

Modifizierte Zahnflanken ■ Serienfertigung ■ Tragfähigkeitserhöhung

# Verzerrungsfreies Wälzschleifen präzisiert Zahnflanken

Liebherr-Verzahntechnik berechnet die Mikrogeometrie von Zahnflanken und hat damit eine Methode für ein verzerrungsfreies Wälzschleifen von Flankenlinienmodifikationen entwickelt. Die Schleif- und Abrichtzeit entspricht der des verschränkungsarmen Schleifens.

von Hansjörg Geiser und Robert Würfel



1 Verzerrungsfreies Wälzschleifen einer Schrägverzahnung (© Liebherr-Verzahntechnik)

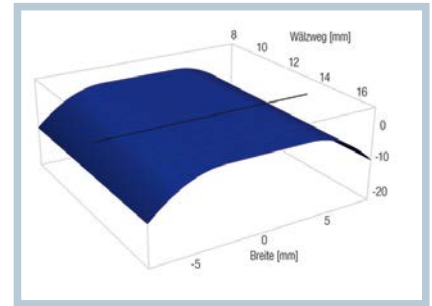
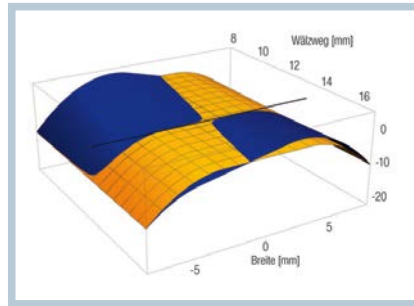
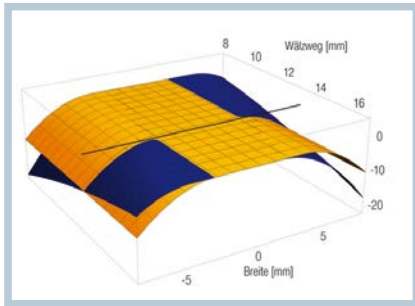
**V**erschränkungsarmes Wälzschleifen hat sich als Produktionsmethode bewährt. Bereits 1987 meldete Liebherr-Verzahntechnik, Kempten, die Erfindung von Dr. Gerd Sulzer zum Patent an. Seitdem lässt sich mithilfe von Schleifschnecken mit über die Länge verändertem Profilwinkel die natürliche Verschränkung beim Wälzschleifen von

Verzahnungen mit Flankenlinienmodifikationen korrigieren. Dazu bewegt sich die Schleifschnecke in einer axialen Bewegung am Werkstück vorbei, sodass sukzessiv jeder Schneckenbereich in Eingriff kommt. Damit wird die Verschränkung eliminiert.

Was bei diesem Verfahren jedoch nicht vermieden wird, sind Formfehler.

## Verschränkungsarmes Schleifen löst das Problem nicht

Bei Schrägverzahnungen etwa wird die Verschränkung zwar korrigiert, im Profil entsteht jedoch eine ungewünschte Hohlballigkeit. Ein Praxisbeispiel (Bild 2) mit gerundeter Endrücknahme veranschaulicht die Verzerrungsproblematik bei Schrägverzahnungen. Konven- »



**2 Verzerrungsproblematik bei Schrägverzahnung:** links und Mitte: gelb die Vorgabe, blau das Schleifergebnis; rechts: Zahnflankenprofil nach verzerrungsfreiem Wälzschleifen (© Liebherr-Verzahntechnik)

tionell wird die Modifikation nur auf dem Messkreisdurchmesser exakt erreicht. In der topologischen Verzahnungsmessung zeigen sich deutliche Verzerrungen. In zwei Eckbereichen wird zu viel Material abgeschliffen, in zwei anderen zu wenig (Bild 2 links). Dies hat Auswirkungen auf die Tragfähigkeit und das Geräusch der Verzahnung.

Das einfache, verschränkungsarme Wälzschleifen löst dieses Problem nur teilweise. Es existieren weiterhin Formabweichungen (Bild 2 Mitte). Auch hier wird die Modifikation lediglich auf dem Messkreisdurchmesser exakt erreicht. Eine Möglichkeit zur Korrektur bestünde im topologischen Abrichten der Schleifschnecke Zeile für Zeile, was wirtschaftlich unmöglich wäre. Liebherr-Verzahntechnik hat mit einem neuen Schleifverfahren eine Alternative entwickelt.

### Verzerrungsfreies Wälzschleifen

Liebherr ermöglicht jetzt ein absolut verzerrungsfreies Wälzschleifen von Flankenlinienmodifikationen. Das Er-



**3 Auf der Wälz- und Profilschleifmaschine LGG 280 von Liebherr lässt sich das verzerrungsfreie Wälzschleifen von Verzahnungen realisieren** (© Liebherr-Verzahntechnik)

## INFORMATION & SERVICE



### HERSTELLER

**Liebherr-Verzahntechnik GmbH**

87437 Kempten

Tel. +49 831 786-0

[www.liebherr.com](http://www.liebherr.com)

### DIE AUTOREN

**Dipl.-Phys. Robert Würfel** ist technologischer Mathematiker bei Liebherr-Verzahntechnik

[robert.wuerfel@liebherr.com](mailto:robert.wuerfel@liebherr.com)

**Dr.-Ing. Hansjörg Geiser** ist Leiter Entwicklung & Konstruktion Verzahnmaschinen bei Liebherr-Verzahntechnik

### PDF-DOWNLOAD

[www.werkstatt-betrieb.de/1354360](http://www.werkstatt-betrieb.de/1354360)

gebnis nach der neuen Methode entspricht eins zu eins der Vorgabe (Bild 2 rechts). Durch das neue mathematische Verfahren wird die Modifikation auf allen Durchmessern exakt erreicht. Gleichzeitig entsprechen sowohl die Schleif- als auch die Abrichtzeit der des verschränkungsarmen Schleifens. Dazu werden keine speziellen Werkzeuge benötigt, der Standard-Abrichter genügt. Damit wurde ein wirtschaftlicher Prozess für die Serienfertigung entwickelt, der für jede freie Flankenlinienmodifikation genutzt werden kann.

Das zum Patent angemeldete Verfahren ist aus Gründen der Tragfähigkeit für die Fertigung von Getrieben sehr interessant. Bislang gab es hierfür keine wirtschaftlich sinnvoll einsetzbare Schleifmethode.

### Gewälzte Modifikationen (Generated End Relief)

Das Verfahren kann so angepasst werden, dass es neben freien Flankenlinienmodifikationen auch gewälzte Modifikationen schleifen kann. Die Vorteile solcher dreiecksförmigen Endrücknahmen (Generated End Relief) bezüglich der Tragfähigkeit werden in der Verzahnungswelt bereits seit vielen Jahren diskutiert. »Die Möglichkeit gewälzter Modifikationen erlaubt eine gezieltere Auslegung der Pressungsverteilung im Zahneingriff. Dadurch kann die maximal auftretende Hertzsche Pressung beeinflusst werden«, erklärt Professor Dr.-Ing. Karsten Stahl, Ordinarius am Lehrstuhl für Maschinenelemente (FZG) der TU München. »So kann die Tragfähigkeit einer Verzahnung bei optimierter

Kombination von GER und Standardkorrekturen wie Kopf- oder Fußrücknahmen gesteigert werden.«

Der Einsatz in der Praxis scheiterte bisher aber daran, dass kein wirtschaftliches Fertigungsverfahren zur Verfügung stand. Liebherr hat somit auch die letzte Hürde aus dem Weg geräumt (Bild 4).

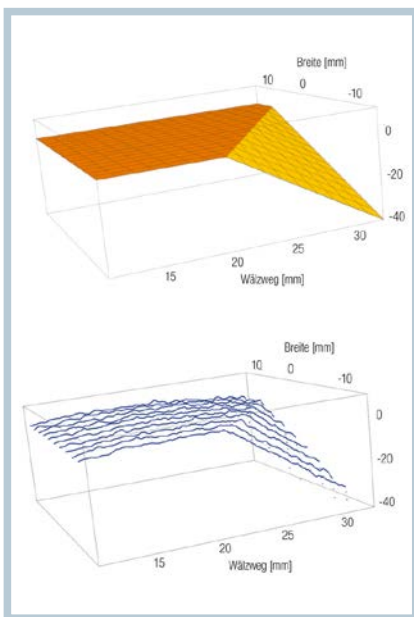
**Anregungsoptimierte Modifikationen**

Ein weiterer Anwendungsbereich sind anregungsoptimierte Modifikationen. Aufgrund der zeitlich veränderlichen Verzahnungssteifigkeit ergibt sich zwi-

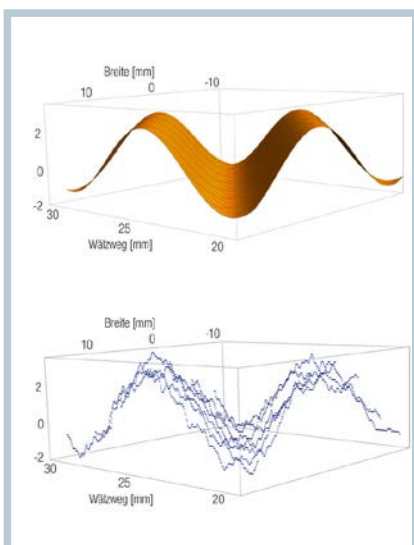
schen zwei gepaarten Zahnrädern eine periodische Drehwegabweichung mit sehr kleinen Amplituden, welche jedoch einen großen Einfluss auf den Geräuschpegel hat. An der Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau (FZG) am Lehrstuhl für Maschinenelemente der TU München wurde in den vergangenen Jahren erfolgreich der Einsatz sinusförmiger Modifikationen zur Reduzierung dieser Abweichungen untersucht. Diese gezielte Welligkeit, welche typischerweise eine Amplitude im  $\mu\text{m}$ -Bereich hat, hat dabei keinen Einfluss auf die Lastverteilung (Bild 5).

**Fazit**

Auch Flankenlinienmodifikationen mit relativ markanten Anpassungen über kurze Verzahnungsbreiten können durch das verzerrungsfreie Wälzschleifen von Liebherr gefertigt werden – ohne Abweichungen und Verzerrungen. Dabei entspricht die Schleif- und Abrichtzeit der des verschränkungsarmen Schleifens. Damit ermöglichen Liebherr-Schleifmaschinen (Bild 3) die wirtschaftliche Produktion gewalzter Modifikationen in großer Serie, gleiches gilt für anregungsoptimierte Modifikationen. Weitere Anwendungsbereiche sind bereits in der Entwicklung. ■



**4 Dreiecksförmige Endrücknahme:** oben die Vorgabe, darunter das Messergebnis (© Liebherr-Verzahntechnik)



**5 Gezielte Welligkeit:** oben die Vorgabe, unten das Messergebnis

(© Liebherr-Verzahntechnik)