



## Der Weg führt gerade- wegs zu Hypoflex®

### Inhalt:

- Stand der Technik  
... Seite 2
- Theoretische Grundlagen  
... Seite 3
- Hypoflex®-Verfahren  
... Seite 4
- Vorteile des Hypoflex®-  
Verfahrens  
... Seite 5
- Beispielverzahnung  
... Seite 6
- Was sind Zykloiden?  
... Seite 7

Geradverzahnte Kegelräder finden immer noch in großem Umfang in der Antriebstechnik Verwendung. Neben dem Einsatz in Differenzialgetrieben von Fahrzeugen jeglicher Art sind motorgetriebene Handwerkzeuge sowie landwirtschaftliche Maschinen und Geräte Beispiele für weitere Einsatzgebiete.

Geradverzahnte Kegelräder besitzen gegenüber spiralverzahnten eine geringere Tragfähigkeit und Laufruhe. Gründe für ihren umfangreichen Einsatz sind die gegenüber spiralverzahnten Kegelrädern geringeren Axialkräfte, deren Größe und Wirkungsrichtung sich nicht mit der Drehrichtung verändert, wodurch ein geringerer konstruktiver Aufwand bei der Lagerung notwendig ist. Weiterhin bieten sie den Vorzug der uneingeschränkten axialen Montierbarkeit im Getriebe, was wiederum erhebliche konstruktive Vorteile bringen kann.

Dieser Artikel wird die Anwendung moderner Trockenfräs-technologie bei geradverzahnten Kegelrädern auf der Basis einer neuen Herstellungskinematik in Verbindung mit dem neuesten Stand der Technik entsprechenden Berechnungs- und Optimierungsprogrammen darstellen.

### Stand der Technik

Die Herstellung geradverzahnter Kegelräder erfolgt mittels Urformen, Umformen oder spanenden Verfahren. Als Beispiel für Urformverfahren sind Gießen und Sintern zu nennen. Hierbei findet das Gießen in großem Umfang bei der Herstellung von geradverzahnten Kegelrädern aus nichtmetallischen Werkstoffen und Nichteisenwerkstoffen für Getriebe mit geringen Anforderungen hinsichtlich Genauigkeit und Leistungsdichte Anwendung. Gesinterte Kegelräder werden in relativ großer Zahl in Handwerkzeugen, wie etwa Winkelschleifern, eingesetzt. Gegenüber anderen Verfahren ist es ein Problem, eine ungenügende Homogenität des Werkstoffs infolge ungleichmäßiger Verdichtung zu vermeiden. Außerdem sind die Matrizen in der Herstellung sehr teuer und Modifikationen der Verzahnung aufwändig, wenn die Matrize verändert werden muss [KLI08].

Sowohl das Schmieden als auch das Taumelpressen haben sich als Alternativen bei der Herstellung von Differenzialkegelrädern in der Massenfertigung bewährt. Die Anforderungen hinsichtlich der Toleranzen für die Zahnteilung und Verzahnungstopografie sind hier geringer als bei Laufverzahnungen. Die beim Taumeln erreichte Verzahnungsqualität liegt bei IT8 [RUE09].

Für höhere Genauigkeit oder bei geringeren Stückzahlen sowie größerer Flexibilität in der Fertigung sind aber weiterhin spanende Verfahren die erste Wahl.

Bei den spanenden Verfahren sind für die Weichbearbeitung das Wälzhobeln, das Wälzfräsen und das Räumen zu nennen. Die Hartbearbeitung geradverzahnter Kegelräder erfolgt nur in sehr geringem Maße, wobei hier das Läppen oder das Schleifen eingesetzt werden kann. Das Schleifen erfolgt für einige wenige Anwendungen im Luftfahrtbereich.

Das Wälzhobeln nach Heidenreich-Harbeck wird nur noch in geringem Umfang bei der Einzel- und Ersatzteilerfertigung eingesetzt.

Das Räumverfahren Revacyle® findet insbesondere bei der Fertigung von Differenzialkegelrädern Anwendung. Das Werkzeug ist eine kreisförmige „Räumnadel“ mit einer Vielzahl verschieden profilierter Formmesser am Umfang. Ein erstes Kreissegment besteht aus Schruppmessern, die zueinander jeweils ein wenig nach außen versetzt sind. Daran schließen sich Segmente mit Schlichtmessern an, dann kommt eine Lücke, in welcher das Werkstück um eine Teilung gedreht wird (Bild 1). Je Werkzeugumdrehung wird eine Zahnücke fertig bearbeitet.

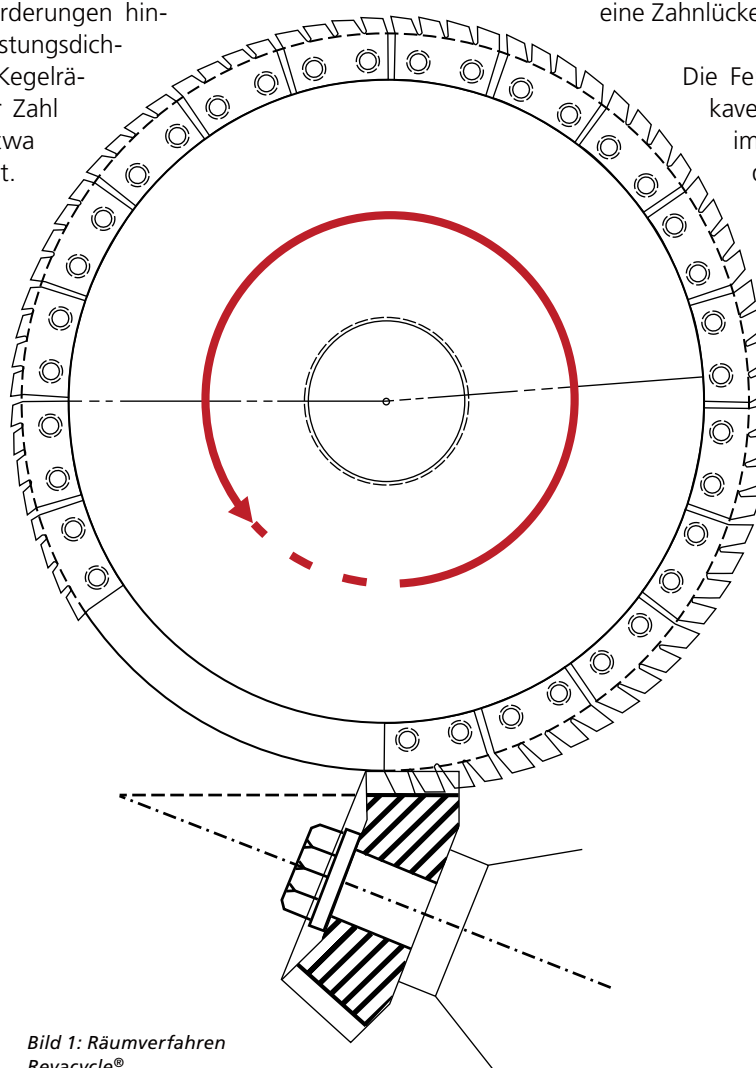


Bild 1: Räumverfahren Revacyle®

Die Fertigmesser besitzen ein konkaves Kreisbogenprofil, das sich im Werkrad abbildet, während der Werkzeugmittelpunkt linear verschoben wird, wodurch ein gerader Zahngrund entsteht. Das sich entlang der Zahnbreite ändernde Zahnhöhenprofil und die Längsballigkeit werden durch die Form der einzelnen Schneiden und eine tangentielle Bewegung des Räumwerkzeugs erzeugt.

Revacyle® zeichnet sich durch eine sehr hohe Produktivität aus. Die Zahnform kann hierbei allerdings lediglich durch das Werkzeug beeinflusst werden. Daher eignet sich dieses Verfahren ausschließlich für die Massenfertigung.

Ein universelleres Verfahren ist im Vergleich dazu das Wälzfräsen. Hier sind drei unterschiedliche Systeme im Einsatz, die sich nur geringfügig durch die

verwendeten Werkzeuge unterscheiden. Diese sind Coniflex®, Konvoid und Sferoid, wobei Coniflex® am weitesten verbreitet ist.

Das Werkzeug besteht aus zwei kreisförmigen, ineinandergreifenden Scheibenfräsern, welche einen Zahn eines Planrades darstellen. Die Achsen der beiden Scheibenfräser – einer für die Linksflanken, einer für die Rechtsflanken – stehen in einem bestimmten Winkel zueinander, wobei ihre Messer abwechselnd so ineinander greifen, dass ihre Hauptschneiden ein Trapezprofil bilden. Da die Schneiden nicht genau in der Rotationsebene ihres Fräasers, sondern auf einem schwachen Innenkegel liegen (siehe Bild 2), erhalten die Zähne eine feste Längsballigkeit und einen Zahngrund, der nicht gerade, sondern ellipsenförmig ist und seine tiefste Stelle in der Zahnmitte hat. Die Zahn­längskurve weicht durch das Werkzeug und seine Einstellung bedingt von der Geraden ab.

Die Längsballigkeit der Verzahnung ist durch den Winkel, um welchen die Achsen der beiden Scheibenfräser zueinander geneigt sind, sowie den Werkzeugdurchmesser gegeben. Eine Veränderung dieses Winkels bedingt eine Änderung des Flankenwinkels der Schneidkanten, andernfalls ändert sich der Eingriffswinkel der Verzahnung.

Durch die Wälzbewegung wird das Zahnhöhenprofil erzeugt. Die beiden Werkzeuge werden um die Kegelspitze geschwenkt, während das Werkrad sich um seine Achse dreht. Mittels unterschiedlicher Einstellungen der Maschine lassen sich so mit einem einzigen Werkzeug unterschiedliche Kegelräder fertigen.

Die Wälzfräs- und Räumverfahren sind seit vielen Jahrzehnten etabliert. Die Technologie der spanenden Verfahren stammt aus den 60er Jahren. Es handelt sich um Nassfräsverfahren mit relativ geringen Schnittgeschwindigkeiten. Sie sind hinsichtlich Produktivität und Flexibilität nicht mit den heute gängigen Trockenfräsverfahren zu vergleichen.

Im Gegensatz zu Spiralkegelrädern ist die dort bekannte rechentechnische Unterstützung nicht verbreitet. Es gibt weder moderne Programme zur Dimensionierung der Verzahnung noch zur Be-

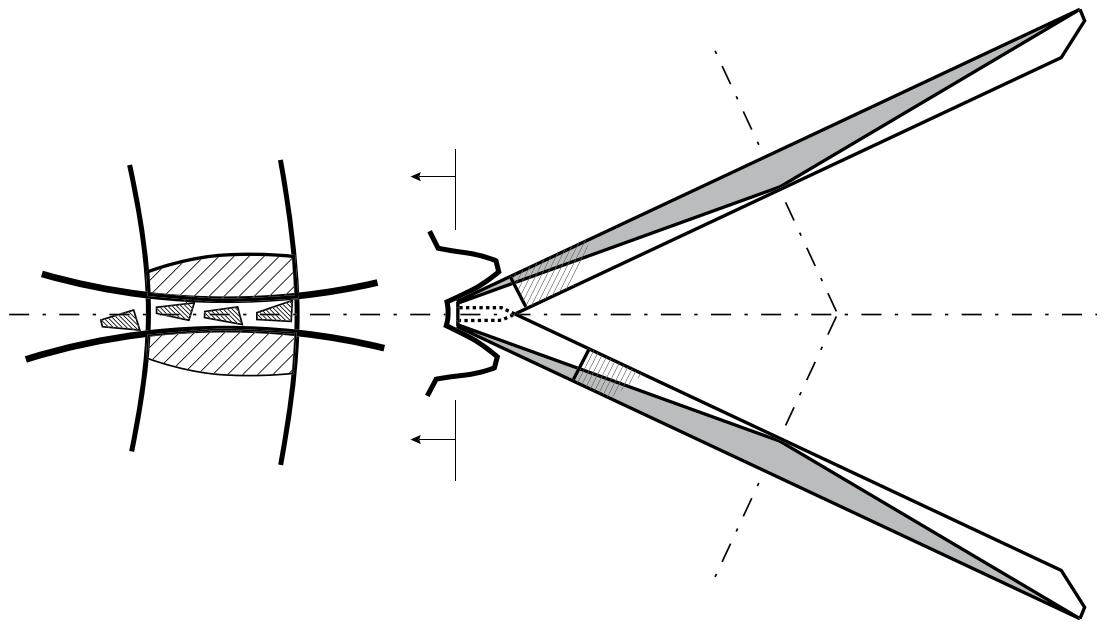


Bild 2: Wälzfräsen mit ineinandergreifenden Scheibenfräser

rechnung und Optimierung ihres Kontaktverhaltens. Auch ein Messen der Topografie auf der Basis von 3D-Sollmessdaten wird nicht unterstützt.

### Theoretische Grundlagen

Für spiralverzahnte Kegelräder sind einzelteilende und kontinuierlich teilende Verfahren bekannt, welche mit Stirnmesserköpfen als Werkzeug arbeiten. Bei einzelteilenden Verfahren wird eine Zahn­lücke nach der anderen bearbeitet. Die kreisförmig angeordneten Messer erzeugen eine kreisbogenförmige Zahn­längsform.

Rollt ein Kreis außen auf einem anderen Kreis ab, entsteht eine Epizykloide. Der abrollende Kreis wird üblicherweise als Rollkreis mit dem Radius  $E_b$  und der feststehende Kreis als Grundkreis mit dem Radius  $E_y$  bezeichnet. Liegt hierbei der erzeugende Punkt der Epizykloide innerhalb des rollenden Kreises, wird die entstehende Kurve als eine verkürzte Epizykloide bezeichnet, während man im anderen Fall von einer verlängerten Epizykloide spricht (Bild 3).

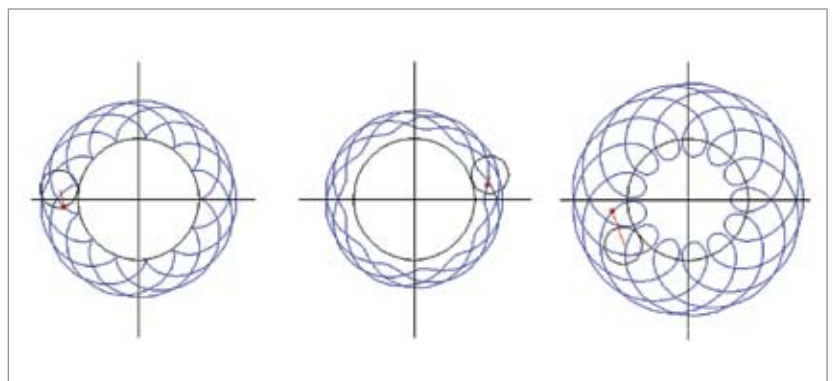


Bild 3: Epizykloide, verkürzte und verlängerte Epizykloide

Kontinuierlich teilende Verfahren verwenden einen Stirnmesserkopf, dessen einzelne Schneiden zu Gruppen, die aus Innen- und Außenschneider bestehen, zusammengefasst sind. Jede Gruppe bearbeitet eine Lücke. Die Anzahl der Gruppen wird als Messerkopfgangzahl oder einfach als Gangzahl  $z_0$  bezeichnet. Bezogen auf das Werkstück bewegt sich eine Messergruppe auf einer verlängerten Epizykloide. Somit sind beim Fräsen spiralverzahnter Kegelräder im kontinuierlichen Verfahren die Flankenlängslinien auf dem Planrad Abschnitte verlängerter Epizykloiden.

Im Fall des Fräsen von Spiralkegelrädern im kontinuierlichen Verfahren entspricht das Verhältnis von Gangzahl zu Planradzähnezahl dem Verhältnis von Rollkreisradius zu Grundkreisradius.

$$\frac{z_0}{z_p} = \frac{E_b}{E_y}$$

Eine Hypozykloide entsteht, wenn der Rollkreis innen auf dem Grundkreis abrollt (Bild 4). Dies entspricht der Umkehrung der Drehrichtung des Messerkopfes gegenüber der beim Fräsen einer Epizykloide.

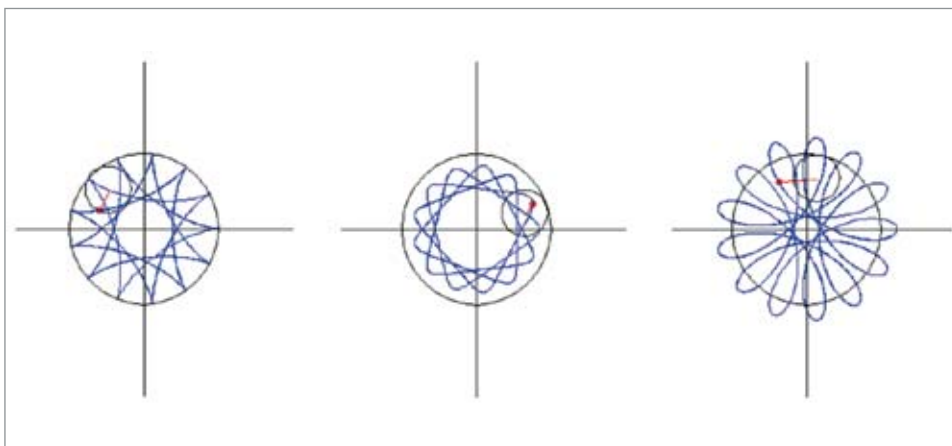


Bild 4: Hypozykloide, verkürzte und verlängerte Hypozykloide

Wie lässt sich nun damit eine Gerade und somit eine Geradzahnung erzeugen? In dem Sonderfall, dass der Radius des Rollkreises genau der Hälfte des Radius' des Grundkreises entspricht, liegen alle erzeugten Punkte eines Kreispunktes des Rollkreises auf einer Geraden. Verkürzte und verlängerte Hypozykloiden werden in diesem Fall zu Ellipsen.

**Hypoflex®-Verfahren**

Die Kinematik des Hypoflex®-Verfahrens beruht auf dem oben beschriebenen Zusammenhang [ENG02], das heißt, im theoretisch exakten Fall entspricht die Messerkopfgangzahl der halben Planradzähnezahl.

Da die Planradzähnezahl meist keine ganze gerade Zahl darstellt, ist eine exakte Erfüllung der Forderung nur in seltenen Fällen möglich. Meist wird die nächstliegende ganze Zahl der Hälfte der Planradzähnezahl als Messerkopfgangzahl gewählt. Hierbei werden dann Zahnlangskurven (verlängerte oder verkürzte Hypozykloiden) mit einem Krümmungsradius im Bereich mehrerer Meter erzeugt, was bei üblichen Zahnbreiten einer Abweichung von 2 bis 3 µm von der Geraden entspricht. Dies ist eine weit geringere Abweichung als die Abweichung zur Geraden, die beim Wälzfräsen oder Räumen nach den oben beschriebenen Verfahren entsteht.

Das kontinuierlich teilende Hypoflex®-Verfahren wird sowohl als Completing als auch als Semicompleting im Trockenfräsen durchgeführt. Beim Completing wird mit einem Stabmesserkopf, der pro Messergruppe zwei Messer – und zwar ein Innen- und ein Außenmesser – besitzt, mit einer Maschineneinstellung gleichzeitig die linke und rechte Flanke geschnitten. Beim Semicompleting wird ebenfalls nur ein Messerkopf verwendet, mit welchem aber mit einer ersten Maschineneinstellung die linke und mit einer zweiten Maschineneinstellung die rechte Flanke geschnitten wird. Bei letzterem Verfahren wird als Besonderheit nur ein Messer pro Gruppe eingesetzt. Es handelt sich hierbei um ein Messer, das zwei Hauptschneiden besitzt und auch als TwinBlade by Klingelberg® bezeichnet wird. Dem Nachteil der höheren Bearbeitungszeit des Semicompletings im Vergleich zu dem Completing stehen die höhere Flexibilität und einfachere Realisierung hoher Gangzahlen, wenn nur ein Messer pro Gruppe verwendet wird, gegenüber.

Hypoflex®-Verzahnungen besitzen eine über die Zahnbreite veränderbare Zahnhöhe, deren Zahnfuß- und Zahnkopfwinkel innerhalb sinnvoller Grenzen frei gewählt werden können. Dadurch ist es möglich, bei der Umstellung von bisher in anderen Verfahren gefertigten geradzahnenden Kegelrädern die Rohlinge beizubehalten.

Durch die Differenz zwischen Fußkegelwinkel und Teilkegelwinkel ist es zur Realisierung eines Schrägungswinkels von 0 Grad in der Teilkegelebene erforderlich, dass das Fräsen mit unterschiedlichen Flugkreisradien für Innen- und Außenmesser erfolgt, wobei die Größe der Differenz unter anderem vom Fußwinkel und Eingriffswinkel abhängig ist. Die Größe des Gruppenwinkels zwischen zwei aufeinander folgenden Messern gleichen Typs beim kontinuierlichen Verfahren beträgt:

$$\varpi_{Gr} = \frac{360^\circ}{z_0}$$



Wie der Fachmann erkennen wird, entstünde beim Fräsen im Completingverfahren mit einem Folgewinkel zwischen Innen- und Außenmesser, welcher der Hälfte des Gruppenwinkels entspricht, eine Lückenweite, die stark von der angestrebten abweicht. Deshalb muss eine Anpassung des Folgewinkels durchgeführt werden. Das bedeutet, dass gegenüber einer im kontinuierlichen Verfahren gefertigten Kegelradverzahnung mit konstanter Zahnhöhe die Messer zusammenrücken. Die Größe des Folgewinkels ist abhängig von der Messerkopfgangzahl, dem Fußwinkel, dem Eingriffswinkel und dem Rollkreis- sowie Grundkreisradius. Dieses Kriterium ist bei der Auslegung der Verzahnung und der Auswahl eines realen Messerkopfes zu beachten.

Die üblichen Balligkeiten werden durch verschiedene Modifikationsprinzipien erzeugt. Die Längsballigkeit entsteht wie bei anderen Kegelradfräsverfahren durch Messerkopfneigung, dem so genannten Tilt, mit angepassten Werkzeugeingriffswinkeln, während durch den Einsatz einer Hohlkegelmodifikation in Verbindung mit der Längsballigkeit ein in Profilhöhenrichtung lokalisiertes Tragbild entsteht. Eine andere Möglichkeit zur Erzeugung einer Höhenballigkeit ist die Verwendung von Messern mit einem sphärischen Profil. Weitere Modifikationen des Kontaktes (Tragbild und Ease-off) können in gleicher Art und Weise wie bei spiralverzahnungen Kegelrädern erfolgen.

Die gesamten Möglichkeiten zur Dimensionierung der Verzahnung, Berechnung des lastfreien Kontaktverhaltens und des Lastkontakts inklusive Spannungen, wie sie für spiralverzahnungte Kegelräder Stand der Technik sind [KIM08], werden auch bei Hypoflex® angewendet. Auch ist erstmals eine Messung der Verzahnung gegen 3D-Sollmessdaten mit der Nutzung einer rechnerbasierten Berechnung – nötigenfalls erforderlichen Korrekturen der Verzahnmaschine – möglich. Es ist somit möglich, die Fertigung geradzahnender Kegelräder mit dem Hypoflex®-Verfahren im Closed-Loop mit allen qualitätsrelevanten Untersuchungen während des Herstellungsprozesses durchzuführen.

Die Fertigung geradzahnender Kegelräder kann mit diesem Verfahren auf vorhandenen Oerlikon-Kegelradverzahnmaschinen erfolgen. Hierbei ist nur ein Update der Maschinensoftware notwendig. Gleiches gilt für das Messerkopfeinstellgerät, die Dimensionierungs- und Korrektursoftware. Zum Fräsen selbst können vorhandene ARCON®-Messerköpfe mit den entsprechenden Stabmessern und Gangzahlen benutzt werden.

## Vorteile des Hypoflex®-Verfahrens

Mit dem Hypoflex®-Verfahren können geradzahnende Kegelräder spanend hergestellt werden. Es handelt sich hierbei um ein kontinuierlich teilendes Fräsverfahren, welches als Werkzeug einen Stirnmesserkopf mit Stabmessern verwendet. Neben der erstmaligen Anwendung modernster Trockenfrästechnologie im Bereich Geradzahnkegelräder stellt die hohe Flexibilität einen weiteren Vorteil des Verfahrens dar. Durch die Verwendung von Hartmetallwerkzeugen mit entsprechend hohen Schnittgeschwindigkeiten wird eine hohe Produktivität erreicht.

Das Hypoflex®-Fräsverfahren kann auf denselben CNC-Kegelradverzahnmaschinen, auf denen Spiralkegelräder gefertigt werden, angewendet werden. Es ist nur ein Update der Maschinensoftware erforderlich. Ebenso erfolgt die Dimensionierung der geradzahnenden Kegelräder mit dem schon für Spiralkegelräder bekannten Programm KIMoS 5, das neben der Berechnung der Maschineneinstellungen, der Werkzeugdaten sowie der Tragbildberechnung und der Ease-off-Optimierung auch die Berechnung von Sollmessdaten und die Lastkontaktanalyse umfasst. Die Speicherung aller erforderlichen Daten erfolgt in der KIMoS-Datenbank im bekannten Neutraldatenformat.

Neben dem Sprung in der Produktivität gestattet das Hypoflex®-Verfahren eine moderne Fertigung im Closed-Loop mit allen qualitätsrelevanten Untersuchungen während des Herstellungsprozesses. Dies wird dadurch erreicht, dass die gleichen Möglichkeiten zur Fertigung, Messung und Korrektur der Werkzeuge und auch zur Berechnung von Korrektoreinstellungen der Verzahnmaschine mit dem Programm KOMET auf der Basis von 3D-Topografiemessungen wie bei Spiralkegelrädern vorliegen.

**Beispielverzahnung**

Bild 5 zeigt eine im Hypoflex®-Verfahren gefräste Kegelradverzahnung für den Achsantrieb eines Off-Road-Fahrzeugs mit den in Tabelle 1 aufgeführten Daten.

Einige Ergebnisse der Kontaktanalyse sind in Bild 6 dargestellt. Die Gestaltung von Ease-off und Tragbild folgte dabei den Vorgaben, die sich aus den vom Kunden gemachten Daten ergaben.

Die Verzahnung wurde im Semicompleting auf einer Oerlikon C 29 Kegelradverzahnmaschine mit einem 14-gängigen ARCON®-Messerkopf mit Hartmetallstabmessern gefräst. Es wurden 3-Flankenschliff-Messer mit TiAlN-Beschichtung verwendet. Dabei wurde das Ritzel in 4,25 Minuten und das Tellerrad in 4,5 Minuten fertig gestellt, wobei die Messung der Teilung nach DIN 3965 [DIN3965] für das Ritzel Qualität 3 und für das Tellerrad Qualität 2 ergab. Auch die Topografie-messung der Zahnflanken zeigte nur geringe Abweichungen von der Solloberfläche im Mikrometerbereich.

Dies ist gegenüber dem bisher genutzten Verfahren ein großer Sprung, sowohl in der Produktivität als auch in der Qualität.



Bild 5: Im Hypoflex®-Verfahren gefräste Kegelradverzahnung

**Verzahnungsdaten**

	Ritzel	Rad
<b>Zähnezahl</b>	13	24
<b>Eingriffswinkel</b>	Grad	22,5
<b>äußerer Teilkreisdurchmesser</b>	mm	94,34   174,17
<b>äußerer Stirnmodul</b>	mm	7,2571   7,2571
<b>mittlerer Normalmodul</b>	mm	5,9543
<b>Zahnbreite</b>	mm	35,56   35,56
<b>äußere Zahnhöhe</b>	mm	14,74   14,74

Tabelle 1

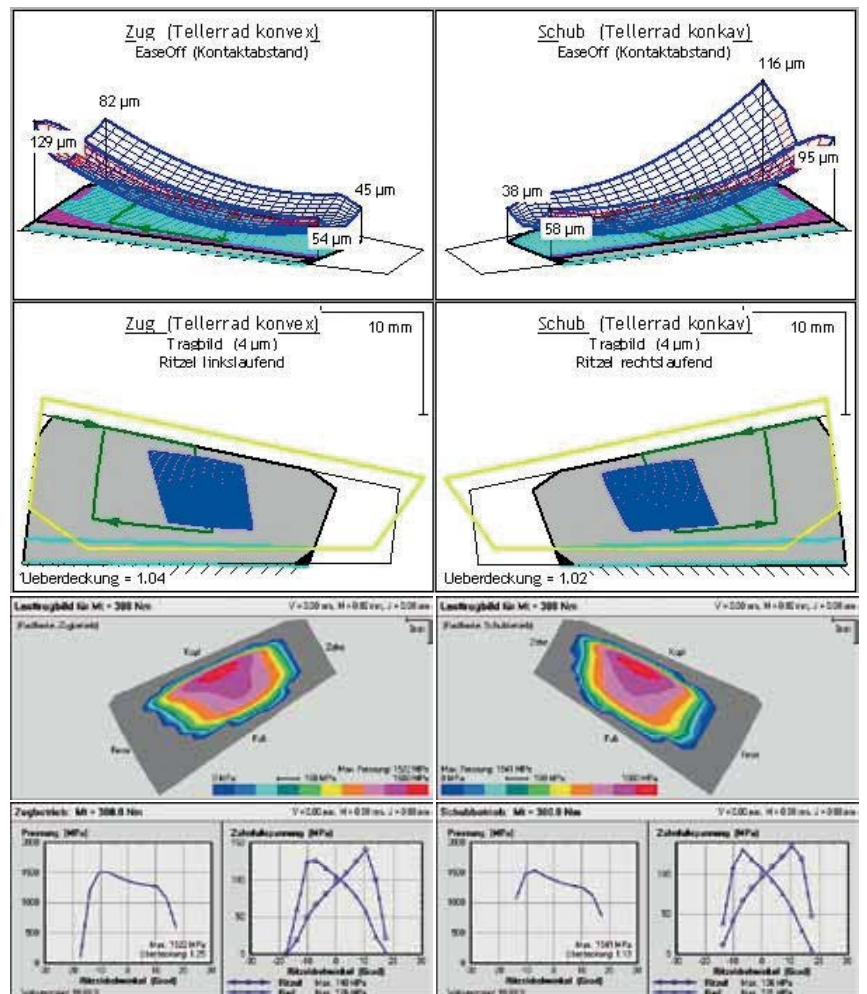


Bild 6: Ergebnisse der Kontaktanalyse

# Was sind Zykloiden?

Als Zykloide wird die Bahn eines Kreispunktes bezeichnet, welche dieser beim Abrollen ohne Gleiten auf einer Leitkurve, beispielsweise einer Geraden oder einem Kreis, beschreibt. Im Bereich der Kegelradverzahnungen sind insbesondere Zykloiden, bei denen die Leitkurve einen Kreis darstellt, von Interesse, da diese durch eine Kopplung der Drehung von Werkzeug und Werkrad maschinentechnisch realisiert werden können. Die Zykloiden beschreiben hierbei nicht das Profil des Zahnes in Höhenrichtung, sondern die Längskurve des Zahnes auf dem Planrad.

Der abrollende Kreis wird üblicherweise als Rollkreis mit dem Radius  $E_b$  und der feststehende Kreis als Grundkreis mit dem Radius  $E_y$  bezeichnet.

Rollt der Rollkreis außen auf dem Grundkreis ab, entsteht eine Epizykloide. Liegt hierbei der erzeugende Punkt der Epizykloide innerhalb des rollenden Kreises, das heißt  $r_c < E_b$ , spricht man von einer verkürzten Epizykloide, während man im anderen Fall ( $r_c > E_b$ ) von einer verlängerten Epizykloide spricht. Die Parameterdarstellung einer allgemeinen Epizykloide lautet:

$$x = (E_y + E_b) \cdot \cos \alpha - r_c \cdot \cos \left( \frac{E_y + E_b}{E_b} \cdot \alpha \right)$$

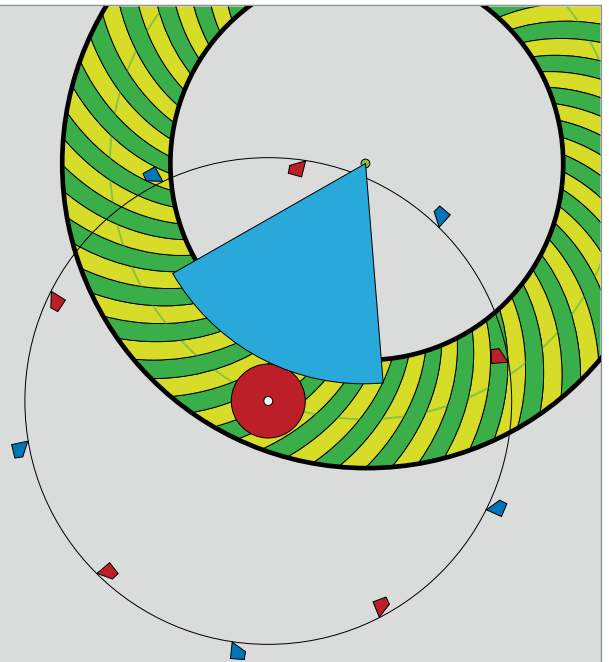
$$y = (E_y + E_b) \cdot \sin \alpha - r_c \cdot \sin \left( \frac{E_y + E_b}{E_b} \cdot \alpha \right)$$

Wobei  $\alpha$  der Winkel auf dem Grundkreis ist.

Beim Fräsen spiralverzahnter Kegelräder im kontinuierlichen Verfahren sind die Flankenlängslinien auf dem Planrad Abschnitte verlängerter Epizykloiden. Das Verhältnis von Messerkopfgangzahl und Zähnezahl kann als Teilübersetzung der Verzahnungsmaschine bezeichnet werden.

Die im Einzelteilverfahren entstehenden Kreisbögen können als Sonderform der Epizykloide aufgefasst werden, bei welcher der Rollkreisradius null wird. Hierbei ist die Messerkopfgangzahl und somit die Teilübersetzung null.

Rollt der Rollkreis innen auf dem Grundkreis ab, entsteht eine Hypozykloide. Dies entspricht der Umkehrung der Drehrichtung des Messerkopfes beim Fräsen, die Teilübersetzung besitzt somit ein gegenüber Epizykloiden umgekehrtes Vorzeichen.



Bei Hypozykloiden spricht man je nach Lage des erzeugenden Punktes mit dem Radius  $r_c$  wiederum von verlängerten oder verkürzten Hypozykloiden. Die Parameterdarstellung einer allgemeinen Hypozykloide lautet:

$$x = (E_y - E_b) \cdot \cos \alpha + r_c \cdot \cos \left( \frac{E_y - E_b}{E_b} \cdot \alpha \right)$$

$$y = (E_y - E_b) \cdot \sin \alpha - r_c \cdot \sin \left( \frac{E_y - E_b}{E_b} \cdot \alpha \right)$$

Wie lässt sich nun damit eine Gerade und somit eine Geradverzahnung erzeugen? In dem Sonderfall, dass der Radius des Rollkreises  $E_b$  genau der Hälfte des Radius' des Grundkreises  $E_y$  entspricht, liegen alle erzeugten Punkte eines Kreispunktes des Rollkreises auf einer Geraden. Verkürzte und verlängerte Hypozykloiden werden in diesem Fall zu Ellipsen.

Mit entsprechenden Parametern des Werkzeuges – das heißt, die Gangzahl des Messerkopfes entspricht der halben Planradzähnezahl der jeweiligen Verzahnung – wird somit eine Gerade als Flankenlängslinie des Zahnes im kontinuierlichen Verfahren erzeugt.

## Literaturverzeichnis

- [DIN3965] Toleranzen für Kegelradverzahnungen. Deutsche Norm, 1986
- [ENG02] Engemann, K.-H.: Verfahren zur Herstellung geradverzahnter Kegelräder im kontinuierlichen Verfahren. Offenlegungsschrift, 2002
- [KLI08] Klingelberg, J. (Hrsg.): Kegelräder. Springer-Verlag, 2008
- [KIM08] KIMoS – Auslegung und Berechnung für Spiralkegelräder. Klingelberg, 2008
- [RUE09] Rüsich, S.: Taumelnd zu höherer Produktivität. In: VDI-Z Integrierte Produktion, 6/2009

## Markenverzeichnis

- Hypoflex/TwinBlade by Klingelberg/ARCON, registriert für KLINGELNBERG GmbH, Hückeswagen (D)
- Revacycle/Coniflex, registriert für The Gleason Works, Rochester (USA)



Dr.-Ing. Carsten Hünecke  
Leiter  
Mathematisch Technische Abteilung