

## Einfluss von Extremlasten auf die Langzeitfestigkeit von Sphäroguss

Strukturauteile aus Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS) können während Transport, Montage oder durch extreme Wetterereignisse kurzzeitig sehr hohen Lasten ausgesetzt sein. Solche Extremlasten werden in der Auslegungspraxis bislang nur unzureichend hinsichtlich ihrer Wirkung auf die anschließende Ermüdungsfestigkeit berücksichtigt. Im IGF-Vorhaben FVA 772 II wurde untersucht, ab welchen lokalen plastischen Dehnungen eine relevante Vorschädigung eintritt, wie stark die Dauerfestigkeit dadurch beeinflusst wird und inwieweit ein übertragbares Bewertungskonzept ableitbar ist. Die Ergebnisse zeigen: Plastische Vorschädigung kann die Langzeitfestigkeit deutlich reduzieren – die Sensitivität wird jedoch stark durch die Gussqualität bzw. Defektlage bestimmt.

### Motivation und Zielsetzung

In modernen Anwendungen (u. a. Windenergieanlagen) werden hochbelastete Strukturkomponenten wie Planetenträger oder Drehmomentstützen häufig aus GJS gefertigt. Während der überwiegenden Lebensdauer dominieren Betriebsbeanspruchungen, jedoch können seltene Extremlastereignisse (z. B. Einzelblattmontage, Starkwindböen) zu kurzzeitigen hohen lokalen Dehnungen führen. Aktuelle Regelwerke behandeln Extremlasten vereinfacht als statische Lastfälle oder begrenzen lokale Dehnungen pauschal; eine quantifizierte Bewertung des Einflusses plastischer Verformung auf die Dauerfestigkeit fehlt.

Ziel des Vorhabens war es daher,

1. zulässige lokale plastische Dehnungen zu identifizieren, unterhalb derer keine signifikante Abnahme der Langzeitfestigkeit auftritt,
2. den Einfluss einmaliger und mehrzyklischer Extremlasten experimentell zu quantifizieren und
3. ein Berechnungskonzept abzuleiten, mit dem die Dauerfestigkeit nach Extremlasten prognostiziert werden kann – inklusive Validierung an technisch üblichen Gussqualitäten.

### Vorgehen und Methodik (Kurzüberblick)

Untersucht wurden repräsentative GJS-Güten (ferritisch, ferritisch-perlitisch, perlitisch). Extremlasten wurden im Labormaßstab als axiale Vordehnungen (einmalig oder zyklisch mit bis zu 10.000 Lastzyklen) aufgebracht. Anschließend wurde die verbleibende Langzeitfestigkeit über Wöhlerversuche (Treppenstufenverfahren) bis  $10^7$  Schwingspiele bestimmt. Zur Abbildung realistischer Spannungs-/Dehnungsgradienten kamen gekerbte Probengeometrien zum Einsatz; die Umrechnung zwischen globaler und lokaler Kerbgrunddehnung erfolgte über elastisch-plastische FEM-Simulationen. Ergänzend wurden in-situ Zugversuche im REM zur Beobachtung mikrostruktureller Schädigungsmechanismen sowie Eigenspannungsmessungen mittels XRD durchgeführt.

## Zentrale Ergebnisse

### (1) Einmalige Extremlasten: Dauerfestigkeit korreliert mit lokaler plastischer Dehnung

Für Proben hoher Gussqualität (Strangguss/Versuchskörper) zeigte sich bei allen untersuchten GJS-Güten eine teils deutliche Abnahme der Dauerfestigkeit nach plastischer Vordehnung. Ein konsistenter Zusammenhang ergab sich weniger über die globale Nenndehnung, sondern insbesondere über die örtliche plastische Dehnung im Kerbgrund: Mit zunehmender plastischer Vordehnung sinkt die ertragbare Dauerfestigkeit, wobei sich ab einer plastischen Vordehnung von ca. 0,6–0,8 % eine Konvergenz (keine weitere wesentliche Abnahme) andeutet.

### (2) Geometrie-/Volumeneffekt: mittlere Kerbschärfe reagiert am sensitivsten

Bei der Güte GJS-400-18 LT wurden zusätzliche Geometrien untersucht (ungekerbt, mild gekerbt, scharf gekerbt). Hier zeigte sich, dass die Sensitivität gegenüber Extremlast-Vordehnung nicht monoton mit der Kerbschärfe ist: In den Versuchsreihen reagierten Proben mit mittlerer Kerbschärfe am stärksten (Abfall auf ~77 % des Ausgangsniveaus), während ungekerbte und stark gekerbte Proben vergleichsweise früh „sättigen“ (Konvergenz des Festigkeitsniveaus nach initialer Schädigung).

### (3) Spannungsverhältnis: bei R=0 kein signifikanter Einfluss nachweisbar

Für GJS-400-18 LT wurde der Fall  $R = 0$  separat betrachtet (Validierung zum Vorgängerprojekt). Hier ließ sich im Rahmen der Streuung defektbasierter Ermüdung (typisch bis  $\pm 10\%$ ) kein statistisch signifikanter Einfluss der untersuchten Extremlast-Vordehnungen nachweisen.

### (4) Technisch übliche Großgussqualitäten:

#### Defekte dominieren – Extremlastefekt tritt in den Hintergrund

Für aus industriellen Bauteilen entnommene Proben (mit typischen Gussfehlstellen) zeigte sich: Das Ausgangsniveau der Dauerfestigkeit ist bereits deutlich reduziert und wird häufig durch **große Defekte (z. B. Lunker) als Rissursache** bestimmt. In diesem Zustand war im untersuchten Bereich lokaler plastischer Dehnungen (bis ca. 0,92 %) **keine zusätzliche Absenkung** der Dauerfestigkeit durch Extremlasten erkennbar; teils lagen die Ergebnisse sogar leicht oberhalb des Ausgangsniveaus (innerhalb der Streuung). Die **Gussqualität** ist damit ein zentraler Faktor für die Extremlast-Sensitivität.

### (5) Mikrostruktur & Eigenspannungen: frühe Schädigung + Relaxationseffekte

In-situ Untersuchungen zeigten als wesentliche Mechanismen unter Zugbeanspruchung u. a. Ablösung von Graphitausscheidungen sowie Initiierung von Mikrorissen ab lokalen Dehnungen in der Größenordnung von ~0,4 %. XRD-Messungen belegten zudem, dass Extremlasten und anschließende Ermüdung zu Eigenspannungsänderungen bzw. Relaxation führen; die Relaxation erscheint stärker spannungs- als zyklenzahlgetrieben, was für die Auslegungspraxis relevant ist.

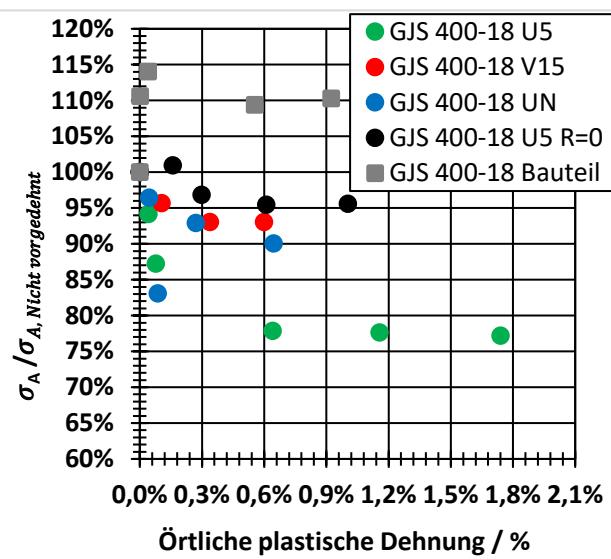


Abbildung 1: Abnahme der ertragbaren Langzeifestigkeit aufgrund örtlicher plastischer Vordehnungen für unterschiedlichen Kerbschärfen und unterschiedliche Gussgüten (Strangguss vs. Bauteil).

**Autoren:** **Tobias Hajeck, M. Sc.**

Institut für Werkstoffanwendungen im Maschinenbau, IWM RWTH Aachen

**Kontakt:** Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA)

**Dr. Stefan Groß**

T 069- 6603 -1127

**Das IGF-Vorhaben IGF-Nr. 01|F21861 N der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit den Mitteln der IGF gefördert.**

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Die Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF)

Die Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) ist ein europaweit einzigartiges, themenoffenes und vorwettbewerbliches Förderprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWE), das kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) einen einfachen Zugang zu praxisorientierter Forschung und zu aktuellen Forschungsergebnissen ermöglicht. In der IGF bestimmen Unternehmen bzw. Verbände, Forschungsvereinigungen und Forschungseinrichtungen gemeinsam den Forschungsbedarf und die Forschungsthemen ihrer Branche. Die Begleitung der Forschungsprojekte durch die Unternehmen garantiert die Praxisnähe der

Forschungsprojekte. Die Ergebnisse der IGF-Projekte sind öffentlich und stehen allen interessierten Unternehmen zu gleichen Bedingungen zur Verfügung. So stärkt die IGF die Wettbewerbsfähigkeit des Mittelstands in Deutschland und trägt damit maßgeblich zu Deutschlands Innovationssouveränität bei.

**Die FVA (Forschungsvereinigung Antriebstechnik e. V.)** ist das weltweit erfolgreichste und größte Forschungs- und Innovationsnetzwerk in der Antriebstechnik. Zusammen mit rund 200 Unternehmen und 100 Forschungsinstituten haben wir bisher weit über 2.000 Projekte realisiert. Die Antriebstechnik voranzubringen – das ist das Ziel der FVA. Dazu bringen wir Industrie und Forschung zusammen. Dies zu moderieren, neues Wissen zu erforschen, Effizienz und Erkenntnisse zu schaffen – das macht uns zum Innovationsförderer unsere Branche. Für unsere Mitglieder bedeutet das einen mehrfachen Return-on-Invest: Austausch und Kenntnistransfer in der FVA-Community, Mitgestaltung an der Forschung, Teilhabe an neuestem Wissen, Ausbildung von jungen Ingenieur\*innen, passgenaue Weiterbildung, Reduzierung von F+E Kosten. Das kommt unseren Mitgliedsunternehmen, dem Forschungsstandort Deutschland und allen Beteiligten Menschen zu Gute. Denn unsere vorwettbewerbliche Gemeinschaftsforschung, finanziert über die IGF und Eigenmittel ist etwas ganz Besonderes. Gemeinsam geht einfach mehr. Dafür bündeln wir Ressourcen, auch finanzielle, moderieren Kommunikation und Prozesse. Wir helfen, Ideen zu verwirklichen. Weitere Informationen unter [www.fva-net.de](http://www.fva-net.de).