkernen in N/mm ²	28d	28,7	38,5
E-Modul in N/mm ²	28d		24600

Mellingen, den 19.09.2017


**GfBB prüftechnik
GmbH & Co. KG**
 Hammerstecker Weg 4, 99441 Mellingen
 Telefon: +49 3 64 53 / 7 40 15
 Telefax: +49 3 64 53 / 7 40 79

Betonprüfungen - Druckfestigkeit nach DIN EN 12390-3

TB-Lieferwerk

TB-Werk Wernshausen - Eignungsprüfung

Firma, Niederlassung

Mittelsdorf Recycling

Baustelle, Feldfabrik, Werk

BMU-Projekt Rezyklierte Gesteinskörnung

Blatt 1

Probenahme	Probekörper-Nummer		17_REC_W_1_1	17_REC_W_1_2	17_REC_W_1_3	17_REC_W_1_4	17_REC_W_1_5	17_REC_W_1_6
	Druckfestigkeitsklasse		C 20/25	C 20/25	C 20/25	C 20/25	C 20/25	C 20/25
	Beton-/Abruf-Nummer		64236498	64236498	64236498	64236498	64236498	64236498
	Lieferschein-Nummer		130871	130871	130871	130871	130871	130871
	Herstelldatum/Uhrzeit		22.08.17	22.08.17	22.08.17	22.08.17	22.08.17	22.08.17
	Bauteil/Entnahmestelle		Werksbeton rez. GK	Werksbeton rez. GK	Werksbeton rez. GK	Werksbeton rez. GK	Werksbeton rez. GK	Werksbeton rez. GK
	Prüfalter (Soll)		Tage	2	2	7	7	28
Frischbeton	Luft-/Frischbetontemperatur		°C	23°C/21°C	23°C/21°C	23°C/21°C	23°C/21°C	23°C/21°C
	Ausbreitmaß	10 min	mm	510	510	510	510	510
	Ausbreitmaß	45 min	mm	480	480	480	480	480
	Verdichtungsgerät/-dauer		s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	RT 30s
	Masse	Form + Beton	kg					
		Form	kg					
		Beton <i>m</i>	kg	7,78	7,79	7,78	7,78	7,77
	Volumen (Form) <i>V</i>		dm³	3,375	3,375	3,375	3,375	3,375
	Rohdichte <i>P = m/V</i>		kg/dm³	2,31	2,31	2,30	2,31	2,30
	Luftgehalt (LP-Topf)		Vol.-%	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
	Wassergehalt Darre		kg/m³	Wges=250 - KF (64) = 184 --> w/z = 0,60				
	Lagerung (Form)		Tage/ °C	1	1	1	1	1
	Lagerung (Wasser)		Tage/ °C					
	Unterschrift (Baustelle)							
Feststellungen in der ständigen Betonprüfstelle								
Festbeton	Einlieferungsdatum		-	23.08.2017	23.08.2017	23.08.2017	23.08.2017	23.08.2017
	Lagerung (Wasser)		Tage/ °C	1	1	6	6	6
	Lagerung (Luft)		Tage/ °C					21
	Prüfdatum		-	24.08.2017	24.08.2017	29.08.2017	29.08.2017	19.09.2017
	Prüfalter (Ist)		Tage	2	2	7	7	28
	Ebenflächigkeit		-	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.
	Abmessungen	<i>a/b</i>	mm	150/150	150/150	150/150	150/150	150/150
		<i>h</i>	mm	150	150	150	150	150
	Masse (Beton) <i>m_b</i>		kg	7,77	7,77	7,77	7,77	7,74
	Volumen (Beton) <i>V_b</i>		dm³	3,375	3,375	3,375	3,375	3,375
	Rohdichte <i>P = m_b/V_b</i>		kg/dm³	2,30	2,30	2,30	2,30	2,29
	Bruchlast <i>F_u</i>		MN, kN ¹⁾	322	315	644	621	822
	Druckfestigkeit <i>f_{c,cube} = 0,92 * f_{c,dry}</i> ²⁾		N/mm²	14,3	14,0	28,6	27,6	33,6
	Mittelwert <i>f_{cm}</i>		N/mm²	14,2		28,1		33,7

¹⁾ Nichtzutreffendes streichen²⁾ $f_{c, dry} = F/A_c$

Bemerkungen:

Mellingen, den

19.09.2017



GfBB prüftechnik
GmbH & Co. KG
Hammerstedter Weg 4, 59441 Mellingen
Telefon: +49 3 64 53 / 7 40 15
Telefax: +49 3 64 53 79 36 79

Betonprüfungen - Druckfestigkeit nach DIN EN 12390-3

TB-Lieferwerk

TB-Werk Wernshausen - Eignungsprüfung

Firma, Niederlassung

Mittelsdorf Recycling

Baustelle, Feldfabrik, Werk

BMU-Projekt Rezyklierte Gesteinskörnung

Blatt 2

Probenahme	Probekörper-Nummer		17_REC_W_2_1	17_REC_W_2_2	17_REC_W_2_3	17_REC_W_2_4	17_REC_W_2_5	17_REC_W_2_6
	Druckfestigkeitsklasse		C 30/37	C 30/37	C 30/37	C 30/37	C 30/37	C 30/37
	Beton-/Abruf-Nummer		66536498	66536498	66536498	66536498	66536498	66536498
	Lieferschein-Nummer		130878	130878	130878	130878	130878	130878
	Herstelldatum/Uhrzeit		22.08.17	22.08.17	22.08.17	22.08.17	22.08.17	22.08.17
	Bauteil/Entnahmestelle		Werksbeton rez. GK	Werksbeton rez. GK	Werksbeton rez. GK	Werksbeton rez. GK	Werksbeton rez. GK	Werksbeton rez. GK
	Prüfalter (Soll)		Tage	2	2	7	7	28
Frischbeton	Luft-/Frischbetontemperatur		°C	24°C/22°C	24°C/22°C	24°C/22°C	24°C/22°C	24°C/22°C
	Ausbreitmaß	10 min	mm	490	490	490	490	490
	Ausbreitmaß	45 min	mm	450	450	450	450	450
	Verdichtungsgerät/-dauer		s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	RT 30s	RT 30s
	Masse	Form + Beton	kg					
		Form	kg					
		Beton <i>m</i>	kg	7,83	7,85	7,83	7,84	7,85
	Volumen (Form) <i>V</i>		dm³	3,375	3,375	3,375	3,375	3,375
	Rohdichte <i>P = m/V</i>		kg/dm³	2,32	2,33	2,32	2,32	2,33
	Luftgehalt (LP-Topf)		Vol.-%	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
	Wassergehalt Darre		kg/m³	Wges=244 - KF (64) = 180 --> w/z = 0,49				
	Lagerung (Form)		Tage/ °C	1	1	1	1	1
	Lagerung (Wasser)		Tage/ °C					
Unterschrift (Baustelle)								
Feststellungen in der ständigen Betonprüfstelle								
Festbeton	Einlieferungsdatum		-	23.08.2017	23.08.2017	23.08.2017	23.08.2017	23.08.2017
	Lagerung (Wasser)		Tage/ °C	1	1	6	6	6
	Lagerung (Luft)		Tage/ °C					21
	Prüfdatum		-	24.08.2017	24.08.2017	29.08.2017	29.08.2017	19.09.2017
	Prüfalter (Ist)		Tage	2	2	7	7	28
	Ebenflächigkeit		-	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.
	Abmessungen	<i>a/b</i>	mm	150/150	150/150	150/150	150/150	150/150
		<i>h</i>	mm	150	150	150	150	150
	Masse (Beton) <i>m_b</i>		kg	7,82	7,83	7,81	7,82	7,84
	Volumen (Beton) <i>V_b</i>		dm³	3,375	3,375	3,375	3,375	3,375
	Rohdichte <i>P = m_b/V_b</i>		kg/dm³	2,32	2,32	2,31	2,32	2,32
	Bruchlast <i>F_u</i>		MN, kN ¹⁾	497	471	866	842	1113
	Druckfestigkeit <i>f_{c,cube} = 0,92 * f_{c,dry}</i> ²⁾		N/mm²	22,1	20,9	38,5	37,4	45,5
Mittelwert <i>f_{cm}</i>		N/mm²	21,5		38,0		45,3	

¹⁾ Nichtzutreffendes streichen²⁾ $f_{c, dry} = F/A_c$

Bemerkungen:

Mellingen, den

19.09.2017



GfBB prüftechnik
GmbH & Co. KG
Hammerstecker Weg 4, 99441 Mellingen
Telefon: +49 3 64 53 / 7 40 15
Telefax: +49 3 64 53 / 7 40 16

Gfbb prüftechnik GmbH & Co. KG
 Außenstelle Zwickau
 Lippoldsrh 8
 98132 Mülsen St. Jacob

Dyckerhoff Transportbeton Thüringen GmbH & Co. KG
 An der Lache 27
 99086 Erfurt

PRÜFUNGSZEUGNIS

Nr.: 17_EP_REC_Werk_02_E-Mod

Allgemeine Angaben

Bezeichnung (Auftrag):	Prüfung des Statischen E- Moduls nach 28 Tagen
Bezeichnung (Beton):	C30/37 Werk Wernshausen
Baustelle:	BMU-Projekt Rezyklierte Gesteinskörnung
Bauteil:	Betonplatte i. Z. EP im Werk

Angaben zur Probe

Beton –Nr.	Festigkeitsklasse	Prüfalter (d)	Datum	
			Herstellung	Prüfung
66536499	C 30/37 rez.GK	28	22.08.2017	19.09.17

Prüfung der Druckfestigkeit (nach DIN EN 12390-3) - Würfeldruckfestigkeit

Proben- Nr.	Abmessungen			Gewicht	Dichte	Bruchlast	Druckfestigkeit	UF	Druckfestigkeit
	L	B	H						
	mm	mm	mm	kg	kg/m³	kN	N/mm²		N/mm²
W 2/1	151	151	148	7,915	2338	1022,3	44,7	1,00	44,7
W 2/2	151	151	148	7,853	2316	998,1	43,7	1,00	43,7
W 2/3	151	151	148	7,808	2306	1006,0	44,1	1,00	44,1
Mittelwert					2320				44,0

Prüfung der Druckfestigkeit (nach DIN EN 12390-3) – Zylinderdruckfestigkeit

Proben-Nr.	Abmessungen			Gewicht	Dichte	Bruchlast	Druckfestigkeit	UF	Druckfestigkeit
	D		H						
	mm	mm	mm	kg	kg/m ³	kN	N/mm ²		N/mm ²
E 2/1	150		291	11,946	2333	649,6	37,0	1,00	37,0
E 2/2	150		290	12,053	2356	601,0	34,1	1,00	34,1
E 2/3	150		292	12,087	2343	574,3	32,5	1,00	32,5
Mittelwert					2340				34,5

Prüfung des E-Moduls (nach DIN 1048-5)

Proben-Nr.	Prüfspannung		Dehnung		Elastizitätsmodul	
	σ_0	σ_u	ϵ_0	ϵ_u	E_b	
	N/mm ²		mm/m		N/mm ²	
E 2/1	14,7	0,49	0,0565	0,0003	25200	24600
E 2/2	14,7	0,50	0,0526	...	25800	
E 2/3	14,7	0,50	0,0598	...	23500	
Mittelwert					24813	


GfBB prüftechnik GmbH & Co. KG
 Hammerstecker Weg 4, 99441 Meiningen
 Telefon: +49 3 64 63 / 7 40 15
 Telefax: +49 3 64 63 / 7 40 16

19.09.2017

GfBB prüftechnik GmbH & Co. KG

Prüfbericht**Bohrkernprüfung****Nr. 17_EP_REC_BK_01****Prüfergebnisse nach DIN EN 12 504 - 1****Angaben zum Beton**

64236499 C 20/25 REC

EP Beton mit rezyklierten GK Werk Wernshausen	Bohrkern / Laufende Nr.	1	2	3	4	5
Bauvorhaben	BMU-Projekt "Rezyklierte Gesteinskörnungen" Mittelsdorf EAR					
Prüfbereich	Versuchsfläche 1 Wernshausen					
Entnahmedatum	14.09.2017	14.09.2017	14.09.2017	14.09.2017	14.09.2017	14.09.2017
Lage der Bohrkerne im Bauteil	Mitte 1 oben	Mitte 2 oben	Mitte 2 unten	Links oben	Links unten	
visuelle Beurteilung der Bohrkerne	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	
Bewehrung (falls zutreffend) $\emptyset$	keine	keine	keine	keine	keine	
Lage	nicht zutreffend	nicht zutreffend	nicht zutreffend	nicht zutreffend	nicht zutreffend	
Vorbereitung der Prüfflächen	Schneiden+Schleifen	Schneiden+Schleifen	Schneiden+Schleifen	Schneiden+Schleifen	Schneiden+Schleifen	
Prüfalter	28	28	28	28	28	
Prüftag	19.09.2017	19.09.2017	19.09.2017	19.09.2017	19.09.2017	
Prüfflächenbeschaffenheit	trocken	trocken	trocken	trocken	trocken	
Masse [kg]	1,64	1,62	1,62	1,58	1,56	
Bruchlast [kN]	213,6	210,1	207,5	186,5	193,3	
Durchmesser $\emptyset$ [mm]	95,0	95,0	95,0	95,0	97,0	
Höhe H [mm]	105,0	103,0	102,0	103,0	103,0	
Verhältnis $\emptyset / H$	0,90	0,92	0,93	0,92	0,94	
Fläche A [cm ²]	7,085	7,085	7,085	7,085	7,386	
Volumen V [dm ³]	0,744	0,730	0,723	0,730	0,761	
Rohdichte [kg/dm ³]	2,20	2,22	2,24	2,17	2,05	
Mittel			2,18			
Standardabweichung [kg/dm ³]			0,076			
Druckfestigkeit f_{is} [N/mm ²]	30,1	29,7	29,3	26,3	26,2	
Mittelwert $f_{m(n)is}$ [N/mm ²]			28,7			
Standardabweichung [N/mm ²]			1,7			

Bewertung der charakteristischen Druckfestigkeit von Bauwerksbeton nach DIN EN 13791:2008.05

Ansatz A	$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k_2 \cdot s$	$(k_2 = 1,48)$
n > 15 BK	oder	$(s = \sigma \text{ oder mind. } 2 \text{ N/mm}^2)$
	$f_{ck,is} = f_{is,niedrigst} + 4$	

Ansatz B	$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k$	n	k
3 bis 14 BK	oder	10...14	5
	$f_{ck,is} = f_{is,niedrigst} + 4$	7...9	6
		3...6	7

→ niedrigster Wert

Die geschätzte Druckfestigkeit des Bauwerksbetons im Prüfbereich entspricht nach Tb. 1 einer Druckfestigkeitsklasse nach DIN 1045-2:

mit $f_{ck,is}$:21 N/mm²

→

C 20/25

Datum 19.09.2017



GfBB prüftechnik
GmbH & Co. KG
Prüfstellenleiter
Hofweg 4, 99441 Mellingen
Telefon: +49 3 64 53 / 7 40 15
Telefax: +49 3 64 53 / 7 40 15

Prüfbericht**Bohrkernprüfung****Nr. 17_EP_REC_BK_02****Prüfergebnisse nach DIN EN 12 504 - 1****Angaben zum Beton**

66536499 C 30/37 REC

EP Beton mit rezyklierten GK Werk Wernshausen	Bohrkern / Laufende Nr.	1	2	3	4	5
Bauvorhaben	BMU-Projekt "Rezyklierte Gesteinskörnungen" Mittelsdorf EAR					
Prüfbereich	Versuchsfläche 2 Wernshausen					
Entnahmedatum	14.09.2017	14.09.2017	14.09.2017	14.09.2017	14.09.2017	14.09.2017
Lage der Bohrkerne im Bauteil	Links oben	Links unten	Mitte oben	Mitte unten		Rechts oben
visuelle Beurteilung der Bohrkerne	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.		i.O.
Bewehrung (falls zutreffend) $\emptyset$	keine	keine	keine	keine		keine
Lage	nicht zutreffend	nicht zutreffend	nicht zutreffend	nicht zutreffend		nicht zutreffend
Vorbereitung der Prüfflächen	Schneiden+Schleifen	Schneiden+Schleifen	Schneiden+Schleifen	Schneiden+Schleifen		Schneiden+Schleifen
Prüfalter	28	28	28	28		28
Prüftag	19.09.2017	19.09.2017	19.09.2017	19.09.2017		19.09.2017
Prüfflächenbeschaffenheit	trocken	trocken	trocken	trocken		trocken
Masse [kg]	1,58	1,66	1,60	1,62		1,64
Bruchlast [kN]	285,3	262,2	250,4	273,9		270,6
Durchmesser $\emptyset$ [mm]	95,0	95,0	95,0	95,0		95,0
Höhe H [mm]	101,0	102,0	103,0	103,0		105,0
Verhältnis $\emptyset / H$	0,94	0,93	0,92	0,92		0,90
Fläche A [cm ²]	7,085	7,085	7,085	7,085		7,085
Volumen V [dm ³]	0,716	0,723	0,730	0,730		0,744
Rohdichte [kg/dm ³]	2,21	2,30	2,19	2,22		2,20
Mittel			2,22			
Standardabweichung [kg/dm ³]			0,042			
Druckfestigkeit f_{is} [N/mm ²]	40,3	37,0	35,3	38,7		38,2
Mittelwert $f_{m(n)is}$ [N/mm ²]			38,5			
Standardabweichung [N/mm ²]			2,1			

Bewertung der charakteristischen Druckfestigkeit von Bauwerksbeton nach DIN EN 13791:2008.05

Ansatz A	$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k_2 \cdot s$	$(k_2 = 1,48)$
n > 15 BK	oder	$(s = \sigma \text{ oder mind. } 2 \text{ N/mm}^2)$
	$f_{ck,is} = f_{is,niedrigst} + 4$	

Ansatz B	$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k$	n	k
3 bis 14 BK	oder	10...14	5
	$f_{ck,is} = f_{is,niedrigst} + 4$	7...9	6
		3...6	7

→ niedrigster Wert

Die geschätzte Druckfestigkeit des Bauwerksbetons im Prüfbereich entspricht nach Tb. 1 einer Druckfestigkeitsklasse nach DIN 1045-2:

mit $f_{ck,is}$:31 N/mm²

→

C 30/37

Datum 19.09.2017


 GfBB prüftechnik
 GmbH & Co. KG
 Hermannsacker Weg 11 • 99074 Jena
 Telefon: +49 3 64 53 / 7 40 15
 Telefax: +49 3 61 1 / 67 86 36 79

Prüfstelle: Jena

Fotodokumentation Werksversuch Wernshausen am 22.8.2017

V1 - C 20/25 Frischbeton



V1 - C 20/25 Bohrkern



V2 - C 30/37 Frischbeton



V2 - C 30/37 Bohrkern

