

## Methode zur Berechnung der Grübchentragfähigkeit randschichtverdichteter pulvermetallurgischer Stirnradverzahnungen

Pulvermetallurgisch hergestellte Zahnräder zeichnen sich neben einer kostengünstigen und zugleich ressourceneffizienten Fertigung durch eine hohe Formgenauigkeit aus. Die dem Werkstoff inhärente Porosität mindert jedoch die Beanspruchbarkeit, sodass im Allgemeinen von einer gegenüber schmelzmetallurgisch hergestellten Zahnrädern verminderten Grübchentragfähigkeit auszugehen ist.

Das Vorhaben hat diesen Aspekt sowohl aus experimenteller als auch numerischer Perspektive adressiert. Poröse Zahnräder aus Fe-0,85Mo wurden zunächst durch Kaltwalzen randschichtverdichtet und anschließend unterschiedlichen Einsatzhärtungen unterzogen. Im Zwei-Wellen-Verspannungsprüfstand wurde schließlich ein Zuwachs der Grübchentragfähigkeit für steigende Einsatzhärte-tiefen ermittelt, wobei vergleichbare Festigkeiten zu einer schmelzmetallurgischen Variante aus dem Einsatzstahl EN16MnCr5 festgestellt wurden. Hierbei wurde für die pulvermetallurgischen Versuchszahnräder eine optimale Einsatzhärte-tiefe von  $0,4 \cdot \text{Modul}$  identifiziert.

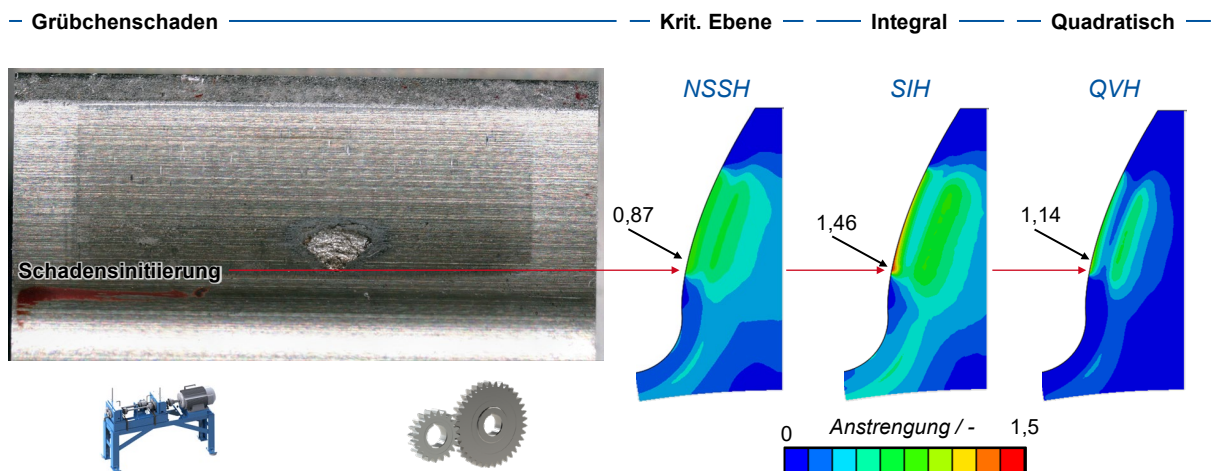


Bild: Grübchenschaden nach der Versuchsdurchführung (links) sowie auf unterschiedlichen Hypothesen beruhende Vorhersagen der Verteilung der Anstrengung im Zahnrad (rechts)

Diese experimentell gewonnenen Erkenntnisse konnten durch eine im Rahmen des Projektes erarbeitete Berechnungsmethodik numerisch abgebildet werden. Ausgehend von einer Wärmebehandlungssimulation sowie einer nachfolgenden Simulation der Belastung der Zähne im Betrieb konnte die lokale Beanspruchung im Zahnrad ermittelt werden. Unter Verwendung eines entwickelten Regressionsmodells zur Beschreibung der Beanspruchbarkeit des Werkstoffes bei gegebener Dichte, Härte und Gefügezusammensetzung sowie einer geeigneten Versagenshypothese wurde die Versagenswahrscheinlichkeit für unterschiedliche Antriebsmomente ermittelt.

Hierbei wurde eine gute Übereinstimmung sowohl im Hinblick auf die dauerhaft ertragbare Belastung als auch auf den Ort der Schadensinitiierung festgestellt. Im Zuge der Ermittlung des Regressionsmodells wurden weitergehend neue Erkenntnisse im Hinblick auf die Schwingfestigkeit von Sinterstählen gewonnen.

Die Ergebnisse des Projektes legen dar, dass das Einsatzhärten zum einen eine signifikante Steigerung der Tragfähigkeit von pulvermetallurgisch hergestellten Zahnrädern bewirken kann. Zum anderen wird ebenso deutlich, dass das Versagen solcher Komponenten mit Hilfe der erarbeiteten Methode zuverlässig vorhergesagt werden kann, sodass eine gezielte Auslegung und Prozessentwicklung für die Fertigung hochbelastbarer pulvermetallurgischer Zahnräder ermöglicht wird.

**Autoren:** **Gerrit Hellenbrand, M.Sc.**

Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

**Oliver Schenk, M.Sc.**

Institut für Werkstoffanwendungen im Maschinenbau, RWTH Aachen

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

**Dr. Stefan Groß**

T 069- 6603 -1127

**Das IGF-Vorhaben IGF-Nr. 01|F21851 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 180 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).