

Experimentelle Ermittlung der Ermüdungsfestigkeit von scherbeanspruchten Schließringbolzen- und Blindnietverbindungen ohne Bauteileinfluss

Prof. Dr.-Ing. Martin- Christoph Wanner, Dipl.-Ing. Christoph Blunk, Fraunhofer Anwendungszentrum Großstrukturen in der Produktionstechnik Rostock

1. Einleitung

Eine Vielzahl von Produkten, speziell im Maschinen- und Fahrzeugbau, aber auch im Bauwesen, wird während ihrer Nutzungszeit durch wechselnde Belastungen beansprucht. Damit während der geplanten Lebensdauer eine uneingeschränkte Nutzung gewährleistet werden kann, müssen die einzelnen Bauteile und Baugruppen mittels zuverlässiger Methoden, unter Berücksichtigung der zu erwartenden Beanspruchungen, betriebsfest bemessen werden. Dies ist jedoch für einzelne Fügetechnologien wie Blindniete und Schließringbolzen bisher nicht möglich. Während für Schweiß- und Schraubenverbindungen umfangreiche Erfahrungen vorliegen und entsprechende Regelwerke existieren, muss für o. g. Fügeverfahren weiterhin auf Versuchsreihen zurückgegriffen werden. Dies ist mit einem hohen finanziellen als auch zeitlichen Aufwand verbunden. Dieser wirkt konträr zu dem in vielen Branchen vorherrschenden Bestreben zur Verkürzung der Entwicklungszeiten. Weiter hat der mit den steigenden Energie- und Rohstoffpreisen zunehmende Zwang zum Leichtbau zur Entwicklung und zum Einsatz einer Vielzahl neuer und höherfester Materialien geführt. Die sich verkürzenden Produktlebenszeiten tragen weiter zu einer raschen Änderung der Produkte bzw. einzelner Komponenten bei. Dieser Umstand hat zur Folge, dass der Versuchsaufwand weiter zunimmt.

Erfahrungsgemäß stellt das Verbindungselement häufig das ermüdungsgefährdete Bauteil dar. Aus diesem Grund wird im Rahmen des hier vorgestellten EFB-Forschungsprojektes [1] die Ermüdungsfestigkeit von querkraftbeanspruchten Schließringbolzen und Blindnieten untersucht. Primäres Ziel des Vorhabens ist es, für die Verbindungselemente durch Wöhlerversuche einen Kerbfall in Anlehnung an den Eurocode [2] zu ermitteln. Im Ergebnis kann zukünftig der Ermüdungsfestigkeitsnachweis für derartige Verbindungselemente bauteilunabhängig erfolgen und auf experimentelle Versuche weitestgehend verzichtet werden.

2. Herausforderungen

Um die o. g. Verbindungselemente in ermüdungsbeanspruchten Konstruktionen einsetzen zu können, sind genaue Kenntnisse über das Zeitfestigkeitsverhalten notwendig. Im Bauwesen wird auf das sogenannte Nennspannungskonzept zurückgegriffen. Die im Bauteil infolge einer Last auftretenden Spannungen werden dabei ohne Berücksichtigung der örtlichen Kerbwirkung auf den Grundwerkstoff, die Schweißnaht oder das Verbindungselement bezogen. Dabei existieren für unterschiedliche Konstruktionsdetails in Abhängigkeit der Beanspruchungsrichtung (Längs- oder Querkraft) entsprechende Kerbfälle. Während für längskraftbeanspruchte Verbindungen 14 Kerbfälle beschrieben werden, sind für Querkraftbeanspruchung nur 2 Kerbfälle definiert. So gilt bspw. bei ein- oder zweischnittigen Schrauben in Scher- / Lochleibungsverbindungen (Gewinde nicht in der Scherfläche) der Kerbfall 100. Dies bedeutet, für eine derartige Schraubenverbindung mit einer konstanten Querkraftbelas-

ung in Höhe einer Schubspannungsschwingbreite von $\Delta\tau_C = 100 \text{ N/mm}^2$ sind $2 \cdot 10^6$ Spannungsschwingspiele zu erwarten (vgl. Abbildung 1).

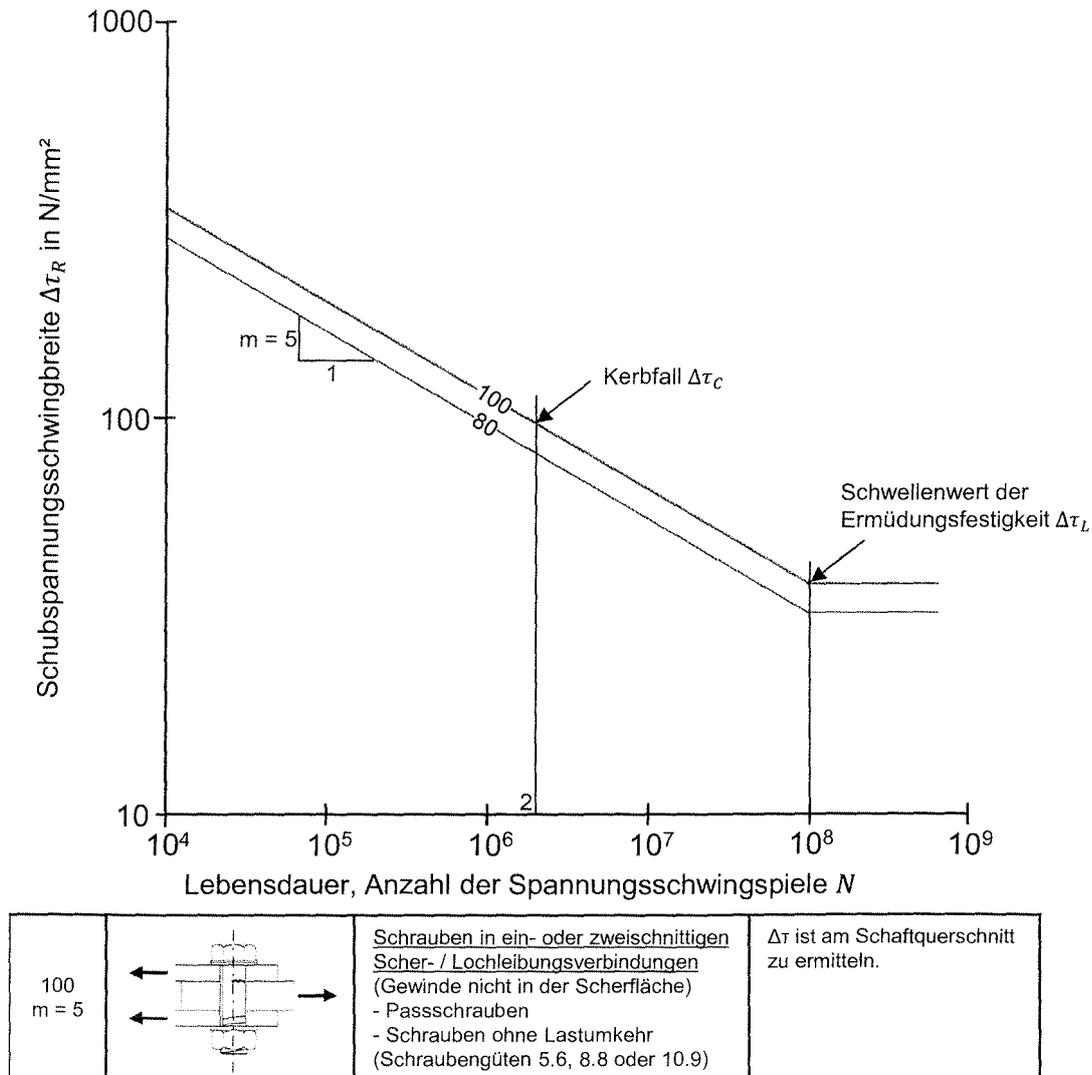


Abbildung 1: Kerbgruppen nach Eurocode 3 [2]

Die Herausforderung im Rahmen des Vorhabens bestand dabei in der Festlegung eines geeigneten Prüfaufbaus, da die Eliminierung des Bauteileinflusses im Vordergrund stand. Sowohl die untersuchten Blindniete als auch die Schließringbolzen dienen der Herstellung von Scher- / Lochleibungsverbindungen (Kategorie A Verbindungen nach DIN EN 1993-1-8, Tabelle 3.2 [3]). Folglich kann im Anwendungsfall auch die Vorbereitung und damit Beschaffenheit der zu verbindenden Bauteile einen Einfluss auf die Ermüdungsfestigkeit der Verbindung haben. Daher wurde für die Prüfung der Verbindungselemente ein Prüfaufbau angestrebt, mit welchem der ungünstigste Fall einer möglichen Anwendung abgedeckt wird. Daher wurden zunächst exemplarisch mit einem Verbindungselement anhand einer einschneidigen Überlappverbindung wesentliche Einflussparameter auf die Ermüdungsfestigkeit untersucht. Die Prüfkörper wurden so dimensioniert, dass ausschließlich ein Versagen des Verbindungselementes provoziert wurde. Zu den variierten Parametern zählten:

- Lochdurchmesser ($d_{L,max}$, $d_{L,min}$)
- Fügerichtung ($t_1 = t_2$, $t_1 > t_2$, $t_1 < t_2$)

- Spannungsverhältnis R (0,1 / 0,5 / -1)

Als weitere Parameter wurden die Art des Blindniets (Hülsenfalzer, Hülsenweiter) sowie ein möglicher Größeneinfluss untersucht. Die Einflüsse durch Temperatur oder Korrosion wurden nicht betrachtet.

3. Vorgehensweise

Im Vorfeld der Ermüdungsversuche wurde zunächst ein statischer Scherzugversuch an den untersuchten Verbindern nach [4] durchgeführt, um die maximale statische Tragfähigkeit zu bestimmen. Diese diente als Ausgangsbasis für die Festlegung der Lasthorizonte für die Schwingversuche. Insgesamt wurden jeweils mindestens fünf Versuche auf drei Lasthorizonten im Bereich der Zeitfestigkeit durchgeführt. Die Grenzschwingspielzahl betrug zwischen $2 \cdot 10^6$ und $5 \cdot 10^6$ Lastwechseln. Um die Ermüdungsfestigkeit im Zeitfestigkeitsbereich zu beschreiben, wird eine Regressionsfunktion unter verschiedenen Ausfall- bzw. Überlebenswahrscheinlichkeiten bestimmt (vgl. Abbildung 2). Die Bestimmung der Ausfall- bzw. Überlebenswahrscheinlichkeiten im Dauerfestigkeitsbereich verlangt eine hohe Versuchszahl im Übergangsbereich, welche aufgrund der hohen Schwingspielzahlen einen immensen zeitlichen Aufwand darstellt. Der Fokus des Forschungsvorhabens liegt jedoch auf der Bestimmung des Ermüdungsverhaltens im Zeitfestigkeitsbereich, somit war eine intensive Untersuchung des Übergangsbereichs nicht erforderlich und wurde nur exemplarisch für ausgewählte Verbindungskonfigurationen untersucht.

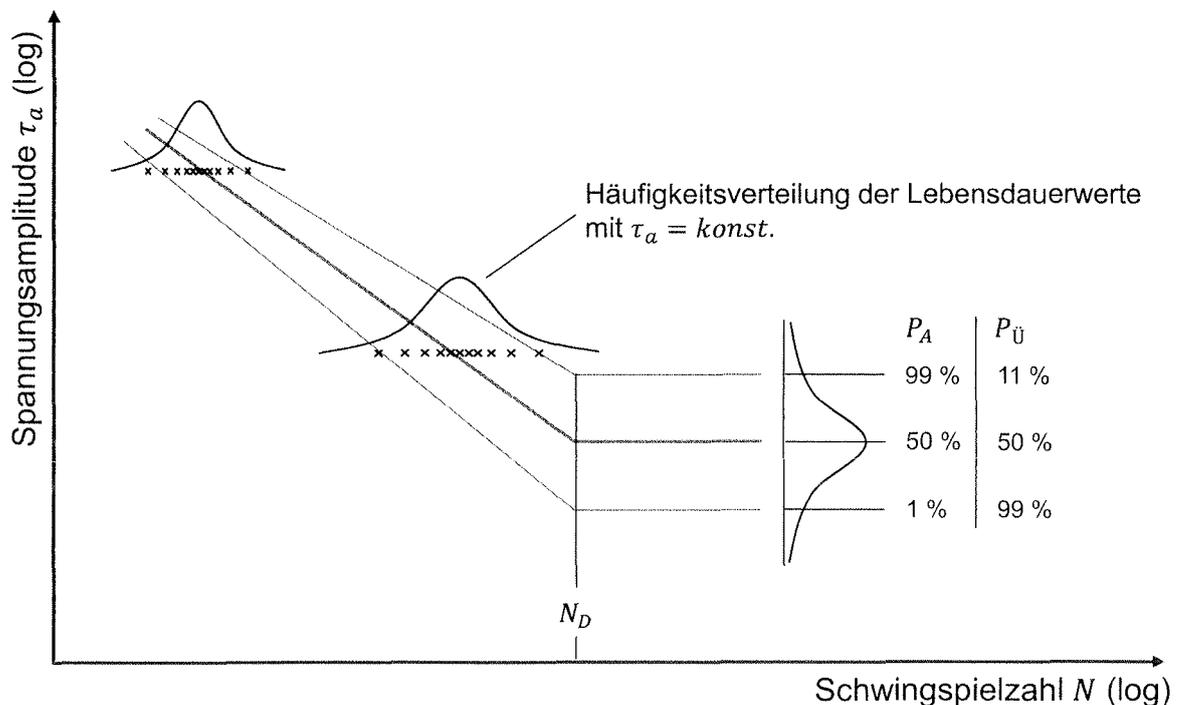


Abbildung 2: Auswertung der Ermüdungsversuche (schematisch)

4. Ergebnisse

Für die durchgeführten Versuche wurden die ertragbaren Lasten statistisch ausgewertet und in Schubspannungsbreiten übertragen. Dafür wurde sich auf den gemessenen Nenndurchmesser der Verbinder bezogen. Nenndurchmesser bedeutet hierbei, dass auch bei Blindnieten vereinfachend von einem theoretischen Vollquerschnitt des Verbinders ausgegangen wird und Unstetigkeiten infolge der Geometrie von Niethülse und Nietdorn vernachlässigt werden. Diese Vorgehensweise dient der Umsetzung des Bemessungskonzeptes in die Praxis und wurde durch Versuche bei unterschiedlichen Klemmlängen und durch die Variation der Lage der Scherebene verifiziert. Letztlich erfolgte die statistische Auswertung aller untersuchten Blindniete und die Übertragung der ermittelten Zeitfestigkeiten mit einer Überlebenswahrscheinlichkeit von $P_0 = 99\%$ in ein doppeltlogarithmisches Diagramm (Abbildung 3).

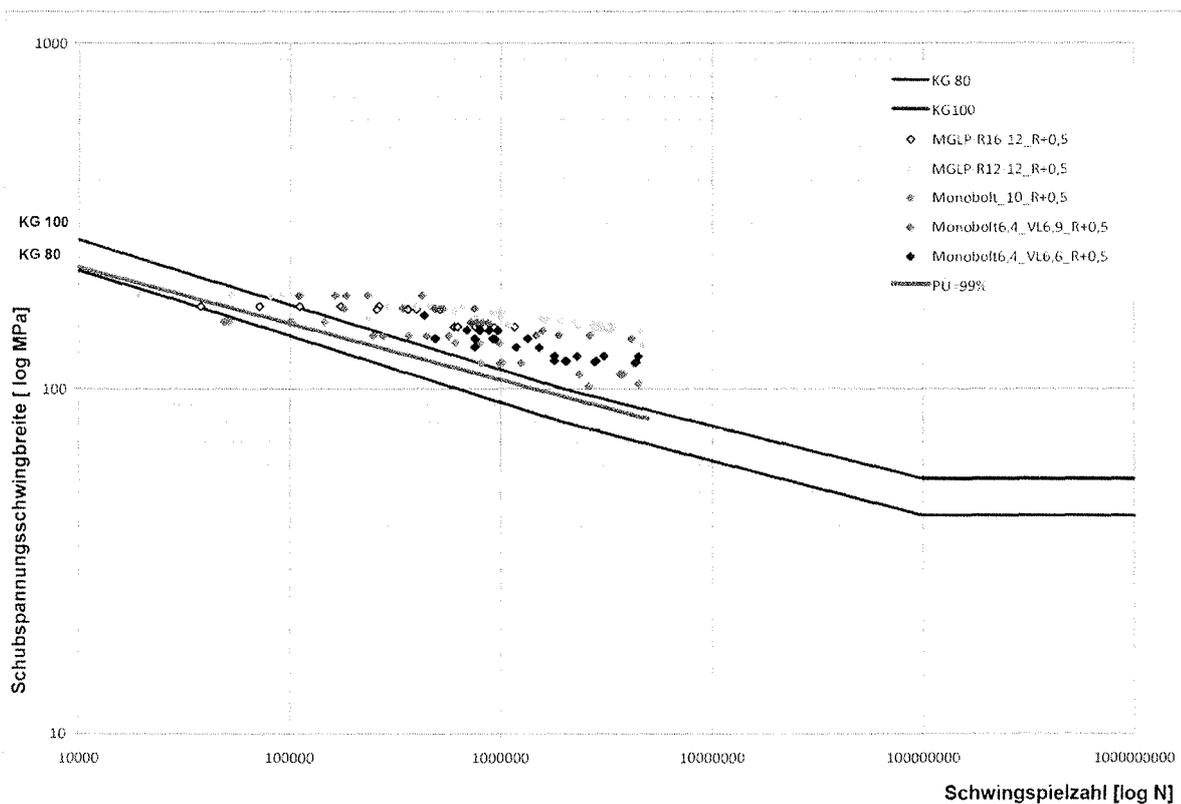


Abbildung 3: Einordnung der Versuchsergebnisse in den Eurocode 3 [2]

Als Ergebnis des Forschungsvorhabens kann die Bemessung für Blindniete für vorwiegend nicht ruhende Beanspruchungen analog zu Schraubenverbindungen gemäß Eurocode 3 für Bauteil und Verbinder getrennt erfolgen. Weiter ist die Übertragung der Versuchsergebnisse auf maschinenbauliche Bemessungskonzepte denkbar.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Ausgehend von den umfassenden Auslegungsrichtlinien für Standardschraubenverbindungen aus dem Stahlbau wurde ein Konzept zur Durchführung und Bewertung von Versuchen zur Ermittlung der Ermüdungsfestigkeit von Blindnieten unter Querkraftbeanspruchung entwickelt. Der rechnerische Nachweis für die Tragsicherheit erfolgt auf der Basis moderner Bemessungskonzepte getrennt für Fügeteilwerkstoff und Fügeelement. Zur Ermittlung der Tragfähigkeitskennwerte wurde ein umfassendes Prüfprogramm entwickelt, welches sich an früheren Untersuchungen zur Charakterisierung von Schraubenverbindungen orientiert. Hiermit konnten statistisch abgesicherte Versuche durchgeführt und bewertet werden.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens werden weiterführende Untersuchungen durchgeführt, welche die bisherigen Ergebnisse für weitere Blindniet- und Schließringbolzentypen verifizieren sollen. Das Versuchsprinzip kann außerdem auf andere Füge Technologien (z. B. [5]) ausgeweitet werden. Zudem sind mögliche weitere und bisher nicht untersuchte Einflussparameter auf die Ermüdungsfestigkeit zu klären. Hierzu zählen u.a. der Oberflächenzustand der Verbinder (z. B. Korrosionsschutz), Fertigungstoleranzen sowie werkstoffliche (z. B. Gefüge) und geometrische Parameter (z. B. flache Schließringformen, Senkniete).

Literatur

- [1] **Wanner, M.-C. und Glienke, R.:** Experimentelle Ermittlung der Ermüdungsfestigkeit von scherzugbeanspruchten Schließring- und Blindnietverbindungen. *laufendes AiF-Vorhaben 16455 BR/1*. Rostock : Fraunhofer AGP, 2012.
- [2] **DIN EN 1993-1-9:** Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten. *Teil 1-9: Ermüdung*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2010. 2010:12.
- [3] **DIN EN 1993-1-8:** Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten. *Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*. Berlin : Beuth-Verlag GmbH, 2010. Dezember 2010.
- [4] **DIN EN ISO 14589:** Blindniete. *Mechanische Prüfung*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2001. 2001:08.
- [5] **Wanner, M.-C. und Denkert, C.:** Beanspruchungsgrenzen für Funktionselement-Verschraubungen. *laufendes AiF-Vorhaben 17640BR/1*. Rostock : s.n., 2013.