

# FKM Mehrkanalig

Vorhaben Nr. 618

---

## Erweiterung des Ermüdungsfestigkeitsnachweises der FKM-Richtlinie Rechnerischer Festigkeitsnachweis zur Anwendung auf mehrkanalig nichtproportionale Lasten

---

### Abschlussbericht

#### Kurzfassung:

Im Verlauf des Forschungsvorhabens sind Erweiterungen des Algorithmus der FKM-Richtlinie „Rechnerischer Festigkeitsnachweis“ (Ausgabe 7 von 2020) entwickelt worden. Im Fokus steht der Ermüdungsfestigkeitsnachweis. Dort werden zwei Unzulänglichkeiten am bestehenden Algorithmus identifiziert: Erstens sind die Berechnungsergebnisse nicht koordinateninvariant, d.h. sie hängen von der Wahl des Koordinatensystems für die Auswertung der örtlichen Spannungen ab. Zweitens können bisher mehrachsige-nichtproportionale Beanspruchungen in ihrer Wirkung nur durch konservative Abschätzungen berücksichtigt werden, da der Phasenbezug zwischen den einzelnen Beanspruchungen nicht berücksichtigt wird. Um Verbesserungspotenzial aufzuzeigen, wird das Ausmaß von Koordinatenvarianz und die Konservativität der Bewertung nichtproportionaler Beanspruchungen im Rahmen des Projekts analysiert.

Basierend darauf werden zwei Vorschläge für einen verbesserten Algorithmus entwickelt. Hierzu werden Vergleichsspannungen eingeführt, mit denen der zeitliche Verlauf des Spannungstensors in den Verlauf einer skalaren Vergleichsgröße überführt wird. Die Vergleichsgrößen sind einerseits eine modifizierte Form der skalierten Normalspannung und andererseits eine modifizierte Form des Findley-Parameters. Um die in der aktuellen FKM-Richtlinie enthaltenen Unterschiede in der Bewertung von Normal- und Schubbeanspruchung (beispielsweise unterschiedliche Wöhlerlinienneigungen) weiterhin berücksichtigen zu können, werden die Festigkeitskennwerte in Abhängigkeit von der Spannungsmehrachsigkeit angepasst. Zur Berücksichtigung nichtproportionaler Beanspruchungen wird das Verfahren der kritischen Schnittebene für beide Vergleichsspannungen eingeführt. Außerdem wird ein Vorschlag entwickelt, wie Stützzahlen bei nichtproportionaler Beanspruchung zu berechnen sind.

Abschließend wird die Treffsicherheit der neuen Algorithmen nachgewiesen. Die Treffsicherheit des bisherigen Algorithmus für proportionale Beanspruchungen bleibt nahezu unverändert. Die Koordinateninvarianz ist jedoch hergestellt. Für nichtproportionale Beanspruchungen stellt sich eine ähnlich gute Genauigkeit ein wie für proportionale Beanspruchungen.

Mit dem Vorhaben wird somit eine wesentliche Verbesserung der Anwendbarkeit der FKM-Richtlinie erreicht. Die neuen Algorithmen übertreffen die bisher existierenden in hohem Maße bezüglich der Robustheit und Treffsicherheit. Insbesondere beim Nachweis mehrachsiger nichtproportionaler Beanspruchungen wurde erhebliches zusätzliches Potential zugänglich gemacht.

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist erreicht worden.

---

Laufzeit:	01.08.2020 – 31.07.2023
Fördergeber:	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz /Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (BMWK/AiF)
Fördernummer(n):	IGF 21306 N FKM 618
Forschungsstelle(n):	Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit (IMAB), Technische Universität Clausthal Leiter: Prof. Dr.-Ing. Alfons Esderts  Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik (IFSW), Technische Universität Darmstadt Leiter: Prof. Dr.-Ing. Michael Vormwald

Bearbeiter und Verfasser: Dr.-Ing. Ralf Wuthenow, (IMAB)  
Carl Fällgren, M. Sc. (IFSW)  
Dr.-Ing. Michael Wächter (IMAB)  
Prof. Dr.-Ing. Alfons Esderts (IMAB)  
Prof. Dr.-Ing. Michael Vormwald (IFSW)

Projektkoordination/projekt-  
begleitender Ausschuss: Dr.-Ing. Martin Obermayr (ZF Friedrichshafen AG)

Vorstandsvorsitzender FKM: Dipl.-Ing. Hartmut Rauen (VDMA)

## Danksagung

Dieser Bericht ist das wissenschaftliche Ergebnis einer Forschungsaufgabe, die von dem Forschungskuratorium Maschinenbau (FKM) e.V. gestellt und am Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit (IMAB), Abteilung Betriebsfestigkeit und Systemverhalten der Technischen Universität Clausthal unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Alfons Esderts und am am Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik (IFSW), Fachgebiet Werkstoffmechanik der Technischen Universität Darmstadt unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Michael Vormwald bearbeitet wurde.

Das FKM dankt den Professoren Esderts und Vormwald und den wissenschaftlichen Bearbeitern Ralf Wuthenow (IMAB), Carl Fällgren (IFSW) und Dr.-Ing. Michael Wächter (IMAB) für die Durchführung des Projekts. Das Vorhaben wurde von einem Arbeitskreis des FKM unter der Leitung von Dr.-Ing. Martin Obermayr (ZF Friedrichshafen AG) begleitet. Diesem projektbegleitenden Ausschuss gebührt unser Dank für die große Unterstützung.

Für die Bereitstellung der vorhabenbezogenen Aufwendungen danken wir insbesondere den Firmen:

- Magna Powertrain Engineering Center Steyr GmbH & CoKG
- CADFEM Germany GmbH

Das Forschungsvorhaben wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF-Nr. 21306N) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) e.V. aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

