

## Induktionshärten funktionsintegrierter, additiv gefertigter Leichtbau-Stirnräder

Die Kombination von additiver Fertigung und induktiver Wärmebehandlung bietet Potenzial, mittels gesteigerter Festigkeit und verringertem Gewicht höhere Leistungsdichten zu realisieren. Die additive Fertigung durch Laser-Strahlschmelzen im metallischen Pulverbett ermöglicht innovative, kraftflussgerechte Leichtbaugestaltungen, welche mit konventionellen Herstellmöglichkeiten nicht umsetzbar sind. Das Induktionshärten führt zu einer hohen Randschichthärte, die zu einer gesteigerten Bauteilfestigkeit genutzt werden kann.

Im Vorhaben wurden Modellproben und Zahnräder verschiedener Werkstoffe, Leichtbaudesigns und Wärmebehandlungen experimentell auf ihre Tragfähigkeit untersucht, um mechanische Kennwerte zu ermitteln und somit die optimale Kombination mit dem größtmöglichen Potential zu identifizieren. Das angestrebte Vorhaben weist somit eine hohe wirtschaftliche Bedeutung für die Branchen der additiven Fertigung, insbesondere bei Pulverherstellern und 3D-Druck-Lohnfertigern, sowie der induktiven Wärmebehandlung,

Die Untersuchungen zur Zahnfußtragfähigkeit erfolgten an Zahnrädern der Baugröße Normalmodul  $m_n = 2$  mm. Es wurde eine konventionelle Standardgeometrie aus FVA 660 I sowie eine Geometrie mit einer bionischen Optimierung eingesetzt. Aufgrund von eingeschränkten Kapazitäten im Bereich des 3D-Drucks wurden die Zahnräder auf zwei Anlagen hergestellt. Es zeigten sich erhebliche Unterschiede hinsichtlich der Dichte zwischen den einzelnen Varianten, insbesondere zwischen denen beiden Anlagen. Weiterhin wurden im Bereich des Zahnfußes nur an den kugelgestrahlten Varianten Druckeigenstressungen an der Oberfläche registriert. Bei allen anderen Varianten lagen die Eigenstressungen im Bereich von leichten Zugeigenstressungen.

Das Bild zeigt eine Gegenüberstellung der hinsichtlich Zahnfußbruch experimentell ermittelten Ergebnisse. Als Vergleich werden zwei konventionell gefertigte Varianten (V12/V13) aus dem Forschungsvorhaben FVA 660 III herangezogen. Die Zahnräder dieser beiden Varianten bestehen aus der gleichen Werkstoffgüte (42CrMo4), welcher nach der Weichbearbeitung induktiv gehärtet wurde. Die SHD im Zahnfuß der beiden Varianten ist vergleichbar mit den hier untersuchten Varianten (V12:  $SHD_{400} = 0,97$  mm / V13:  $SHD_{400} = 1,24$  mm). Bei der Härtekontur handelt es sich um eine durchgehärtete Kontur.

Im Vergleich zeigen die additiv gefertigten Varianten insgesamt eine zum Teil deutlich niedrigere Tragfähigkeit im Vergleich zu den beiden konventionell gefertigten Varianten. Innerhalb der additiv gefertigten Varianten zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede. So zeigen die Varianten SN-DH und SN-DH-IWT-2 die höchsten und die beiden Varianten SN-DH-IWT und LBN-DH die niedrigsten Tragfähigkeiten innerhalb der ungestrahlten Varianten. Die beiden kugelgestrahlten Varianten SN-DH-kg und LBN-DH-kg zeigen die höchsten Tragfähigkeiten innerhalb der additiv gefertigten Varianten. Die am IWT gedruckten Varianten (IWT) zeigen trotz ihrer hohen Dichte im Vergleich zu den anderen Varianten ähnliche oder sogar niedrigere

Tragfähigkeiten auf. Als Grund dafür wird insbesondere der gemessene Zugeigenspannungszustand gesehen.

Somit stellen die Eigenspannungen im Bereich des Zahnfußes die hauptsächliche Einflussgröße auf die Tragfähigkeit dar. Die Porendichte scheint hinsichtlich der Zahnfußtragfähigkeit eine zunächst sekundäre Einflussgröße zu sein.

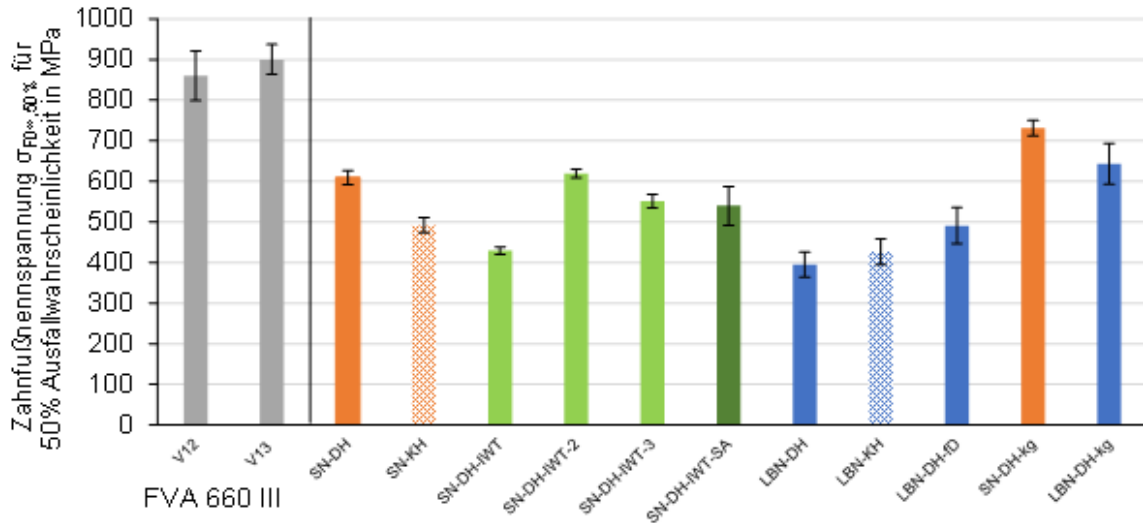


Bild: Dauerfest ertragbare Zahnfußnennspannung für 50 % Ausfallwahrscheinlichkeit der hinsichtlich Zahnfußtragfähigkeit experimentell untersuchten Varianten. Vergleichsvarianten (V12, V13) aus dem Forschungsprojekt FVA 660 III

**Autoren:** **Sascha Rommel, M.Sc.**  
Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebesysteme (FZG), TU München  
**Nicolai Haupt, M.Sc.**  
Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien - IWT, Bremen

**Kontakt:** Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA)  
**Dr.-Ing. Stefan Groß**  
T 069- 6603 -1127

**Das IGF-Vorhaben IGF-Nr. 01|F22042 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 erfolgreiches, themenoffenes und vorwettbewerbliches Förderprogramm des [Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz \(BMWK\)](#), 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 Innovationssoveränität 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).