



## TECHNISCHE DATEN - STIRNRÄDER UND ZAHNSTANGEN

---

|   | Seite |
|---|-------|
| <b>1. ALLGEMEINE INFORMATIONEN</b>              | 997   |
| <b>2. STIRNRÄDER UND ZAHNSTANGEN</b>            | 997   |
| 2.1 Verzahnung                                  | 998   |
| 2.2 Stirnräder                                  | 999   |
| 2.3 Zahnstangen                                 | 999   |
| <b>3. TECHNISCHE INFORMATIONEN</b>              | 999   |
| 3.1 Zahnradpaarung                              | 999   |
| 3.2 Arbeitsabstand                              | 1000  |
| 3.3 Schmierung                                  | 1000  |
| 3.4 Werkstoffe                                  | 1000  |
| <b>4. BEARBEITUNG VON ELESA STIRNZAHNRÄDERN</b> | 1001  |
| <b>5. ANWENDUNGEN</b>                           | 1001  |
| <b>GLOSSAR</b>                                  | 1002  |

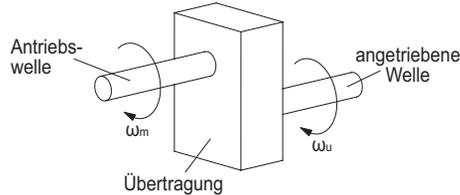
---

## 1. ALLGEMEINE INFORMATIONEN

Die Übertragungselemente ermöglichen die von einer zentralen Energiequelle zur Verfügung gestellten Energie auf mechanische Systeme zu verteilen:



Die Übertragung dieser Energie von der Maschine zum Getriebe passiert über das Antriebszahnrad. Das Ausgangszahnrad wiederum ermöglicht die Übertragung dieser Kraft vom Getriebe zum Anwender.



Die Kraft, die beim Anwender ankommt ist nie so hoch, wie jene die von der Maschine ausgeht. Während der Übertragung wird Teil der Kraft durch Reibung und Hitze abgebaut. Der Wert ( $\eta$ ) wird zum Vergleich der aufgewendeten Kraft mit jener, die zur Verwendung kommt, herangezogen:

$$\eta = \frac{P_u}{P_m} = \frac{M_r \cdot \omega_u}{M_m \cdot \omega_m} < 1$$

wobei:

- Antriebsleistung ( $P_m$ ) = nutzbare Leistung ( $P_u$ ) + Verlustleistung ( $P_d$ )
- $M_m$  und  $M_r$ , sind Antriebs- und Widerstandsmoment.
- $\omega_m$  und  $\omega_u$ , ist die Winkelgeschwindigkeit der treibenden und der angetriebenen Welle.

Die Antriebsleistung wird wie folgt ausgedrückt:

$$P_m [W] = M_m [Nm] \cdot \omega_m \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] = \frac{M_m [Nm] \cdot n_m [\text{rpm}]}{9.55} \quad \text{wo} \quad \omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

Wobei  $n_m$  die Anzahl der Umdrehungen der treibenden Welle pro Minute (U/min) und 9,55 der Umrechnungsfaktor von Radiant pro Sekunde in U/min ist.

Die ausschlaggebenden Parameter für die Übertragung sind das **Übersetzungsverhältnis** ( $\tau$ ), das Verhältnis der Winkelgeschwindigkeit der treibenden und der angetriebenen Welle:

$$\tau = \frac{\omega_m}{\omega_u} = \frac{n_m}{n_u}$$

$\tau > 1$ : Übersetzung ins Langsame

$\tau = 1$ : Übersetzung ohne Veränderung

$\tau < 1$ : Übersetzung ins Schnelle

## 2. STIRNRÄDER UND ZAHNSTANGEN

Ein Getriebe überträgt das mechanische Moment von der Antriebswelle zur Abtriebswelle. Grundsätzlich besteht dieses aus zwei oder mehr Zahnrädern, die die selbe oder aber auch unterschiedliche Größe haben. Eines der beiden Zahnräder überträgt die Bewegung (Antriebszahnrad) und das anderen empfängt diese (Ausgangszahnrad). Das Ausgangszahnrad dreht sich in die entgegengesetzte Richtung des Antriebszahnrad. Das kleinste Zahnrad wird Ritzel genannt, das größte einfach nur Zahnrad.

Es gibt unterschiedliche Arten von Zahnrädern - die gängigsten Formen sind: Stirnräder, Schrägstirnräder, Kegeltahnräder, Zahnstangen, Antriebszahnräder und Schneckengetriebe. Jede dieser Formen ermöglicht die Übertragung von Bewegung zwischen unterschiedlich positionierten Achsen.



## 2.1 Verzahnung



Bei Stirnradgetrieben kommt es zur Kraftübertragung durch starre Bauteile z.B. über Zahnräder. Als **Teilkreisdurchmesser** bezeichnet man Kreisumfang an dem der Eingriffspunkt zweier ineinandergreifender Zähne liegt. Der **Arbeitsabstand** ist der Abstand zwischen den Mittelpunkten der Achsen auf dem die Zahnräder montiert sind.

Die Zähne können unterschiedliche Formen haben. Die **Evolventenverzahnung** ist die bedeutendste Verzahnungsart im Maschinenbau.

Generell, bewegt sich der Zahn in radialer Richtung fort. Der Kopf des Zahnes ist jener Teil des Zahnes, der über den Teilkreis hinausgeht. Als Fuß des Zahnes bezeichnet man jenen Teil unterhalb des Teilkreises. Die Zahnform wird, vom Teilkreis ausgehend, in zwei Bereich geteilt: der externe Bereich wird **Kopfflanke** genannt, der innere Bereich **Zahnflanke**.

Die Form eines Zahnes (Abb. 1) kann in zwei Bereich unterteilt werden: Als **Zahnkopfhöhe** ( $h_a$ ) wird der radiale Abstand zwischen dem **Teilkreis** ( $d$ ) und dem **Kopfkreis** ( $d_a$ ) bezeichnet; als **Zahnfußhöhe** ( $h_f$ ) bezeichnet man den radialen Abstand zwischen dem **Teilkreis** und dem **Fußkreis** ( $d_f$ ). Die Summe beider ergibt die **Höhe des Zahnes** ( $h$ ).

Als **Teilkreisteilung** ( $p$ ) bezeichnet man die Bogenlänge auf dem Teilkreis zwischen zwei Zähnen. Die **Lückenweite** ( $e$ ) ist der Bereich zwischen zwei Zähnen. Die **Zahndicke** ( $s$ ) ist die Dicke des Zahnes auf Höhe des Teilkreises. Die **Zahnbreite** ( $b$ ) bezeichnet die axiale Länge eines Zahnes.

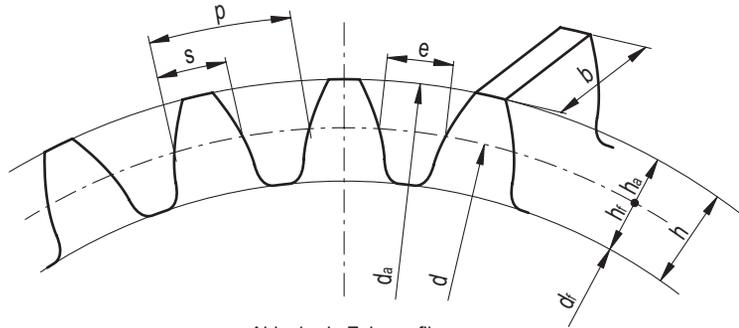


Abb. 1: ein Zahnprofil

Damit zwei Zahnräder richtig ineinander greifen können (mit einem Radius des Teilkreises von  $r_1$  und  $r_2$ ), haben beide die gleiche Teilung  $p$ . Die Teilkreisteilung steht daher mit dem Teilkreis in folgender Relation:

$$2\pi \cdot r_1 = p \cdot z_1 \quad \text{und} \quad 2\pi \cdot r_2 = p \cdot z_2$$

wobei  $z$  die Anzahl der Zähne eines Zahnrades ist. Daraus ergeben sich weitere wichtige Werte, wie z.B. das **Modul m**:

$$m = \frac{p}{\pi} = \frac{d_1}{z_1} = \frac{d_2}{z_2}$$

Um korrekt ineinander zu greifen, müssen zwei Zahnräder über die selbe Zahnradteilung  $p$  verfügen; somit müssen sie auch den selben Modulwert  $m$  haben.

Die Anzahl der Zähne hängt auch mit dem Übersetzungsverhältnis  $\tau$  gemäß der folgenden Formel zusammen:

$$\tau = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{r_2}{r_1}$$

Damit zwei Zahnräder ineinander greifen, müssen diese den selben Neigungswinkel haben. Die Zähne des Antriebszahnrades übertragen auf die Zähne des Ausgangszahnrades die Kraft  $F$ . Dadurch ergibt sich ein Eingriffswinkel  $\alpha$  der tangential zum Wälzkreis verläuft. Der Wert des Eingriffswinkels  $\alpha$  bestimmt die Mindestanzahl der Zähne, die ein Zahnrad haben muss, damit dieses eine Evolventenform hat. Die Übertragungselemente von Elesa verfügen über einen Eingriffswinkel von  $20^\circ$ .

## 2.2 Stirnzahnräder

Das Stirnradgetriebe ist eine Getriebeform, die durch Stirnräder auf parallelen Achsen charakterisiert ist. Die Daten des maximalen Moments, die in den Tabellen der technischen Daten gezeigt werden ergeben sich aus einer Mischung aus theoretischer Kalkulation und experimentellen Daten aus dem Labor. Die theoretischen Kalkulationen basieren auf der Lewis Formel. Diese Theorie basiert auf der folgenden Annahme:

- Die auf den Zahn einwirkende Gesamtkraft Good morning (F) wirkt auf die Zahnspitze ein.
- Der radiale Teil der Kraft ( $F_r$ ), welcher den Druck auf den Zahn erzeugt, ist vernachlässigbar; daraus folgt, dass jener Teil der Kraft (F), der die Verkrümmung des Zahnes erzeugt, alleinig herangezogen wird und aus Vereinfachungsgründen den selben Wert hat wie die Tangentialkraft ( $F_t$ ) am Teilkreis.
- Es wurde die ungünstigste Situation in Betracht gezogen - nämlich nur ein Paar ineinandergreifende Zähne.

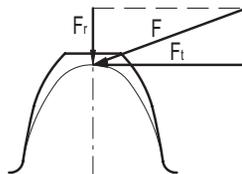


Abb.2: Einwirkung von Kräften auf den Zahn mittels Lewis Formel

Die Kraft  $F_t$  korreliert mit dem Moment M mittels Teilkreis:

$$M = F_t \cdot \frac{d}{2}$$

Die experimentellen Daten, resultieren aus Labortests und wurden mittels Software überprüft (gemäß VDI 2736 Richtlinie für die Konstruktion von Thermoplast Zahnräder). Die Test wurden im Dauerbetrieb und bei einer Geschwindigkeit von 100-150 U/min. ohne Schmiermittel getestet.

Die Momente in den Tabellen der technischen Daten geben nur einen ungefähren Überblick und haben nicht für alle Anwendungen Gültigkeit. Die Einsatzbedingungen (U/min., Betriebstemperatur, Kombination von Übertragungselementen aus unterschiedlichen Materialien, mit oder ohne Schmiermittel, Wartung etc.) beeinflussen die Leistung.

Der Konstrukteur muss berücksichtigen, dass die aktuellen Bedingungen nicht denen aus dem Labor entsprechen.

## 2.3 Zahnstangen

Eine Zahnstange ist ein Zahnrad mit unendlichem Radius. Es wird verwendet um Rotationsbewegung in translatorische Bewegung umzuwandeln, und umgekehrt. Das Zahnrad, das mit einer Zahnstange kombiniert wird, wird Antriebszahnrad genannt.

Die wichtigste mechanische Belastung der Zahnstange ist, die auf einen einzelnen Zahn einwirkende Kraft, da kein Moment wirkt.

Die maximalen Stresswerte, die in der Tabelle angeführt werden, ergeben sich aus Labortests, in denen die auf den Zahn einwirkende Kraft so lange erhöht wird, bis der Zahn bricht.

Wird die Anzahl der ineinander greifenden Zähne erhöht, bedeutet dies nicht einen linearen Anstieg des maximalen Stresswertes.

## 3. TECHNISCHE INFORMATIONEN

### 3.1 Zahnradpaarung

Die Stirnräder und Zahnstangen aus Thermoplast können mit Thermoplast- oder Metall-Zahnradern kombiniert werden. Wird mit einem Metallzahnrad kombiniert ermöglicht die höhere Leitfähigkeit des Metalls eine schnellere Ableitung der Hitze, die während des Prozesses erzeugt wurde. Im Falle einer Metall-Thermoplast Kombination empfiehlt sich das Antriebszahnrad aus Metall und das Ausgangszahnrad aus Thermoplast, da die Abnutzung des Zahnrades aus Thermoplast geringer ist.



### 3.2 Arbeitsabstand

Der Arbeitsabstand (I) ist jener Abstand zwischen den Mittelpunkten der Achsen auf dem die Zahnräder montiert sind und ergibt sich wie folgt:

$$I = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

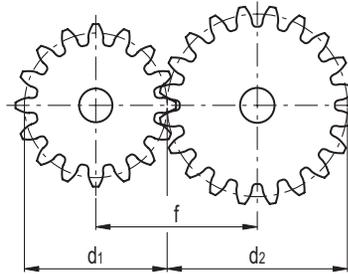
wobei  $d_1$  und  $d_2$  die Teilkreisdurchmesser der Zahnräder sind.

Damit zwei Zahnräder optimal ineinander greifen können, benötigt man ein positives Flankenspiel zwischen den Mittelpunkten der beiden Achsen: Der effektive Abstand (f) zwischen den beiden Mittelpunkten der Achsen ist etwas länger als jener des Arbeitsabstandes I.

$$f = \frac{d_1 + d_2}{2} + t$$

Das ineinander Greifen ohne bzw. mit negativem Flankenspiel würde die Reibung zwischen den Zähnen erhöhen und dadurch die Betriebstemperatur und Verschleiß erhöhen. Um dies zu vermeiden empfiehlt ELESa die folgenden Toleranzen:

- (+0.03 +0.1) für Module 0.5 – 1.0 – 1.5
- (+0.08 +0.3) für größere Module



### 3.3 Schmierung

Dank der selbstschmierenden Eigenschaften von Polymeren, können grundsätzlich Thermoplast Zahnräder auch ohne Schmieröl verwendet werden. Die Verwendung von Schmierölen wird jedoch empfohlen, um Reibung und Abnutzung zu vermeiden und damit die Lebensdauer des Produkts zu verlängern. Für Zahnräder von Elesa empfehlen wir Schmierfette auf Basis von Lithium-Seifen und synthetischem Öl.

Bei gleichen Bedingungen (Umdrehungen pro Minute, Drehmoment) erhöht die Verwendung von Schmiermittel die Lebensdauer erheblich.

### 3.4 Werkstoffe

Stirnzahnräder und Zahnstangen von Elesa sind aus glasfaserverstärkten Thermoplast (PA) gemacht. Die Hauptmerkmale des Materials sind:

- hohe Widerstandsfähigkeit bei Torsion sowie hohe Festigkeitswerte (dreimal höher als bei Thermoplast - Polyacetal POM);
- Beständigkeit bei hohen Temperaturen;
- geringer Reibungskoeffizient, speziell im Vergleich zu Stahl. Zahnräder aus Thermoplast finden v.a. dann Verwendung, wenn Schmiermittel nicht verwendet werden dürfen;
- geringes Gewicht, v.a. im Vergleich zu Zahnrädern aus Metall;
- hohe Formstabilität, hohe Widerstandsfähigkeit gegen Verschleiß und chemische Substanzen.

#### 4. BEARBEITUNG VON ELESA STIRNZAHNRÄDERN

Möchte man am Zahnrad nachträglich eine Bohrung oder Keilnut anbringen müssen Greifer verwendet werden, die sich an den Durchmesser des Zahnrades anpassen um diese von außen zu fixieren (siehe Abb. 3).

Die Spannfläche muss möglichst breit gewählt werden (z.B. für Modul 3 müssen 3-4 Zähne, bei Modul 1 zumindest 7 Zähne geklemmt werden).

Die Bearbeitung der Stirnzahnräder kann trocken erfolgen. Es empfiehlt sich jedoch eine Kühlung durch Luft.

Beim Zerspanen keine zu hohe Geschwindigkeit verwenden und auf eine rasche Bearbeitung achten, damit die Späne aufgrund der Hitze nicht schmelzen und an der zu bearbeitenden Oberfläche kleben bleiben.

Um Risse beim Erstellen von Keilnuten zu vermeiden verwenden Sie einen hohen Vorschub (2,000 – 2,500mm/min) und geringe Schneidtiefen (0.3-0.5mm).

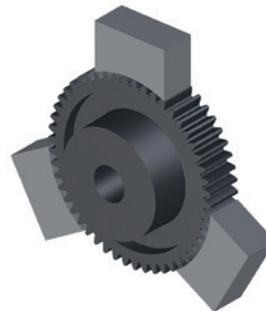


Abb.3: Zahradbearbeitung

#### 5. ANWENDUNGEN

Die Übertragungseinheiten aus Thermoplast (PA) sind eine gute Alternative zu Übertragungseinheiten aus Metall. Sie werden v.a. überall dort verwendet wo eine Geräuschreduktion oder die Vermeidung von Schmiermittel gefordert ist. Auch das geringe Gewicht kann für Anwendungen von Vorteil sein. Zusätzlich verringert die hohe Beständigkeit gegenüber chemischen Substanzen die Korrosion in aggressiven Umgebungen.

Die Metall-Zahnräder sind oft überdimensioniert und können daher sehr gut durch Thermoplast-Zahnräder ersetzt werden.

Anwendungsbereiche für Zahnräder aus Thermoplast sind:

- Verpackungsmaschinen und Förderbänder
- Industrielle Reinigungsmaschinen
- Maschinen für die Verarbeitung von Glas und Keramik
- Catering Equipment
- Typographische Industrie
- Landwirtschaftliche Maschinen
- Chemische und pharmazeutische Industrie
- Haushaltsgeräte





**Abnutzung**

Materialverschleiß durch Abrieb.

**Antriebswelle**

Zylindrisches Übertragungselement unterschiedlicher Länge und Stärke; auf dieses wird die Antriebskraft mittels Maschine übertragen.

**angetriebene Welle**

Zylindrisches Übertragungselement unterschiedlicher Länge und Stärke; hier wird Bewegung mittels getriebener Welle oder Triebwerk übertragen.

**Arbeitsabstand**

Der Arbeitsabstand ist der Abstand zwischen den Mittelpunkten der Achsen auf dem die Zahnräder montiert sind.

**Eingriffswinkel**

Der Eingriffswinkel ist jener Winkel, den die Eingriffsgerade zur Kreistangente des Wälzkreises am Wälzpunkt hat. Dies ist auch der Flankenwinkel des Bezugsprofils (Eingriffsgerade steht ja genau senkrecht auf die Flanke). 20° sind hier ein Standardwert. Nur Zahnräder mit dem selben Eingriffswinkel können gepaart werden.

**Flankenspiel**

Ein Flankenspiel ist bei gepaarten Zahnrädern notwendig, um etwaige Wärmedehnungen auszugleichen, Schmiermittel einbringen zu können und mögliche Toleranzen durch Einbauungenauigkeiten auszugleichen. Dabei wird der Abstand (das Spiel) zwischen den Rückflanken eines Zahnpaars als Flankenspiel bezeichnet. Er entsteht, während sich die Arbeitsflanken berühren. Verzahnungen haben immer eine Spielpassung. Absolut spielfreie Verzahnungen können leicht klemmen. Zudem würden unkontrollierbare Kräfte an den Wellen auftreten. Andererseits führt ein kleineres Spiel zu einem ruhigeren Betriebsverhalten.

**Fußflanke**

laterale Oberfläche des Zahnes unterhalb des Teilkreises

**Fußkreis**

Kreis, der die Basis des Zahnes abgrenzt.

**Getriebe**

Mechanismus zu Übertragung von Bewegung mittels Zahnräder. Es besteht grundsätzlich aus zwei oder mehreren Zahnräder gleicher oder unterschiedlicher Größe.

**Kopfflanke**

laterale Oberfläche des Zahnes über dem Teilkreis

**Kopfkreis**

Kreis der den Kopf des Zahnes begrenzt.

**Lückenweite**

Bereich zwischen zwei Zähnen.

**Modul**

Modul ist ein Maß für die Größe der Zähne von Zahnrädern. Es ist definiert als der Quotient aus der Zahnradteilung (dem Abstand zweier benachbarter Zähne) und der Kreiszahl. Damit zwei Zahnräder ineinandergreifen können, müssen sie über dasselbe Modul verfügen.

**Reibung**

Reibungskraft entsteht wenn zwei Körper aufeinander gepresst werden und dadurch Bewegung verhindert wird. Die führt zu einem Verlust an mechanischer Energie in Form von Hitze.

**Ritzel**

Bei einer Paarverzahnung ist das Ritzel das Rad mit dem geringeren Durchmesser. Es übersetzt die translatorische in eine lineare Bewegung bzw. vice versa.

**Schmiermittel**

eine flüssige Substanz, die die Reibung zwischen zwei Oberflächen minimiert und sie dadurch vor Abnutzung schützt. Für Elesa Zahnräder werden Schmieröle auf Basis von Lithium-Seife oder synthetischem Öl empfohlen.

**Stirnrad**

Zahnräder parallel zur Zylinderachse; diese erlauben eine Übertragung der Bewegung auf parallele Achsen.

**Teilkreisdurchmesser**

entlang dieses Kreises liegt der Eingriffspunkt zweier ineinandergreifender Zahnräder.

**Teilkreisteilung**

Ist die Bogenlänge auf dem Teilkreis zwischen zwei Zähnen.

**Verzahnung**

Vom Fußkreis vorstehendes Element, dass bei Kontakt mit einem zweiten Zahn, eines zweiten Übertragungselements, die Übertragung von Kraft zwischen zwei Übertragungseinheiten ermöglicht.

**Zahnbreite**

Axiale Länge eines Zahnes

**Zahndicke**

Die Dicke des Zahnes auf Höhe des Teilkreises

**Zahnfuß**

Bereich des Zahnes der unterhalb des Teilkreises liegt.

**Zahnfußhöhe**

Höhe des Zahnes im Bereich zwischen Fuß- und Teilkreis

**Zahnkopf**

Teil des Zahnes, der über den Teilkreis hinausgeht.

**Zahnkopfhöhe**

Höhe des Zahnes im Bereich zwischen Teil- und Kopfkreis

**Zahnstange**

Ist ein lineares Getriebe, das zusammen mit einem Zahnrad, Antriebszahnrad, die Rotationsbewegung in eine lineare bzw. vice versa umwandelt