

**Ermüdungsverhalten von Beton unter
zyklischer Beanspruchung aus dem
Betrieb von Windkraftanlagen**

T 3305

T 3305

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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.

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

2014

ISBN 978-3-8167-9258-1

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

www.baufachinformation.de

Abschlussbericht

Institutsberichts - Nr. 266/2011
des Instituts für Massivbau (IMB) der RWTH Aachen
Bericht-Nr. G10-76 der H+P Ingenieure GmbH & Co. KG

Gegenstand: Ermüdungsverhalten von Beton unter zyklischer Beanspruchung aus dem Betrieb von Windkraftanlagen

Auftraggeber: DIBt Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)
Kolonnenstr. 30 L
10829 Berlin

erstattet von: Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger
Dr.-Ing. Thomas Roggendorf
Dr.-Ing. Claus Goralski
Dr.-Ing. Wolfgang Roeser

Datum: Aachen, 31. Oktober 2012

Projekt-Nr. IMB: F-2010-016

Projekt-Nr. H+P: G10-76

Dieser Bericht umfasst 147 Seiten Text.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 Einführung	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Veranlassung und Zielsetzung	3
2 Stand der Kenntnisse	4
2.1 Grundlagen	4
2.2 Ermüdungsverhalten von Beton	11
2.2.1 Allgemeines	11
2.2.2 Rissentstehung und Ermüdungsrisswachstum	11
2.2.3 Druckschwellbeanspruchung	13
2.2.4 Zugschwellbeanspruchung	22
2.2.5 Wechselbeanspruchung	28
2.2.6 Schubbeanspruchung	34
3 Existenz einer Dauerschwingfestigkeit für Beton	36
4 Steifigkeitsverlust als Indikator zur Beschreibung des Ermüdungsprozesses	40
5 Einflussparameter des Ermüdungsprozesses	45
5.1 Allgemeines	45
5.2 Betonfestigkeit	45
5.3 Umgebungsbedingungen	50
5.4 Belastungsgeschwindigkeit und Belastungsfrequenz	53
5.5 Belastungsgeschichte	58
5.5.1 Belastungsfunktion	58
5.5.2 Spannungsschwingbreite	58
5.5.3 Ruhephasen	60
5.5.4 Vorbelastung	61
5.5.5 Minerversuche	62
5.5.6 Mehrstufenversuche	65
5.5.7 Mehraxiale Beanspruchung	66
5.5.8 Betonalter	70
5.6 Betontechnologische Parameter	71
5.6.1 Zementgehalt	71
5.6.2 Zuschlag	72
5.6.3 Luftporengehalt	73
5.6.4 Wasserzementwert	73
6 Schädigungsmodelle für Ermüdung aus Regelwerken und der Literatur	75
6.1 Allgemeines	75
6.2 Regelwerke	76
6.2.1 CEB-FIB Model Code 2010	76
6.2.2 DIN EN 1992-1-1, DIN EN 1992-2, DIN 1045-1 und DIN Fachbericht 102	81
6.2.3 DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen	86
6.2.4 DIN 4212 - Kranbahnen aus Stahlbeton und Spannbeton	87

6.2.5 Norwegische Normung (DNV-OS-C502)	88
6.2.6 Niederländische Normung (NEN 6723)	92
6.2.7 Nordamerikanische Normung (ACI 318-08)	94
6.2.8 Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Regelwerke	94
6.3 Energetische Ansätze aus der Literatur	97
7 Charakteristische Bereiche einer Windenergieanlage unter Ermüdung	105
7.1 Allgemeines	105
7.2 Verankerungsbereich in Stahlbetonfundamenten	106
7.3 Verbindung zwischen Stahlsektion und Spannbetonsektion des Turms	109
8 Finite-Elemente Berechnungen	111
8.1 Allgemeines	111
8.2 Materialmodell	111
8.3 Turmverankerung mittels Fundamenteinbauteil	112
8.4 Turmverankerung mittels Ankerkorb	115
8.5 Verbindung zwischen Stahlsektion und Spannbetonsektion des Turms	116
8.6 Ausblick	118
9 Rechnerische Ermüdungsnachweise	121
9.1 Allgemeines	121
9.2 Turmverankerung mittels Fundamenteinbauteil	122
9.3 Turmverankerung mittels Ankerkorb	123
9.4 Verbindung zwischen Stahlsektion und Spannbetonsektion des Turms	127
10 Forschungsbedarf	131
10.1 Theoretische Untersuchungen	131
10.2 Experimentelle Untersuchungen	133
10.3 Numerische Untersuchungen	136
11 Zusammenfassung	137
12 Verwendete Unterlagen	140
12.1 Normen	140
12.2 Veröffentlichungen	141