

1 | Getriebearten im Überblick

Bauart	Eigenschaft	Einsatz
Stirnrad	parallel, einfach	Standard
Kegelrad	Achsen schneiden sich	Winkeltrieb
Schnecke	große Übersetzung	langsamer Antrieb
Zahnriemen	leise, Abstand frei	leichter Antrieb
Planeten	kompakt, coaxial	hohes Moment

2 | Begriffe am Stirnrad

- Modul m [mm]: bestimmt die Zahngröße.

Merke: Gleicher Modul + gleicher Eingriffswinkel
sind Voraussetzung für ein passendes Zahnradpaar.

- Fußkreis d_f : Durchmesser am Zahngrund.
- Eingriffswinkel α : üblich sind 20° .
- Achsabstand a : Abstand beider Radachsen.

3 | Grundformeln

Größe	Formel
Teilkreis	$d = m \cdot z$
Kopfkreis	$d_a = m \cdot (z + 2)$
Fußkreis*	$d_f \approx m \cdot (z - 2,5)$
Achsabstand	$a = m \cdot (z_1 + z_2) / 2$
Übersetzung	$i = n_1/n_2 = z_2/z_1$

* Näherung für Standardverzahnung ohne Profilverschiebung.

4 | Drehzahl, Richtung & Moment

- Großes Abtriebsrad: Drehzahl sinkt, Drehmoment steigt.

Leistung: $P = 2\pi \cdot n \cdot M / 60$
mit n [1/min], M [Nm], P [W]

- Ideal: $M_2 \approx M_1 \cdot i$. Real: Verluste berücksichtigen.

5 | Zahnzahlen sinnvoll wählen

- Bei 20° -Standardverzahnung $z < 17$ möglichst vermeiden: Gefahr von Unterschnitt.
- Kleine Ritzel verschleßen schneller und brauchen saubere Lagerung.
- Für große Übersetzungen mehrere Stufen vorsehen.
- Zähnezahlen ohne gemeinsamen Teiler verteilen den Verschleiß günstiger.
- Beide Räder derselben Stufe mit identischem Modul erzeugen.

6 | Rechenbeispiel: 3:1

Gegeben

$$m = 1,5 \text{ mm} \cdot z_1 = 20 \cdot z_2 = 60$$
$$n_1 = 900 \text{ 1/min}$$

Ergebnis

$$d_1 = 30 \text{ mm} \cdot d_2 = 90 \text{ mm}$$
$$a = 60 \text{ mm} \cdot i = 3$$
$$n_2 = 300 \text{ 1/min}$$

Plausibilitätscheck:

Abtrieb dreht langsamer und entgegengesetzt.

7 | Startwerte für den Druck

Merkmal	FDM 0,4 mm	Resin
Modul	$\geq 1,0$	$\geq 0,5$
Flankenspiel*	0,15–0,30	0,05–0,15
Wellenloch-Zugabe	+0,15–0,30	+0,05–0,15
Zahnbreite	$\geq 4 \cdot m$	$\geq 3 \cdot m$

* Umfangsspiel am Teilkreis, nicht radialer Achsabstand. Erst Probekörper drucken.

8 | Druckorientierung & Material

- Stirnräder flach drucken: Zähne liegen in XY, Bohrung steht in Z.
- Viele Außenwände und hohe Wandstärke tragen mehr als dichtes Infill allein.
- PLA: steif und maßhaltig, aber wärmeempfindlich.
- PETG: zäher, neigt eher zu Fäden und weichen Kanten.
- PA/PA-CF: belastbar; trocknen und Abrieb an Gegenrad beachten.
- Resin: fein, je nach Sorte aber spröde.

9 | Lagerung & Montage

- Zahnräder nicht als Lager verwenden: Wellen beidseitig führen.
- Achsabstand exakt konstruieren; Langloch nur zum Einstellen nutzen.
- Metallwellen, Buchsen oder Kugellager verbessern Rundlauf und Lebensdauer.
- Nabe mit ausreichender Wandstärke vorsehen; Madenschraube auf Fläche setzen.
- Axialspiel mit Bund, Scheibe oder Sicherungsring begrenzen.

10 | Spiel richtig einstellen

- Zu wenig Spiel: Klemmen, Erwärmung, hoher Strom und Verschleiß.
- Zu viel Spiel: Klappern, Umkehrfehler und Stoßbelastung.
- Spiel bevorzugt über reduzierte Zahndicke erzeugen, nicht durch beliebig vergrößerten Achsabstand.
- Druckabweichung mit kurzem Zahnsegment oder kleinem Zahnradpaar ermitteln.
- Nach Material-, Düsen- oder Belichtungswechsel neu prüfen.

11 | Fehler schnell erkennen

Symptom	Wahrscheinliche Ursache
Klemmt periodisch	Rundlauf / krumme Welle
Klemmt ständig	Spiel zu klein
Lautes Singen	Flanken rau / Drehzahl hoch
Zähne brechen	Modul/Breite zu klein
Bohrung leiert	Nabe/Lagerung zu schwach
Abrieb	Materialpaarung/Schmutz

12 | Mini-Übung: Untersetzung

Aufgabe

Ein Motor mit 1.200 1/min soll etwa 300 1/min liefern. Verwende $m = 1$ und ein Ritzel mit 20 Zähnen.

Musterlösung

$$i = 1.200 / 300 = 4$$

$$z_2 = 4 \cdot 20 = 80 \text{ Zähne}$$

$$d_1 = 20 \text{ mm} \cdot d_2 = 80 \text{ mm}$$

$$a = (20 + 80) / 2 = 50 \text{ mm}$$

Kontrolle:

Beide Räder: $m = 1$, $\alpha = 20^\circ$. Abtrieb dreht entgegengesetzt.