

R-Betone mit RC-Körnungen aus Mauerwerkbruch – Eigenschaften und Anwendungsbeispiele

H T
W
G

Hochschule Konstanz
Technik, Wirtschaft und Gestaltung

Prof. Dr. Sylvia Stürmer

Weimar, 25./26.09.2019

Inhalt

1 Anlass für das Projekt und Bedarf in Bad.-Württemberg

2 Ausgewählte Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt

3 Objektbeispiele: Übersicht

Technisches Rathaus Tübingen

Neubau Fa. Feess



1 Anlass für das Projekt und Bedarf in Bad.-Württ.

Max-Kade-Haus in Stuttgart



Südseite



Nord- und Ostseite



Hoppenlau-Friedhof, seit 1880
nicht mehr als Friedhof genutzt

Bauzeit: 1952/53
Architekten: W. Tiedje und L. H. Kresse
Art: Massivbau, ca. 43 m
Hochhaus mit 18 Stockw.
Nutzung: Studentenwohnheim
Stifter: Max Kade

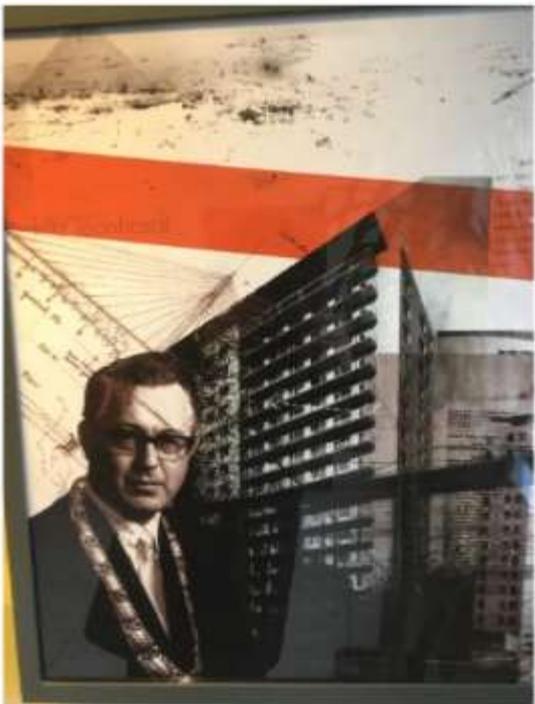
AUSSTELLUNG

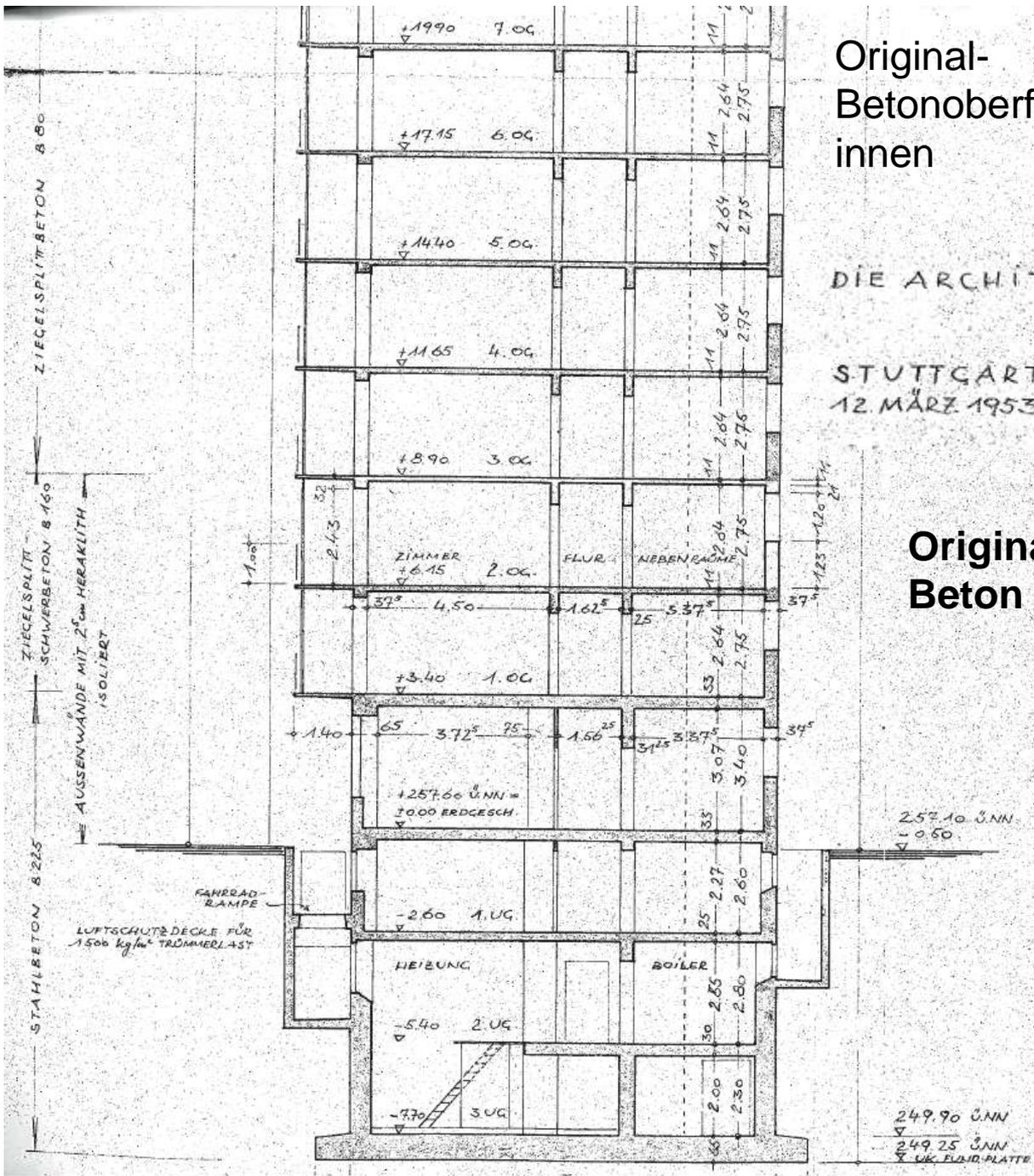
EINGANG

BAUSTOFFE
AUS
TRUMMERN

STUTTGART
JUNI 1947
AUSSTELLUNG

Fritz Leonhard





Original-
Betonoberfläche
innen



DIE ARCHITEKTEN = PROF. W. TIEDJE UND
DIPL. ING. L. H. KRESSE

STUTTGART
12. MÄRZ 1953

Original-
Beton



Untergeschoss

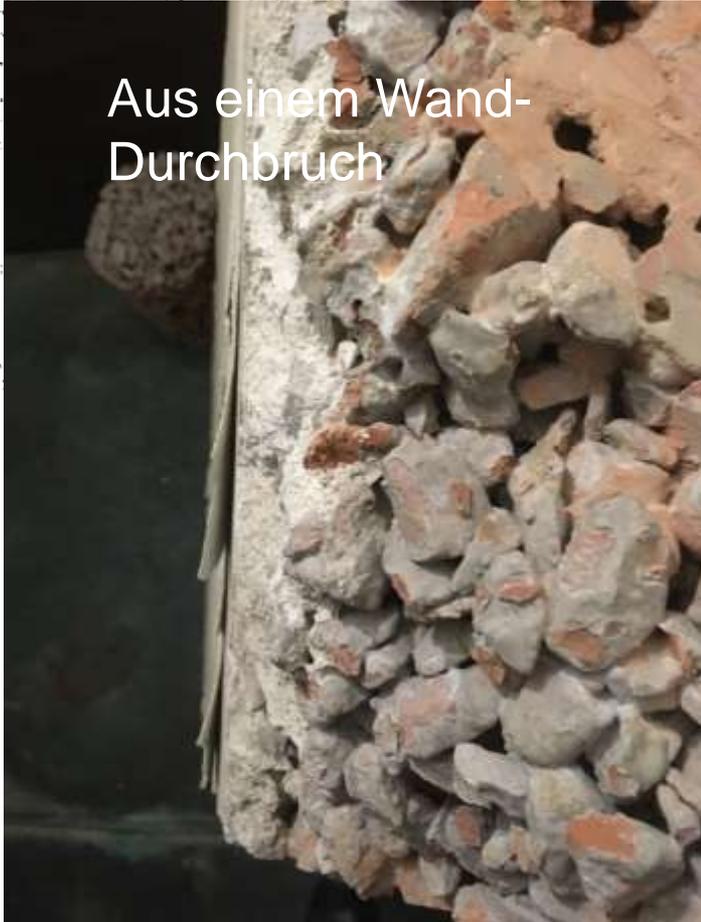
Erdgeschoss

STAHLBETON B 225

ZIEGELSPLITT -
SCHWERBETON B 160

AUSSENWÄNDE MIT 2⁵cm HERAKLITH

Aus einem Wand-
Durchbruch

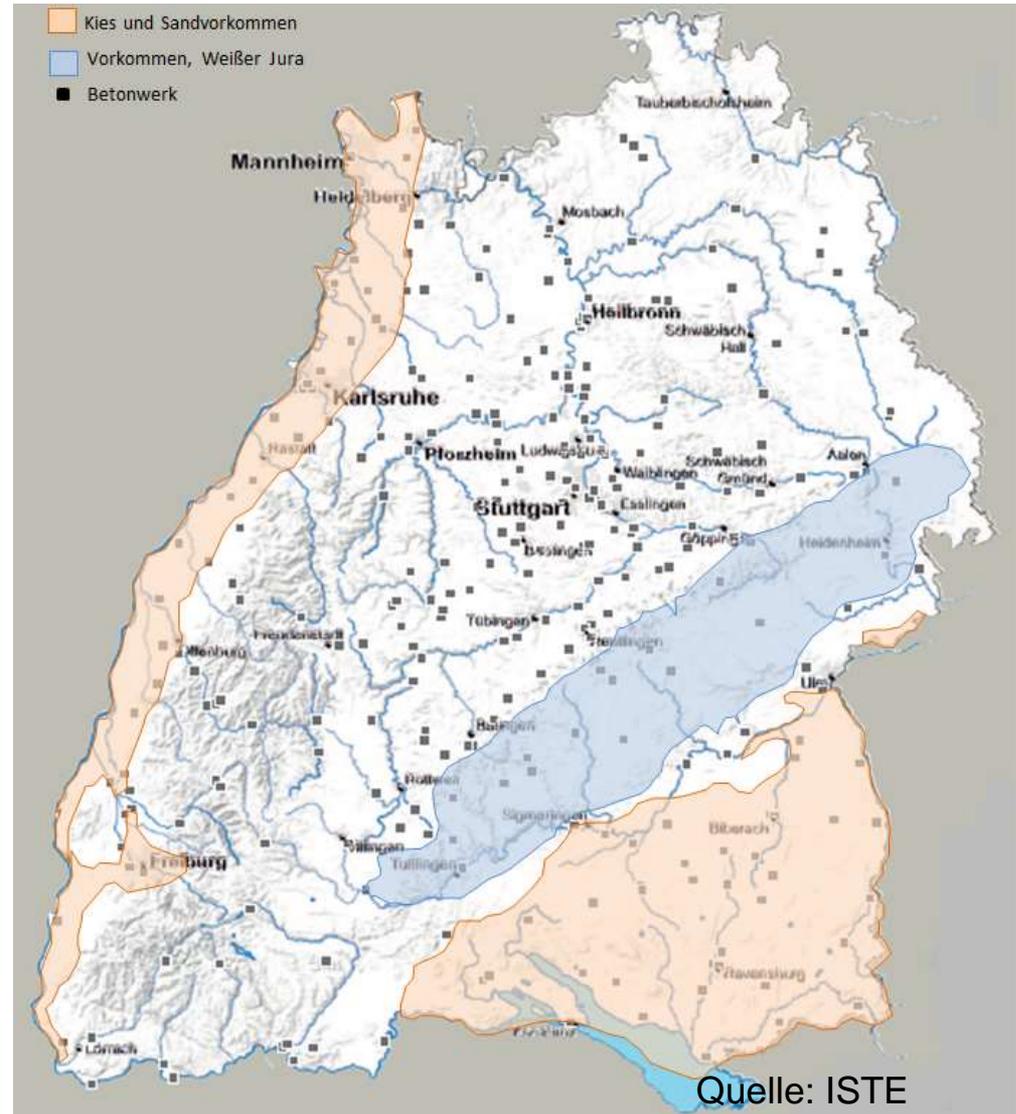


Von links nach rechts: Spachtel,
Innenputz, Trümmerschuttbeton

Bohrkern: sehr guter Verbund des
haufwerksporigen Betons - Ziegelsplitt bis ca.
24 mm GK

Für welche Regionen und für wen ist die Herstellung und Anwendung von R-Beton ökologisch und ökonomisch besonders interessant?

... für TBW und Objekte in Ballungsräumen, wo viel rückgebaut wird und die Transportkosten für natürliche Körnung hoch sind



2 Ausgewählte Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt



INSTITUT FÜR ENERGIE-
UND UMWELTFORSCHUNG
HEIDELBERG



HOCHSCHULE
KONSTANZ
TECHNIK, WIRTSCHAFT
UND GESTALTUNG



Institut für Angewandte
Bauforschung Weimar

Untersuchungen zum Einsatz rezyklierter Gesteinskörnung des Typs 2 - Ergebnisse und Anwendungsbeispiele

2016 - 2017



Chemische und betontechnische Methoden, u. a.

- Chemische und physikalische Untersuchungen an den RC-Körnungen Typ 2
- Über die Regelwerke hinausgehende Prüfungen an den R-Betonen, u. a.
 - Biegezugfestigkeit
 - Wasseraufnahme: 10 min, 24 h, 7 d
 - Erfassung des dyn. E-Moduls im Original-Zustand und nach Frostbeanspruchung
 - Sulfatverteilung im Beton (LIBS)
- Gefüge-/Verbund-Untersuchungen an den Betonen (Auflichtmikroskopie, Rasterelektronen-Mikroskopie)



Zulässige RC-Körnungen – Typ2 noch unterrepräsentiert

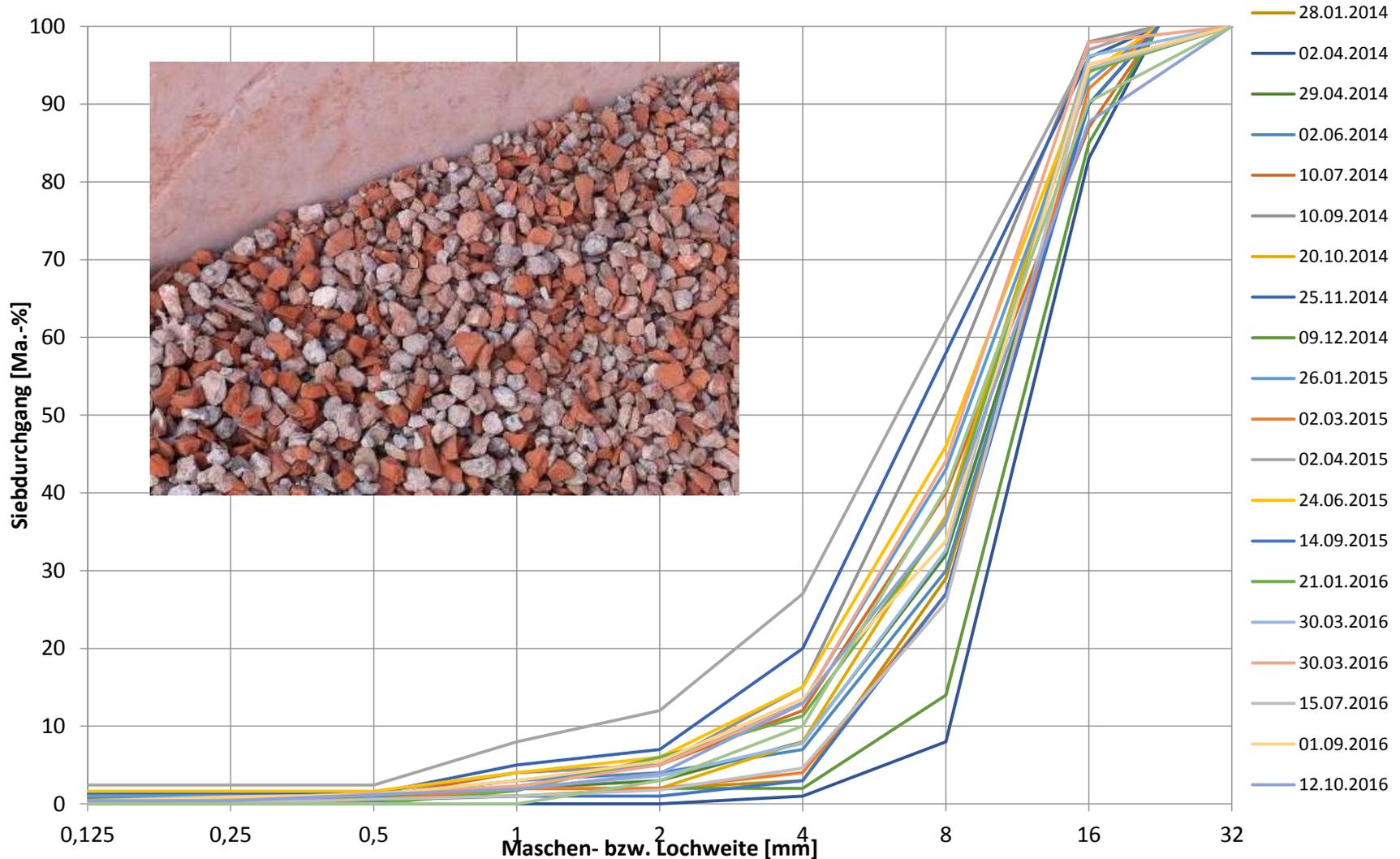
Bestandteile	Im Beton für den Hochbau Im Projekt verwendet	Zusammensetzung Massenanteil in Prozent			
		Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
Beton und Gesteinskörnungen nach DIN 4226-1		≥ 90	≥ 70	≤ 20	
Klinker, nicht porosierter Ziegel		≤ 10	≤ 30	≥ 80	≥ 80
Kalksandstein				≤ 5	
Andere mineralische Bestandteile ^a		≤ 2	≤ 3	≤ 5	≤ 20
Asphalt		≤ 1	≤ 1	≤ 1	
Fremdbestandteile ^b		≤ 0,2	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 1

^a Andere mineralische Bestandteile sind zum Beispiel: porosierter Ziegel, Leichtbeton, Porenbeton, haufwerksporiger Beton, Putz, Mörtel, poröse Schlacke, Bimsstein.

^b Fremdbestandteile sind zum Beispiel: Glas, Keramik, NE-Metallschlacke, Stückgips, Gummi, Kunststoff, Metall, Holz, Pflanzenreste, Papier, sonstige Stoffe.



RC-Körnungen (Typ 2) für R-Betone



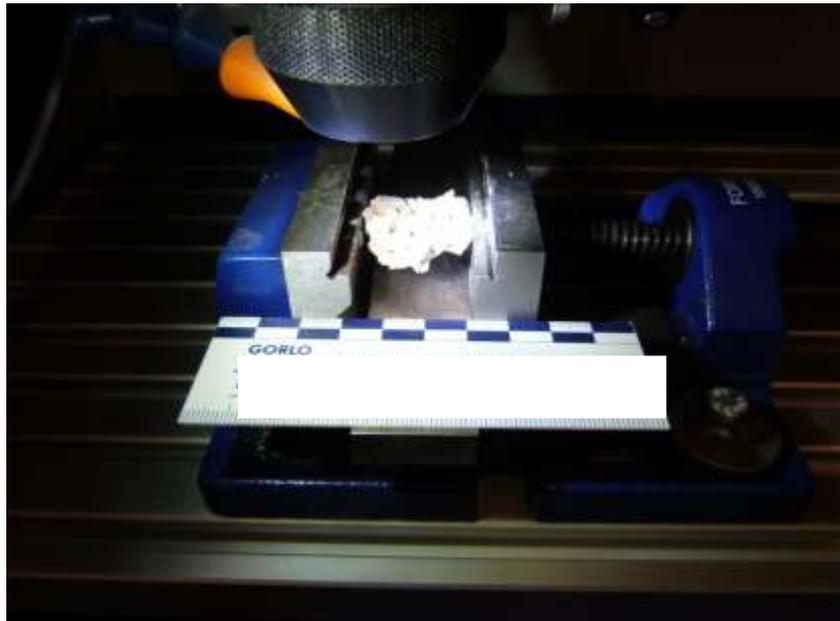
Hohe Gleichmäßigkeit der RC-Körnungen (Typ 2) der Fa. Feess – hier dargestellt anhand der Sieblinien von 20 Chargen über ca. 2,5 Jahre

Laserinduzierte Breakdown-Spektroskopie

Untersuchung der stöchiometrischen, flächigen Zusammensetzung (2D)

Erkenntnisse über den Eintrag von Chloriden oder Schwefel und
Lokalisierung der Eintragsquelle

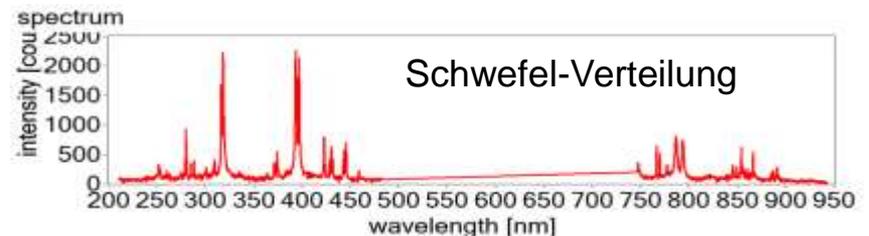
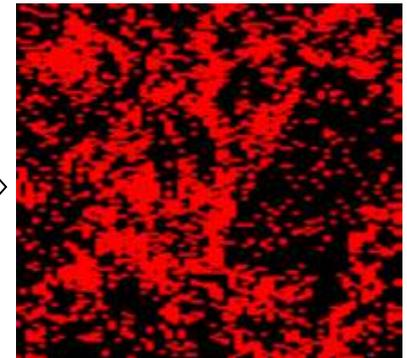
Lokalisierte Anregung durch hochenergetischen Laserpuls
(Plasmaerzeugung) und Aufnahme der Plasmaemission durch
Spektrometer



2D-Scan



Qualitative und
semiquantitative,
elementare Analyse



Normalfest

Zulässige Anteile rezyklierter GK > 2 mm, bezogen auf die gesamte GK (Vol.-%)

C8/10

C12/15

C16/20

C20/25

C25/30

C30/37

DIN EN 206-1 und DIN 1045-2
(DAfStb-Alkalirichtlinie)

DIN EN 12620

Betonkorrosion
infolge AKR

Expositionsklasse

TYP 1

TYP 2

WO (trocken)

XC1 Carbonatisierung

X0 kein Korrosionsrisiko

≤ 45

≤ 35

XC1 bis XC4
Carbonatisierung

XF1¹⁾ und XF3¹⁾

Frost ohne Taumittel

≤ 35

≤ 25

Beton mit hohem
Wassereindringwiderstand

WF¹⁾ (feucht)

XA1 Chem. Widerstand

≤ 25

≤ 25

1) Zusätzliche Anforderungen
nach Abschnitt 1, (3) und (4)

Nicht anwendbar in den
Expositionsklassen

XS1, XS2, XS3

XD1, XD2, XD3

XF2, XF4

XA2, XA3

XM1, XM2, XM3

Festbeton-Eigenschaften ausgewählter R-Betone (Typ 2)

		R-Beton 1	R-Beton 2	Vergleichs-Beton 1	Vergleichs-Beton 2
Betoneigenschaften					
Festigkeitsklasse		C25/30	C20/25	C25/30	C25/30
Druckfestigkeit f_{cm} [N/mm ²]		35,2	30,2	35	34,5
Biegezugfestigkeit [N/mm ²]		5,1	2,9	2,3	4,9
E-Modul dyn. [KN/mm ²]		28,2	25,7	30,9	29,5
WA 10 min. [%]		6,4	7,1	5,7	6,0
Rohdichte [kg/m ³]		2318	2254	2341	2346
Expositionsclassen		XC4, XF1, XA1 (WF)	XC3 (WF)	XC4, XF1, XA1 (WF)	XC4, XF1, XA1 (WF)
Rezeptur					
Natürliche Gesteinskörnung [kg/m ³]	Rundsand 0/2b	588	578	673	628
	Kies 2/8	260	319	405	263
	Splitt 8/16	-	242	731	471
	Splitt 16/22	523	-	-	471
RC-Bauwerksplitt Typ 2 [kg/m ³]	Splitt 2/16	410	547	-	-
RC-Anteil Typ 2, 2/16mm [%]		25	35	0	0
[kg/m ³] CEM II/B-M (T-LL) 42,5 N-AZ		295	285	320	310
w/z - Wert		0,59	0,66	0,58	0,58
Betonzusatzstoff SFA [kg/m ³]		35	60	-	-
Betonzusatzmittel [kg/m ³] BV/FM		2,21	1,43	1,6	1,52

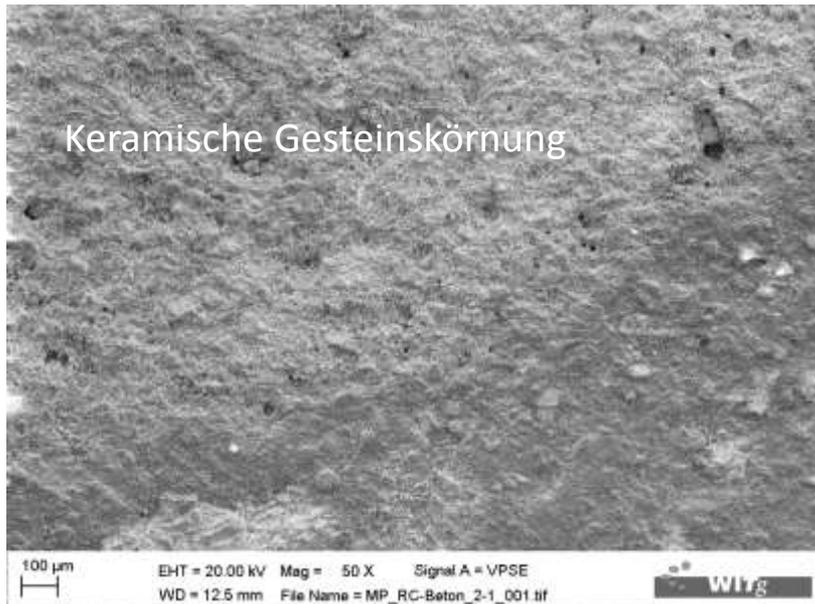
Alle Anforderungen an die betontechnischen Eigenschaften werden von den R-Betonen erfüllt.

Die Rohdichte und die E-Moduln sind etwas geringer und die Wasseraufnahme der R-Betone etwas höher.

Licht- und rasterelektronenmikroskopische Gefügeuntersuchungen

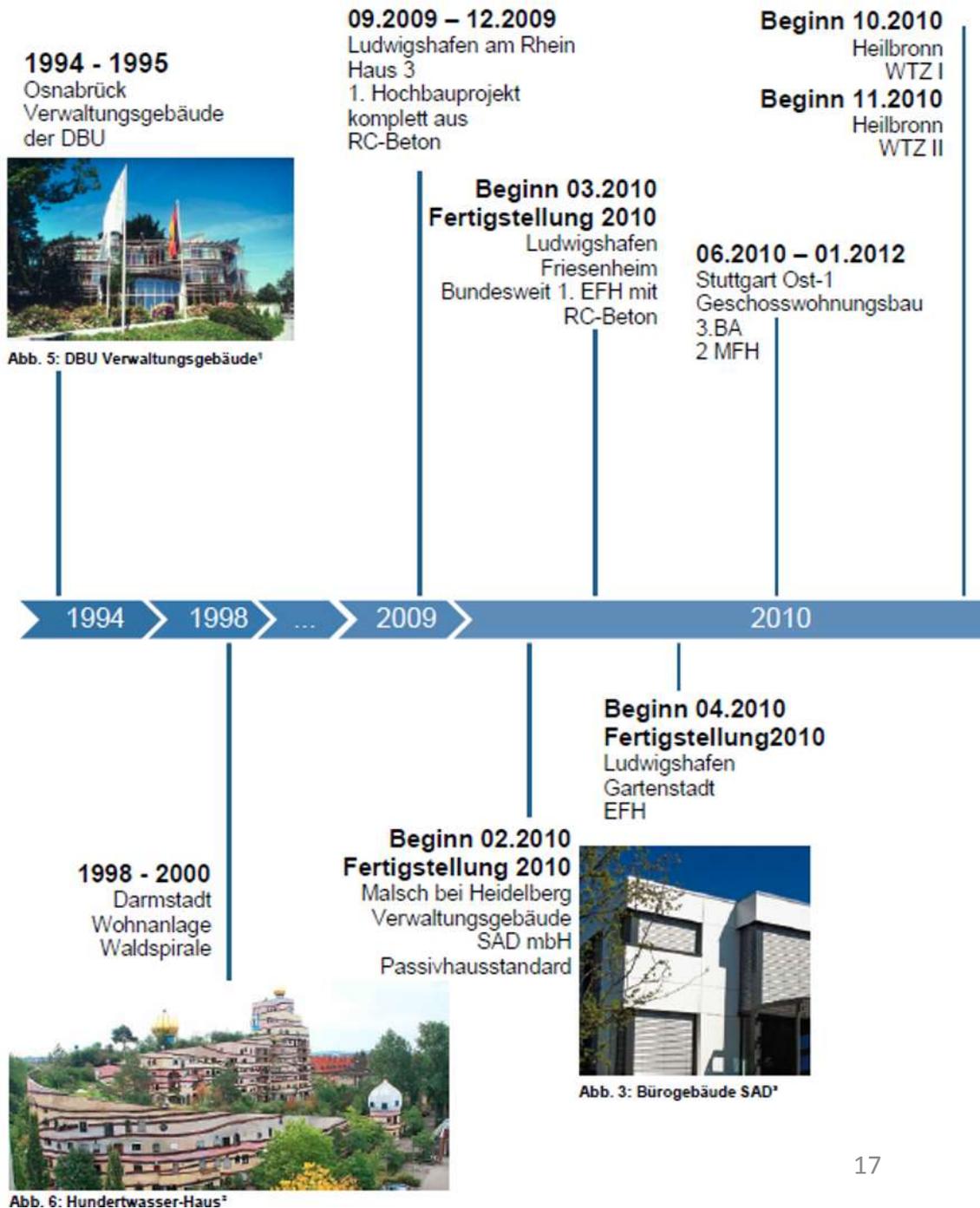


REM-Untersuchungen an der Phasengrenze Zementstein/ Gesteinskörnung



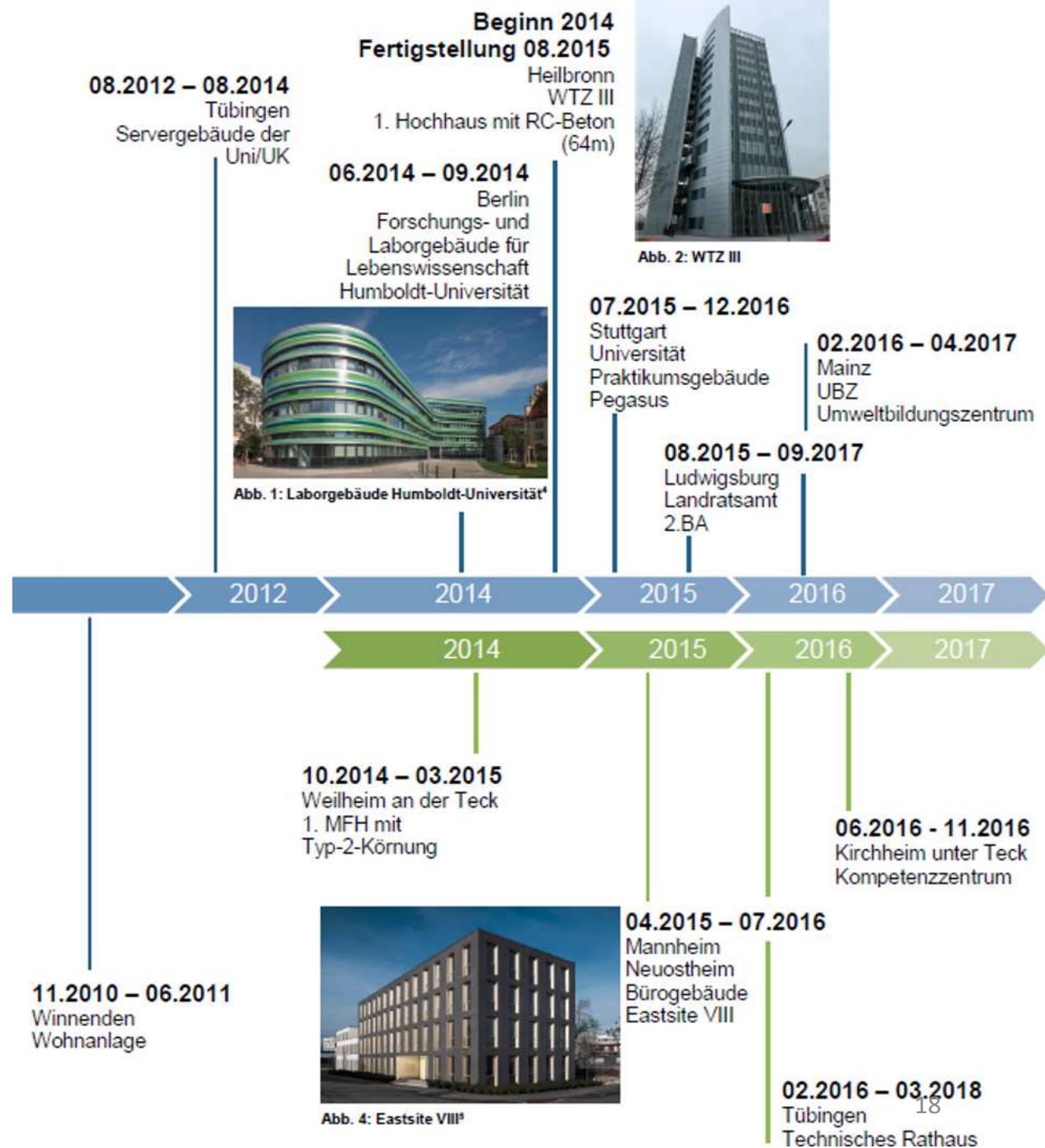
3 Objektbeispiele

- Blauer Zeitstrahl:
Bauwerke, welche mit RC-Körnung des Typs 1 hergestellt wurden
- Ab 1994 nur Verwendung von Betonbruch als RC-Körnung



Objektbeispiele

- Grüner Zeitstrahl:
Bauwerke, welche mit RC-Körnung des Typs 2 hergestellt wurden
- Seit 2014 auch Verwendung von Mauerwerksbruch als RC-Körnung





Neubau Technisches Rathaus in Tübingen

Bestandsbau aus den 50er Jahren

straße

Ammer

Ammer

Ammer

Brunnenstraße

Brunnenstraße

Brunnenstraße



Betonstütze aus den 50er Jahren
mit Ziegelsplitt



Mikroskopaufnahme eines Details des Mauersteins



Voll funktionsfähige historische Betone und Betonsteine
mit RC-Körnung aus Ziegelsplitt





Neubauten auf dem Gelände der Fa. Feess mit R-Beton



Rechts: Innenwände und Deckenplatte aus R-Beton

Verbindungsbau zum bestehenden Gebäude - hier ist ein Kompetenzzentrum geplant





Detail Flügelglättung von RC-Beton

Bodenplatte zwischen Wand 8-9
Flügelgeglättet (2016)



Umweltminister zeichnet zwei Holcim Betonwerke aus **01/2018**

Stuttgart und Kirchheim Beispielbetriebe für Ressourceneffizienz

Werk Kirchheim / Teck:

2018: 46% R-Beton

2019: 50% R-Beton

Werk Stuttgart - Hafen:

2018: 48% R-Beton

2019: 59% R-Beton

„Wir produzieren sämtliche "Normalbetone,, welche normativ als R-Beton zugelassen sind, standardmäßig als R-Beton“. Herr Aichele, Holcim

Die Steigerungen sind weniger durch Kundenwunsch zu begründen, sondern wie viel "Normalbeton" bis Festigkeitsklasse C 25/30 nachgefragt wird.

Aktuell werden weitere Holcim-Betonwerke geprüft, um diese ebenfalls mit RC-Gesteinskörnung zu bestücken.



Zertifiziert und fremdüberwacht durch
BÜV-ZERT Baden-Württemberg e.V. Ostfildern
 Das Produkt ist zertifiziert nach der jeweils angegebenen Norm.
 Produkte ohne Normangabe sind nicht zertifiziert.



Holcim Kies & Beton GmbH
 Werk Kirchheim / Teck / D458
 Otto-Hahn-Straße 12 - 14
 73230 / Kirchheim / Teck
 Lieferschein Nr.:

Teil.: 07021-94 21 21
 Fax.: 07021-94 21 39

Hinweis auf Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnung nach DAfStb-Richtlinie auf dem Beton-Lieferschein

Menge:	Produkt / Anforderungen:	Sorte Nr.:	Artikel Nr.:
7,50 m ³	Normalbeton nach Eigenschaften DIN EN 205-1 / DIN 1045-2 <u>Beton mit rezyklierten Gesteinskörnung DA</u> Druckfestigkeitsklasse: C25/30 Expositionsklasse: XC4 XF1 XR1 (WF) Konsistenz: F3 Dmax: 22 mm Festigkeitsentwicklung: mittel Klasse des Chloridgehalt: C1 0,20 Prüfmalter: 2B d <u>Überwachungskategorie: II</u>	DR35	16024848

Stand der Lieferung:		428040822	
Bestell:		Datum:	28.06.2017
Geliefert:	13,25 m ³	Lieferschein-Art:	CIP / Lieferung
Rest:	7,50 m ³	Sparte:	40 / RMX Concrete
Inhaltsstoffe:	5,75 m ³		
Zement:	CEM II/B-M (T-LL) 42,5 N-A2 (DHOLCIM DOT)		
Zusatzmittel:	Fließmittel	MC BAUCHEN	
Zusatzmittel:	Betonverflüssiger	MC BAUCHEN	

Mehrleistungen:



Gefahr
 BEI BERÜHRUNG MIT DEN AUGEN:
 BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT:

Beton, Mörtel, Estrich
 Verursacht Hautreizungen und schwere Augenschäden. Schutzkleidung / Schutzkleidung / Augenschutz / Gesichtsschutz tragen. Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen. Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen. Eye flush vorläufige Kontaktstellen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen. Ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe herbeizulassen. Mit viel Wasser und Seife waschen. Bei Hautreizung oder -schädigung ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe herbeizulassen. Kontaminierte Kleidung ausziehen und vor erneutem Tragen waschen.

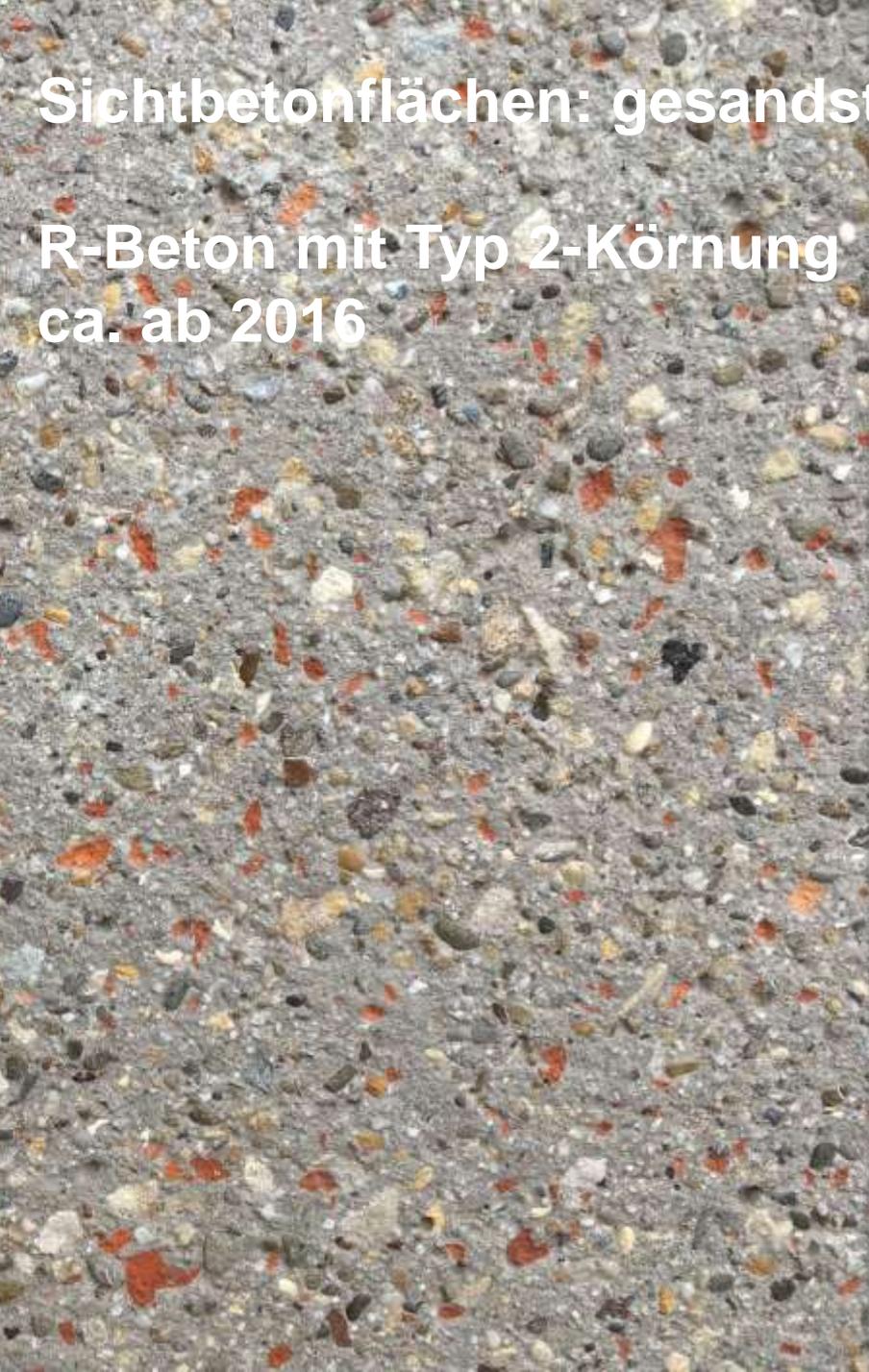
Sicherheitsdatenblätter liegen in den Werken zur Mitnahme aus bzw. zum Download unter: www.holcim.de/ued

Planmäßige nachträgliche Wasserzugabe: Gesamtwassermenge: Liter max. / zugegebene Wassermenge: / Liter/m ³ Nachträgliche Zusatzmitteldosierung: Zusatzmitteltyp: max. / zugegebene Menge: / Liter/m ³ Zugabezeit: Uhr Konsistenz vor / nach FM-Zugabe: / Betonmenge im Fahrzeug: ca. m ³ Verzögerungszeit: ca. Sid. Name / Unterschrift Verantwortlicher: 00:00	Produktbeigabe auf Verlangen des Kunden (Keine Gewährleistung des Lieferwerks) Produkt: kg/m ³ Nachträgliche Produktveränderungen durch den Kunden (z.B. zusätzliches Betonzusätzen oder Zugabewasser) entfallen uns von jeglicher Gewährleistung. Auf dem vorliegenden Vertrag finden ausschließlich die Allgemeinen Geschäftsbedingungen (AGB) der Holcim-Kies und Beton GmbH Anwendung. Das Produkt wurde ordnungsgemäß geliebert. Die Zellen „Ankunft Baustelle“ und „Ende Entladung“ sind richtig eingetragen und werden für die Standzeitermittlung verwendet. Restwasser nach DIN EN 1068 überwacht. Name / Unterschrift Werksbeauftragter: Andreas Traub	Fahrzeug Nr.: Kennzeichen: ES-SD646 Name / Unterschrift Fahrer: ES-SD646 Baustellenzzeit: 09:30  Anwendung des Betons hat den geltenden Regelungen zu entsprechen! Beton ist grundsätzlich gemäß DIN EN 12670 / DIN 1045-3 nachzubehandeln! Name / Unterschrift des Abnehmers:	Beladen im Werk: Uhr Ankunft Baustelle: 09:03 9:30 Uhr Beginn Entladung: 9:30 Uhr Ende Entladung: 10:15 Uhr Mehrentladezeit: Min Rückbeton (Entsorgung): m ³
--	---	---	---

Sichtbetonflächen: gesandstrahlt bzw. steinmetzm. bearbeitet

R-Beton mit Typ 2-Körnung
ca. ab 2016

Trümmerschutt-Beton
50er Jahre des 20. Jh.



Zusammenfassung

R-Betone sind geregelte Normalbetone. Alle gemäß Norm geforderten Eigenschaften werden von den R-Betonen in gleicher Weise erreicht wie von konventionellen Betonen gleicher Betongüte.

Im Hochbau gibt es zahlreiche Bauteile, wo diese R-Betone eingesetzt werden können.

Bei der Verarbeitung sind die R-Betone mit Typ 1 und Typ 2-Körnung (nach Rezeptur-Anpassung im TBW) nicht von herkömmlichen Betonen zu unterscheiden.

Rein äußerlich kann man den R-Beton im eingebauten Zustand nicht von Beton mit ausschließlich natürlichen Gesteinskörnungen unterscheiden.

Für den Tragwerksplaner sind die etwas höheren Schwindwerte und geringeren E-Moduln zu beachten.

Für Fragen und Anregungen
zum Thema R-Beton stehe ich
Ihnen gern zur Verfügung.

Prof. Dr.-Ing. Sylvia Stürmer
stuermer@htwg-konstanz.de