

## **„Zur Bemessung geschraubter Ringflanschverbindungen von Windenergieanlagen“ (Universität Hannover)**

Dr.-Ing. Marc Seidel

In der vorliegenden Arbeit wird das Tragverhalten exzentrisch beanspruchter geschraubter Ringflanschverbindungen theoretisch und experimentell untersucht. Mit Schwerpunkt auf dem Anwendungsgebiet der Windenergieanlagen werden Untersuchungen zur Beanspruchung der Schraube durch Zugkraft und Biegemoment, zur Bewertung dieser Beanspruchung beim Ermüdungsfestigkeitsnachweis, zum Langzeitverhalten und zur Tragfähigkeit durchgeführt.

Im experimentellen Teil werden Versuche an Flanschsegmenten im Labor und Messungen an laufenden Windenergieanlagen vorgestellt. Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen wird dabei eine erweiterte Meßtechnik verwendet, die eine umfangreiche Plausibilitätskontrolle der Ergebnisse erlaubt.

Zur weitergehenden Untersuchung der Verbindung wird ein Finite-Element-Modell entwickelt, wobei die Besonderheiten der Schraubenmodellierung besonders herausgearbeitet werden. Für die Berechnung des Gesamtsystems wird eine aus dem Grundmodell abgeleitete Variante vorgestellt. Die Verifikation des FE-Modells wird anhand der Laborversuche vorgenommen, wobei eine gute Übereinstimmung zwischen Versuch und Berechnung im gesamten Abmessungsbereich sowohl im Gebrauchslast- als auch im Traglastbereich festgestellt wird.

Ausgehend von den vorhandenen Berechnungsmodellen wird ein iteratives Berechnungsverfahren entwickelt, das im Gegensatz zu den bekannten Verfahren die Ermittlung von Schraubennormalkraft und Schraubenbiegemoment erlaubt. Mit Hilfe von Grenzbetrachtungen werden einfache Schätzparameter abgeleitet, die die Eignung des Modells in Abhängigkeit von der vorliegenden Geometrie beschreiben. Die Betrachtungen beschränken sich dabei auf die perfekte Verbindung, das Modell bietet allerdings prinzipiell die Möglichkeit zur Berücksichtigung baupraktisch unvermeidbarer Ungenauigkeiten in der Ausführung über einen in die Berechnung einzuführenden Imperfektionswinkel.

Im weiteren wird die Bewertung der Beanspruchung im Hinblick auf die Ermüdungsfestigkeit behandelt. Ausgehend von Ergebnissen anderer Autoren wird ein Vorschlag zur Erfassung der kombinierten Beanspruchung durch Interpolation der Kerbgruppen für Normalkraft- bzw. Biegebeanspruchung begründet. Für die besondere Beanspruchung der Windenergieanlagen werden Beispielberechnungen vorgestellt, die diesen Einfluß zu verdeutlichen.

Ein maßgeblicher Parameter für die Ermüdungsfestigkeit der Verbindung ist die Höhe der wirksamen Vorspannkraft. Ihre zeitliche Veränderung wird darum ebenfalls im Labor und im Feldversuch untersucht. Durch den Vergleich von Vorspannkraftverlusten an beschichteten und unbeschichteten Flanschen wird der Einfluß der Beschichtung quantifiziert. Zur Vermeidung von Plastizierungen im Gebrauchszustand, die zu deutlichen Vorspannkraftverlusten führen, wird ein Näherungsverfahren zum Nachweis gegen Fließen im Flansch entwickelt.

Neben der Ermüdungsfestigkeit der Verbindung ist auch ihre Tragfähigkeit von Bedeutung. Aus der Analyse einer FE-Parameterstudie wird der Abmessungsbereich identifiziert, für den die bekannten Berechnungsvorschläge unnötig konservativ sind. Es wird ein erweitertes Ingenieurmodell zur Bestimmung der Tragfähigkeit vorgestellt, das für diesen Bereich bessere Ergebnisse liefert.

Da sich alle Betrachtungen üblicherweise auf ein aus dem Gesamtsystem herausgeschnittenes Segment beziehen, wird diese Betrachtungsweise mit Hilfe eines aufwendigen FE-Modells des Gesamtsystems einer kritischen Betrachtung unterzogen. Es zeigt sich, daß für die Ermittlung der Ermüdungsbeanspruchung nur ein unwesentlicher Unterschied zwischen Segment- und Gesamtsystembetrachtung besteht. Desweiteren werden Untersuchungen zum Einfluß eines Winkelspaltes sowie einer geringeren Vorspannkraft einer Schraube angestellt.

Schriftenreihe des Instituts für Stahlbau der Universität Hannover

Heft 20

**Marc Seidel**

**Zur Bemessung geschraubter  
Ringflanschverbindungen von Windenergieanlagen**

Shaker Verlag  
Aachen 2001

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

*Seidel, Marc:*

Zur Bemessung geschraubter Ringflanschverbindungen von Windenergieanlagen/  
Marc Seidel.

Aachen : Shaker, 2001

(Schriftenreihe des Instituts für Stahlbau der Universität Hannover ; Bd. 20)

Zugl.: Hannover, Univ., Diss., 2001

ISBN 3-8265-8911-4

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann

Institut für Stahlbau

Appelstr. 9A

30167 Hannover

<http://www.stahlbau.uni-hannover.de>

Copyright Shaker Verlag 2001

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen  
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-  
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-8911-4

ISSN 1617-8327

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

Aus den durchgeführten Untersuchungen werden Empfehlungen zur Ausbildung, Berechnung, Montage und Wartung einer Ringflanschverbindung abgeleitet. Aus den entwickelten Berechnungsverfahren und den durchgeführten Parameterstudien werden einfache Formeln und Diagramme extrahiert, die es dem Praktiker erlauben, eine schnelle Vorbemessung der Verbindung durchzuführen.

Im Anhang sind ergänzend alle Verfahren in Form von zehn Ablaufdiagrammen aufgearbeitet. Anhand eines ausführlichen Beispiels wird die Dimensionierung und Berechnung demonstriert.

Bezugsquelle:

Shaker-Verlag, Aachen 2001, ISBN 3-8265-8911-4