



Ausfall eines Getriebes durch Zahnbruch  
Bild: © IW

# Mess- und Prüftechnik beim Präzisionsschmieden

Eine verkürzte Prozesskette „Präzisionsschmieden“ erfordert neben stabilen Fertigungsprozessen eine schnelle und gründliche Qualitätsprüfung der gefertigten Bauteile. Qualitätsmerkmale wie Formabweichungen, Härteeigenschaften und Betriebsfestigkeit präzisionsgeschmiedeter und integriert wärmebehandelter Zahnräder werden in der Prozesskette erfasst, bewertet und zur Optimierung der Fertigungsprozesse genutzt.

Durch eine integrierte Bauteilprüfung zur Prozessüberwachung und Prozessregelung eröffnen sich neue Möglichkeiten zur wirtschaftlichen Fertigung von hoch beanspruchten Maschinenbauteilen hoher Qualität. Die prozessintegrierte objektive Erkennung und Überwachung relevanter Bauteileigenschaften im Prozessablauf ist dabei von wesentlicher Bedeutung für die Prozesssteuerung und Erreichung einer hohen Prozesssicherheit.

## In Form oder nicht in Form

Für eine zuverlässige Regelung der im Rahmen des SFB 489 aufgebauten Prozesskette zur Herstellung präzisionsgeschmiedeter Hochleistungsbauteile ist eine fertigungsnaher Geometrieprüfung der Zwischenprodukte unerlässlich. Die Charakterisierung der Geometrieinformationen gibt Aufschluss über die Art und Ausprägung der Abweichungen und liefert somit die Ist-Daten zur Prozessregelung. Auf diese Weise können beispielsweise der Verschleiß der Umformwerkzeuge oder Formfehler infolge der integrierten Wärmebehandlung detektiert werden.

Die bei den präzisionsgeschmiedeten Zahnrädern auftretenden typischen prozessbedingten Geometriefehler besitzen eine vollkommen andere Systematik als die Fehler, die bei rein spanend gefertigten Zahnrädern auftreten. Durch die Abformung im Schmiedegesenk entstehen individuelle und zufällig über der Verzahnung verteilte Geometrieabweichungen, wodurch eine flächenhafte Messung aller Zähne des Zahnrades notwendig wird. Die in der konventionellen Verzahnungsmessung übliche linienhafte Erfassung der Zahnflanken ist hier unzureichend, da so lokale Fehlstellen nicht sicher erkannt werden.

Für eine schnelle und flächenhafte Erfassung der gesamten Verzahnungsgeometrie der präzisionsgeschmiedeten Zahnräder wurde am Institut für Mess- und Regelungstechnik (IMR) ein optisches Zahnradmesssystem auf Basis der Streifenprojektionstechnik entwickelt und aufgebaut. Durch die optische und flächenhafte Messung wird zum einen eine Analyse der gesamten Verzahnungsgeometrie ermöglicht, zum anderen werden die Prüfzeiten, verglichen mit der konventionellen Zahnradmessung, drastisch reduziert.

Die Ergebnisse der optischen Geometrieprüfung der präzisionsgeschmiedeten Zahnräder lassen sich besonders übersichtlich in Form von dreidimensionalen Abweichungsbildern darstellen. Durch diese Darstellung wird bereits eine qualitative Bewertung der Verzahnungsabweichungen ermöglicht. Insbesondere können die für das Präzisionsschmieden typischen lokalen und zufällig verteilten Geometrieabweichungen sowie temperaturbedingte systematische Abweichungen leicht erkannt werden. Eine quantitative Analyse der Geometriefehler kann mit Hilfe der im Rahmen des Projektes entwickelten flächenbasierten Kenngrößen geschehen.

## Harte Schale, weicher Kern

Die Gewährleistung einer hohen Verschleiß- und Dauerfestigkeit hoch beanspruchter Verzahnungen erfordert gradierte Werkstoffeigenschaften im Zahn. Dieses ist eine harte verschleißfeste Randzone und ein duktiler hochfester Zahnkern. Durch eine integrierte Wärmebehandlung der präzisionsgeschmiedeten Zahnräder aus der Schmiedewärme werden die geforderten Werkstoffeigenschaften im Bereich der

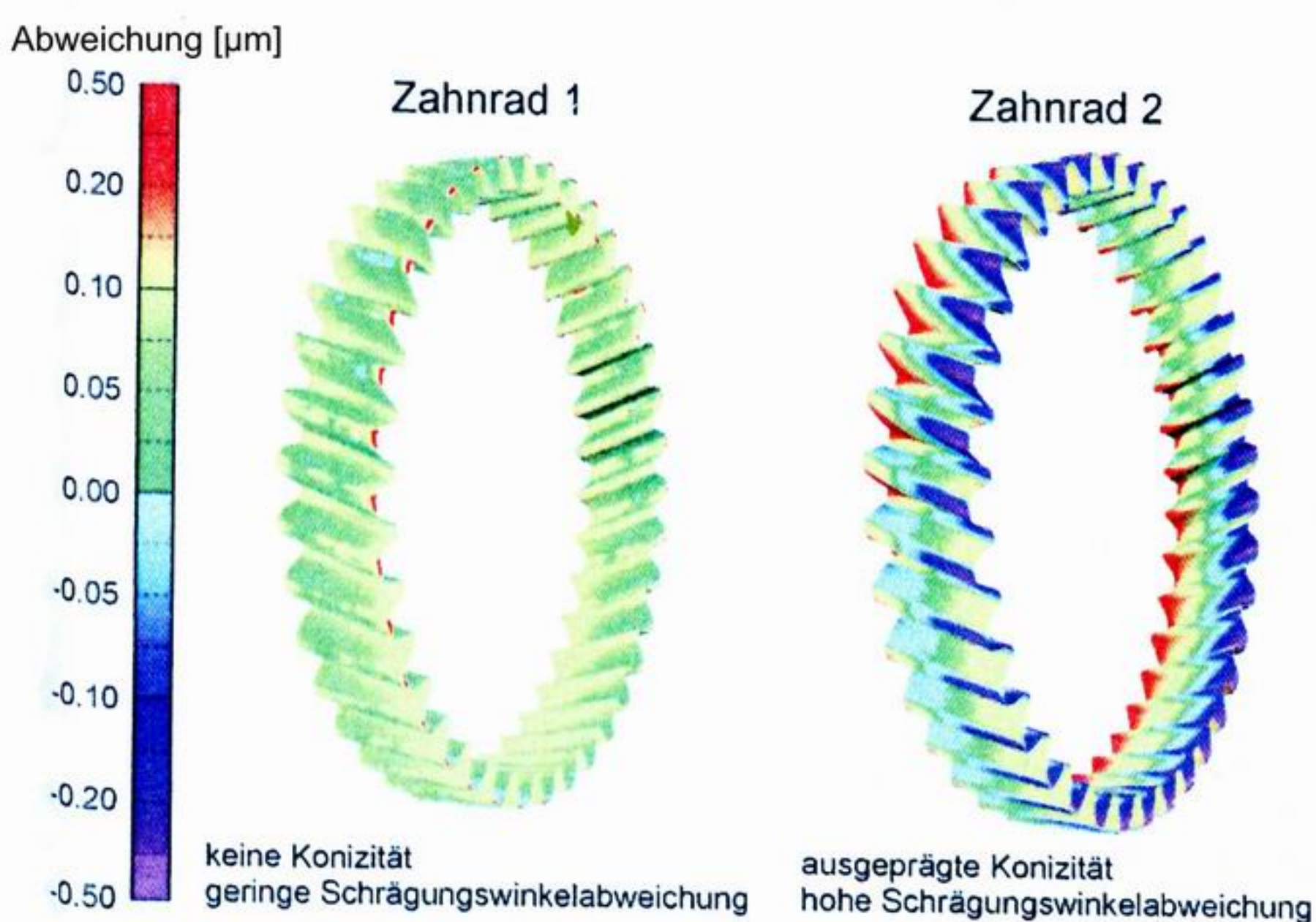
Verzahnung mittels einer am Institut für Werkstoffkunde (IW) neu entwickelten Wasser-Luft-Spraykühlung eingestellt. Die geforderte Profilierung und Oberflächen-güte der Zähne wird durch eine anschlie-ßende Hartfeinbearbeitung in der Prozess-kette erreicht.

Die Qualitätsanforderungen an die Zahn-räder erfordern eine Prüfung der Härteeigen-schaften der Verzahnung in der Prozessket-te, um über eine Prozessregelung zu einer Qualitätssicherung zu kommen. Mit der Harmonischen-Analyse von Wirbelstrom-signalen wurde am IW eine Prüftechnik ent-wickelt, mit der zerstörungsfrei, präzise und schnell Härtekennwerte von Zahn-rädern ermitteln werden können.

Zum einen wurde eine integrale Messsonde zur Bestimmung der Randhärte im gesam-ten Verzahnungsbereich und zum anderen eine Einzelzahnsonde zur Bestimmung der Einzelzahn-Randhärte und Einhärtungstiefe der Zähne entwickelt.

Bei der Prüfung eines konventionell gefe-rtigten Referenzprobensatzes verschiedener Zahn-räder konnte eindeutig eine Charge als fehlerhaft identifiziert werden. Diese zeigte aufgrund einer Fehlhärtung einen über dem Umfang variierenden Härteverlauf von „harten“ und „weichen“ Zähnen, was sich in der 3. Harmonischen des Wirbelstrom-signals widerspiegelt.

Aufgrund physikalischer Zusammenhänge zwischen der magnetischen und der mecha-nischen Härte bestehen annähernd lineare Abhängigkeiten zwischen den zerstörungs-frei gemessenen Härtekennwerten und den Eindruck-Härtewerten nach Vickers. Die mehrdimensionale Regression signifikanter Harmonischen Messwerte zeigt eine sehr hohe Korrelation zur Eindruck-Härteprü-fung als ein Maß für die gute Übereinstim-mung der zerstörungsfreien und konventio-nellen Prüftechnik.



Dreidimensionale Darstellung der Verzahnungsabweichungen  
Bild: © IMR

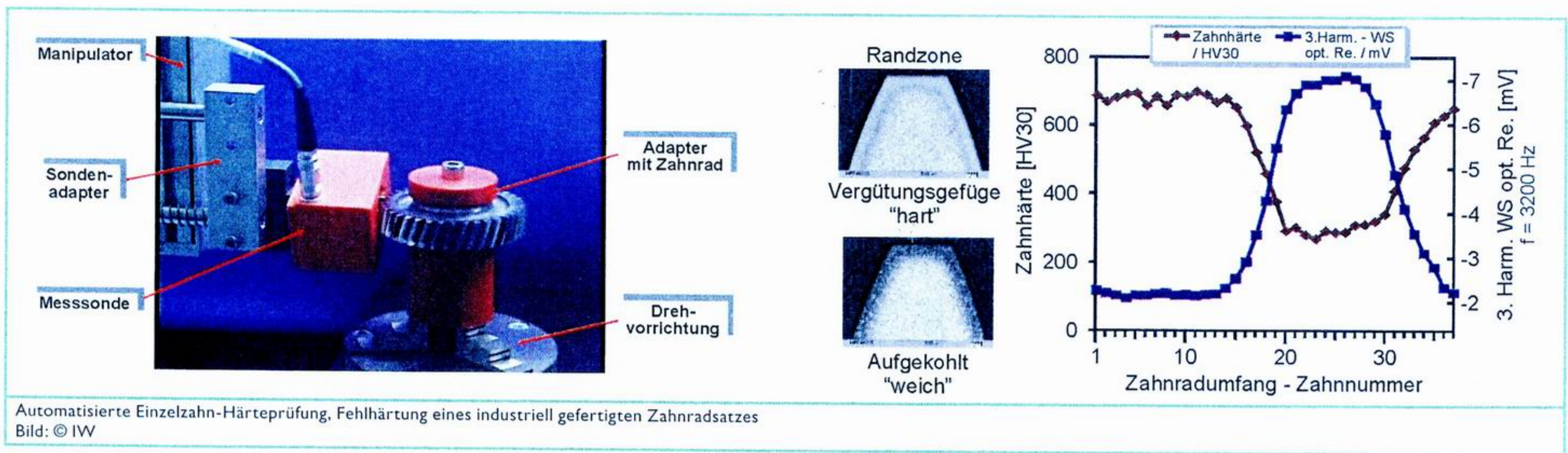


# Unsere Nr. 1 ist der Kunde

FR. u. H. LÜLING GmbH & Co. KG Stahldrahtwerk  
Kleffstraße 1 · 58762 Altena  
Tel. +49 2352 977-0 · Fax +49 2352 977-111  
E-Mail [info@lueling.com](mailto:info@lueling.com)  
[www.lueling.com](http://www.lueling.com)

ISO/TS 16949:2002 · EN ISO 9001:2000 · EN ISO 14001:1996

WIPF 2006 Halle/Stand 111144



Neben der Randhärte ist auch die Einhärtungstiefe ein wichtiger Härtekenwert hinsichtlich der Betriebsfestigkeit von Verzahnungen. Mit ausgewählten signifikanten Messwerten bestehen weiterhin Möglichkeiten, Einhärtungstiefen mit einer hohen Genauigkeit zerstörungsfrei zu bestimmen. Diese Ergebnisse machen deutlich, dass durch eine Legierungsänderung und Wärmebehandlung hervorgerufene Gefügeveränderungen in der Randzone mit Hilfe der Harmonischen-Analyse von Wirbelstromsignalen empfindlich nachgewiesen und lokale Härtekenwerte der Einzelzähne zerstörungsfrei bestimmt werden können. Beispielhaft aufgezeigt wurde, dass auch bei konventioneller Fertigung von Zahnradern aus Einsatzstahl eine zerstörungsfreie Härteprüfung zur Qualitätssicherung sinnvoll ist.

### Unter Last bestehen

Eine Beurteilung der Bauteileigenschaften Laufruhe, Flankentragfähigkeit und Zahnfußfestigkeit nach der Endbearbeitung präzisionsgeschmiedeter Zahnradern erfordert eine Prüfung unter realistischen Betriebsbedingungen. Präzisionsgeschmiedete Bau-

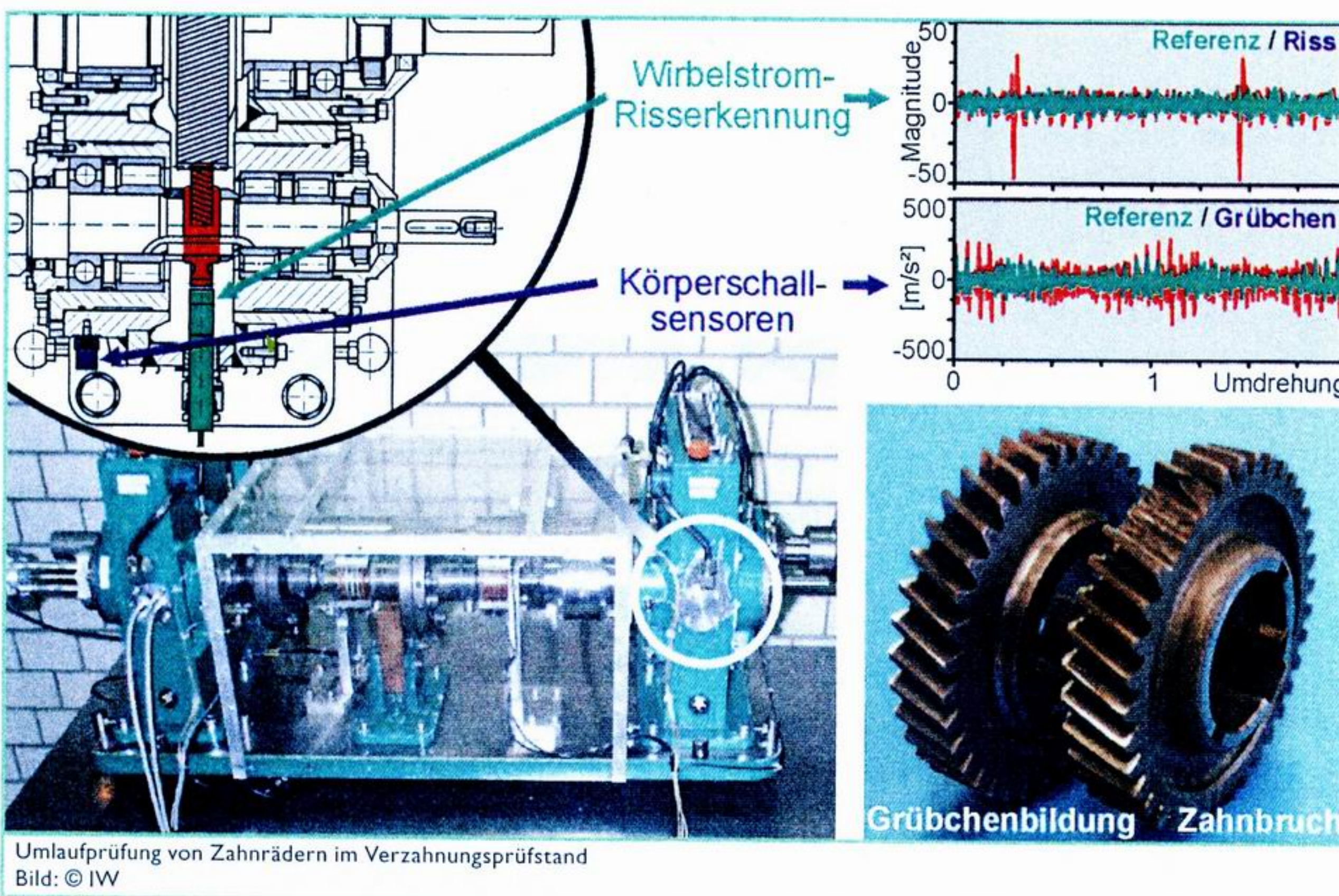
teile werden am IW mit herkömmlich gefertigten Zahnradern verglichen, um Einflüsse des Präzisionsschmiedens, der Wärmebehandlung und der Hartfeinbearbeitung auf die Qualität und die Bauteileigenschaften beurteilen zu können. Bei der umlaufenden Prüfung der Zahnradern im Verzahnungsprüfstand hinsichtlich Flankentragfähigkeit und Zahnfußfestigkeit lassen sich auch Einflüsse der Oberflächenbeschaffenheit und Geometrieabweichungen nachweisen. Dies ermöglicht eine Optimierung des Bauteils sowie der einzelnen Fertigungsprozesse.

Als Mittel zur Beurteilung des Lauf- und Geräuschverhaltens wird die Schwingungsanalyse eingesetzt. Die Anwendung spezieller Analyseverfahren ermöglicht die Erkennung verzahnungsspezifischer Schwingungssignaturen, die Zuordnung entsprechender Anregungsursachen und erlaubt eine Klassifizierung des Bauteilzustandes. Dadurch lassen sich Schäden frühzeitig erkennen und zuordnen. Zur frühzeitigen Erkennung von Anrissen im Zahnfuß wurden Wirbelstromsensoren integriert. Ein Riss verändert die Ausbildung der Wirbelstromverteilung im

Bauteil, was zu einer Änderung der Signalamplitude führt.

Die Integration von Prüftechniken zur schnellen Geometrierfassung und zerstörungsfreien Härteprüfung in der Prozesskette „Präzisionsschmieden schrägverzahneter Zahnradern“ sowie ein anschließender Test unter realistischer Belastung ermöglicht eine Bauteilprüfung und Optimierung der Fertigungsprozesse im Rahmen der Qualitätssicherung. Im alltäglichen Betrieb sind Zahnradern in Getrieben höchsten Belastungen ausgesetzt. Durch prozessintegrierte Prüftechniken lässt sich die Zuverlässigkeit erhöhen, schließlich ist bereits ein defekter Zahn ein defekter Zahn zuviel. ◀

- ▶ Die Erstveröffentlichung dieses Beitrags erfolgte in  $\phi$  phi – Produktionstechnik Hannover informiert, 6. Jahrgang, Ausgabe 4, Oktober 2005, S.14-15.
- ▶ Die Autoren des Beitrags sind: Dipl.-Ing. Martin Bernard, Dipl.-Ing. Christian Scheer, Dr.-Ing. Wilfried Reimche und Prof. Dr.-Ing. Friedrich-Wilhelm Bach vom IW. Dipl.-Phys. Markus Kästner, Dr.-Ing. Jörg Seewig und Prof. Dr.-Ing. Eduard Reithmeier vom IMR.



- ▶ Institut für Werkstoffkunde (IW)  
Schönebecker Allee 2  
D-30823 Garbsen  
Tel.: +49 511 762-9839  
Fax: +49 511 762-9837  
E-Mail: [scheer@iw.uni-hannover.de](mailto:scheer@iw.uni-hannover.de)  
Internet: [www.iw.uni-hannover.de](http://www.iw.uni-hannover.de)
- ▶ Institut für Mess- und Regelungstechnik (IMR)  
Nienburger Straße 17  
D-30167 Hannover  
Tel.: +49 511 762-4284  
Fax: +49 511 762-3234  
E-Mail: [markus.kaestner@iw.uni-hannover.de](mailto:markus.kaestner@iw.uni-hannover.de)  
Internet: [www.imr.uni-hannover.de](http://www.imr.uni-hannover.de)