

# Zahnräder – selbst gefräst

Von Wilhelm Dold



Abb. 1: Fräsen mit KOSY

Um Bewegung und Kräfte zu übertragen, war die Menschheit schon immer erfinderisch. Es war ihr Bestreben, mit Hebeln und Keilen Strecken zu überwinden und Lasten zu verlagern in der Absicht, menschliche Kraft zu sparen.

Die Entwicklung über Jahrtausende kam nie zum Stillstand. Mit Geräten und Maschinen wurden mechanische Probleme gelöst und die physikalischen Grundlagen dazu entdeckt. Seit Jahrhunderten gelten gleiche oder ähnliche Grundaufbauten für Maschinen. Ein wesentlicher Bestandteil komplexer Maschinen sind GETRIEBE. Sie stellen das Bindeglied zwischen Antrieb und Abtrieb dar und besitzen unterschiedliche Aufgaben:

**Getriebe können**

- die Drehbewegung auf kürzere oder längere Strecken übertragen
- die Drehrichtung umkehren (rechts – links)
- die Drehzahl verändern (schnell – langsam)
- die Drehkraft verändern (kleine Kraft / große Last – große Kraft / kleine Last)

Die Technik kennt vielerlei Getriebearten, die nach Bedarf entwickelt wurden und entsprechend eingesetzt werden. Da gibt es einerseits die kraftschlüssigen Reibräder und Riemengetriebe und andererseits die formschlüssigen Ketten- oder Zahnradgetriebe. Vielerei Abwandlungen, Differenzierungen und Spezialanwendungen führen zu einer Unzahl von Getriebearten. Dies ist hier jedoch nicht Thema.

In diesem Beitrag soll keine Getriebelehre betrieben werden, sondern es geht darum,

- ▶ das **Zahnrad als Teil eines Getriebes** kennen zu lernen und **Zahnräder** mit Hilfe eines Koordinatentisches **selbst herzustellen**.

Konstruktion ist grafisch nachvollziehbar, jedoch schwierig zu verstehen.

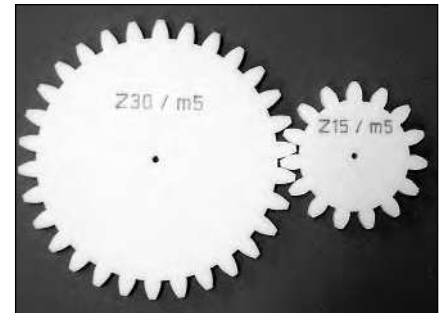


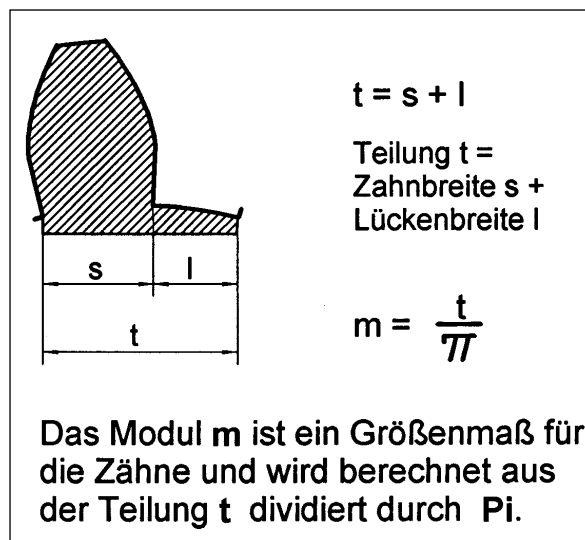
Abb. 2: Evolventenzahnung, Modul 5

## Allgemeine Grundlagen

Es gibt eine Vielzahl von Zahnrädern (Stirnräder, Hohlräder, Kegelhäder, Schnecken ...) und auch verschiedene Zahnformen. Gemeinsam ist ihnen die Aufgabe zugeteilt, Kräfte zu übertragen.

Ich befasse mich hier mit der so genannten Evolventenverzahnung (Abwicklungslinie). Sie ist vor allen Dingen im Maschinenbau weit verbreitet. Modellräder, wie sie im Technikunterricht Verwendung finden, haben meist diese Form. Ihre spezielle Zahnflankenform wird durch die mathematische Funktion der Kreisevolvente beschrieben. Ihre

Betrachtet man zwei sich abwälzende Zahnräder, so erkennt man, dass die Flankenform sehr wohl bedacht bzw. berechnet ist. Die Zähne übertragen immer genau in einem Punkt die Kraft. Die sich kämmenden Zahnräder berühren sich am Teilkreis, auch „Wälzkreis“ genannt. Er ist die Rechengröße, die für die Radien- bzw. Durchmesserberechnung zugrunde liegt. Der Wälzkreisradius zweier Zahnräder ergibt den Gesamtabstand von Achsmittle zu Achsmittle.



Ein Zahnrad wird des Weiteren durch zwei wesentliche Parameter charakterisiert, dem Modul  $m$  und der Zähnezahl. Das Modul ist ein Größenmaß für die Zähne. Es errechnet sich aus der Teilung  $t$  (Summe Zahnbreite + Lücke) durch  $\pi$  (s. Grafik). Der Teilkreisdurchmesser eines Zahnrades wird berechnet aus dem Produkt von Modul und Zähnezahl. Nur Zahnräder mit gleicher Modulzahl passen zueinander und können für Getriebe verwendet werden.

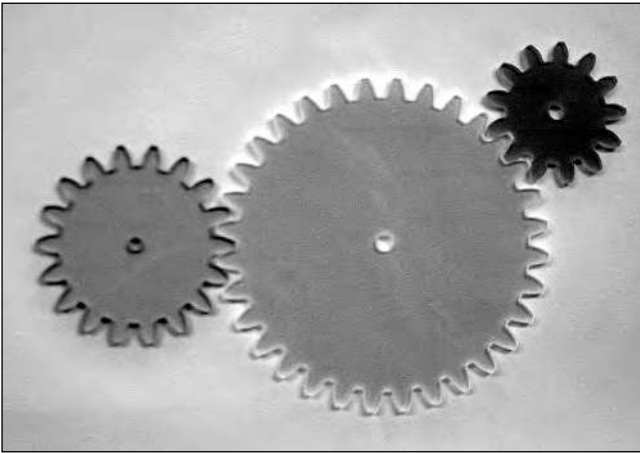


Abb. 3: Gleiches Modul, verschiedene Zähnezahlen

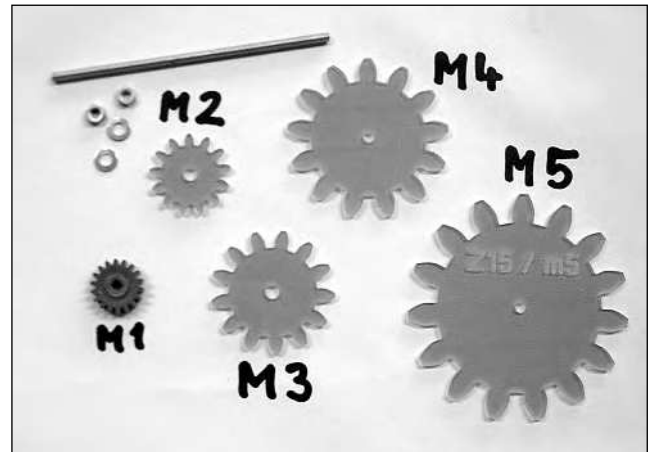


Abb. 4: Module M1 bis M5

## Fräsen von Zahnrädern

Das Softwareprogramm Nccad bietet eine Funktion an, mit dem auf komfortable Weise Zahnräder mit Evolventenverzahnung gefräst werden können (Koordinatentisch KOSY). Dabei geht es jedoch nicht nur um diese Tatsache als solche, sondern durch die Beschäftigung mit Modul, Zähnezahl bekommen die Schüler (wie auch der Lehrer) einen Einblick in deren Zusammenhänge. Die Zahnform selbst wird um so anschaulicher und interessanter, je größer das Modul (3, 4, 5 ...) gewählt wird. Denn dann kann man klar die Berührungspunkte und damit den Wälzkreis erkennen (siehe Abb. 2). Die im Handel erhältlichen Zahnräder haben meist das Modul 1, Fischertechnik nutzt auch Modul 2.



Abb. 5: Icon-Menü

Im Icon-Menü unter CAD – Besonderes befinden sich drei Icons, mit denen drei verschiedene Zahnradarten angewählt werden können: Außenverzahnt, innenverzahnt und Zahnstange.

Die Außenverzahnung ist Gegenstand dieses Beitrags. Nach der Anwahl des Icons mit der Maus erscheint dieses Eingabefenster:

Zahnrad - Außen	
Einstellungen:	
Modul (0,3-14) [DIN 780]:	3,00
Zähnezahl (13-71):	13
Bohrungsdurchmesser (0-32):	4 [mm]
Auflösung (10-40):	20
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Abbrechen"/>	

Abb. 6: Eingabefenster

Nach Eingabe der notwendigen Daten von Modul, Zähnezahl und Bohrungsdurchmesser wird mit OK bestätigt. (Die Auflösung gibt an, aus wie vielen Polygoneiten eine Evolvente besteht. Für die schulischen Anwendungen ist die Auflösung ohne Bedeutung. Der vorgegebene Wert wird lediglich bestätigt.)

Mit der Maus (oder durch Koordinateneingabe) wird der Mittelpunkt des Zahnrades gesetzt. Der zugehörige Teilkreis wird angezeigt bzw. das Zahnrad wird im gewählten Layer gezeichnet. Ein Beschriftungsrahmen wird daraufhin eingeblendet, der die Einstellungen (Modul, Zähnezahl ...) dokumentiert. Die Position muss durch Mausklick festgelegt werden.

Die Technologiezuordnung bezieht sich auf Acrylglas 3 mm als Fräsmaterial.

**Bohrung:** Nummer 1  
 Bahnkorrektur innen  
 Vorschub 120 x 0,1 mm/s  
 WZ-Durchmesser 2 mm  
 Gesamttiefe 3 mm  
 Teilzustellung 1,5 mm

**Zahnrad:** Nummer 0  
 Bahnkorrektur außen  
 Vorschub 120 x 0,1 mm/s  
 WZ-Durchmesser 2 mm  
 Gesamttiefe 3 mm  
 Teilzustellung 1,5 mm

Es ist ganz wichtig, dass die Reihenfolge der Bearbeitung beachtet wird. Zuerst wird die Bohrung ausgefräst. Deshalb bekommt diese Bearbeitung die Nummer 1. Eine mögliche Beschriftung bekommt eine 2. Dann erst wird die Zahnkontur mit der Nummer 0 belegt. Da ein Zahnrad aus vielen gleichen Teilen (Geraden, Polygone) besteht, werden diese gleich

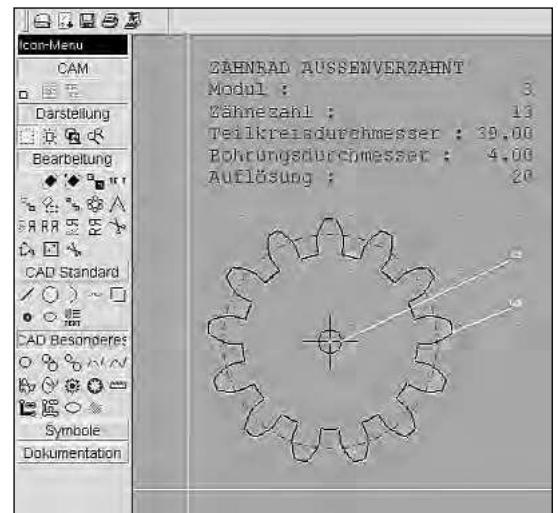


Abb. 7: Gezeichnetes Zahnrad mit Eingabedaten

abgearbeitet: Mit Bahnkorrektur außen in zwei Zustellungen. Lässt man die Simulation ablaufen, so kann man die Richtigkeit der Eingaben prüfen. Rein optisch kann man die Bahnkorrekturen erkennen. Die Evolventenform ist sichtbar:

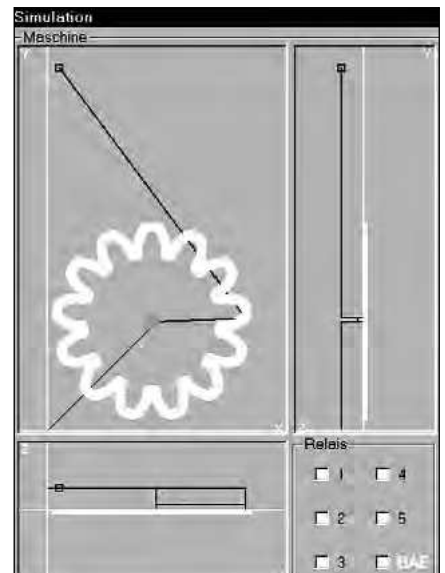


Abb. 8: Simulation zur Kontrolle

## Materialwahl

Als optisch und technisch sinnvolles Fräsmaterial hat sich Acrylglas in einer Stärke von 3 mm bewährt. Es ist jedoch darauf zu achten, dass es sich um gegossenes Acrylglas handelt, das einen höheren Schmelzpunkt hat. Extrudiertes Acrylglas hat eine niedrigere Erweichungstemperatur, was beim Fräsen zum Werkzeugbruch führen kann. Eingefärbtes transparentes Material (LISA) in Rot, Orange, Grün, Blau ergibt besondere Effekte.

< Bezugsquelle: Keim-Kunststoffe / Im Lachengrund 45-47 / 78658 Zimmern ob Rottweil / www.keim-kunststoffe.de >

Sperrholz bis etwa 6 mm Stärke kann ebenso verwendet werden, hat jedoch nicht den optischen Reiz. Hier empfehle ich dann drei Zustellungen. Eine größere Frästiefe ist nicht angeraten, da der Fräser dafür nicht vorgesehen ist.

Styrodurplatten (Abb. 2) sind für Demonstrations- und Experimentierzwecke ebenfalls geeignet. Man kann damit erste Erfahrungen sammeln, ohne der Gefahr eines Fräserbruchs ausgesetzt zu sein.

## Befestigung

Wenn man Acrylglasplatten in einer bestimmten Größe (z.B. DIN A5) mit vier Schrauben auf eine Spanplatte schraubt, diese mit einem Exzentranspanner auf dem Y-Tisch befestigt, so hat man eine sichere und problemlose Befestigungsart. Der Nullpunkt muss dann allerdings immer wieder von Neuem gesetzt werden. Doch auf diese Art kann man die Plattengröße optimal nutzen.

Mit speziellen Befestigungshilfsmitteln lassen sich natürlich auch sehr universelle Möglichkeiten erschließen. Das ist ein zusätzliches Thema, dessen Behandlung den Rahmen des Beitrags jedoch sprengen würde.

## Ausblick

Diese Grundlagen zum Zahnradfräsen wie hier beschrieben sind natürlich nicht nur Selbstzweck. In einer der nächsten Ausgaben werde ich einen „Getriebekasten“ vorstellen. Mit einem Elektromotor ausgestattet, können Schüler verschiedene Getriebekombinationen zusammenbauen. Im selbstständigen Experimentieren erfahren sie Gesetzmäßigkeiten der Übersetzungen, der Drehzahlen und der Drehkräfte.

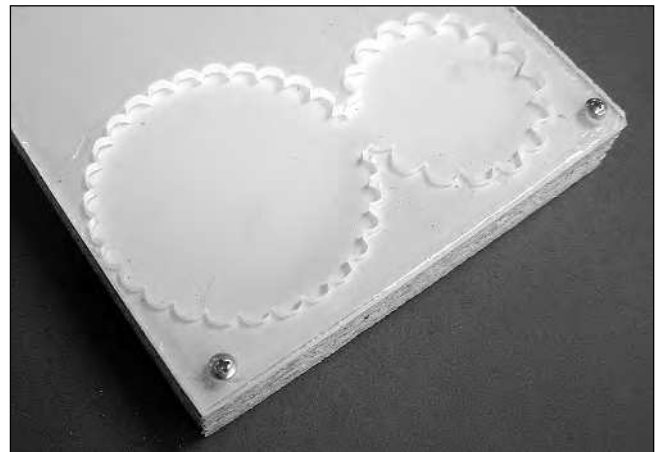


Abb. 9:  
Befestigung der  
Acrylglasplatte

Zwei Zähne berühren sich genau an einem Punkt der Zahnflanken, um die Kraft der Drehbewegung zu übertragen. Die sich so kämmenden Zahnräder wälzen sich am „Teilkreis“ ab, der deshalb auch als „Wälzkreis“ bezeichnet wird.

Der Durchmesser eines Zahnrades wird errechnet aus dem Modul mal Zähnezahl ( $d = m \times z$ ).

Da Zähnezahl und Teilkreisdurchmesser in einem direkten linearen Zusammenhang stehen, können die Übersetzungsverhältnisse zweier Zahnräder aus der Zähnezahl oder aus dem Durchmesser berechnet werden. Es gilt  $z_1 : z_2 = d_1 : d_2$ .

Der Abstand zweier Zahnräder setzt sich zusammen aus der Summe der beiden Teilkreisdurchmesser durch 2 ( $a = (d_1 + d_2) / 2$ ).

Modul = 3

Z1 = 13 Zähne

Z2 = 21 Zähne

