

Strukturierte Zusammenfassung der Dissertation

Beitrag zum Nachweis der Ermüdungsfestigkeit querbelasteter Blindnietverbindungen unter Berücksichtigung höherfester Stahlsorten

vorgelegt von

M. Sc. Florian Kalkowsky

Einleitung und Motivation

Neben Verschleiß und Korrosion sind Schäden an Konstruktionen in vielen technischen Bereichen maßgeblich auf das Vorhandensein von Ermüdungsbeanspruchung zurückzuführen. In Folge dessen ist bereits in der Entwurfsdimensionierung ein zutreffender Nachweis der Ermüdungsfestigkeit immer dort unerlässlich, wo Bauteile oder Konstruktionen über ihre geplante Nutzungsdauer hinweg nicht vorwiegend ruhende Lastenwirkungen ausgesetzt sind. Ein Ermüdungsfestigkeitsnachweis auf Basis von Nennspannung ist immer dort möglich, wo sinnvoll ein Nennquerschnitt definiert werden kann. Für stabförmige Bauteile in der Tragstruktur von Hochregallagern und Fahrtreppen ist dieser Umstand gegeben, sodass der Nachweis mit Nennspannungen fester Bestandteil der Nachweisführung ist. Neben dem Nachweis der Bauteile sind auch die vorhandenen Verbindungen nachzuweisen. Aufgrund der Anwendung von bandverzinkten Halbzeugen und der Forderung einer einfachen Montage werden Verbindungen mit mechanischen Verbindungselementen eingesetzt, wobei Blindniete angesichts einseitiger Zugänglichkeiten und kleinen Anschlussmaßen vorrangig Anwendung finden. Auch der Einsatz von höherfesten Stählen ist das Mittel der Wahl, wenn der Leichtbaugedanke für die geplante Konstruktion realisiert werden soll. Das Absenken des Konstruktionseigengewichts und Vorteile beim Nachweis der Stabilität (Knicksicherheit) sind in diesem Zusammenhang zu benennen. Allgemein finden in den branchenspezifischen Nachweiskonzepten der Ermüdungsfestigkeit die höhere Werkstofffestigkeit bislang nicht die notwendige Berücksichtigung. Für den bauaufsichtlich geregelten Bereich existieren mit dem Eurocode 3 Teil 1-9 Bemessungsgrundlagen für den Ermüdungsfestigkeitsnachweis auf Basis von Nennspannungen nach dem $\Delta\sigma$ -Konzept, welche allerdings nur für geschweißte Bauteile oder Anschlüsse mit Schrauben ihre Gültigkeit besitzen. Die Verbindungen mit Blindnieten sind indes bisher nicht erfasst. Des Weiteren stellt die vereinheitlichte Festlegung einer stahlsortenunabhängigen Kerbfallklasse nach dem Eurocode 3 immer eine untere Grenze der möglichen Ermüdungsfestigkeit dar. Damit verbunden ist eine zum Teil sehr konservative Ermüdungsbewertung. Für den Anwender wäre es daher wünschenswert einen Ansatz zu besitzen, welcher die wesentlichen Einflussgrößen auf

das Ermüdungsverhalten von mechanisch gefügten Verbindungen, speziell jene mit Blindnieten, detailliert erfasst und zugleich praxistauglich ist.

Zielstellung

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit definiert sich allgemein in der Erarbeitung eines innovativen Bemessungsvorschlages zum Nachweis der Ermüdungsfestigkeit von Bauteilen in querbelasteten Blindnietverbindungen und -anschlüssen. Dabei besteht seitens des Verfassers die Bestrebung nicht nur eine vereinheitlichte Bemessungswöhlerlinie zur Bewertung der Ermüdungsfestigkeit zu definieren. Ferner sollen, entgegen des bisherigen Vorgehens beim Nachweis der Ermüdungsfestigkeit nach dem Eurocode 3, erstmals die relevanten schwingfestigkeitsbeeinflussenden Größen, wie die Werkstofffestigkeit und die Kerbwirkung explizit im Nachweis erfasst werden. Dadurch ermöglicht wäre zum einen erstmalig der Nachweis für Bauteile in querbelasteten Blindnietverbindungen und -anschlüssen und zum anderen im selben Zuge eine wesentlich verbesserte Vorhersagegüte des Bewertungskonzeptes durch eine treffsichere Aussage über das Ermüdungsverhalten. Verbunden mit diesen Bestrebungen kann infolgedessen fortan das bestehende Potential beim Einsatz höherfester Stähle nicht nur im statischen Festigkeitsnachweis oder Stabilitätsnachweis, sondern auch beim Nachweis für zyklisch beanspruchte Bauteile in Ansatz gebracht werden.

Ergebnisse

Die wesentlichen Ergebnisse sowie Erkenntnisse dieser Arbeit werden nachfolgend zusammengefasst:

1. Es konnte ein Bemessungsvorschlag zum Nachweis der Ermüdungsfestigkeit von Bauteilen in querbelastete Blindnietverbindungen erarbeitet werden.
2. Das Ermüdungsverhalten von Bauteilen in SL-Verbindungen ist im Wesentlichen von der Werkstofffestigkeit sowie der Kerbwirkung und nicht vom verwendeten Verbindungselement abhängig. Aus diesem Grund scheint eine Übertragung des gezeigten Ansatzes auf Verbindungen mit Schrauben und anderen Blindniettypen möglich.
3. Dieser Bemessungsvorschlag ermöglicht fortan eine getrennte Bemessung von Verbindungselement und Bauteil nach dem $\Delta\sigma$ -Konzept des Eurocode 3.
4. Der Nachweis ist auf Basis von Nennspannungen zu führen, wobei wichtige schwingfestigkeitsbeeinflussende Größen auf der Widerstandsseite explizit zu erfassen sind.
5. Der erarbeitete Bemessungsvorschlag berücksichtigt eine mit der statischen Festigkeit des Bauteilwerkstoffes steigende Ermüdungsfestigkeit der Bauteile im Nachweis.

6. Die numerisch gestützte Ermittlung der Kerbwirkung als wichtige Eingangsgrößen für den Ermüdungsfestigkeitsnachweis von querbelasteten Verbindungen mit Blindnieten ist möglich.
7. Auch die Kerbwirkung in der Verbindung ist eine schwingfestigkeitsbeeinflussende Größe, welche für triviale geometrische Ausführungen der Verbindung graphisch oder für komplexere Anschlüsse numerisch bestimmt werden kann.
8. Es konnten anhand des angestregten Vergleiches von verschiedenen Modellierungsvarianten Empfehlungen zur numerischen Ermittlung der Formzahl und Stützwirkung abgeleitet werden.
9. Die Anwendung des Rechengangs der FKM-Richtlinie mit dem Kerbspannungskonzept für nichtgeschweißte Bauteile zeigte eine sehr hohe Prognosegüte der zu erwartenden Schwingfestigkeit der geprüften Verbindungen.
10. Die numerischen Untersuchungen zum Last-Verformungs-Verhalten ergaben keine nennenswerten plastischen Deformationen der Blindniethülse unter Beachtung des zulässigen, reduzierten Lochleibungswiderstandes.
11. Das Last-Verformungs-Verhalten der Verbindungen aus den quasi-statischen Querkraftversuchen konnten in sehr guter Näherung in numerischen Simulationen abgebildet werden. Zudem lieferten die Simulationen wichtige Erkenntnisse zur Definition des Anwendungsbereiches des Bemessungsvorschlages.
12. Die experimentellen Untersuchungen an verschiedenen Probengeometrien und deren Ergänzung zeigten eine deutliche Abhängigkeit der Kerbwirkung in der Verbindung, sodass die Verwendung von standardisierte Probenform nicht empfohlen wird. Eine an der realen Anwendung abgeleitete Probenform ist demnach ausdrücklich zu bevorzugen.