

Einfach- und Mehrfachgewindeeingriff von Schraubenverbindungen im Leichtbau

Problemstellung

Im Rahmen des heutigen Fahrzeug-, Maschinen- und Anlagenbaus geht das Bestreben vor dem Hintergrund der Ressourceneinsparung richtigerweise dahin, leichtere und kompaktere Bauteile mit höherer Leistungsfähigkeit zu entwickeln. Dazu kommen zum einen immer mehr niedrigfeste metallische Leichtbauwerkstoffe, wie Aluminium oder Magnesium zum Einsatz, zum anderen steigen die Belastungen, was größere Schraubenkräfte erfordert. Vor diesem Hintergrund gewinnen Schrauben hoher und höchster Festigkeit an Bedeutung, die jedoch in niedrigsten Bauteilen insbesondere im Gewindeeingriff wegen der benötigten Mindesteinschraubtiefe eine besondere konstruktive Gestaltung des Gewindeeingriffs erfordern. Diese besondere Gestaltung kann den Einsatz von Gewindeeinsätzen bedeuten. Gleichzeitig sind die Unternehmen auf effektive Dimensionierungsmethoden angewiesen, um neue Produkte mit vertretbarem Aufwand in kurzer Zeit entwickeln zu können. Diese Dimensionierungsmethoden werden von den etablierten Regelwerken zur Auslegung von Schraubenverbindungen, z.B. VDI 2230, nicht ausreichend bereitgestellt, da diese auf linearen konservativen Abschätzungen für Stahlkomponenten aufbauen. Also ist eine Erweiterung für moderne Anforderungen nötig, was mit diesem Forschungsvorhaben aufgegriffen wird. Allerdings ist das Potential von Schraubenverbindungen in Verbindung mit Gewindeeinsätzen jedoch noch nicht eingehend wissenschaftlich untersucht und quantifiziert worden.

Ziele

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer abgesicherten und zugleich handhabbaren Dimensionierungssystematik für optimierte Gewindeverbindungen im Leichtbau, zum einen mit hoch- und höchstfesten Schrauben in niedrigsten Muttergewinden und zum anderen mit Drahtgewindeeinsätzen zu erstellen. Hierzu werden als Teilziele die Arbeitspakete „Montage“, „Betrieb“ und „Dimensionierungssystematik“ definiert, wobei die sich gegenseitig ergänzenden Ergebnisse von experimentellen Untersuchungen und numerischen Berechnungen aufgegriffen werden.

Vorgehensweise

Durch die systematische Gliederung der einzelnen Arbeitspakete kann eine effiziente Durchführung der Untersuchungen an der Forschungsstelle MVP der Universität Siegen mit Unterstützung des projektbegleitenden Arbeitskreises gewährleistet werden.

Aufbauend auf Voruntersuchungen des Lehrstuhls MVP an der Universität Siegen wurden die Versuchsparameter der experimentellen Untersuchungen in Abstimmung mit dem projektbegleitenden Arbeitskreis definiert. Nach Charakterisierung des Probenmaterials konnten die nichtlinearen Werkstoffparameter für die numerische Berechnung modelliert werden. Zur Quantifizierung der Einflüsse des Montageverhaltens wurden experimentell Zug- und Montageversuche durchgeführt und hieraus charakteristische Einschraubtiefendiagramme für die

unterschiedlichen Werkstoffparameter (Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 und 16.8; Mutterwerkstoffe aus: 42CrMo4, Al 7075, Al 6082, Al 5754) sowie Gewindearten (EGE/MGE) hergeleitet. Zur Untersuchung des Betriebsverhaltens wurden ausführliche Messungen zur Nachgiebigkeit durchgeführt und darauf aufbauend Reihenuntersuchungen zur Erstellung von Wöhlerkennlinien. Damit die Vorgänge des Übertragungsverhaltens während des Betriebs kenntlich gemacht werden können, wurden DMS-Schrauben mit Live-Messung der Schraubenkraft F_S unter zyklischer Belastung durchgeführt.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen zur kritischen Einschraubtiefe zeigen, dass zwei charakteristische Größen zur Gewindeverstärkung mittels Drahtgewindeeinsatz auftreten. Einerseits kann die Montagebruchkraft $F_{Br,M}$ aufgrund von geringerem Torsionsanteil im Schraubenschaft und somit einer Erhöhung der nutzbaren Axialkraft gesteigert werden und andererseits kann die kritische Einschraubtiefe m_{krit} der Verbindung reduziert werden. Die Potentialsteigerung ist in **Abbildung 1** beispielhaft für die Kombination einer Verbindung mit Muttergewindebauteil aus der Aluminiumlegierung Al 5754 mit einer Schraube M10 der Festigkeitsklasse 16.8 dargestellt.

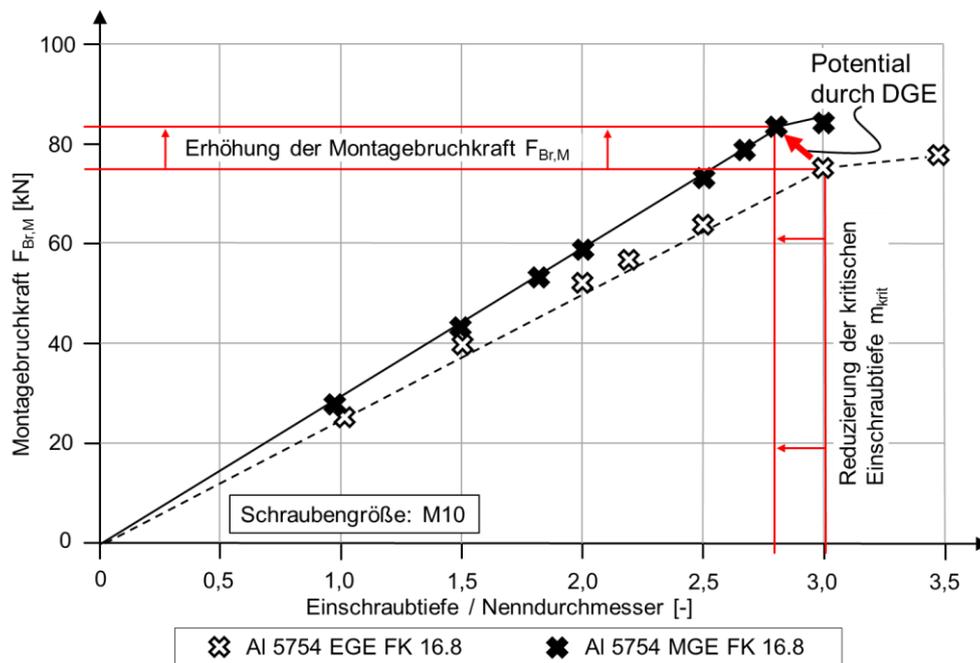


Abbildung 1: Potential zur Reduzierung der kritischen Einschraubtiefe m_{krit} und Erhöhung der Montagebruchkraft $F_{Br,M}$ durch Verwendung eines Drahtgewindeeinsatzes bei drehender Montage mit Torsionseinfluss

Zur Ermittlung von lokalen Größen wurden zwei Ansätze mittels Finite Elemente Methode verfolgt. Einerseits wurden die Größen entlang der Gewindehelix, **Abbildung 2**, ermittelt und andererseits im Scherzylinder des Gewindes, **Abbildung 3**. Es hat sich gezeigt, dass eine Vergleichsspannung σ_V alleine keine ausreichende Aussagefähigkeit besitzt, da aufgrund der Plastifizierungen das Spannungsniveau nahezu homogen ist und keine deutlichen Unterschiede auftreten. Aus diesem Grund wurde die plastische Dehnung (in Abaqus PEEQ) als

weitere Bewertungsgröße verwendet. Abbildung 3 zeigt exemplarisch den Verlauf der Plastifizierungen im Scherzylinder des Gewindes für verschiedene Stufen der Vorspannkraft F_V einer Schraubenverbindung M10-10.9 mit unterkritischer Einschraubtiefe (nur hier tritt ein Versagen im Gewinde auf) mit Mehrfachgewindeeingriff.

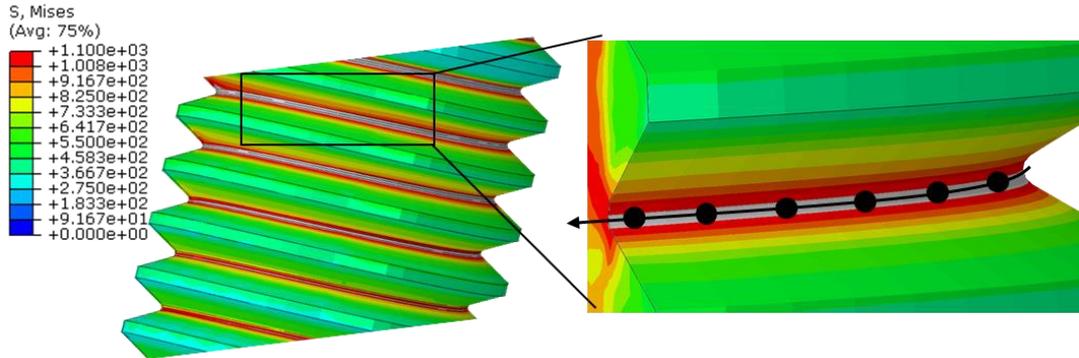


Abbildung 2: Lokale Bewertung von physikalischen Größen im Gewindegrund entlang der Gewindehelix

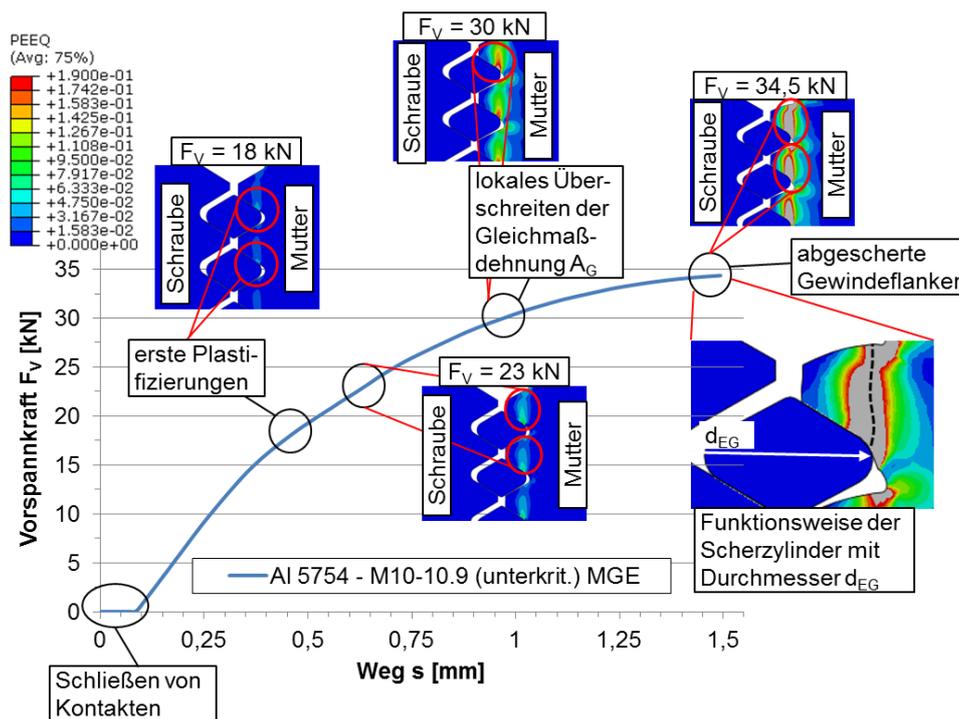


Abbildung 3: Lokale Bewertung von Plastifizierungen durch Betrachtung der Gewindeflanken im Querschnitt; Wirkweise der Scherzylinder bei Überlast

Zu Erweiterung der bestehenden Dimensionierungssystematik nach der VDI-Richtlinie 2230 auf den Mehrfachgewindeeingriff mit Drahtgewindeeinsatz (DGE) wurden die genormten Gewindemaßbezeichnungen nach DIN 8140-2 herangezogen. Die Wirkungsdurchmesser der Schraubenverbindung mit Einfach- und Mehrfachgewindeeingriff sind in **Abbildung 4** gezeigt. Die Größe des Scherdurchmessers wird beim Einfachgewindeeingriff durch den Nenndurchmesser der Schraube d bestimmt, für den Mehrfachgewindeeingriff wird diese

wird die dem Anwender eine schnelle Entscheidung ermöglicht, worüber jedoch alle Randbedingungen zum Einsatz von DGE abgedeckt werden.

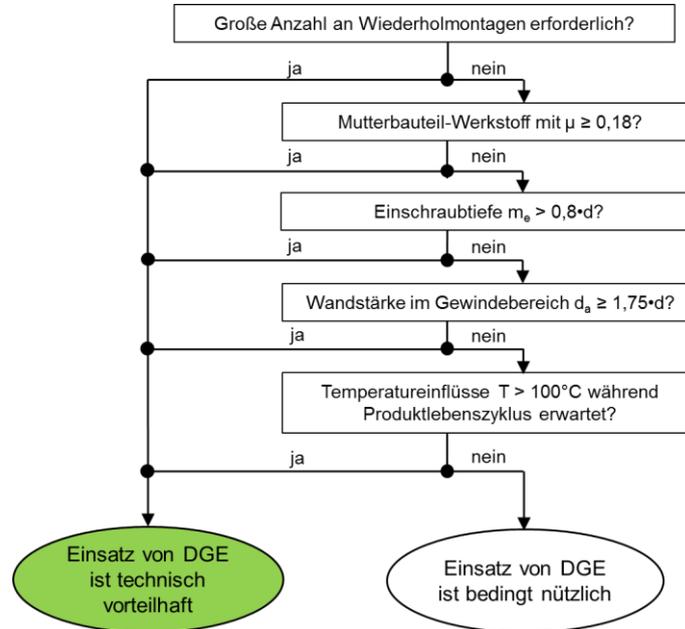


Abbildung 5: Kaskadiertes Flussdiagramm für Auswahlprozess zur Verwendung von Drahtgewindeeinsätzen als Konstruktionselement

Die Bestimmung des Kraftverhältnisses Φ für eine verspannte Verbindung mit EGE/MGE sowie Stahl-/Aluminiumgewindebauteil bei unterschiedlichen Axialkräften F_A ist in **Abbildung 6** gezeigt. Es zeigt sich, dass das Übertragungsverhalten nichtlinear ist und die Schraubenzusatzkraft F_{SA} aufgrund der unterschiedlicher Nachgiebigkeit im Muttergewinde unterschiedlich hoch ist. Der Unterschied zwischen EGE und MGE beim Stahlgewindebauteil ist vernachlässigbar gering (grün und violett), beim Aluminiumgewindebauteil erfährt der Einfachgewindeeingriff (blau) eine deutlich höhere Schraubenzusatzkraft als die Verbindung mit Mehrfachgewindeeingriff (rot).

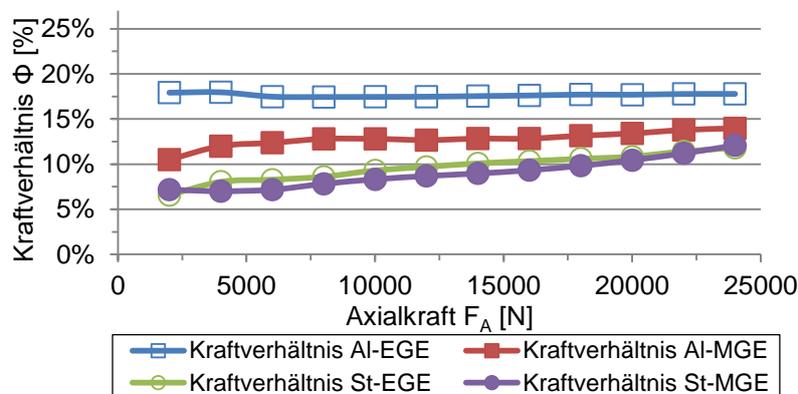


Abbildung 6: Nachgiebigkeitsuntersuchung für EGE/MGE mit Stahl- und Aluminiummuttergewindebauteil für unterschiedliches Niveau der Axialkraft F_A

Die Belastung durch eine zyklische Betriebskraft ist für die Varianten EGE-Stahlgewindebauteil und MGE-Aluminiumgewindebauteil in **Abbildung 7** nebeneinander dargestellt. Es

zeigt sich, dass die Setzkraftverluste beim Al-Bauteil (zusätzliche Trennfuge, Gewindewerkstoff mit geringerer Härte, größere Oberflächenrauigkeit) erheblich höher ausfallen als beim Stahl-Bauteil. Durch die reduzierte Vorspannkraft der Verbindung ändert sich das Kraftverhältnis Φ , so dass die eingeleitete Schraubenzusatzkraft F_{SA} ansteigt und die Lebensdauer beeinflusst.

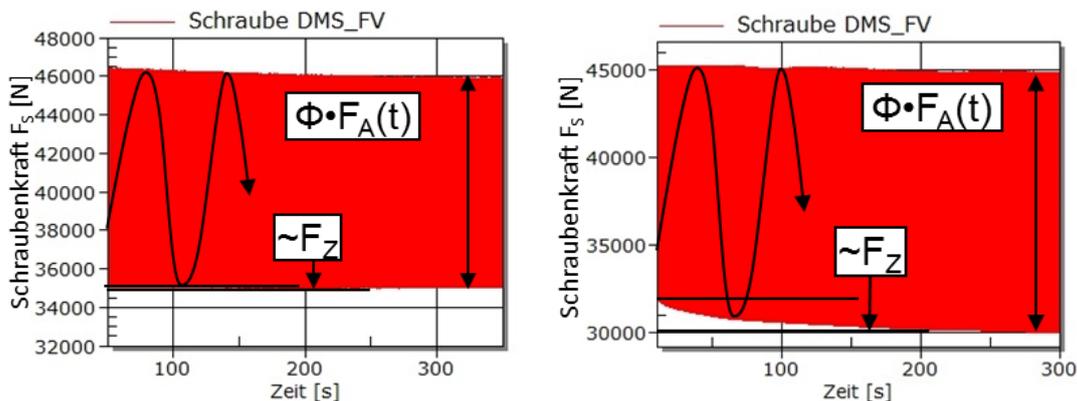


Abbildung 7: Darstellung der Schraubenkraft F_S für verspannte Gewindebauteile mit unterschiedlichen Setzkraftverlusten F_Z und daraus veränderlichem Kraftverhältnis Φ ; links EGE-Stahlgewindebauteil, rechts MGE-Aluminiumgewindebauteil

Praktischer Nutzen / Wirtschaftlichkeit

Die Untersuchungen dienen der optimierten Entwicklung von Schraubenverbindungen im Leichtbau. Die Untersuchungsergebnisse geben erstmals die Möglichkeit die Mindesteinschraubtiefe der Verbindung für einen Mehrfachgewindeeingriff mit genormten Drahtgewindeeinsätzen rechnerisch zu bestimmen. Durch die Definition von praxisnahen Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung des Reibungseinflusses bei der Montage sowie des Toleranzeinflusses durch unterschiedliche Gewindeabmaße und der Berücksichtigung der Besonderheiten des Mehrfachgewindeeingriffs wird die existierende Berechnungsvorschrift nach der VDI-Richtlinie 2230 deutlich präziser, so dass Leichtbauanwendungen hiervon direkt profitieren. Das Einsparungspotential an Material- und Gewichtskosten wird deutlich und die wirtschaftliche Effizienz signifikant gesteigert.

Umsetzung und Ergebnistransfer

Der Transfer der Ergebnisse in die Wirtschaft wird sichergestellt durch die Teilnahme der Mitglieder des projektbegleitenden Ausschusses (PA). Die Teilnehmer kommen größtenteils aus dem Bereich der KMUs. Über den Deutschen Schraubenverband e.V. (DSV) wurden im Arbeitskreis Gemeinschaftsforschung im halbjährlichen Turnus die aktuellen Forschungsergebnisse in Fachvorträgen mit anschließender Diskussionsrunde präsentiert. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse im Rahmen der Veranstaltung IMECE 2014 der American Society of Mechanical Engineering (ASME) sowie bei dem 7. Landshuter Leichtbau-Colloquium (LLC) 2015 in Landshut vorgestellt und im Tagungsband veröffentlicht. Weiterhin ist eine Veröffentlichung im Journal of Mechanical Engineering & Science geplant.

Dokumentation

- Zwischenbericht FSV Report 2013
- Zwischenbericht FSV Report 2014
- Zwischenbericht FSV Report 2015
- Veröffentlichung: ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Montreal, 14.-20. November 2014
- Veröffentlichung: 7. Landshuter Leichtbau-Colloquium, 25.-26.02.2015, Landshut
- Veröffentlichung: Journal of Mechanical Engineering & Science, Special Issue: Bolted Joints and Connections (accepted)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Das IGF-Vorhaben 17406 N der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Stahlverformung e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Langfassung des Abschlussberichtes kann bei der FSV, Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, angefordert werden.

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages
