

## Zusammenfassung

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

---

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

Windenergieanlagen sind während ihrer Nutzungsdauer sehr hohen Lastspielzahlen in der Größenordnung von  $\Sigma N = 10^9$  ausgesetzt. Die hochzyklischen Ermüdungsbeanspruchungen sind für die Dimensionierung moderner Windenergieanlagen (WEA) von entscheidender Bedeutung. Da hinsichtlich der Nachweisführung für die charakteristischen Bereiche einer WEA unter Ermüdungsbeanspruchung aus der Bemessungspraxis verschiedene Fragen und Defizite bekannt sind, wurde der Sachstandsbericht „Ermüdungsverhalten von Beton unter zyklischer Beanspruchung aus dem Betrieb von Windkraftanlagen“ erstellt.

Die in verschiedenen Regelwerken für Beton (DIN1045-1, DIN EN1992, CEB fib Model Code 1990 und 2010) enthaltenen Bemessungsansätze erfassen das Ermüdungsverhalten von Beton nur unzureichend. In erster Linie zielt die Berücksichtigung des Ermüdungsprozesses auf die Vorbeugung eines Ermüdungsbruchs ab. Jedoch kann die dazu häufig verwendete PALMGREN-MINER-Regel für Beton in Abhängigkeit vom Beanspruchungsszenario sowohl zu unsicheren als auch zu unwirtschaftlichen Ergebnissen führen. Für den heterogenen Werkstoff Beton sind die beiden Grundvoraussetzungen dieser Hypothese, (a) Linearität und (b) Reihenfolgeunabhängigkeit, nicht gegeben. Weiterhin reagieren die derzeitigen Bemessungskonzepte sehr empfindlich auf die Eingangsparameter (insbesondere Mittelspannung und Erstbelastungsalter).

Ziel der durchgeführten Untersuchungen war die Schaffung einer objektiven Bewertungsgrundlage zur Einstufung der derzeitigen Nachweiskonzepte für zyklische Beanspruchungen aus dem Betrieb von WEA. Dazu wurden theoretische und experimentelle Untersuchungen, die als Grundlage für die in bestehenden Regelwerken verankerten Ansätze dienen, zusammengestellt und bewertet. Darüber hinaus wurden weiterführende Bemessungsansätze aus der Literatur dargestellt und verglichen. Es folgen eigene Vergleichsberechnungen zur Ermüdungsfestigkeit an für WEA spezifischen Beispielen. Basierend auf diesen Untersuchungen wurden abschließend unter Berücksichtigung der speziellen Beanspruchungsszenarien für Bauteile von WEA der weitere Forschungsbedarf aufgezeigt.

Zum einen können weitergehende Erkenntnisse durch eine gründliche Literaturlauswertung im Zusammenhang mit der Erstellung und Auswertung einer Versuchsdatenbank gewonnen werden. Zum anderen sind geeignete experimentelle Untersuchungen unter Berücksichtigung der praxisrelevanten Beanspruchungen und Betoneigenschaften erforderlich. Für die experimentellen Untersuchungen wurden Empfehlungen hinsichtlich der Dimensionierung, der Durchführung und der Messtechnik abgeleitet. Außerdem sind weitergehende numerische Analysen, insbesondere mit einem verbesserten Materialmodell für den Beton, zu empfehlen. In den numerischen Analysen sollten die fortschreitende Materialdegradation und die daraus resultierenden Spannungsverteilungen bzw. -umlagerungen untersucht werden. Durch weitergehende Versuche und numerische Parameterstudien sind vertiefte Erkenntnisse zur Ermüdungsbeanspruchung unter den für Windenergieanlagen maßgebenden Randbedingungen zu erwarten.