

# Presseinformation

---

26. August 2026 Seite 1 | 3

## Simulationsmodell für zuverlässige Vorhersage der LCF-Lebensdauer hochbeanspruchter Bauteile im Kontakt mit Wasserstoff

**Die Ermüdungslebensdauer hochbeanspruchter Bauteile in Wasserstoffatmosphäre lässt sich bislang nur mit großen Unsicherheiten abschätzen. Klassische bruchmechanische Berechnungen fallen dabei häufig zu konservativ aus und liefern zu geringe Lebensdauern. Forschende des Fraunhofer IWM haben nun erstmals ein Anriss basiertes Lebensdauermodell entwickelt, mit dem die Lebensdauer unter Low Cycle Fatigue (LCF) und Wasserstoffeinfluss physikalisch begründet berechnet werden kann. Damit lassen sich die Lebensdauer von Bauteilen u.a. in Wasserstoffturbinen und -triebwerken in frühen Entwicklungsphasen zuverlässig vorhersagen, teure Versuche reduzieren und Sicherheitsfaktoren realistischer gestalten. Ein wichtiger Schritt für den sicheren und umweltfreundlichen Wasserstoffbetrieb von Turbinen.**

Die Nachfrage nach Gasturbinen ist enorm. Im Kraftwerksbereich kompensieren Gasturbinen Fluktuationen bei der erneuerbaren Stromerzeugung, der KI-Boom benötigt dringend Turbinen zur Stromerzeugung und auch im Flugzeugbau wird an effizienteren Triebwerken gearbeitet. Viele Hersteller setzen zunehmend auf wasserstoffbetriebene Turbinen, da die CO<sub>2</sub>-Emissionen damit drastisch reduziert werden können.

Die Entwicklungs- und Qualifizierungsprozesse sind zeit- und kostenintensiv, da sich die Beanspruchung der Bauteile und der eingesetzten Werkstoffe bei der Verbrennung von Wasserstoff verändern und bereits in der Entwicklung die Effizienz gewährleistet und die Lebensdauer abgesichert werden müssen.

### **Herausforderung Lebensdauervorhersage bei Wasserstofftechnologien**

Für valide Lebensdauervorhersagen müssen viele Einflussfaktoren berücksichtigt werden: Wasserstoffdruck, Gasreinheit, Temperatur, Material- und Oberflächenbedingungen, mechanische Belastung. Allerdings lässt sich deren Zusammenwirken nicht in einem Versuch experimentell darstellen, was zum hohen Entwicklungsaufwand beiträgt, da viele Versuche nötig sind. Hinzu kommt, dass im Werkstoff, nicht zuletzt wasserstoffinduziert, zeitgleich unterschiedliche Degradations- und Schädigungsprozesse ablaufen, die zu Materialermüdung führen und Lebensdauer kosten. Je besser und vor allem, je vollständiger diese Prozesse

beschrieben und simuliert werden können, umso besser können die Leistungsgrenzen der Werkstoffe ausgeschöpft und die Bauteilsicherheit eingestellt werden.

---

26. August 2026    Seite 2 | 3

---

Die Entstehung und das Wachstum kurzer Risse von ca. 20 µm bis zum technischen Anriss von ca. 1 mm machen bis zu 90 % der tatsächlichen Bauteillebensdauer aus. Man spricht hier von der sogenannten Kurzzeitfestigkeit (engl.: Low Cycle Fatigue, LCF). Wasserstoff kann das Risswachstum um Faktor 100 und mehr erhöhen. Dieser Einfluss von Wasserstoff auf kurze Risse kann jedoch bislang nicht auf Basis von physikalischen Grundlagen abgebildet werden. Deshalb müssen Bauteile sehr konservativ mit hohen Sicherheitsfaktoren ausgelegt werden.

### **Ermüdung unter Wasserstoffeinfluss erstmals simulierbar**

Wissenschaftler am Fraunhofer IWM haben nun ein Simulationsmodell entwickelt, das den Einfluss von Wasserstoff auf das Ermüdungsverhalten erstmals anhand physikalischer Zusammenhänge abbildet. Dadurch kann das Modell ein breites Spektrum von Einflussfaktoren wie Temperatur, Wasserstoffdruck, Belastungsfrequenz und mechanische Lastschwingbreite berücksichtigen und die Lebensdauer für hochbeanspruchte Bauteile in z.B. Gasturbinen und Triebwerken vorhersagen.

Das Modell beschreibt das wasserstoffbeeinflusste Kurzrisswachstum von ca. 20 µm bis 1 mm auf Basis der elastisch-plastischen Bruchmechanik. Als zentraler Schädigungsmechanismus wird der HELP-Effekt (engl.: Hydrogen Enhanced Localized Plasticity) berücksichtigt: Wasserstoff, der zur Risspitze gelangt, besetzt dort Versetzungen im Metallgitter und erhöht so die lokale Plastizität, was das Risswachstum beschleunigt. Bei Temperaturen über 400 °C wird ergänzend Sauerstoffdiffusion entlang von Korngrenzen als zusätzlicher Schädigungsbeitrag berücksichtigt.

»Komponenten, die in Wasserstoffatmosphären eingesetzt werden, sind einer Vielzahl unterschiedlicher Betriebsbedingungen ausgesetzt, die sich aus Kombinationen von Wasserstoffdruck, Temperatur und wechselnden Belastungszyklen zusammensetzen. Es ist in der Regel nicht machbar, jedes mögliche Szenario experimentell abzudecken. Unser Simulationsmodell ist in der Lage, diese Komplexität mathematisch zu erfassen und die Lebensdauer selbst unter extremen Betriebsbedingungen zuverlässig abzuschätzen«, erklärt Fabien Ebling, Projektleiter am Fraunhofer IWM.

Das Modell basiert nicht auf Erfahrungswerten, sondern erklärt die physikalische Ursache der Schädigung, d.h. Wasserstoffatome, die Versetzungen im Metallgitter mobilisieren und so das Risswachstum beschleunigen. Damit soll die aufwändige und teure Prüfung von Bauteilen in Wasserstoff-Prüfständen drastisch reduziert werden.

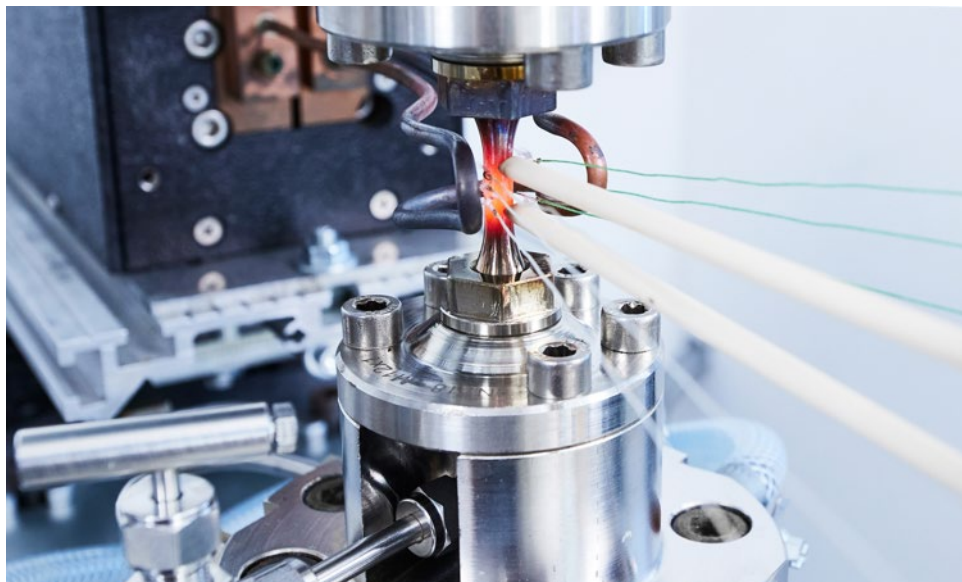
Besonders wertvoll ist das Modell in frühen Entwicklungsphasen, wenn Bauteilgeometrien und Betriebskonzepte noch nicht feststehen. So können bereits

vor dem ersten Prototypen Parameterstudien durchgeführt, Druckgrenzen definiert oder der Einfluss der Prüffrequenz auf die Schädigung bewertet werden.

26. August 2026 Seite 3 | 3

## Förderung

Die Forschungsergebnisse entstanden im Rahmen der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) geförderten Projekte AdHyBau (20M1904E), Hybridbauweisen mit generativen Metallstrukturen und Faserverbunden für Hochleistungselektromotoren und AdHyBau2 (20M2202C), Entwicklung eines zulassungsfähigen wasserstoff-elektrischen Antriebssystems für Flugzeuge und Erprobung des kryogen-gekühlten Elektromotors.



© Fraunhofer IWM, Foto Kai Wudtke

Experimentelle Untersuchung der Ermüdungslebensdauer an Hohlproben bei Temperaturen von bis zu 1000 °C und einem Wasserstoffinnendruck von bis zu 250 bar. Die Untersuchungsergebnisse dienen der Validierung des am Fraunhofer IWM entwickelten LCF-Lebensdauermodells für hochbeanspruchte Bauteile im Kontakt mit Wasserstoff.

Die **Fraunhofer-Gesellschaft** mit Sitz in Deutschland ist eine der führenden Organisationen für anwendungsorientierte Forschung. Im Innovationsprozess spielt sie eine zentrale Rolle – mit Forschungsschwerpunkten in zukunftsrelevanten Schlüsseltechnologien und dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie zur Stärkung unseres Wirtschaftsstandorts und zum Wohle unserer Gesellschaft. Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 74 Institute und Forschungseinrichtungen. Die rund 30 000 Mitarbeitenden, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Finanzvolumen von 3,6 Mrd. €. Davon fallen 3,2 Mrd. € auf den Bereich Vertragsforschung.

Das **Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM** forscht für die Nachhaltigkeit in der industriellen Wertschöpfung. Für Industrieunternehmen und öffentliche Auftraggeber eröffnet das Institut Wege und Innovationsräume zur Langlebigkeit und Sicherheit von Bauteilen, zur Ressourceneffizienz in Prozessketten sowie zur Energieeffizienz von Maschinen. Dazu erzeugt das Institut digitale Abbilder von Werkstoffen in Prozessketten, Bauteilen und Maschinen und macht sie mit ihrem Verhalten und ihren Eigenschaften berechenbar. Das Institut befähigt Unternehmen für den daten-basierten Einsatz von Werkstoffen als Schlüssel für Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit

## Kontakt

Pressekontakt

**Thomas Götz**

Fraunhofer-Institut für  
Werkstoffmechanik IWM  
Unternehmenskommunikation  
und Institutsstrategie  
Tel. +49 761 5142-153

[thomas.goetz@iwm.fraunhofer.de](mailto:thomas.goetz@iwm.fraunhofer.de)

Wissenschaftlicher Kontakt

**Fabien Ebling**

Fraunhofer-Institut für  
Werkstoffmechanik IWM  
Lebensdauerkonzepte für  
Wasserstoffanwendungen  
Tel. +49 761 5142-457

[fabien.ebling@iwm.fraunhofer.de](mailto:fabien.ebling@iwm.fraunhofer.de)

[www.iwm.fraunhofer.de](http://www.iwm.fraunhofer.de)

