

## Zahnradbearbeitung mit 5-Achs-Universalfräsmaschinen

# Pionierleistung

Neue Produktparten mit großen Getrieben (etwa Windräder) und der Zwang zu unbedingter Wirtschaftlichkeit führen zu einem neuen Anwendungsfeld für 5-Achs-Bearbeitung. Wie so oft bei Neuerungen stand auch hier die Software Pate.

VON ULRICH SENDLER

→ Mit der Dampfmaschine gab es im 18. Jahrhundert einen großen Sprung nach vorn in der Entwicklung der Zahnräder. Ihre Herstellung aus Metall stellte eine der wichtigsten Voraussetzungen dar für die Übertragung der nun möglichen großen Kräfte. Seitdem hat sich viel getan. Spezielle Werkzeugmaschinen sind heute in der Lage, beinahe jeden erdenklichen Zahnradtyp zu fertigen. Wirtschaftlich ist das allerdings nur, wenn es um größere Stückzahlen geht. Was aber, wenn ein Zahn aus einem großen Zahnrad bricht? Oder wenn mal schnell ein Prototyp gebraucht wird? Dann ist guter Rat heute wirklich teuer.

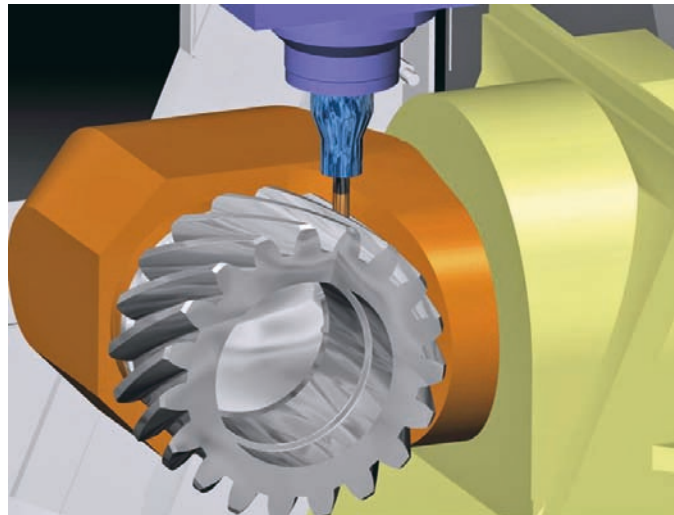
In den letzten Jahren häufen sich die Anfragen zur Herstellung von Ersatzzahnradern und anderen verzahnten Bauteilen,

eine logische Folge der Entwicklung des modernen Maschinen- und Anlagenbaus. Ob Windräder, Baumaschinen oder Schiffbau – wir erleben eine regelrechte Welle

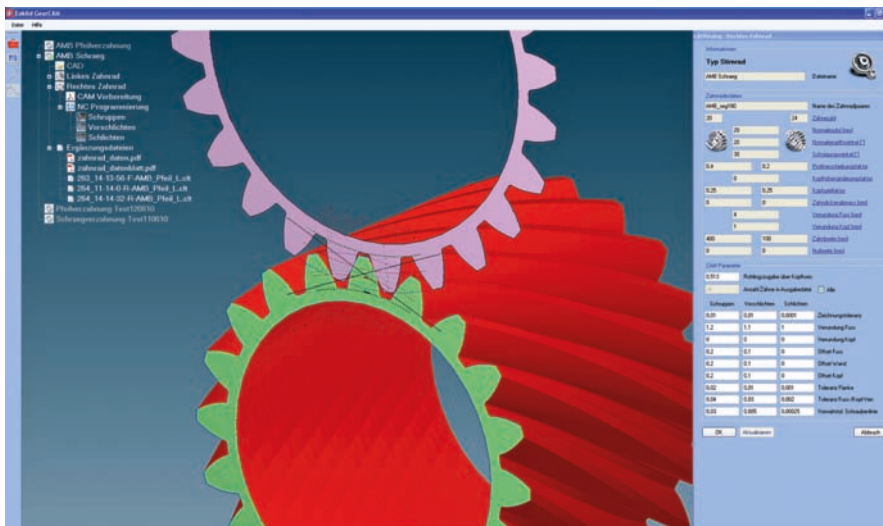
der Produktion großer Getriebe, teilweise in großen Serien. Ihre Herstellung macht in größeren Stückzahlen keine Schwierigkeiten. Das Problem sind Prototypen, Ersatzzahnradern und Instandsetzung. Denn dafür lohnt sich der Einsatz der Spezialmaschinen nicht.

### Herausforderung für den Pionier

Professor Max Engeli in Zürich erkannte in der Zahnradbearbeitung einen neuen Markt für CAD/CAM, nahm die Herausforderung an und entwickelte mit seinem Team das neue Programmmodul Euklid GearCAM, das ausschließlich der Beschreibung, Simulation und Bearbeitung von Zahnrädern dient. Die CAD/CAM-Systeme haben diesen Markt bislang wenig beachtet, und so ohne Weiteres lässt sich ein Zahnrad auch nicht mit herkömmlicher Software bearbeiten: Denn Zahnräder werden nicht wie Formen und andere Bauteile geometrisch beschrieben,



1 Mit Euklid GearCAM simuliertes Zahnradfräsen



2 Hauptansicht des Systems Euklid GearCAM

sondern nach Zahnradparametern ausgelegt. Es gibt also zunächst keine Fläche, deren Beschreibung zum NC-Programm führen könnte.

Max Engeli gehörte Ende der Siebzigerjahre zu den Ersten, die eine fünfsichtige NC-Bearbeitung von Freiformflächen – zum Beispiel Impellern oder Turbinenschaufeln – aus dem vollen Material mit dem CAD/CAM-System Euklid ermöglichten. Seit einigen Jahren ist er wieder der Eigentümer des Softwarehauses Euklid, das nach wie vor in der Oberliga spielt. »Die besondere Herausforderung«, sagt Engeli, »ist die extrem hohe Genauigkeit der Zahnflanken, die für das gute Funktionieren der Getriebe zwingend ist. Daraus ergeben sich hohe Ansprüche, die die Anwender an entsprechende Programme stellen. Denn sie wollen nicht nur ihre Erfahrungen einbringen können und die Wahl zwischen verschiedenen Methoden haben, sie wollen auch sicher sein, dass am Ende genau das herauskommt, was sie sich vorgestellt haben.«

Genau das bietet ihnen jetzt das Zahnradmodul Euklid GearCAM. Ob Zahnradparameter nach US- oder DIN-Norm, Iges-Daten, Bezier-Flächen oder Schnittdarstellungen – sogar Punktwolken aus Messdaten sind als Input möglich. Der CAD-Teil des Zahnradprogramms berechnet daraus die korrekte Darstellung von Zahnflanke, Kopf und Fuß, einschließlich der Verrundungen, und zwar »kompromisslos genau«, wie Engeli be-

## i HERSTELLER

### Euklid CAD/CAM AG

71034 Böblingen

Tel. 07031 685 99 96

Fax 07031 685 99 98

→ [www.euklid-cadcam.de](http://www.euklid-cadcam.de)

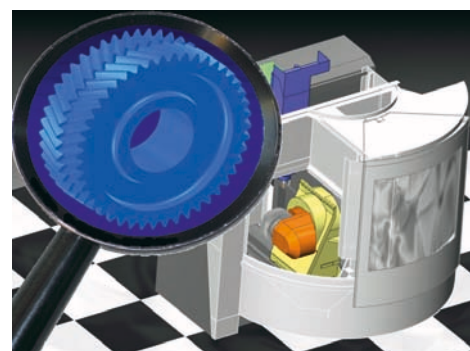
tont. Liegt die Beschreibung des anvisierten Zahnradpaares mit der relativen Achslage beider Räder vor, kann der Anwender auf dem Bildschirm das Eingreifen der Zähne in der Bewegung simulieren und prüfen, ob die Auslegung für die vorgesehene Belastung optimal ist. Im Bedarfsfall – der eher der Normalfall sein dürfte – lässt sich nun über das Programm die Form des Zahnes optimieren. Und zwar indem es einen Ausgleich schafft für die durch die definierten Kräfte des Gegenrades zu erwartende Deformierung der – theoretisch richtigen – Balligkeit der Zahnflanke. Eine Art variables Aufmaß.

### In der Fertigung gilt das Prinzip der Kleinserie

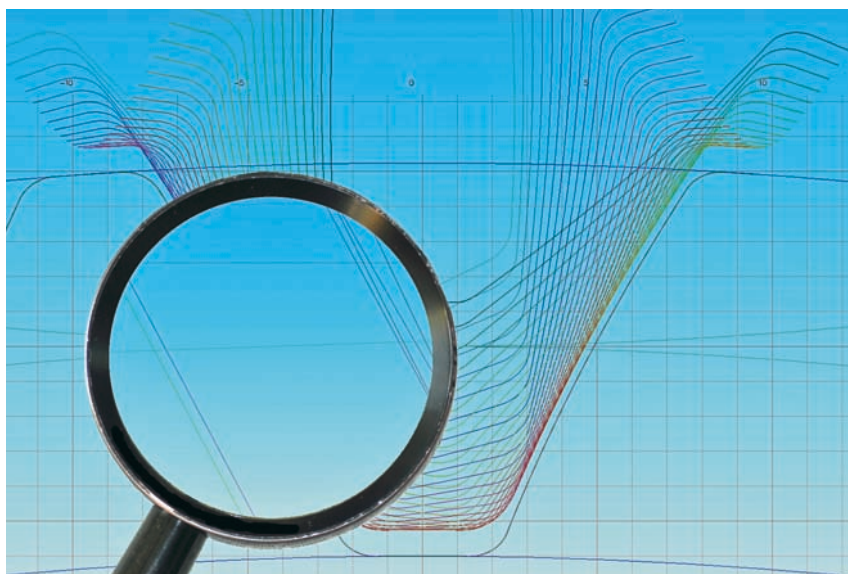
Dr. Rafael Bieker, Geschäftsführer von GIF in Dortmund, kennt sich aus mit 3- bis 5-achsiger NC-Bearbeitung komplexer Bauteile. Sein Unternehmen ist erfolgreich im Werkzeug- und Formenbau unterwegs, in der Prototypen- und Kleinserienfertigung. Auch er hatte es immer häufiger mit entsprechenden Anfragen zu tun, die er mit handelsüblichen CAM-Systemen nicht bedienen konnte. Und wandte sich an den

Spezialisten für komplexe Geometrie, der in seinen Augen »die Anforderungen aus der Industrie aufsaugt wie ein Schwamm, um dann in kürzester Zeit mit der exakten mathematischen Lösung zu antworten.« Und in der Tat dauerte es nur einige Monate, bis die erste Version eines neuen Spezialmoduls verfügbar war.

Nach der Eingabe der Rohlingsmaße, der Toleranzen und Aufmaße stehen dem Anwender mit den Werkzeugen aus seiner Datenbank verschiedene Werkzeugkombinationen zur Verfügung, bei deren Auswahl er grafisch unterstützt wird: Das Programm stellt exakt dar, welche Schruppbereiche durch welches Werkzeug erreicht werden können. Für die Bearbeitung stehen neben üblichen Fingerfräsern alle einsetzbaren Werkzeuge, also auch Scheibenfräser aller Formen und Maße, Fingerfräser mit konischen oder gekrümmten Flanken und sogar Plungemill-Werkzeuge



4 Simulation eines Zahnrades mit Pfeilverzahnung



3 Euklid GearCAM bietet hundertprozentige Genauigkeit in der CAD-Datenbasis

ge bereit. Der Bearbeitung großer Zahnräder auf handelsüblichen 5-Achs-Fräsmaschinen steht also nichts mehr im Wege.

Im Unterschied zur NC-Programmierung von Einzelteilen im Formenbau verfolgt Euklid GearCAM hier allerdings eine ganz andere Strategie. Engeli: »Ein Zahnrad entspricht mit seinen etwa 15 bis 100 Zahnflanken in der Fertigung einer Kleinserie. Alle Zahnflanken haben ja die gleiche Geometrie und Beschaffenheit. Das Zahnrad als Ganzes ist ein Einzelteil, aber die Bearbeitung seiner Zahnflanken folgt den Gesetzen der Serie. Die Optimierung der Bahnen bei strikter Einhaltung der Vorgaben – wie der vorgegebenen Toleranzen – ist deshalb für eine kostengünstige Fertigung unerlässlich. In Euklid Gear-

CAM wird aber nicht eine einzige Bahn mehr erzeugt als unbedingt notwendig.«

Dies zu überprüfen, dazu dient die Simulation, die im Falle von Euklid GearCAM übrigens deutlich weiter geht als üblich. Hier gibt es zwar auch – inzwischen Standard in der CAD/CAM-Welt – die Abtrags- und Maschinensimulation, einschließlich der Prüfung auf Kollision unter Berücksichtigung von Fräseerschaft, Halter und Kopf sowie aller relevanten Teile der Maschine. Aber Euklid GearCAM kann darüber hinaus auch an beliebigen Stellen die durch die Fräsbahnen erzeugte Fläche selbst exakt vorausberechnen und mit der Soll-Fläche der CAD-Daten auf jede beliebige Genauigkeit vergleichen und darstellen, was das Ergebnis der Bearbeitung mit den gewählten Werkzeugen und Methoden sein wird. Im Tausendstel-Bereich, und zwar in Sekundenbruchteilen, statt via Batch-Job über Nacht. Das dürfte derzeit ein absolutes Alleinstellungsmerkmal darstellen.

Es ist diese Genauigkeit, die Dr. Bieker von Euklid schon seit vielen Jahren überzeugt und die er jetzt auch im neuen Zahnradmodul findet: »Ich sehe bei diesem Programm vorher, was passiert, und ich habe Einfluss darauf. Es ist keine ›Black Box‹, wie ich sie bei verschiedenen Wettbewerbern schon gesehen habe. Dort sehe ich erst hinterher bei der Qualitätskontrolle, ob Verzahnungsparameter und Prozessauslegung korrekt waren.«

### Der neue Markt hat beachtliche Größe

Anwendungsfälle für das neue Systemmodul gibt es reichlich. Allein im östlichen Ruhrgebiet, so Dr. Bieker, gibt es sicherlich mehr als 30 Unternehmen, die sich weitgehend auf die Herstellung von Zahnradern spezialisiert haben. Je größer die Getriebe, desto klarer gilt: Nicht das Getriebe wird ausgetauscht, sondern das defekte Zahnrad.

Die Gründe sind einleuchtend. Erstens sind die Spezialmaschinen und Werkzeuge, mit denen die Zahnräder hergestellt wurden, meist nicht verfügbar, sondern haben Wartezeiten von vier bis sechs Wochen. Und zweitens ist die Bearbeitung mit Universalfräsern und optimiertem CAM-Programm so schnell, dass die Sondermaschinen für diese Aufgabe gar keine



5 Mit Euklid GearCAM gefräste Zahnräder

Chance hat. 12 bis 16 Stunden Durchlaufzeit – in zwei Schichten ist ein mittelgroßes Zahnrad bei Dr. Bieker fertig. Die meiste Zeit braucht es, das Rohmaterial zu bekommen.

Es gibt aber noch einen weiteren, wichtigen Grund, der für die Bearbeitung mit CAD/CAM spricht: Oft finden sich für defekte Zahnräder gar keine Auslegungsparameter mehr. Man weiß also gar nicht, nach welchen Werkzeugen und Spezialmaschinen man suchen soll. Jetzt bietet sich die Möglichkeit, mit einer handelsüblichen Messmaschine den Zahnradmodul zu messen. Die Ergebnisse kann Euklid GearCAM automatisch in Flächen oder eben auch Zahnradparameter umrechnen, und von da ab geht es genauso leicht zur Bearbeitung, als hätte die exakte Auslegung zur Verfügung gestanden.

Es ist schnell gegangen mit dem neuen Programm. Im September 2009 gab es die ersten Gespräche. Auf der Metav blieben im Frühjahr 2010 bereits Messebesucher am Euklid-Stand stehen und staunen. Und auf der AMB war das Produkt bereits in seiner ersten Ausbaustufe freigegeben. Sie beinhaltet die beschriebene Funktionalität zunächst für alle Arten von Stirnrädern, den am häufigsten vorkommenden Zahnradtyp. Aber Kegelrad und Schneckenrad sind bereits in der Vorbereitung und werden in einer der nächsten Versionen folgen.

Als Euklid vor einigen Jahren durch Professor Max Engeli und seine Mannschaft wieder aufgegriffen wurde, gab es Verwunderung. Nicht wenige hatten eines der ältesten CAD/CAM-Systeme schon fast abgeschrieben. Jetzt ist es nicht nur

wieder da. Das neue Modul zur Zahnradbearbeitung zeigt, dass das Unternehmen nach wie vor zu den Pionieren gehört. Man darf gespannt sein, was die nächsten Themen sind, denen sich die Entwickler widmen. ■

Artikel als PDF unter [www.werkstatt-betrieb.de](http://www.werkstatt-betrieb.de)  
Suchbegriff → **WB110328**

---

**Dipl.-Ing. Ulrich Sendler** arbeitet als unabhängiger Technologieberater und Journalist in München  
→ [u.sendler@sendlercircle.com](mailto:u.sendler@sendlercircle.com)