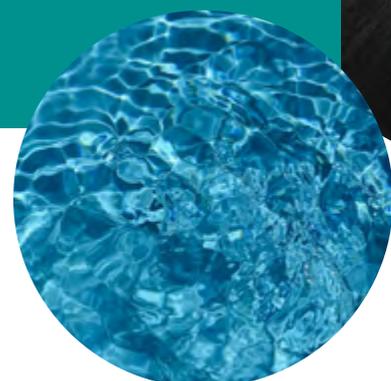
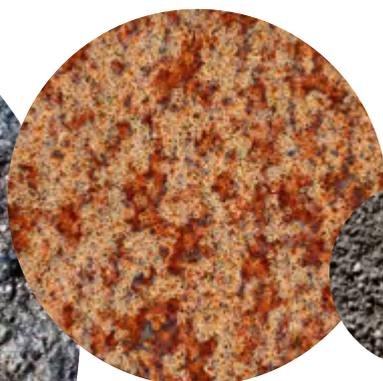
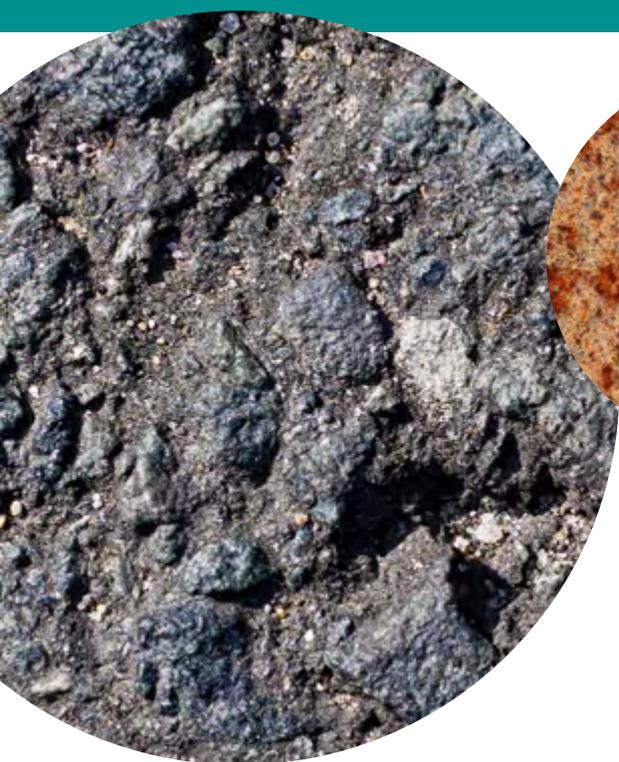


# RUBIN

WISSENSCHAFTSMAGAZIN



## AN DER OBERFLÄCHE

Von wegen unvorhersagbar: Erdbeben

Von wegen außerirdisch: Kreise im Kornfeld

Von wegen weiß und erhaben: Antike Statuen



# MIT BLANKEN ZÄHNEN LÄUFT ALLES GLATT

*Zahnräder sollen geschmeidig ineinandergreifen.  
Dazu lassen sich Hersteller verschiedene Tricks einfallen.  
Was sie bringen, wissen Bochumer Forschende.*

Zahnräder verrichten ihr Werk meistens im Verborgenen. Doch ohne sie läuft nichts: kein Auto, kein Flugzeug, kein Zahnarztbohrer, keine Windenergieanlage. „In jedem herkömmlichen Auto sind zwischen dem Motor und den Rädern mindestens 15 Zahnräder verbaut. Bei batterie-elektrischen Fahrzeugen sind es zwar üblicherweise nur etwa halb so viele, ohne Zahnräder geht aber auch hier nichts voran“, verdeutlicht Prof. Dr. Manuel Oehler die schiefe Masse dieser Bauteile. Noch nicht mitgezählt sind dabei die, die für Fensterheber, Außenspiegel- und Sitzverstellung und andere Nebenfunktionen zuständig sind. Und Autos mit ihren zusammengerechnet vergleichsweise wenigen Betriebsstunden sind nur ein Beispiel für ihren massenhaften Einsatz. Es lohnt sich daher, in die Qualität von Zahnradern zu investieren und damit sowohl in die Lebensdauer der von



Manuel Oehler (links) und Jacob Vorgerd wollen verstehen, wie Zahnräder verschleifen und wie man sie länger haltbar machen kann.

ihnen angetriebenen Maschinen als auch in die Energieeffizienz der entsprechenden Prozesse.

Wo die Stellschrauben sind, an denen man drehen kann, damit ein Zahnrad lange gut läuft, darum geht es bei der Arbeit des Teams von Manuel Oehlers Lehrstuhl für Antriebstechnik der Ruhr-Universität Bochum. Außerdem wollen die Ingenieur\*innen herausfinden, ob und wie sich Schäden an Zahnradern vorhersagen lassen, sodass man Wartungs- oder Austauschintervalle sinnvoll planen kann. „Wenn man sich ein Offshore-Windrad vorstellt, hat man den enormen Aufwand vor Augen, den es bedeutet, ein Zahnrad in seinem Getriebe zu tauschen“, verdeutlicht Dr. Jaacob Vorgerd, Oberingenieur am Lehrstuhl. Mit Blick auf die dazu notwendigen Spezialschiffe und -kräne ist es da gut, genau zu wissen, wann es wirklich notwendig ist.

Am Lehrstuhl lässt sich das Leben eines Zahnrades praktisch von Anfang bis Ende verfolgen. „Die Studierenden stellen Zahnräder in unserer Werkhalle selbst her und vermessen sie mikrometergenau – auch wenn wir sie für alle anderen Zwecke von Projektpartnern beziehen“, erzählt Manuel Oehler und deutet auf eine altertümlich anmutende grüne Fräsmaschine. Die allermeisten Zahnräder werden aus Stahl gefertigt. Aus einem runden Rohling werden die einzelnen Zähne herausgefräst. All das können die Studierenden in der Werkhalle ausprobieren. In der industriellen Herstellung läuft das automatisiert ab, und die Zahnräder durchlaufen anschließend eine Wärmebehandlung, die die Oberflächen härtet. Ein letzter Schliff macht das Rad im Prinzip einsatzbereit.

Wenn es auf besondere Leistung ankommt – etwa im Flugzeugbau oder bei Windenergieanlagen – wird häufig ein größerer Aufwand betrieben. „Im Flugzeugbau kommt es natürlich besonders auf die Sicherheit an“, sagt Manuel Oehler. Durch die Wahl besonders hochwertiger Stähle ist hier auch die schlankere Auslegung von Zahnradern ohne Funktionsverlust möglich. So spart man Gewicht.

Wie haltbar die Zahnräder tatsächlich sind, können die Mitarbeitenden am Lehrstuhl für Antriebstechnik auf ihren Prüfständen ermitteln, in die Zahnräder verschiedener Größen passen. Die Laufzeiten liegen zwischen wenigen Minuten und mehreren Tagen, auch die Drehgeschwindigkeiten ▶

Beim Wälzfräsen sorgt der Kühlschmierstoff durch seine beiden namensgebenden Funktionen (kühlen und schmieren) dafür, dass weniger Verschleiß am Werkzeug auftritt und es länger einsetzbar ist.

IN EINEM HERKÖMMLICHEN AUTO SIND ZWISCHEN DEM MOTOR UND DEN RÄDERN MINDESTENS

**15** ZAHNRÄDER VERBAUT.

sind anpassbar. An Stücken von Zahnrädern, die diese Tests durchlaufen haben, kann Jaacob Vorgerd zeigen, was im Laufe der Zeit passiert: Zunächst nehmen die Oberflächen der Zähne auf der Flanke Schaden, mit der sie mit dem gepaarten Zahnrad in Kontakt stehen. Erste Schäden sind mit bloßem Auge kaum zu sehen. Ausgeprägtere Schäden entstehen durch Reibung und Hitze. „Im schlimmsten Fall verfärben und verformen sich die Zähne. Oder es brechen sogar einzelne Zähne ab“, zeigt Vorgerd an einem Zahnradteil eines Hubschraubergetriebes, das zu Testzwecken bis zum Versagen ohne Öl gelaufen ist. „Dabei ging es darum zu zeigen, dass der Hubschrauber auch im Falle eines Totalversagens noch sicher landen kann“, erzählt er.

Damit auch kleine Schäden möglichst lange hinausgezögert werden können, kommt es besonders auf die Zahnober-



Nadja Aufderstroth untersucht die Oberfläche eines Zahnrades unter dem Mikroskop.

flächen an, die miteinander in Kontakt treten. Je glatter die Oberfläche ist, desto weniger Reibung und Verschleiß treten normalerweise im Betrieb auf. Das Lehrstuhlteam hat die Effekte verschiedener zusätzlicher Oberflächenveredlungen untersucht: Beim Gleitschleifen werden die Zahnräder in ein Becken mit keramischen Körpern getaucht, die in Schwingungen versetzt werden und kleinste Partikel von der bereits geschliffenen Oberfläche abtragen. „Das kann man sich so vorstellen wie einen Rheinkiesel, der im Wasser immer glatter wird“, verdeutlicht Manuel Oehler. Messungen mit einem Autofokus-Mikroskop, das Oberflächen samt Höheninformationen aufnehmen kann, haben ergeben, dass dadurch die Rauheit der Oberfläche auf Erhebungen von 0,1 Mikrometer sinkt – nach dem Standardschliff beträgt sie 0,3 Mikrometer.

„Sollen die Zähne noch widerstandsfähiger werden, kann die Oberfläche im Zahngrund – das ist der tiefste Bereich der Zahnlücken – kugelgestrahlt werden.“ Wie beim Sandstrahlen wird die Stahloberfläche dabei mit kleinsten Metallkügelchen beschossen. Es entstehen dadurch winzige Eindrücke, die die Oberfläche verfestigen. „Das erhöht den Widerstand gegen feinste Risse“, erklärt Jaacob Vorgerd.

Die Kosten für diese Veredlungsverfahren machen 10 bis 15 Prozent der Gesamtkosten für ein Zahnrad aus. Lohnt sich das? Mit dieser Frage treten Industriepartner an das Lehrstuhlteam heran. Die Antwort in diesem Fall: klar ja. „Wenn der Wirkungsgrad durch so eine Behandlung auch nur um einen Prozentpunkt steigt – beispielsweise von 98 auf 99 Prozent – bedeutet das, dass sich die Verlustleistung halbiert“, erklärt Manuel Oehler. „99 Prozent der Energie, die das Zahnrad antreibt, werden in die gewünschte Bewegung des Antriebs übertragen, und nur ein Prozent verflüchtigt sich in Form von Wärme.“

In den Prüfständen des Lehrstuhls lassen sich die Effekte messen. „Wir können vor allem über die Messung von Vibrationen ablesen, wie gut ein Zahnrad läuft“, erklärt Jaacob Vorgerd. „Stärkere Vibrationen sind ein Anzeichen für Schädigungen, zum Beispiel feinste Risse in den Oberflächen.“ Ein weiteres Indiz ist die Temperatur des jeweiligen Schmiermittels: Der Vergleich der Temperatur des Öls, das den Antrieb schmiert, beim Eintritt und beim Austritt ist eine hochgenaue Methode zur Reibungsmessung.

Im Abgleich mit diesen Experimenten entwickeln die Forschenden Modelle, um Schäden von Zahnrädern zu simulieren. So versuchen sie vorherzusagen, wie lange ein Zahnrad problemlos laufen wird, wie groß ein Wartungsintervall sein sollte oder wann man es vorsorglich austauschen muss.

Text: md, Fotos: rs

## **i** SCHMIERMITTEL

Das Team des Lehrstuhls Antriebstechnik analysiert auch im Herstellerauftrag die Wirkung von verschiedenen Ölen und Fetten als Schmiermittel. „Darin können neben dem Grundöl verschiedenste Komponenten enthalten sein, die die Laufeigenschaften von Zahnrädern verbessern“, erklärt Manuel Oehler. „Das sind wahre Zaubersäfte.“ Polymere sorgen für konstantes Verhalten unter verschiedenen Temperaturen, andere Komponenten bilden schützende Schichten auf der Stahloberfläche aus, harte Partikel lagern sich darauf an, reduzieren die Reibung und schützen die Oberfläche vor dem Verschleifen.



Mit diesem Prüfstand werden Zahnräder mit Durchmessern von mehr als einem halben Meter geprüft. Zwischen den Zahnrädern kreist eine Leistung von bis zu acht Megawatt. Der Lehrstuhl für Antriebstechnik ist die einzige Forschungseinrichtung in Deutschland, die einen Prüfstand dieser Bauart in dieser Größenordnung betreibt.

# REDAKTIONSSCHLUSS

Wie würde Ihnen dieses Werk an Ihrer Wand zuhause gefallen? Was hier nach moderner Kunst aussieht, ist am Lehrstuhl für Verkehrswegebau entstanden. Es handelt sich zwar nicht um ein Forschungsergebnis, aber zumindest um eine wichtige Zutat für die Projekte der Ingenieurinnen und Ingenieure: Bitumen, das Bindemittel, das die Bestandteile von Asphalt zusammenhält. Das Lehrstuhlteam untersucht unter anderem, wie man Asphalt bei niedrigeren Temperaturen als in Deutschland üblich herstellen kann und was dafür die beste Rezeptur wäre (mehr dazu auf Seite 62). So werden im Lauf eines Jahres einige hundert Liter Bitumen in der Werkhalle verarbeitet. Und was davon nicht im Asphalt landet, wird schon mal für die Produktion von Kunstwerken genutzt, die später die Büros der Ingenieurinnen und Ingenieure zieren.

Foto: RUB, Marquard



## IMPRESSUM

**HERAUSGEBER:** Rektorat der Ruhr-Universität Bochum in Verbindung mit dem Dezernat Hochschulkommunikation der Ruhr-Universität Bochum (Hubert Hundt, v.i.S.d.P.)

**WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT:** Prof. Dr. Birgit Apitzsch (Sozialwissenschaft), Prof. Dr. Thomas Bauer (Fakultät für Wirtschaftswissenschaft), Prof. Dr. Gabriele Bellenberg (Philosophie und Erziehungswissenschaften), Prof. Dr. Elena Enax-Krumova (Medizin), Prof. Dr. Constantin Goschler (Geschichtswissenschaften), Prof. Dr. Markus Kaltenborn (Jura), Prof. Dr. Achim von Keudell (Physik und Astronomie), Prof. Dr. Günther Meschke (Prorektor für Forschung und Transfer), Prof. Dr. Martin Muhler (Chemie), Prof. Dr. Franz Narberhaus (Biologie), Prof. Dr. Nils Pohl (Elektro- und Informationstechnik), Prof. Dr. Markus Reichert (Sportwissenschaft), Prof. Dr. Tatjana Scheffler (Philologie), Prof. Dr. Gregor Schöner (Informatik), Prof. Dr. Sabine Seehagen (Psychologie), Prof. Dr. Roland Span (Maschinenbau), Prof. Dr. Marc Wichern (Bau- und Umweltingenieurwissenschaft), Prof. Dr. Peter Wick (Evangelische Theologie)

**REDAKTIONSANSCHRIFT:** Dezernat Hochschulkommunikation, Redaktion Rubin, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, rubin@rub.de, news.rub.de/rubin

**REDAKTION:** Dr. Julia Weiler (jwe, Redaktionsleitung); Meike Drießen (md); Dr. Lisa Bischoff (lb); Raffaella Römer (rr)

**FOTOGRAFIE:** Damian Gorczany (dg), Schiefersburger Weg 105, 50739 Köln, Tel.: 0176 / 29706008, damiangorczany@yahoo.de, www.damiangorczany.de; Roberto Schirdewahn (rs), Offerkämpfe 5, 48163 Münster, Tel.: 0172/4206216, post@people-fotograf.de, www.wasaufdieaugen.de

**COVER:** Roberto Schirdewahn / Agentur für Markenkommunikation

**BILDNACHWEISE INHALTSVERZEICHNIS:** Teaserfotos für die Seiten 18, 26 und 52: Roberto Schirdewahn; Seite 22: Anna Schulte; Seite 62: RUB, Kramer

**GRAFIK, ILLUSTRATION, LAYOUT UND SATZ:** Agentur für Markenkommunikation, Ruhr-Universität Bochum, www.einrichtungen.rub.de/de/agentur-fuer-markenkommunikation

**DRUCK:** LD Medienhaus GmbH & Co. KG, Hansaring 118, 48268 Greven, info@ld-medienhaus.de, www.ld-medienhaus.de

**ANZEIGEN:** Dr. Julia Weiler, Dezernat Hochschulkommunikation, Redaktion Rubin, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, rubin@rub.de

**AUFLAGE:** 3.900

**BEZUG:** Rubin erscheint zweimal jährlich und ist erhältlich im Dezernat Hochschulkommunikation der Ruhr-Universität Bochum. Das Heft kann kostenlos abonniert werden unter news.rub.de/rubin/abo. Das Abonnement kann per E-Mail an rubin@rub.de gekündigt werden.

**ISSN:** 0942-6639

Nachdruck bei Quellenangabe und Zusenden von Belegexemplaren

Die nächste Ausgabe von RUBIN erscheint am 7. Januar 2025 (Sonderausgabe Extinktionslernen).