

**F 2990**

Catherina Thiele, Michael Weber

**Untersuchungen zur Korrelation  
von Druck- und Zugfestigkeit in  
alten, niederfesten Betonen als  
Grundlage für die Bestimmung  
der Tragfähigkeit von z. B.  
Befestigungsmitteln**

F 2990

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- 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

2016

ISBN 978-3-8167-9753-1

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](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

[www.irb.fraunhofer.de/tauforschung](http://www.irb.fraunhofer.de/tauforschung)

## **Untersuchungen zur Korrelation von Druck- und Zugfestigkeit in alten, niederfesten Betonen als Grundlage für die Bestimmung der Tragfähigkeit von z. B. Befestigungsmitteln**

### **-Abschlussbericht-**

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR) gefördert.

(Aktenzeichen: II 3-F20-12-1-005 / SWD-10.08.18.7-13.01)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Projektleiter: Jun.-Prof. Dr.-Ing. Catherina Thiele

Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. Michael Weber

Kaiserslautern Februar 2016

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Begründung des Forschungsprojekts .....	1
1.2	Projektbegleitung / Wissenschaftlicher Beirat .....	3
1.3	Danksagung .....	3
<b>2</b>	<b>Statistische Grundlagen</b> .....	<b>4</b>
2.1	Vorbemerkung .....	4
2.2	Einführung und Begriffsdefinitionen.....	5
2.2.1	Stochastische Verteilung.....	5
2.2.2	Versagenswahrscheinlichkeit.....	6
2.3	Verteilungsfunktionen stetiger Zufallsvariablen .....	7
2.3.1	Allgemeines .....	7
2.3.2	Normalverteilung, $N(\mu; \sigma)$ .....	8
2.3.3	Log-Normalverteilung, $LN(\lambda; \zeta)$ .....	10
2.3.4	Gumbel-Verteilung / Extremwertverteilung Typ I .....	11
2.3.5	Weibull-Verteilung / Extremwertverteilung Typ III .....	12
<b>3</b>	<b>Betonfestigkeit</b> .....	<b>13</b>
3.1	Festigkeitsarten .....	13
3.1.1	Betondruckfestigkeit.....	13
3.1.2	Betonzugfestigkeit.....	16
3.1.2.1	Zentrische Zugfestigkeit .....	18
3.1.2.2	Biegezugfestigkeit .....	19
3.1.2.3	Spaltzugfestigkeit .....	20
3.2	Festigkeitsverhältnisse .....	20
3.2.1	Verhältnis Zug- zu Druckfestigkeit.....	21
3.2.2	Verhältnis der Zugfestigkeiten.....	21
3.2.3	Festigkeitsverhältnisse in Abhängigkeit der Probekörpergeometrie und Lagerungsbedingungen .....	22
3.3	Festigkeitsentwicklung .....	23
3.3.1	Einflussgrößen .....	23
3.3.1.1	Zement und Wasserzementwert .....	23
3.3.1.2	Feuchte .....	24
3.3.2	Entwicklung der Festigkeit nach DIN EN 1992-1-1 .....	24

<b>3.4</b>	<b>Bestimmung der charakteristischen Bauwerksfestigkeit .....</b>	<b>25</b>
3.4.1	Allgemeines .....	25
3.4.2	Möglichkeiten zur Bestimmung der Bauwerksfestigkeit .....	26
3.4.2.1	Bohrkernprüfungen – Zerstörende Verfahren .....	26
3.4.2.2	Indirekte Prüfverfahren – Zerstörungsfreie Verfahren .....	27
3.4.3	Auswertungsmethoden für direkte Prüfverfahren .....	29
3.4.3.1	DIN EN 13791:2008 .....	29
3.4.3.2	DIN EN 1990:2010 .....	30
3.4.3.3	Vergleich Auswertung nach DIN EN 13791:2008 bzw. DIN EN 1990:2010 .....	33
3.4.4	Empfohlenes Vorgehen.....	34
<b>4</b>	<b>Untersuchung der Betonfestigkeit an alten / historischen Beton- / Stahlbetonbauwerken.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>36</b>
<b>4.2</b>	<b>Untersuchungen am Bauwerk .....</b>	<b>37</b>
4.2.1	Ehemaliges Umspannwerk – Sulzbach .....	37
4.2.1.1	Beschreibung des Bauwerks .....	37
4.2.1.2	Durchführung der Untersuchung.....	38
4.2.1.3	Versuchsergebnisse.....	38
4.2.1.4	Statistische Auswertung.....	42
4.2.2	Stützwand Ohmbach Abschnitt I - Pirmasens .....	43
4.2.2.1	Beschreibung des Bauwerks .....	43
4.2.2.2	Durchführung der Untersuchung.....	43
4.2.2.3	Versuchsergebnisse.....	44
4.2.2.4	Statistische Auswertung.....	47
4.2.3	Stützwand Ohmbach Abschnitt II - Pirmasens .....	48
4.2.3.1	Beschreibung des Bauwerks .....	48
4.2.3.2	Durchführung der Untersuchung.....	48
4.2.3.3	Versuchsergebnisse.....	48
4.2.3.4	Statistische Auswertung.....	51
4.2.4	Weserbrücke – Hannoversch Münden .....	52
4.2.4.1	Beschreibung des Bauwerks .....	53
4.2.4.2	Durchführung der Untersuchung.....	53
4.2.4.3	Versuchsergebnisse.....	53
4.2.4.4	Statistische Auswertung.....	55
4.2.5	Tropfkörper Kläranlage Blümeltal I – Pirmasens .....	57
4.2.5.1	Beschreibung des Bauwerks .....	57
4.2.5.2	Durchführung der Untersuchung.....	58

4.2.5.3	Versuchsergebnisse.....	59
4.2.5.4	Statistische Auswertung.....	63
4.2.6	Tropfkörper Kläranlage Blüemetal II – Pirmasens .....	64
4.2.6.1	Beschreibung des Bauwerks .....	64
4.2.6.2	Durchführung der Untersuchung.....	64
4.2.6.3	Versuchsergebnisse.....	65
4.2.6.4	Statistische Auswertung.....	68
4.2.7	Bodenplatte ACO Gusswerk – Kaiserslautern.....	70
4.2.7.1	Beschreibung des Bauwerks .....	70
4.2.7.2	Durchführung der Untersuchung.....	70
4.2.7.3	Versuchsergebnisse.....	71
4.2.7.4	Statistische Auswertung.....	74
4.2.8	Unterführung Voogelwoog I – Kaiserslautern .....	75
4.2.8.1	Beschreibung des Bauwerks .....	76
4.2.8.2	Durchführung der Untersuchung.....	76
4.2.8.3	Versuchsergebnisse.....	77
4.2.8.4	Statistische Auswertung.....	80
4.2.9	Unterführung Vogelwoog II – Kaiserslautern .....	81
4.2.9.1	Beschreibung des Bauwerks .....	81
4.2.9.2	Durchführung der Untersuchung.....	81
4.2.9.3	Versuchsergebnisse.....	82
4.2.9.4	Statistische Auswertung.....	85
4.2.10	Lautertalbrücke A6 – Kaiserslautern .....	87
4.2.10.1	Beschreibung des Bauwerks .....	87
4.2.10.2	Durchführung der Untersuchung.....	88
4.2.10.3	Versuchsergebnisse.....	89
4.2.10.4	Statistische Auswertung.....	98
4.2.11	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse .....	100
<b>4.3</b>	<b>Korrelation zwischen Betondruck- und Zugfestigkeit.....</b>	<b>100</b>
4.3.1	DIN EN 1992-1-1 .....	100
4.3.2	Experimentell bestimmte Beziehungen am Bestandstragwerk .....	102
4.3.3	Einflussgrößen.....	102
4.3.3.1	Bauwerksalter .....	102
4.3.3.2	Gesteinskörnung.....	103
4.3.3.3	Karbonatisierungstiefe .....	104
4.3.3.4	Betonierichtung .....	105
4.3.3.5	Dichte 106	
4.3.3.6	Streuung der Druckfestigkeit.....	107
4.3.4	Fazit.....	108

<b>5</b>	<b>Grundlagen der Befestigungstechnik in Beton .....</b>	<b>110</b>
5.1	Befestigungssysteme.....	110
5.2	Versagensarten.....	111
5.3	Bemessungsregeln.....	112
5.3.1	Steel failure – Stahlversagen – $N_{RK,s}$ .....	112
5.3.2	Pull-out failure – Herausziehen – $N_{RK,p}$ .....	113
5.3.3	Concrete cone failure – Betonausbruch – $N_{RK,c}$ .....	113
5.3.4	Splitting failure – Spalten – $N_{RK,sp}$ .....	114
5.4	Gültigkeit der Bemessungsregeln für niederfeste Betone.....	114
<b>6</b>	<b>Versuchsprogramm zur Bewertung der Tragfähigkeit von Befestigungsmitteln in niederfesten Betonen .....</b>	<b>116</b>
6.1	Einführung .....	116
6.2	Wahl der Befestigungsmittel.....	116
6.3	Untersuchungen am Bauwerk .....	116
6.3.1	Allgemeines .....	116
6.3.2	Betoneigenschaften .....	116
6.3.3	Versuchsprogramm.....	117
6.3.4	Ergebnisse.....	119
6.4	Untersuchungen am Referenzbeton.....	121
6.4.1	Allgemeines .....	121
6.4.2	Mischungsentwurf.....	121
6.4.3	Festigkeitsentwicklung .....	122
6.4.4	Versuchsprogramm.....	124
6.4.5	Probekörper .....	128
6.4.6	Ergebnisse.....	130
6.4.6.1	Kopfbolzen KÖCO Typ 13 .....	130
6.4.6.2	Hinterschnittanker Hilti HDA-P .....	135
6.5	Fazit .....	138
<b>7</b>	<b>Fazit und Ausblick .....</b>	<b>139</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>141</b>
<b>9</b>	<b>Anlagen.....</b>	<b>145</b>
9.1	Anlage I: Chemische Analyse der Betonproben – Stützwand Mülldeponie Ohmbach, Pirmasens.....	145

<b>9.2</b>	<b>Anlage II: Rückprallhammerprüfung Tropfkörper I nach [DIN EN 12504-2 - 2012]</b> .....	<b>147</b>
<b>9.3</b>	<b>Anlage III: Rückprallhammerprüfung Tropfkörper II nach [DIN EN 12504-2 - 2012]</b> .....	<b>148</b>
<b>9.4</b>	<b>Anlage IV: Übersicht Versuchsdaten der der Bauwerksuntersuchungen</b> .....	<b>149</b>
9.4.1	Eigene Untersuchungen.....	149
9.4.2	Untersuchungen BAW .....	151
<b>9.5</b>	<b>Anlage V: Bauwerksuntersuchungen zur Bestimmung der Betonfestigkeiten</b> .....	<b>153</b>
9.5.1	Umspannwerk Sulzbach .....	153
9.5.1.1	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Druckfestigkeit.....	153
9.5.1.2	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Spaltzugfestigkeit.....	155
9.5.2	Tropfkörper PS I .....	157
9.5.2.1	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Druckfestigkeit.....	157
9.5.2.2	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Spaltzugfestigkeit.....	158
9.5.3	Tropfkörper PS II.....	159
9.5.3.1	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Druckfestigkeit.....	159
9.5.3.2	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Spaltzugfestigkeit.....	161
9.5.4	Vogelwoog I .....	162
9.5.4.1	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Druckfestigkeit.....	162
9.5.4.2	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Spaltzugfestigkeit.....	163
9.5.5	Vogelwoog II .....	164
9.5.5.1	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Druckfestigkeit.....	164
9.5.5.2	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Spaltzugfestigkeit.....	165
9.5.6	Bodenplatte ACO .....	166
9.5.6.1	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Druckfestigkeit.....	166
9.5.6.2	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Spaltzugfestigkeit.....	167
9.5.7	Weserbrücke.....	168
9.5.7.1	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Druckfestigkeit.....	168
9.5.7.2	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Spaltzugfestigkeit.....	169
9.5.8	Stützwand Ohmbach I.....	170
9.5.8.1	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Druckfestigkeit.....	170
9.5.8.2	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Spaltzugfestigkeit.....	172
9.5.9	Stützwand Ohmbach II.....	174
9.5.9.1	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Druckfestigkeit.....	174
9.5.9.2	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Spaltzugfestigkeit.....	175
9.5.10	Lautertalbrücke (aktuelle Untersuchung).....	176
9.5.10.1	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Druckfestigkeit.....	176



9.5.10.2	Betonbohrkernproben zur Prüfung der Spaltzugfestigkeit .....	178
<b>9.6</b>	<b>Anlage VI: Überprüfung der Korrelation zwischen Betondruck- und Zugfestigkeit im Alter von 28 Tagen .....</b>	<b>180</b>
<b>9.7</b>	<b>Anlage VII: Hilti HSC-A .....</b>	<b>181</b>
<b>9.8</b>	<b>Anlage VIII: KÖCO Kopfbolzen .....</b>	<b>182</b>
<b>9.9</b>	<b>Anlage IX: Hilti HDA-P .....</b>	<b>184</b>
<b>9.10</b>	<b>Anlage X: Setz- / Prüfprotokolle Hinterschnittanker Hilti HSC-A M10x40 .....</b>	<b>185</b>
<b>9.11</b>	<b>Anlage XI: Setz- / Prüfprotokolle Hinterschnittanker Hilti HDA-P M10x80 .....</b>	<b>186</b>