

# Schlussbericht

zu dem IGF-Vorhaben 20818 N

## ***Lebensdauerbewertung von geschweißten Verbindungselementen unter Montagevorspannung***

der Forschungsstellen

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, Darmstadt



Technische Universität Darmstadt, Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik IFSW, Fachgebiet Werkstoffmechanik, Darmstadt



Das IGF-Vorhaben 20818 N der Forschungsvereinigung Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V.-FAT wurde über die



im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Darmstadt, 30.09.2023

Ort, Datum

Andre Jöckel

Name des Projektleiters  
an der federführenden Forschungsstelle

## **Kurzfassung:**

Geschweißte Verbindungselemente, wie Bolzen und Muttern, werden zunehmend für zyklisch belastete und konstruktiv wichtige Bauteile eingesetzt. Der stetig wachsende Anwendungsbereich umfasst neben vielen anderen auch den Automobilbau zur Verbindung von Fahrwerkskomponenten. Die Schwingfestigkeit gilt als ein wesentliches Kriterium für die Auslegung von geschweißten Verbindungselementen. Derzeit gibt es keine allgemein gültigen Regeln für den rechnerischen Nachweis der Schwingfestigkeit von belasteten geschweißten Verbindungselementen, insbesondere unter zusätzlicher Berücksichtigung der Montagevorspannung.

Das Ziel des Forschungsvorhabens war es, numerische Verfahren zur Lebensdauerbewertung von geschweißten Verbindungselementen aus Stahl unter Verwendung des Kerbspannungs- und Strukturspannungskonzeptes zu entwickeln. Hierfür wurden Schwingfestigkeitsversuche (reine Axialzugbelastung ohne Vorspannung und Schrägzugbelastung unter Vorspannung) an Schweißmutter- und Schweißbolzenverbindungen durchgeführt. Dabei wurde neben einem normalfesten Baustahl auch ein hochfester Dualphasenstahl untersucht. Der Einfluss von Montagevorspannungen und deren Abbau infolge zyklischer Belastungen sowie der Einfluss unterschiedlicher Blechdicken und Belastungszustände war ebenfalls Teil der Untersuchung.

Bereits infolge der untersuchten Typen der Verbindungselemente zeigt sich ein grundlegender Unterschied bezüglich der eingeleiteten Vorspannkraft. Während bei geschweißten Bolzenproben die Vorspannkraft gegen das Grundblech aufgebracht wird und sich dieses in Abhängigkeit von seiner Dicke und dem Werkstoff verformt, wirkt die Vorspannkraft bei den Mutterproben gegen den Flansch der Muttern, woraus sich für diese Proben typen Unterschiede im Schwingfestigkeitsverhalten einstellen. Bei Bolzenproben unter schräger Zugbelastung (von  $45^\circ$ ) wird bspw. ein frühzeitiger Abfall der Vorspannkraft festgestellt, was sich negativ auf die Schwingfestigkeit auswirkt. Lediglich zwei übergreifende Erkenntnisse lassen sich festhalten: (a) Die ertragbare Kraftamplitude steigt mit zunehmender Vorspannkraft und (b) ein nachweisbarer Mittelspannungseinfluss lassen sich für keinen der beiden Proben typen feststellen. Letzteres ist bei Schweißverbindungen im Zusammenhang mit den vorliegenden Eigenspannungen zu betrachten. Ergänzend zu den experimentellen Schwingfestigkeitsuntersuchungen unter konstanten Lastamplituden wurden Versuchsreihen mit Überlasten und unter variablen Lastamplituden durchgeführt und statistisch ausgewertet.

Abschließend kann festgehalten werden, dass durch die beiden entwickelten Bewertungsverfahren auf Basis des Struktur- und Kerbspannungskonzeptes die

Schwingfestigkeit von geschweißten Bolzen- und Mutterverbindungen ausreichend gut abgeschätzt werden kann. Diese weisen Streuungen von  $T_S = 1:2.1$  (Strukturspannungsansatz) und  $T_S = 1:2.3$  (Kerbspannungsansatz) leicht über dem typischen Bereich für Schweißverbindungen auf, die jedoch durch den zusätzlichen Einfluss der Montagevorspannung erklärt werden kann. Bei der Berücksichtigung der Montagevorspannung stellt die Korrelation mit dem sich lokal einstellenden, versagensrelevanten Beanspruchungszustand weiterhin eine Herausforderung für die Bewertung dar. Dennoch konnten aus den Ergebnissen Empfehlungen für eine Lebensdauerbewertung abgeleitet werden.

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

---

Beginn der Arbeiten:	01.10.2019
Ende der Arbeiten:	31.03.2023
Zuschussgeber:	BMWi / IGF-Nr. 20818 N
Forschungsstelle 1:	Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF Leiter: Prof. Dr.-Ing. T. Melz
Forschungsstelle 2:	Technische Universität Darmstadt, Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik Fachgebiet Werkstoffmechanik, IFSW Leiter: Prof. Dr.-Ing. Michael Vormwald
Bearbeiter und Verfasser:	A. Jöckel (LBF) B. Möller (LBF) H. T. Beier (IFSW) P. Yadegari (IFSW)

## **Förderhinweis und Danksagung**

Dieser Bericht ist das wissenschaftliche Ergebnis eines Forschungsprojekts, das von der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. - FAT über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert wurde.

Die Bearbeitung erfolgte am Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF unter der Leitung von Herrn Professor Dr.-Ing. Tobias Melz und am Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik Fachgebiet Werkstoffmechanik der Technischen Universität Darmstadt unter der Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Vormwald.

Den Teilnehmern des begleitenden Projektausschusses sei in besonderer Form gedankt. Insbesondere gilt der Dank der Firma BMW Group für die Bereitstellung der Bleche sowie der Durchführung von CT-Scans, der Firma Tucker GmbH für die Bereitstellung und Schweißung der Gewindebolzenproben, der Firma Fastenrath für die Bereitstellung der Schweißmuttern und die Beratung/ Beurteilung der Mutterschweißproben, und der Firma ISIB Institut für Schweißtechnik und Ingenieurbüro Dr. Möll GmbH für die Anfertigung und Beurteilung von Schliffen geschweißter Verbindungselemente, der Firma Opel Automotive GmbH für die Durchführung von Simulationen und Vergleichsrechnungen, der Firma Ford-Werke GmbH für die Modellerstellung und die Durchführung von Beispielrechnungen an Baugruppen und der Firma IAMT Engineering GmbH & Co. KG für die Durchführung vom Vergleichsberechnungen zur Schwingfestigkeit von geschweißten Verbindungselementen.