

Wolfram Jäger, Angelika Mettke
Hassan Youssef, Stephanie Schmidt
Viktoria Arnold, Christian Matthes, Jakob Fischer

Entwicklung und Anwendung von komplett demontablen Wohneinheiten aus ressourcen- schonendem Beton – RC-WE-Modul

F 3192

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2020

ISBN 978-3-7388-0469-0

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

Abschlussbericht

RC-WE-Modul

Titel: „Entwicklung und Anwendung von komplett demontablen Wohneinheiten aus ressourcenschonendem Beton “

Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-16.54
Projektnummer TU/LS Twpl.: 61603-RC-WE-Modul

Auftraggeber: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31-37
53179 Bonn

Auftragnehmer: Technische Universität Dresden
Fakultät Architektur
Lehrstuhl Tragwerksplanung
Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger
01062 Dresden

BTU Cottbus- Senftenberg
Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik
Arbeitsgebiet Bauliches Recycling
apl. Prof. PD Dr.-Ing. habil. Angelika Mettke
03046 Cottbus

Bearbeiter: Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger
apl. Prof. PD Dr.-Ing. habil. Angelika Mettke
Dipl.-Ing. Hassan Youssef
Dipl.-Ing. Stephanie Schmidt
Dipl.-Ing. Viktoria Arnold
cand. B.Sc. Christian Matthes
B.Sc. Jakob Fischer

Datum: 30.11.2018/31.05.2019

Das Forschungsprojekt wurde mitfinanziert und unterstützt durch:

Mattig & Lindner GmbH
C.-A.-Groeschke-Str. 15
03149 Forst

Ecosoil Umwelt GmbH
Laugfeld 29
01968 Senftenberg

DYWIDAG-Systems International GmbH
Germanenstraße 8
86343 Königsbrunn

mCon GmbH
In der Schlade 1
D-57258 Freudenberg

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert (Az.: SWD-10.08.18.7-16.54). Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	6
1.1	Problemstellung.....	6
1.2	Zielsetzung	7
1.3	Ausgangsbasis für das Forschungsvorhaben	8
1.4	Vorgängerprojekt REMOMAB (2013).....	9
1.5	Schlussfolgerungen aus ReMoMaB.....	11
1.6	Arbeits- und Zeitplan.....	11
1.6.1	Zu Grunde gelegter Forschungsansatz.....	11
1.6.2	Angewendete Untersuchungsmethodik	12
1.7	Ausgangspunkte des Forschungsvorhaben	12
2	Theoretische Grundlagen für RC-WE-Modul.....	15
2.1	Stand der Forschung.....	15
2.1.1	Logosteine aus Wüstensand	16
2.1.2	Pilotprojekte in Recycling beton.....	17
3	Statische Betrachtungen.....	20
3.1	Einführung	20
3.2	Konstruktive Durchbildung.....	20
3.2.1	Baukonstruktion.....	20
3.2.2	Tragwerk und statisches System.....	21
3.2.3	Lastweiterleitung, Standsicherheit und Aussteifung	23
3.2.4	Gebäudeaussteifung.....	23
3.2.5	Aussteifende Wandscheiben	25
3.2.6	Optimierung von Tragwerken	27
4	Grundlagenermittlung / Recherche zum Einsatz von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen bei der Herstellung von Fertigbetonteilen	27
4.1	Status Quo zum Einsatz von RC-Beton in der Betonfertigteilindustrie	27
4.2	Politische Forderungen	28
4.3	Rechtliche Rahmenbedingungen	29
4.3.1	Bauproduktenrecht	29
4.3.2	Kreislaufwirtschaftsrecht	29
4.4	Bautechnische Anforderungen.....	30
4.4.1	Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen für den Einsatz im Beton.....	30
4.4.2	Untersuchungsergebnisse.....	38
4.4.3	Anforderungen an den Beton zur Herstellung der Betonsteine.....	42
4.4.4	Entwicklung der Betonrezeptur – durchgeführte Untersuchungen.....	44
5	Rahmenbedingungen, Festlegungen und Planung der RC-Wohneinheit.....	48
5.1	Allgemeines.....	48
5.2	Vorschläge zum Entwurf der RC-Wohneinheit	48
5.2.1	Pläne und Räumlichkeiten.....	48
5.2.2	Zu verwendende Einzelbauelemente (Allgemein)	50
5.2.3	Bauphasen des RC-WE-Moduls	53
5.2.4	Ansichten / Rohbau/Ausbau- Entwurfsvorschlag 1	58
5.3	Entwurfsmöglichkeiten zur Erstellung der RC-Wohneinheit.....	64
5.3.1	RC-Wohneinheit in Plattenbauweise.....	64
5.3.2	RC-Wohneinheit zusammengebaut aus Bauteilelementen	65
5.3.3	RC-Wohneinheit in Mauerwerksbauweise.....	66
5.4	Ausgewählter Entwurf der RC-Wohneinheit	70
5.5	Numerische Berechnung des RC-WE-Moduls/Statik.....	74
5.5.1	Allgemeines.....	74

5.5.2	Modell zur numerischen Berechnung	74
5.5.3	Materialien.....	76
5.5.4	Einwirkungen.....	77
5.5.4.1	Allgemeines.....	77
5.5.4.2	Ständige Lasten und Nutzlasten	77
5.5.4.3	Schneelast.....	77
5.5.4.4	Windbelastung	79
5.5.4.5	Gesamteinwirkungen:	82
5.5.5	Verformungen.....	83
5.5.6	Spannung.....	85
5.6	Dämmwirkung der RC-Wohneinheit	87
5.6.1	Anforderungen nach EnEV	87
5.6.2	Hinweise zur effektiven Wärmedämmung.....	87
5.6.3	Ausgewählte Dämmmaterialien.....	88
5.6.4	Bauphysikalische Analyse des Wandaufbaues.....	88
5.6.5	Bauphysikalische Analyse des Dachaufbaues.....	92
5.6.6	Bauphysikalische Analyse des Fußbodenaufbaues	96
5.7	Ausbau/Innenausbau.....	98
5.7.1	Die Schichtenlösung für Dach.....	98
5.7.2	Die Schichtenlösung für Fassade.....	100
5.7.3	Fenster und Tür	103
5.7.4	Der Demontierbare Innenausbau	107
5.7.4.1	Fußbodenaufbau	107
5.7.4.2	Nichttragende Trennwände	109
5.7.4.3	Wandverkleidung.....	111
5.7.4.4	Unterdecke.....	113
5.7.5	Technische Gebäudeausrüstungen TGA	115
5.7.5.1	Heizung und Sanitär.....	115
5.7.5.2	Elektroinstallation	116
5.7.6	Abdichtung des Rohbaus	116
6	Erstellung der RC-Wohneinheit	118
6.1	Allgemeine Beschreibung der RC-Wohneinheit	118
6.2	Grundriss und Ansichten der RC-Wohneinheit.....	121
6.3	Herstellung der RC-Bauteile.....	125
6.3.1	Bodenplatte	125
6.3.2	RC-Wandelemente	128
6.3.2.1	RC-Wand 1 (große Wandscheibe).....	128
6.3.2.2	RC-Wandelemente 1&2.....	129
6.3.2.3	RC-Deckenplatten 1&2.....	132
6.3.2.4	RC-Betonsteine	136
6.3.2.5	RC-Balken.....	145
6.3.2.6	RC-Attiken.....	149
6.4	Errichtung des Rohbaus der RC-Wohneinheit	153
6.4.1	Grundplatte.....	153
6.4.2	Verlegen der RC-Bodenplatte.....	154
6.4.3	Aufstellung der RC-Wand 1.....	156
6.4.4	Aufstellung RC-Wandelement 1&2	157
6.4.5	Aufmauern der RC-Betonsteine	158
6.4.6	Aufsetzen der RC-Betonbalken.....	160
6.4.7	Aufsetzen der RC-Deckenplatten.....	161
6.4.8	Aufsetzen der RC-Attiken	163
6.5	Prüfung der Stabilität des fertiggestellten Rohbaus der RC-Wohneinheit.....	165

6.5.1	Allgemeines.....	165
6.5.2	Durchführung des Belastungstestes.....	165
6.6	Rückbau des Rohbaus der RC-Wohneinheit.....	167
6.6.1	Allgemeines.....	167
	Arbeitsvorgänge des Rückbaus der RC-Wohneinheit.....	167
6.7	Re-Montage des Rohbaus der RC-Wohneinheit.....	170
6.8	Verbesserungsvorschlag für die RC-Mauerwerkswände.....	174
7	Begleitung der Realisierung.....	175
7.1	Herstellung des RC-Betons.....	175
7.1.1	Rezepturoptimierung, eingesetzte Rezeptur zur RC-Betonproduktion.....	175
7.1.2	Verarbeitbarkeit des RC-Betons zur Herstellung der Betonelemente.....	176
7.2	Ökobilanzielle Betrachtung zum Einsatz von RC-Beton im Vergleich zu Normalbeton....	179
7.2.1	Stoffstromanalyse.....	180
7.2.2	Aufwendungen bei der Herstellung der RC-GK im Vergleich zur Kiesgewinnung..	181
7.2.3	Energetische Betrachtung: Bereitstellung der Gesteinskörnungen für die Betonherstellung.....	183
7.2.4	CO ₂ -Emissionen für die Bereitstellung der RC-GK und des Kieses.....	187
7.2.5	Synopse des ökologischen Screenings von RC-Beton und Normalbeton.....	189
7.2.6	Effekte des Ressourcenschutzes.....	193
8	Materialkosten für die Herstellung der Betone (Normal- vs. RC-Beton).....	193
9	Allgemeines zur Herstellung der einzelnen Bauteile.....	194
10	Bewertung Montage des RC-WE-Moduls.....	197
10.1	Wissenschaftliche Begleitung.....	197
10.2	Erläuterung zum Montageablauf.....	197
10.3	Bewertung der entwickelten Verbindungen.....	201
10.4	Schlussfolgerungen für die praktische Umsetzung.....	201
11	Bewertung der Demontage des RC-WE-Moduls.....	201
11.1	Wissenschaftliche Begleitung der Demontage.....	202
11.2	Bewertung der entwickelten Verbindungen hinsichtlich ihrer Lösbarkeit.....	203
11.3	Schlussfolgerungen für die praktische Umsetzung.....	203
12	Bewertung der Re-Montage.....	203
12.1	Wissenschaftliche Begleitung.....	203
12.2	Erläuterungen zum Ablauf.....	204
12.3	Bewertung der Qualität der Elemente und Verbindungen nach einmaligem Gebrauch..	204
12.4	Bewertung der Re-Montage.....	204
12.5	Schlussfolgerungen für die praktische Umsetzung.....	204
13	Optimierungspotenziale.....	204
13.1	Produktion/Herstellung.....	205
13.2	Nachbearbeitung.....	205
13.3	Montage, Demontage, Re-Montage.....	206
14	Zusammenfassung und Ausblick.....	207
15	Normenverzeichnis.....	209
16	Quellen.....	211
17	Anlagen.....	221
17.1	Datenblätter Folien und Dichtungsbahnen.....	221
17.2	mCon Systemlösung RC-WE-Modul.....	223
17.3	U-Werte.....	226
17.4	Beton Mischungsberechnung - Abruf-Nr.: RCM-4.....	232
17.5	Prüfergebnisse Betonrezepturen.....	233
17.6	Beton Mischungsberechnung, Vergleichsrezeptur - Abruf-Nr.: 30 600.....	234
17.7	Prüfbericht - Umweltverträglichkeit RC-GK 0-8.....	235
17.8	Sieblinien GK 0/2.....	236

17.9	Produktinformationsblatt Fließmittel MasterGlenium ACE 455	241
18	Anhänge	243
18.1	Anhang 1 - Aufbaupläne der RC-Wohneinheit	243
18.2	Anhang 2 - Statische Berechnung der RC-Wohneinheit	248
18.3	Anhang 3 - Bewehrungspläne und Verbindungstechnikpläne.....	257
18.4	Anhang 4 - Mengenberechnung.....	277
18.5	Anhang 5 - Bauteilkatalog der RC-WE	280

1 Einführung

1.1 Problemstellung

Neben der von der Bundesregierung proklamierten Energiewende rücken recyclinggerechte und ressourceneffiziente Bauweisen immer stärker in den Fokus. Rohstoffverbräuche und zunehmende Rohstoffvielfalt, steigende Rohstoffpreise auf der einen Seite und die jährlich erzeugten exorbitanten Mengen an Bauabfällen bei sinkenden Deponiekapazitäten und einschränkenden Verwertungsmöglichkeiten (Mantelverordnung), erfordern nachhaltige Lösungen.

Die derzeitige gesellschaftliche Entwicklung erfordert die Bereitstellung von schnell zu errichtenden und umsetzbaren Unterkünften bzw. Wohngebäuden. Deutschland steht vor der riesigen Herausforderung, Defizite an bezahlbarem Wohnraum zu kompensieren. Die dafür notwendigen Planungs- und Bauprozesse lassen sich mit Rückgriff auf das Prinzip der Modularität erheblich beschleunigen.

Beide Aspekte waren Gegenstand des abgeschlossenen Forschungsvorhabens. Der Beitrag zur innovativen Entwicklung auf diesen Gebieten besteht in der erstmaligen Anwendung des modularen massiven Bauens mit RC- Baustoffen.

Das modulare demontable Bauen unter Verwendung von RC-Betonmodulen trägt dem kreislaufgerechten Bauen Rechnung, vereint eine Vielzahl von Umweltvorteilen wie die entwickelten RC-Wohneinheiten als Bauteildepot zu nutzen, wodurch die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Bauwirtschaft steigt.

Die zentrale Herausforderung einer nachhaltigen Gesellschaft im 21. Jahrhundert ist bzw. besteht in der Verringerung des Verbrauchs an natürlichen Rohstoffen und Materialien. Das KrW-Gesetz vom 24.02.2012, die Deutsche Rohstoffstrategie 2010 und das flankierende Programm „ProgRess“ vom 29.02.2012 sind Motor für den schonenden und zudem effizienten Umgang mit natürlichen Ressourcen. Die Bundesregierung hat sich – entsprechend der EU-Vorgaben - das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2020 Recyclingquoten von 70 % für Bau- und Abbruchabfälle zu realisieren, die Rohstoffeffizienz gegenüber dem Jahr 2008 um 20 % zu erhöhen und die ressourceneffizienteste Volkswirtschaft der Welt zu werden.

Vor allem der Wirtschaftsbereich Bau birgt – auf Grund der großen Massenströme – ein riesiges Ressourcenschonungspotenzial in sich. In Deutschland gehen über 60 % aller Abfallmaterialien, ca. 50 % der nichtbiologischen Rohstoffe sowie über 40 % des Primärenergiebedarfes auf die Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Bauwerken zurück [3]. In der Vergangenheit lag der Fokus auf den ungenutzten Potenzialen des Gebäudesektors hinsichtlich des Energieverbrauchs, meist beschränkt auf die Nutzungsphase der Gebäude. Durch zahlreiche Instrumente wurde und wird vom Staat die energetische Gebäudeoptimierung und -sanierung gefördert. Aber Energieeffizienz ist nur eine Säule der Nachhaltigkeit. Erst nach und nach rückt die Ressourcenschonung, das heißt die Analyse von Stoffströmen über den gesamten Lebenszyklus, immer mehr in den Brennpunkt der Bemühen um das Bauen in der Zukunft.