

Jürgen Schnell, Rabea Sefrin

Nachrechnung von Stahlbetontragwerken mit niedriger Festigkeit

F 3156

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

2019

ISBN 978-3-7388-0406-5

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

Endbericht zum Forschungsprojekt:

Nachrechnung von Stahlbetontragwerken mit niedriger
Festigkeit

(SWD – 10.08.18.7–16.49/ II3-F20-15-1)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell

Sachbearbeiterin: Rabea Sefrin, M.Sc.

Kaiserslautern, April 2019

Kurzfassung

Der Erhalt vorhandener Bausubstanz auch im Falle von Umnutzung ist von volkswirtschaftlichem Interesse. Er dient der Ressourcenschonung und Abfallvermeidung.

Werden Betondruckfestigkeiten $< C12/15$ angetroffen, besteht in der Praxis große Unsicherheit, wie in solchen Bauwerken regelkonform zu bemessen ist. In der Tendenz führt dies zu einer Unterbewertung der Tragfähigkeit und in der Folge zu Rückbau oder Verstärkungsmaßnahmen. Dies könnte in vielen Fällen vermieden werden, wenn klare Regeln zur Behandlung solcher Tragwerke vorlägen.

Die Standsicherheit von Bestandstragwerken muss bei Umbau oder Nutzungsänderung nach aktuellem Regelwerk nachgewiesen werden. Wird an Bestandstragwerken aus Stahlbeton die charakteristische Betondruckfestigkeit anhand von Bohrkernen ermittelt oder wird sie durch Umrechnung aus Bestandsunterlagen festgestellt, ergeben sich bei älteren Bauwerken sehr oft Festigkeiten unterhalb der Festigkeitsklasse C12/15.

Der Gültigkeitsbereich der zentralen Bemessungsnorm Eurocode 2 einschließlich ihres Nationalen Anhangs ist aber auf Betone C12/15 - C100/115 beschränkt. Dies bedeutet aber nicht, dass Betone mit geringerer Festigkeit nicht bemessbar sind. Die Untergrenze in Eurocode 2 wurde überwiegend unter Aspekten der Dauerhaftigkeit gewählt (Aspekte der Dauerhaftigkeit können für Bestandstragwerke im Einzelfall gutachterlich behandelt werden).

Aus diesem Grund wurden im Projekt alle relevanten Bemessungs- und Konstruktionsregeln hinsichtlich ihrer Gültigkeit für niederfesten Beton analysiert und für die Praxis kommentiert.

Abstract

The preservation of existing structures, even in the event of conversion, is of economic interest. It conduces to conserve resources and waste prevention.

If concrete compressive strengths $< C12/15$ are encountered, there is great uncertainty in practice how such structures should be dimensioned in accordance with the rules. This tends to lead to an underestimation of the loading capacity and consequently to deconstruction or strengthener measures. This could be avoided in many cases if clear rules for the treatment of such structures were in place.

The structural stability of existing structures must be verified in accordance with current regulations in the event of conversion or change of use. If the characteristic concrete compressive strength of reinforced concrete structures is determined on the basis of drill cores or if it is determined by conversion from existing documents, older structures very often have strengths below strength class C12/15.

However, the scope of the central design standard Eurocode 2 including its National Annex is limited to concretes C12/15 - C100/115. However, this does not mean that concretes with lower strength cannot be dimensioned. The lower limit in Eurocode 2 was mainly chosen with regard to durability (aspects of durability can be dealt with by an expert in individual cases for existing structures).

For this reason, all relevant design and construction rules were analysed in the project with regard to their validity for low-strength concrete and commented on in practice.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	- 7 -
2 Motivation	- 8 -
3 Bauwerksfestigkeiten $f_{ck, is} < 12,0 \text{ N/mm}^2$	- 12 -
3.1 Ermittlung der Betondruckfestigkeit an Bestandsbauwerken.....	- 13 -
3.1.1 Zerstörendes Verfahren – Bohrkernentnahme.....	- 13 -
3.1.2 Auswertungsmethoden für zerstörende Verfahren.....	- 14 -
3.1.3 Beispielhafte Ermittlung einer Festigkeitsklasse kleiner C12/15 an einem Bestandsbauwerk	- 17 -
Auswertung nach DIN EN 1990.....	- 19 -
Auswertung nach DIN EN 13791/A20	- 20 -
3.2 Entwicklung der Normenreihe DIN 1045.....	- 21 -
3.2.1 Geometrie der Probekörper.....	- 23 -
3.2.2 Lagerungsbedingungen.....	- 25 -
3.2.3 Prüfungszeitpunkt.....	- 26 -
3.2.4 Belastungsgeschwindigkeit.....	- 26 -
3.2.5 Ermittlung der charakteristischen Betondruckfestigkeit.....	- 27 -
Charakteristische Betondruckfestigkeit für güteüberwachte Betone (1943 bis 1972).....	- 27 -
Charakteristische Betondruckfestigkeit der Betonfestigkeitsklassen (1972 bis 2001)	- 28 -
3.2.6 Einschränkungen von DIN 1045 hinsichtlich der Anwendbarkeit der Betone	- 30 -
4 Analyse von Eurocode 2 hinsichtlich der Anwendbarkeit auf Bauteile mit niedriger Betondruckfestigkeit	- 34 -
4.1 Kapitel 1 – Allgemeines.....	- 34 -
4.2 Kapitel 2 – Grundlagen der Tragwerksplanung.....	- 34 -
4.2.1 Abschnitt 2.4.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen aus Schwinden.....	- 35 -
4.2.2 Abschnitt 2.4.2.2 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen aus Vorspannung.....	- 35 -
4.2.3 Abschnitt 2.4.2.3 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen beim Nachweis gegen Ermüdung	- 35 -
4.2.4 Abschnitt 2.4.2.4 Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe.....	- 36 -
4.2.5 Abschnitt 2.4.2.5 Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe bei Gründungen.....	- 40 -
4.2.6 Abschnitt 2.7 Anforderungen an Befestigungsmittel.....	- 40 -
4.3 Kapitel 3 - Baustoffe	- 42 -
4.3.1 Abschnitt 3.1.2 - Festigkeiten	- 42 -
4.3.2 Abschnitt 3.1.3 Elastische Verformungseigenschaften und Abschnitt 3.1.4 Kriechen und Schwinden	- 50 -

4.3.3	Abschnitt 3.1.5 Spannungs-Dehnungs-Linie für nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung und für Verformungsberechnungen	55 -
4.3.4	Abschnitt 3.1.6 Bemessungswerte der Betondruck- und Betonzugfestigkeit	55 -
4.3.5	Abschnitt 3.1.7 Spannungs- Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung	60 -
4.3.5.1	Versuche von Rüsç [DAfStb-Heft 120 – 1955]	61 -
4.4	<i>Kapitel 4 – Dauerhaftigkeit und Betondeckung</i>	63 -
4.5	<i>Kapitel 5 – Ermittlung der Schnittgrößen</i>	65 -
4.5.1	Abschnitt 5.5 Linear-elastische Berechnung mit begrenzter Umlagerung	66 -
4.5.2	Abschnitt 5.6 Verfahren nach der Plastizitätstheorie	76 -
4.6	<i>Kapitel 6 – Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)</i>	76 -
4.6.1	Abschnitt 6.1 Biegebemessung mit oder ohne Normalkraft und Normalkraft allein	77 -
4.6.2	Kapitel 6.2 Querkraft	78 -
4.6.2.1	Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung	80 -
4.6.2.1.1	Ermittlung des Querkraftwiderstands $V_{Rd,c}$ nach Eurocode 2	81 -
4.6.2.1.2	Einflussfaktoren auf das Schubtragverhalten von Bauteilen ohne Schubbewehrung	83 -
4.6.2.1.3	Einfluss von niederfesten Betonen auf die Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung	87 -
4.6.2.1.4	Vergleich des Querkraftwiderstands $V_{Rd,c}$ nach Eurocode 2 mit der maximal zulässigen Schubspannung τ_0 nach DIN 1045:1925 bis DIN 1045:1972	91 -
4.6.2.1.5	Fazit	94 -
4.6.2.2	Kapitel 6.2.3 – Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung	94 -
4.6.2.2.1	Ermittlung der erforderlichen Querkraftbewehrung nach Eurocode 2	97 -
4.6.2.2.2	Einfluss von niederfesten Betonen auf die Querkrafttragfähigkeit mit Querkraftbewehrung	101 -
4.6.2.2.3	Fazit	101 -
4.6.3	Abschnitt 6.3 Torsion und Kapitel 6.4 Durchstanzen	102 -
4.6.4	Abschnitt 6.2.5 Schubkraftübertragung in Fugen	102 -
4.6.5	Abschnitt 6.5 Stabwerkmodelle	102 -
4.6.6	Abschnitt 6.7 Teilflächenpressung	103 -
4.7	<i>Kapitel 7 – Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (GZG)</i>	103 -
4.8	<i>Kapitel 8 – Allgemeine Bewehrungsregeln</i>	104 -
4.8.1	Kapitel 8.3 – Biegen von Betonstählen	104 -
4.8.2	Abschnitt 8.4 Verankerung der Längsbewehrung	106 -
4.8.2.1	Abschnitt 8.4.2 Bemessungswert der Verbundfestigkeit	107 -
4.8.2.2	Verbundversuche an Probekörpern aus niederfestem Beton	107 -
4.8.2.2.1	Versuchsaufbau und –durchführung	110 -
4.8.2.2.2	Versuchsergebnisse	112 -

4.8.2.2.3	Pull-Out-Versuche an niederfesten Betonen mit hohen Variationskoeffizienten der Betondruckfestigkeit.....	- 118 -
4.8.2.2.4	Fazit	- 134 -
4.8.2.3	Kapitel 8.4.3 Grundwert der Verankerungslänge.....	- 134 -
4.8.2.4	Kapitel 8.4.4 Bemessungswert der Verankerungslänge.....	- 134 -
4.8.2.5	Abschnitt 8.7.3 Übergreifungslänge.....	- 135 -
4.9	<i>Kapitel 9 – Konstruktionsregeln.....</i>	<i>- 136 -</i>
4.9.1	Abschnitt 9.2.1 - Längsbewehrung	- 137 -
4.9.2	Abschnitt 9.2.2 Querkraftbewehrung	- 137 -
4.9.3	Abschnitt 9.5 Stützen.....	- 138 -
4.10	<i>Kapitel 12 – Tragwerke aus unbewehrtem oder gering bewehrtem Beton.....</i>	<i>- 141 -</i>
4.10.1	Abschnitt 12.3 – Baustoffe	- 141 -
4.10.2	Abschnitt 12.6 – Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT).....	- 142 -
4.10.2.1	Abschnitt 12.6.1 – Biegung mit oder ohne Normalkraft und Normalkraft allein -	142 -
4.10.2.2	Abschnitt 12.6.3 Querkraft	- 142 -
4.10.2.3	Abschnitt 12.6.5 Auswirkungen von Verformungen von Bauteilen unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung	- 142 -
4.10.3	Abschnitt 12.9 Konstruktionsregeln.....	- 142 -
5	Weiterführender Forschungsansatz	- 144 -
5.1	<i>Tastversuche</i>	<i>- 145 -</i>
5.2	<i>Fazit der Tastversuche.....</i>	<i>- 150 -</i>
6	Fazit	- 151 -
	Literatur	- 153 -
	Abbildungsverzeichnis	160
	Tabellenverzeichnis	165