

# Systemgestaltung

Zweistufiges  
Hubwerks-  
getriebe

Wellen-  
berechnung



# Beispiel Hubwerksgetriebe

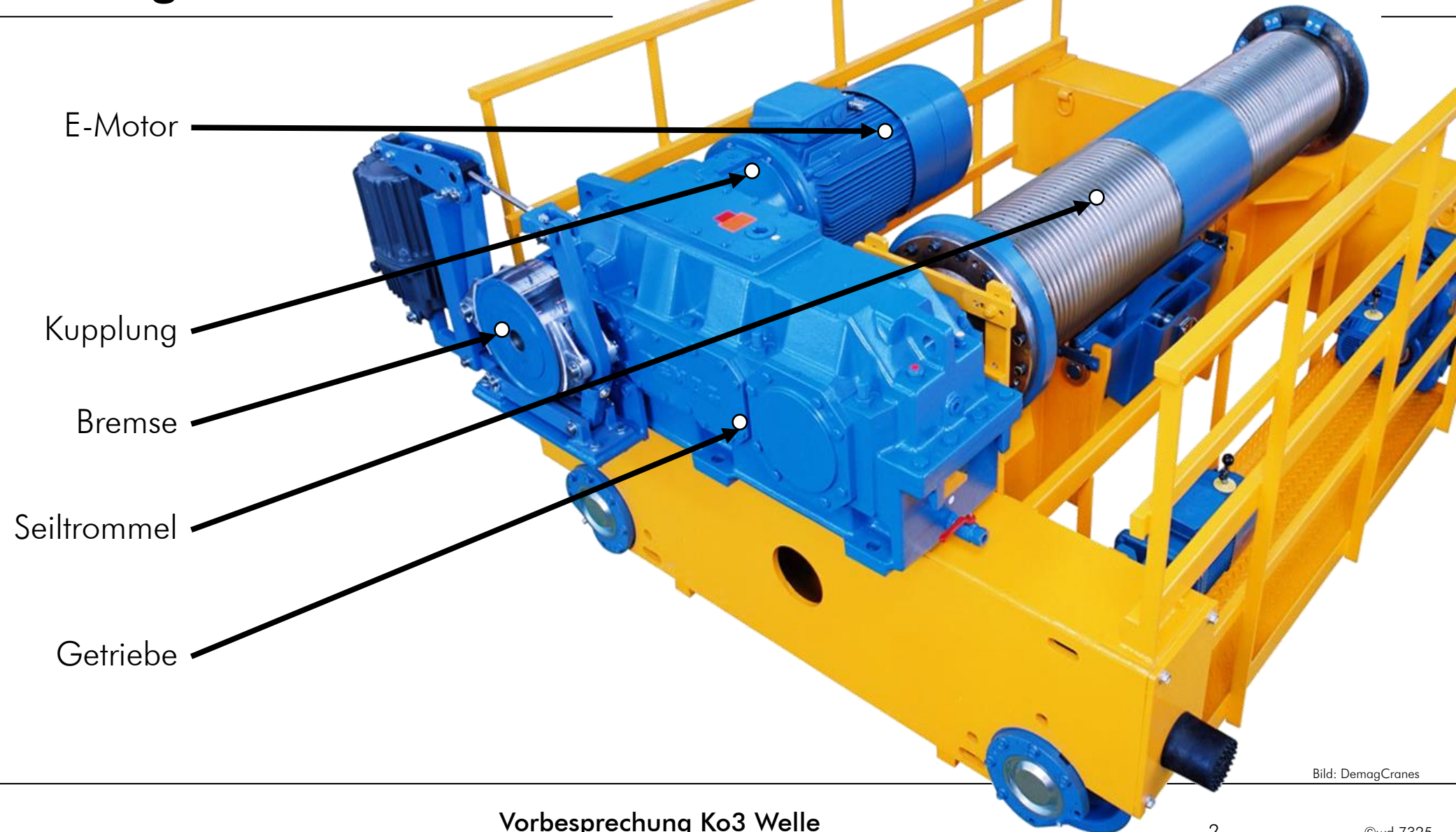
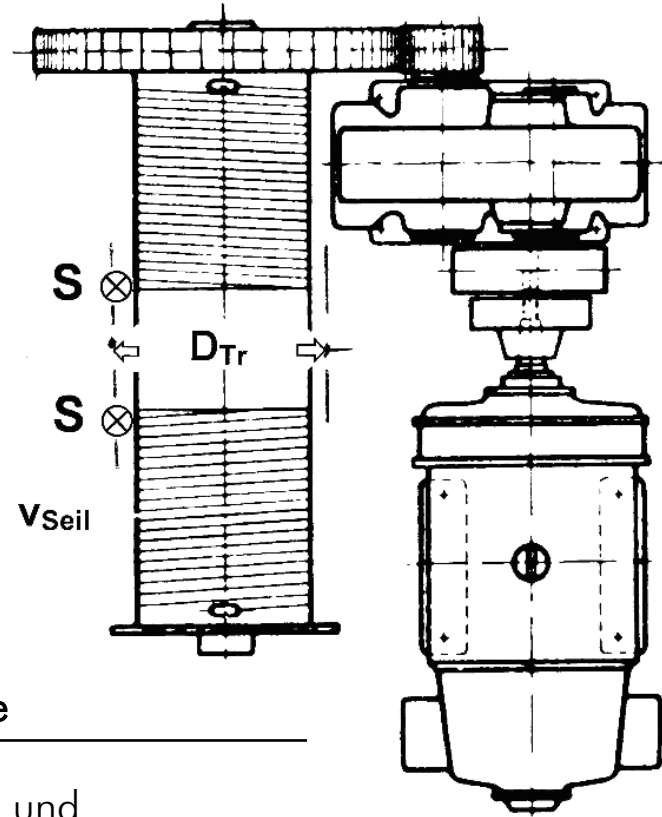


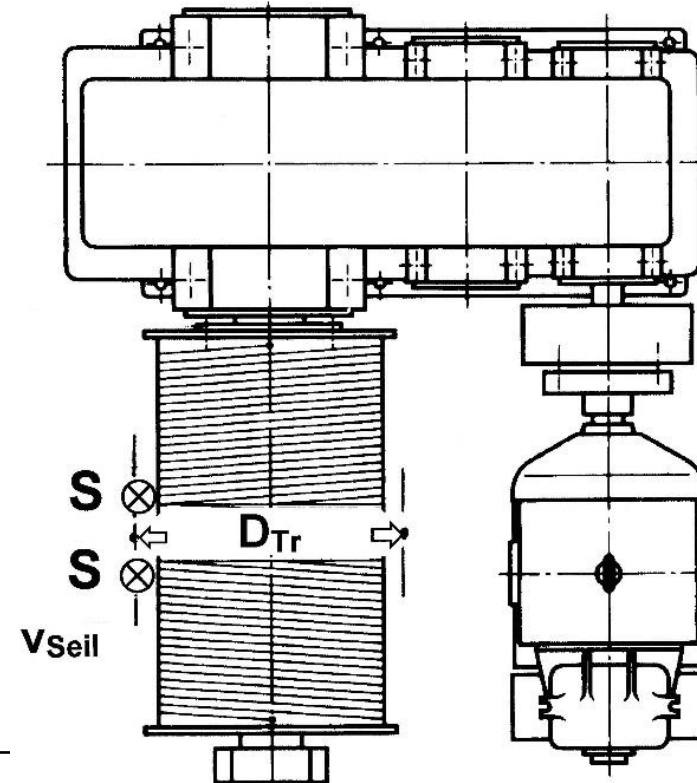
Bild: DemagCranes

# Varianten Hubwerksgetriebe

Var A  
einstufiges Getriebe  
mit offener Trommelstufe



Var B  
zweistufiges  
geschlossenes  
Getriebe



**Vorteile**  
+ ∩  
Einheitliches Teilgetriebe und  
variable Anpassstufe

Geschlossenes Getriebe,  
höhere Herstellpräzision

**Nachteile**  
- ∩  
Aufwändigere Lagerung der offenen Verzahnungsstufe,  
schlecht bei Schmutz in der Umgebung

Mehrere Gehäusevarianten nötig

# Übersetzung allgemein

- Übersetzung  $i = n_{an} / n_{ab}$
- Zähnezahlverhältnis  $u = z_{Rad} / z_{Ritzel}$
- bei Übersetzung ins Langsame  $u = i$
  
- allgemein: Kleines Zahnrad = Ritzel
- Index 1 bedeutet meistens "Ritzel", Index 2 "Rad"  
(manchmal aber auch "1"="schnell", "2"="mittel", "3"="langsam")
  
- zweckmäßige, eindeutige Bezeichnungen verwenden  
z.B. "langsame Stufe – schnelle Stufe" statt "erste Stufe – zweite Stufe"

# Trommeldrehmoment – Trommeldrehzahl - Getriebeübersetzung Hubwerksgetriebe

Trommeldrehmoment  $T_{Tr}$   
Trommeldurchmesser  $d_{Tr}$   
Seilkraft  $S$

$$T_{Tr} = 2 \cdot S \cdot \frac{d_{Tr}}{2} = S \cdot d_{Tr}$$

(beachte: die Seilkraft  $S$  greift je einmal an der linkssteigenden und einmal an der rechtssteigenden Trommelhälfte an!)

Trommeldrehzahl

$$\omega_{Tr} = \frac{v_{Seil}}{r_{Tr}} = \frac{v_{Seil} \cdot 2}{d_{Tr}}$$
$$n_{Tr} = \frac{\omega_{Tr}}{2\pi} = \frac{v_{Seil} \cdot 2}{d_{Tr} \cdot 2\pi} = \frac{v_{Seil}}{d_{Tr} \cdot \pi}$$

**Einheiten beachten!**

Gesamtübersetzung

$$i_{ges} = \frac{n_{mot}}{n_{Tr}}$$

# E-Motor Hubwerksgetriebe

Motordrehzahl

$$n = \frac{1}{p} \cdot 60 \cdot f$$

Motordrehzahl  $n$  in  $\frac{1}{min}$

Polpaarzahl  $p$

Netzfrequenz  $f$  in  $\frac{1}{s}$

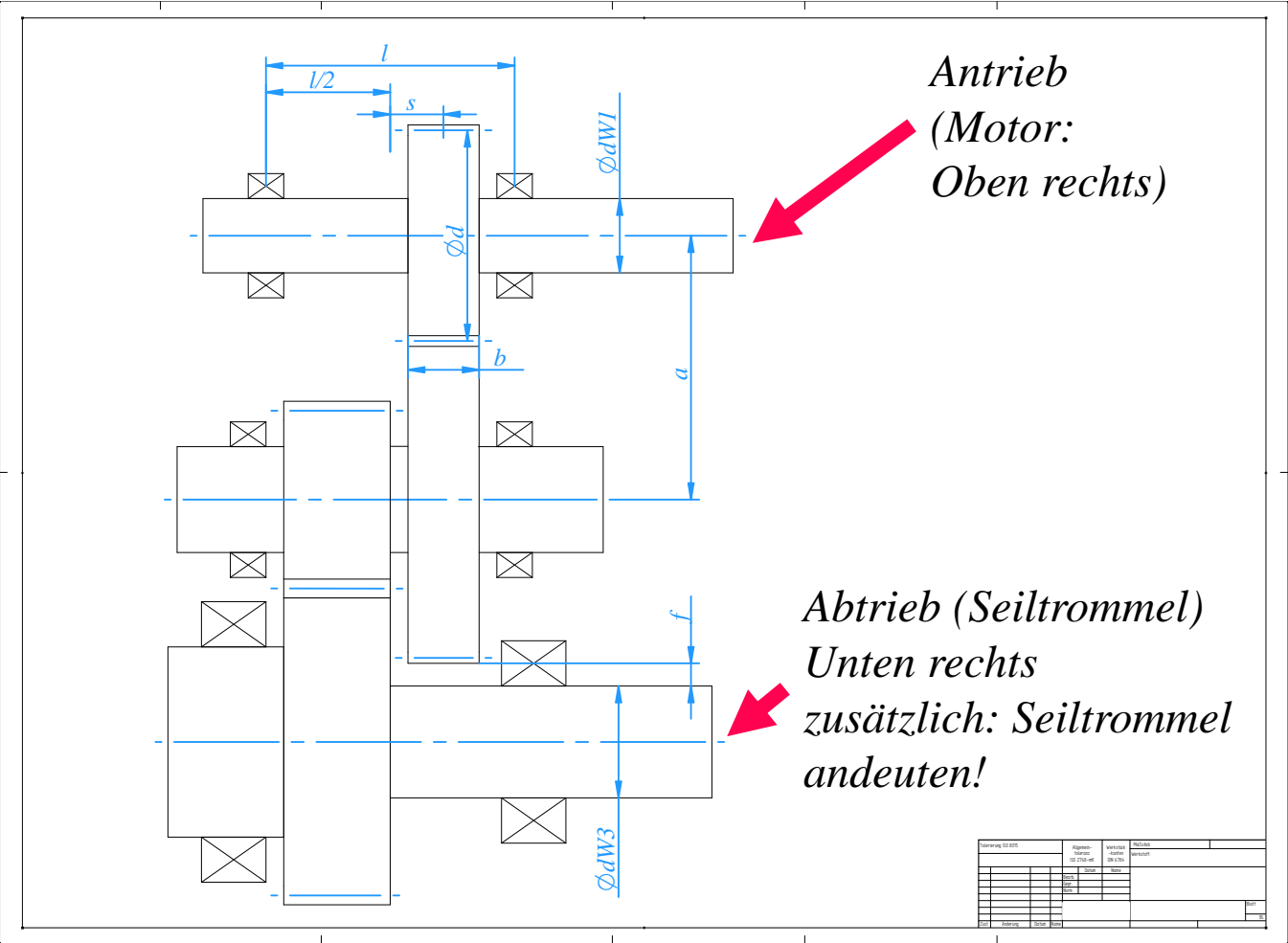
bei Netzfrequenz $f=50\text{Hz} \searrow$	Synchron- drehzahl	Drehzahl mit ca. 5% Schlupf
Polpaarzahl $\downarrow$	1/min	1/min
1	3000	<b>2850</b>
2	1500	<b>1425</b>
3	1000	<b>950</b>
4	750	<b>710</b>

Werten sind vorgegeben,  
müssen aber überprüft  
werden!

$n_{mot}$  ist hier so gewählt, dass  
 $16 < i_{ges} < 28$ .

$n_{mot}$ [ $1/min$ ] $\searrow$	$v_{Seil}$ [ $m/min$ ]			
$D_{Tr}$ [mm] $\downarrow$	40	60	80	100
300	<b>950</b>	<b>1425</b>	<b>1425</b>	<b>2850</b>
400	<b>710</b>	<b>950</b>	<b>1425</b>	<b>1425</b>
500	<b>710</b>	<b>950</b>	<b>1425</b>	<b>1425</b>

# Skizze der Räder und Wellen



# Skizze der Räder und Wellen

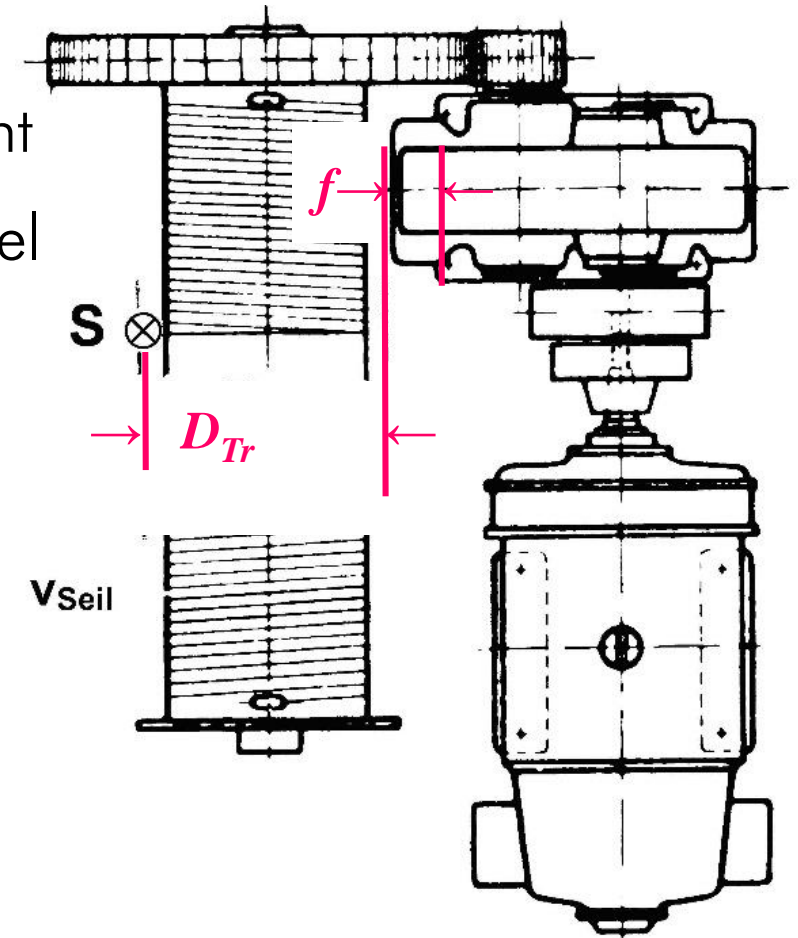
---

- ⚙ nur Hauptmaße
- ⚙ keine Details und Bearbeitung
- ⚙ Zahnräder als Scheiben, keine Zähne im CAD modelliert
- ⚙ Verzahnungsdarstellung normgerecht (Hoischen!)



# Besonderheiten Hubwerksgetriebe

- Last: Rein schwellend!
- Var. A: Abtriebsstufe - „fliegendes“ Ritzel, geradverzahnt
- Var. A: Freigang  $f$  Rad der Zwischenwelle – Seiltrommel prüfen  
(Soll:  $f > 110\text{mm}$ )!  
(Gehäusewandstärke und Verschraubung berücksichtigen, auch Seildurchmesser)
- Var. A&B: Räder dürfen nicht mit den Wellen der anderen Stufe kollidieren!



# Überprüfung der Geometrie Hubwerksgetriebe



Variante A:

Das Rad der Antriebsgetriebestufe darf nur so groß sein, dass ausreichend Platz zum Seiltrommeldurchmesser bleibt  
(Gehäusewandstärke und Verschraubung berücksichtigen)

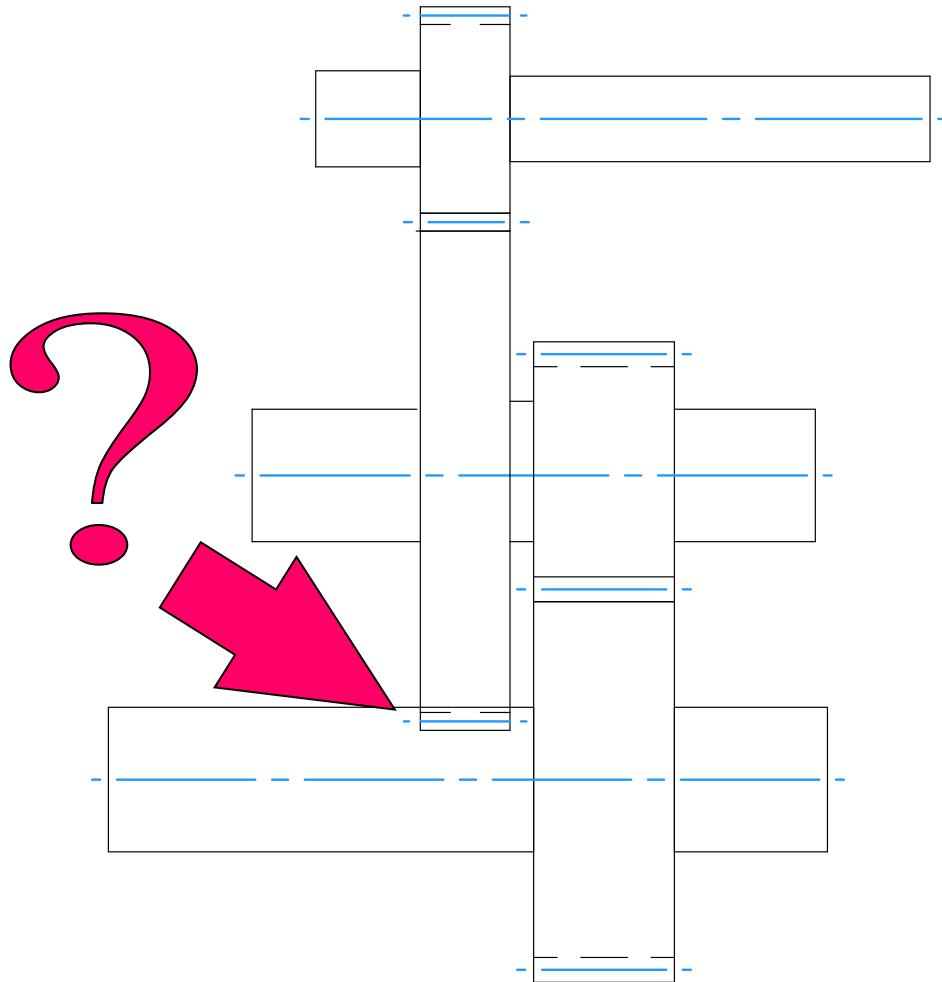


Variante B:

Die Räder dürfen nicht mit den Wellen der anderen Stufe kollidieren!

**überprüfen!**

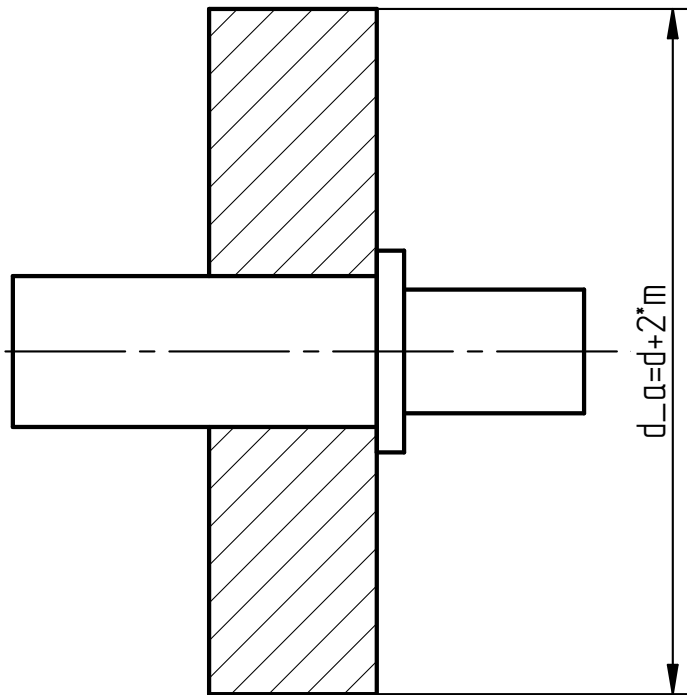
# Getriebe Groblayout Wellen-Freigang



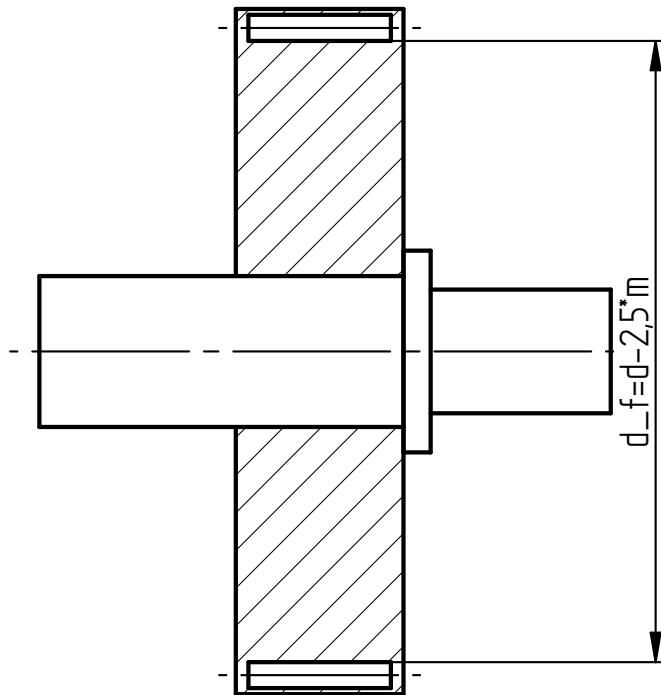
Kollision Rad mit Welle?

→Rücksprache!

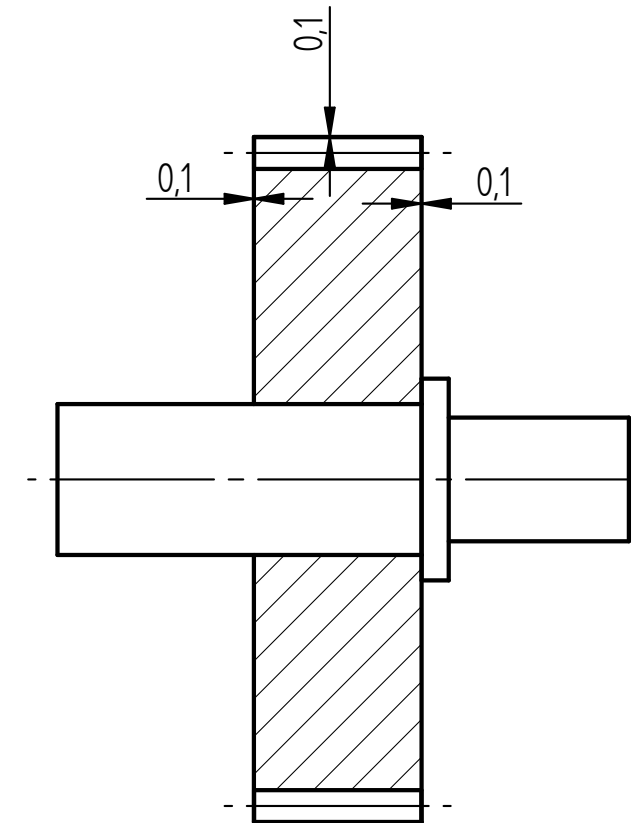
# Vereinfachte CAD-Modellierung und normgerechte Darstellung der Zahnräder



① Stirnrad als Scheibe mit Kopfkreisdurchmesser



② "Ring" "abziehen"



③ fertiges normgerechtes Zahnrad

# Wellenauslegung - Ablauf

---

- ↓ Leistung – Drehmomente, Lastdaten der Zahnradstufen
- ↓ Wellenmindestdurchmesser, Wellengroblayout
- ↓ Welle-Nabe-Verbindungen WNV
- ↓ Lastdaten für die Wellennachrechnung
- ↓ Kräfteplan
- ↓ Programm Ein- und Ausgabe
- ↓ Überprüfen
- ↓ Dokumentieren

# Kontrollrechnung

## Leistung - Drehmoment

$$P = F \cdot v$$

$$P = T \cdot \omega$$

$$\omega = 2\pi \frac{n}{60 \frac{s}{\min}} \quad \text{mit } n \text{ in } \frac{1}{\min}$$

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{P \cdot \frac{30s}{\min}}{n \cdot \pi}$$

Einheiten beachten!  
(MathCad, RM)

Näherungsformel:

$$T \approx \frac{P}{n} \cdot 9550 \quad \text{mit } T \text{ in Nm, } P \text{ in kW, } n \text{ in } \frac{1}{\min}$$

Beispiel:

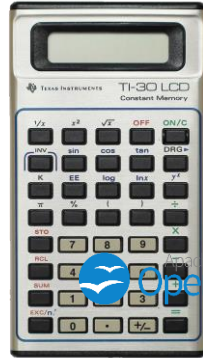
$$P = 333 \text{ kW}$$

$$n_1 = 4444 \frac{1}{\min}$$

$$T_1 = 716 \text{ Nm} = 716000 \text{ Nmm}$$

Vergleich der im Computer  
berechneten Werte mit  
"Handrechnung"!  
Plausibilitätskontrolle!

# Rechenwerkzeuge



OpenOffice™



# Berechnungswerkzeuge

MathCad

$$\sigma_{HSB} := \sqrt{\frac{F_{tSB}}{b \cdot d_{1SB}} \cdot \frac{i_{SB} + 1}{i_{SB}}} \cdot Z_{nges} \cdot K_{Hges} = 668.09 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Calc, 123,

MS Excel

$$=WURZEL(BX2/BO2/BS2*(BD2+1)/BD2)*\$AT\$37*\$AT\$39$$

Python

```
F_tSB = 15660      #Zahnumfangskraft N
b      = 75        #Zahnbreite mm
d_1SB  = 122       #Teilkreis Ritzel SB mm
i_SB   = 4.533     #Übersetzung SB
Z_nges= 382.5     #Faktor Nennspannung
K_Hges= 1.206     #Faktor Breitentragen

sigma_HSB=((F_tSB/b/d_1SB*(i_SB+1)/i_SB)**(0.5))*Z_nges*K_Hges
```



# Beispiel MathCad

## Rechnen mit Einheiten

$$P_1 := 333 \text{ kW}$$

$$n_1 := 4444 \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

$$n_1 = 74.067 \frac{1}{\text{s}}$$

$$f_1 := n_1 = 74.067 \frac{1}{\text{s}}$$

$$\omega_1 := 2 \cdot \pi \cdot f_1 = 465.375 \frac{1}{\text{s}}$$

$$T_1 := \frac{P_1}{\omega_1} = 715.553 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

alternativer Weg: Näherungsformel, dimensionslos

$$P'_1 := P_1 \frac{1}{\text{kW}} = 333$$

$$n'_1 := n_1 \cdot \text{min} = 4444$$


$$T'_1 := 9550 \cdot \frac{P'_1}{n'_1} = 715.605$$






# Beispiel MathCad

## Rechnen mit Einheiten

$$i_{soll\_ges} := 33$$

$$n_{ab} := \frac{n_1}{i_{soll\_ges}} = 2.244 \frac{1}{s}$$


$$n_{ab} = 134.7 \frac{1}{min}$$


$$T_{ab} := T_1 \cdot i_{soll\_ges} = 23613 \text{ N} \cdot \text{m}$$


# Wellenauslegung - Ablauf

---

- ↓ Leistung – Drehmomente, Lastdaten der Zahnradstufen
- ↓ Wellenmindestdurchmesser, Wellengroblayout
- ↓ Welle-Nabe-Verbindungen WNV
- ↓ Lastdaten für die Wellennachrechnung
- ↓ Kräfteplan
- ↓ Programm Ein- und Ausgabe
- ↓ Überprüfen
- ↓ Dokumentieren

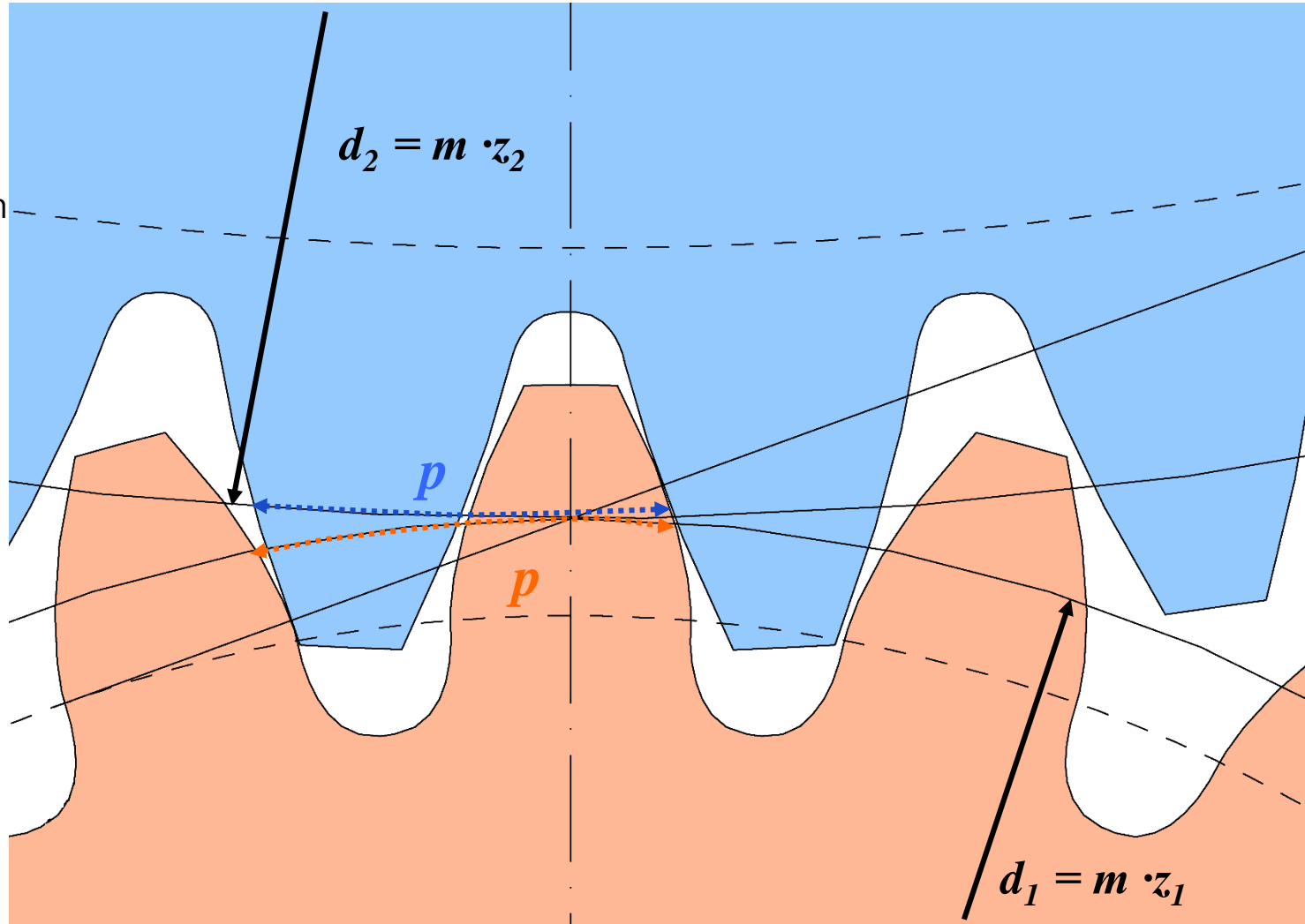
# Wellenauslegung - Testat

---

- zum Testat wird zunächst nur die mittlere Welle bearbeitet
- Layout dieser Welle zunächst grob,  
nach dem Testat weiter detailliert
  
- andere Wellen erst nach dem Testat und nach weiteren Hinweisen!

# Modul und Durchmesser

- $p$ : Teilung
- $z_1, z_2$ : Zähnezahlen
- $d_1, d_2$ : Teilkreise
- $d_1 \cdot \pi = p \cdot z_1$
- $d_2 \cdot \pi = p \cdot z_2$
- $m$ : Modul
- $p = m \cdot \pi$
- $d_1 = m \cdot z_1$
- $d_2 = m \cdot z_2$



# Vorauslegung Wellendurchmesser

- Verzahnung einsatzgehärtet, Welle blindgehärtet  
z.B. nach RM Bild 11-21, Gl 11-13  $T = T_{nenn} \cdot K_A$

$$d' \approx 2,7 \cdot 3 \sqrt{\frac{T}{\tau_{tD}}}$$

$$\begin{aligned} d' & \text{ in mm} \\ T & \text{ in Nmm} \\ \tau_{tD} & \text{ in } \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \end{aligned}$$

hier im Beispiel:

$$d_{\text{Welle}, \text{min}} \approx 42 \text{ mm}$$

- Kontrolle Fußkreis Ritzel  $d_F$  ( $\beta$  zunächst vernachlässigt)

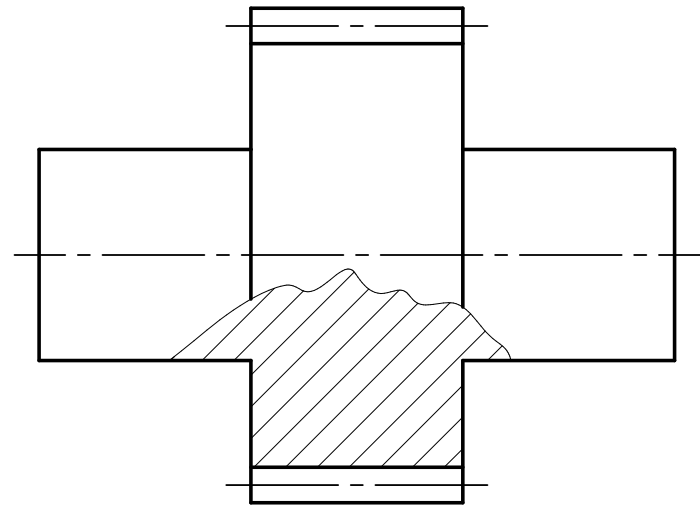
$$d_F \approx d - 2,5 \cdot m \quad \text{hier} \quad d_F \approx 59 \text{ mm} > d_{\text{Welle}} \rightarrow \text{o.k.}$$

- Wellenenden  $\approx$  genormt! (Hoischen Kap.8, "kurz")

# Wellen-Groblayout

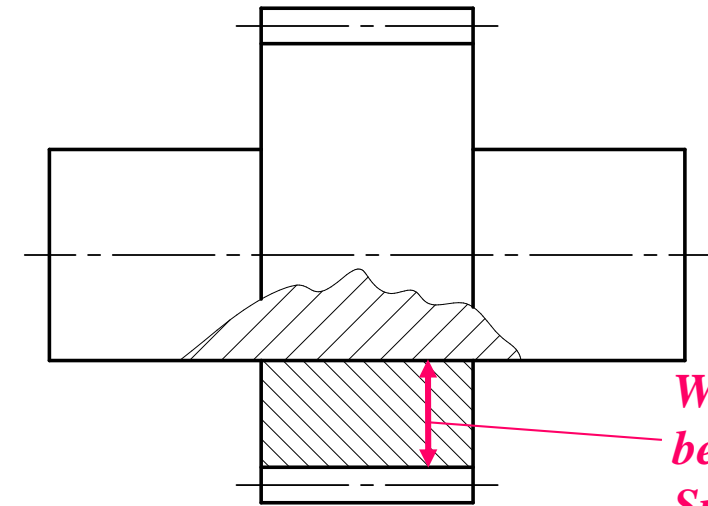
1. Wellendurchmesser abschätzen nach Folie  
"Vorauslegung Wellendurchmesser"
2. Bauart Welle:

*aufgeschnittenes Ritzel*



Welle aus Ritzelwerkstoff  
("Ritzelwelle")

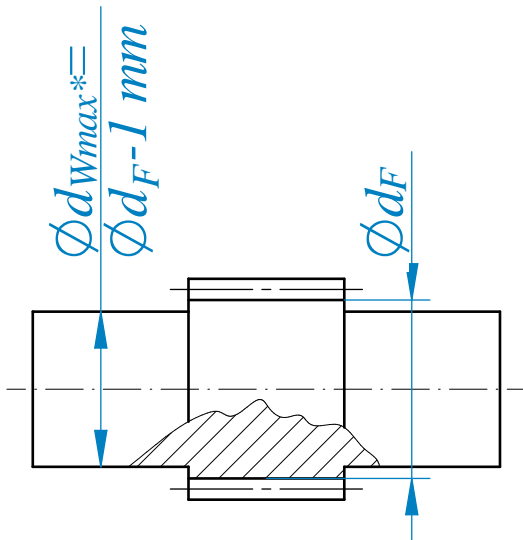
*gebautes Ritzel*



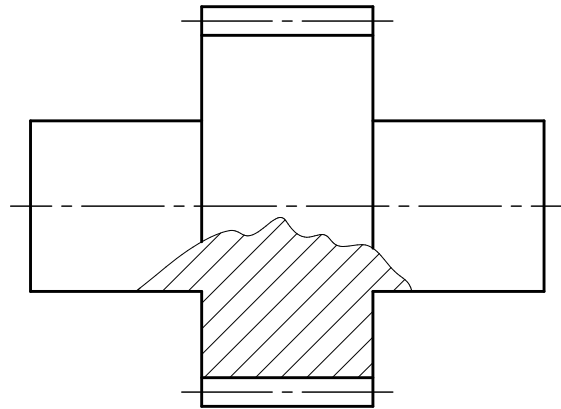
Welle aus „Wellenwerkstoff“  
s. RM

*Wandstärke  
beachten!  
Spannungen  
beachten!*

# Ritzel und Welle

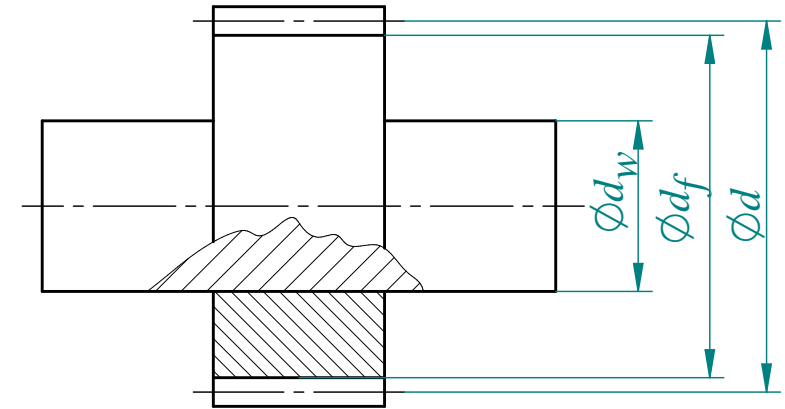


*aufgeschnittenes Ritzel*



aufgeschnittenes Ritzel  
("Ritzelwelle")  
möglich bis  $d_f - d_w > 1 \text{ mm}$

*gebautes Ritzel*



gebautes Ritzel empfohlen  
bei  $d_f - d_w > 5 \cdot m_n$



# Wellen-Groblayout

## Anhaltswerte

$$a \approx 4 \text{ mm} + 1,5 \cdot m_{n2} \cdot k$$

$$v_t \leq 50 \frac{\text{m}}{\text{s}} : k = 1$$

$$v_t > 50 \frac{\text{m}}{\text{s}} : k = \frac{1}{40} (v_t \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}} - 10)$$

$$a_{max} = 70 \text{ mm}$$

$$b \approx d_{Welle} \cdot \frac{1}{3}$$

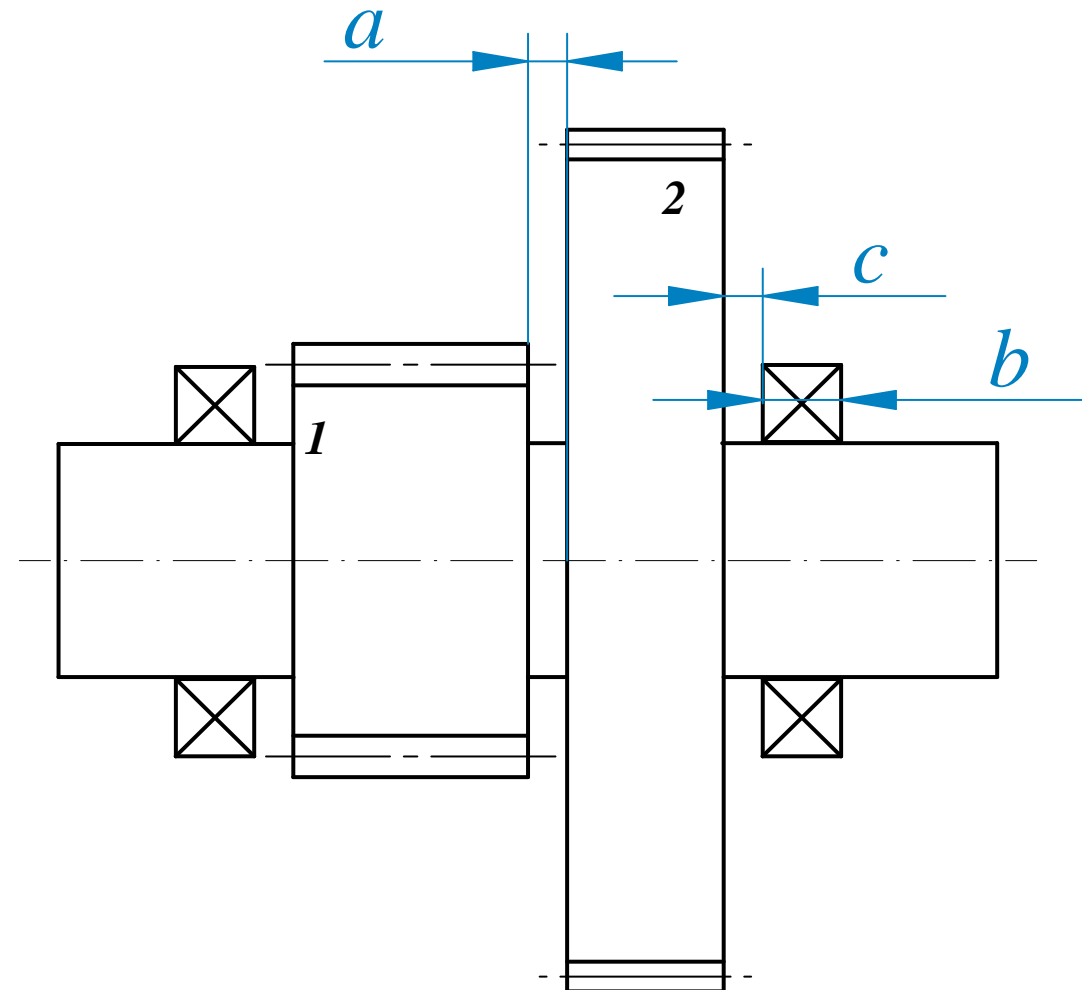
Loslager :

$$c_{LL} \approx 4 \text{ mm} + 3 \cdot m_{n2} \cdot k \quad (k \text{ wie oben})$$

Festlager

$$c_{FL} \approx 4 \text{ mm} + 3 \cdot m_{n2} \cdot k + \frac{b}{3}$$

(  $v_t$  = Umfangsgeschwindigkeit )



# Wellenauslegung - Ablauf

---

- ↓ Leistung – Drehmomente, Lastdaten der Zahnradstufen
- ↓ Wellenmindestdurchmesser, Wellengroblayout
- ↓ Welle-Nabe-Verbindungen WNV
- ↓ Lastdaten für die Wellennachrechnung
- ↓ Kräfteplan
- ↓ Programm Ein- und Ausgabe
- ↓ Überprüfen
- ↓ Dokumentieren

# Wellen-Layout

## Drehmoment übertragende Teile (meist fürs Groblayout noch nicht nötig)

An-, Abtrieb, Zahnrad auf Welle, ...

- Passfeder? (zur Eignung beachte RM Bild 12-1. Auch  $l/d$  beachten!)

Zahnwellen? (z.B. DIN 5480,  $l/d$  beachten!)

- zyl. Pressverband (Schrumpfsitz) ← *Empfehlung!*

höhere Sicherheit als bei Welle und Verzahnung erforderlich wegen z.B.  
Herstelltoleranzen, Reibwertunsicherheit, ...

Fliehkrafteinfluss beachten!

Fügetemperatur < Anlasstemperatur Einsatzstahl (Welle kühlen?)

Spannung außen am Außenteil?

(sollte hier bei Zahnrädern <  $100 \text{ N/mm}^2$  sein, Zahnfußsicherheit beachten!)

Berechnung mit MDESIGN, nicht mit Excel-File von RM!

Zuerst Vorauslegung, dann NACHrechnung (Ausdruck zur Abgabe: nur Nachrechnung!).

Ergebnis:  $T_{\text{übertragbar}} >! T_{\text{nenn}} \cdot \text{Sicherheit}$

„Sicherheit“ von Hand ausrechnen und nachweisen!

- Stirnflächen-Schraubverbindung z.B. RM Bsp.8.3

# Wellenauslegung - Ablauf

---

- ↓ Leistung – Drehmomente, Lastdaten der Zahnradstufen
- ↓ Wellenmindestdurchmesser, Wellengroblayout
- ↓ Welle-Nabe-Verbindungen WNV
- ↓ Lastdaten für die Wellennachrechnung
- ↓ Kräfteplan
- ↓ Programm Ein- und Ausgabe
- ↓ Überprüfen
- ↓ Dokumentieren

# Welle Nachweis

---

## Festigkeitsnachweis

Nachweis der **Sicherheit gegen Dauerbruch**  
(Ermüdungs- oder Schwingungsbruch)

Nachweis der **Sicherheit gegen Verformung**  
(Anriss oder Gewaltbruch)

# Wellenberechnung mit MDESIGN-Welle

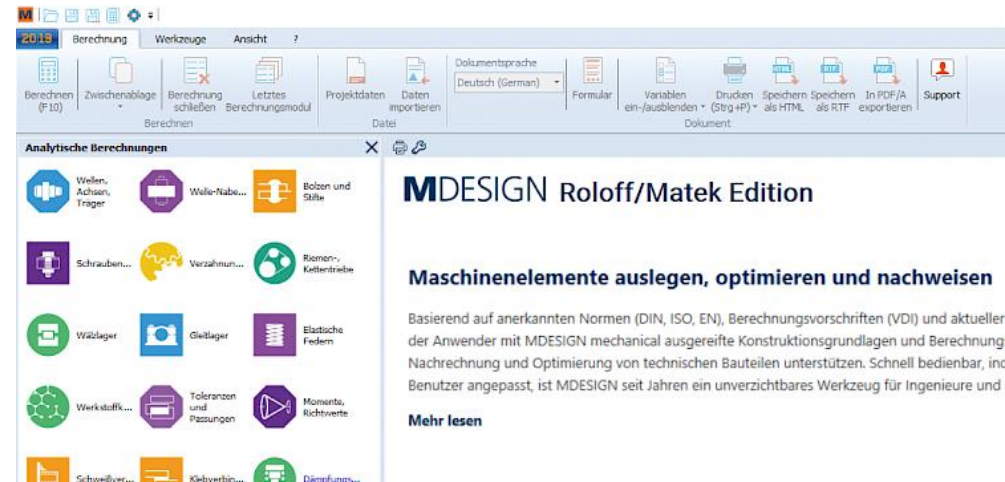
Zur Wellenberechnung ist die Vollversion oder die Studentenversion von MDESIGN nicht nötig.

Die Version *MDESIGN-Roloff/Matek Edition*

ist für Studenten kostenfrei und funktionseingeschränkt, aber hier ausreichend. Andere Programme zur Wellenberechnung nach DIN 743 sind auch möglich, werden aber nicht von uns betreut.

Die Studentenversion von MDesign

(s.o., im Rechenzentrum, oder gegen xx€ beim Hersteller, Sammelbestellung?)  
ist in einigen Features etwas komfortabler.



# Wellenberechnung mit MDESIGN-Welle

---

*Mdesign Roloff/Matek*

eingeschränkte Funktionalität bei Wellenberechnung,  
z.B. mögliche Zahl der Wellenabschnitte begrenzt,  
Hohlwelle nicht möglich.

Abhilfen:

- Verwendung von *Mdesign Student* im Rechenzentrum
- Sinnvolle Konstruktion, Vereinfachung der Wellengeometrie  
(nicht belastete Wellenabschnitte weglassen, Welle "aufteilen",  
Welle im Bereich hoher Sicherheiten gröber modellieren?)
- Hohlwelle wird später behandelt

# Wellenberechnung mit MDESIGN-Welle

in Anlehnung an DIN 743

## Programmeingaben

- ← Berechnungsumfang
- ← Wellenwerkstoff
- ← Wellengeometrie
- ← Position der Lager
- ← Belastungen (Kräfte und Momente)
- ← Sicherheiten

MDESIGN mechanical

↳ Wellen, Achsen, Träger

↳ Wellenberechnung Basis





# Belastung

## VERZÄHNUNGEN

Drehmoment wechselnd oder schwellend ?

Axialkraft wechselnd oder schwellend, Richtung ? → Überlegen, s. Angabe!

Anwendungsfaktor  $K_A = ?$  → s. Angabe

## WELLEN Dauerfestigkeit:

Die Wellenberechnung erfolgt mit einem Bezugsmoment,  
eine Verwendung von  $K_A$  ist im Programm nicht vorgesehen.

hier also:  $T_{Bez} = T_{nenn} \cdot K_A$  ebenso:  $F_{xx} = F_{verz.rechn.} \cdot K_A$  und  $P_{Bez} = P_{nenn} \cdot K_A!$

## statische Festigkeit:

hier vorgegeben:  $T_{max} = T_{nenn} \cdot 3$

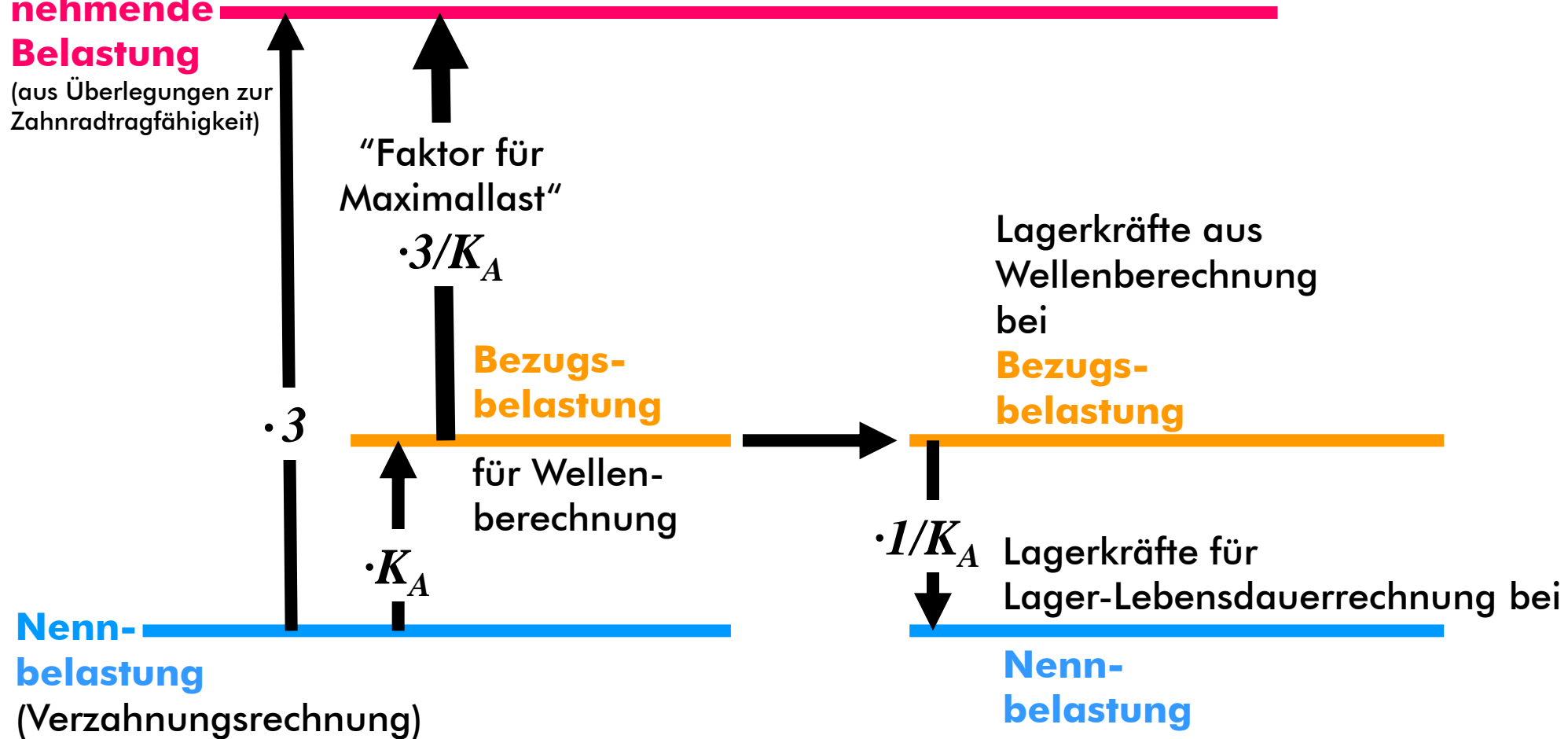
dem Wellenprogramm ist aber  $T_{nenn}$  nicht „bekannt“, also gilt für den Faktor  $f_{max} = T_{max} / T_{Bez}$

# Belastungen

## in Verzahnungs-, Wellen-, und Lagerrechnung

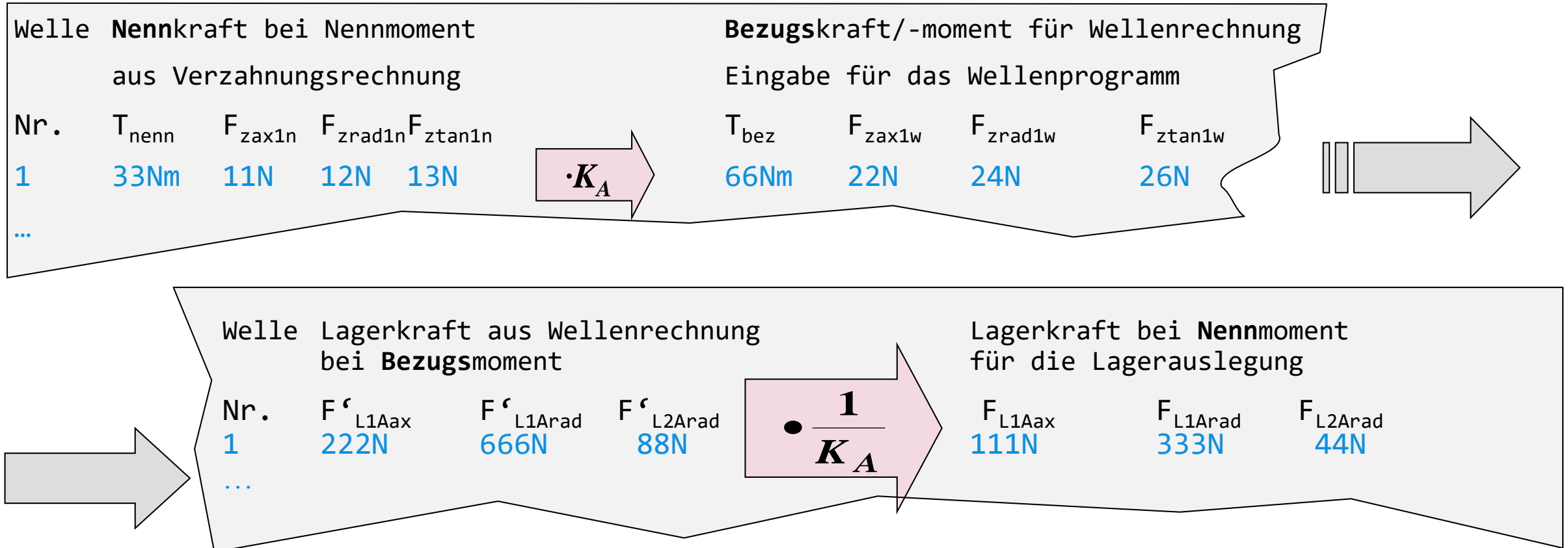
**Maximal anzunehmende Belastung**

(aus Überlegungen zur Zahnradtragfähigkeit)



# Belastungswerte für verschiedene Berechnungen übersichtlich Darstellen

Beispieltabelle für  $\kappa_A=2$ : (Achtung:  $\kappa_A$  Ihrer Aufgabe kann einen anderen Wert haben!)



# MDESIGN- Wellenberechnung

---

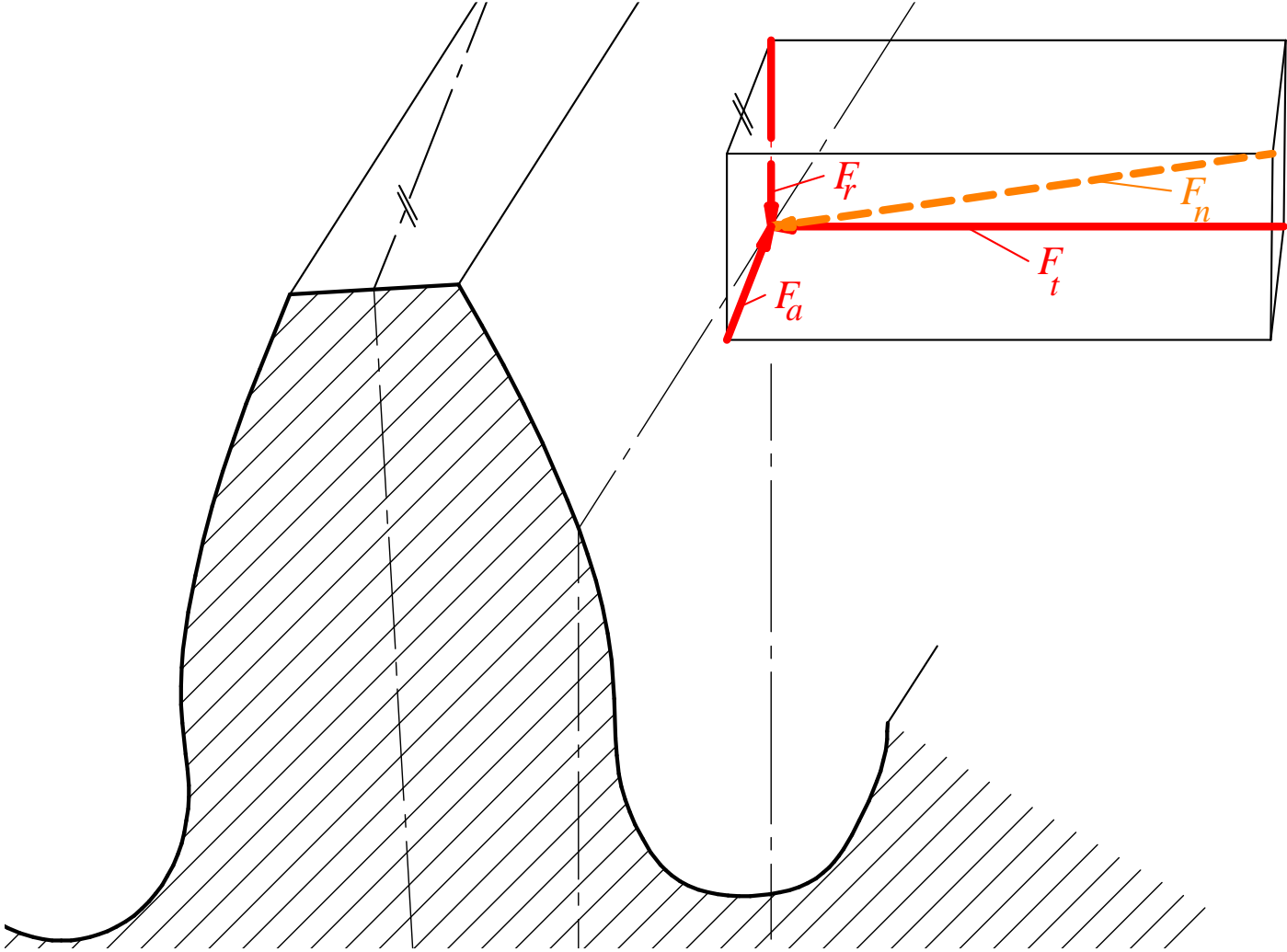
- Eingabe zu Beanspruchungsart:
  - Zug-Druck, Biegung, Torsion:  
schwellig, wechselnd, ...?  
Aus Angabe oder eigenen Überlegungen (aufschreiben?)
- Faktor für Maximallast: s.oben
- Wellenwerkstoff: lt. RM oder aus Konstruktion
- Wellengeometrie, Kerbform, Lager:  
Vorerst nach Groblayout
- Überlastungsfall nach RM Kap.3.5.2 Abs.2

# Wellenauslegung - Ablauf

---

- ↓ Leistung – Drehmomente, Lastdaten der Zahnradstufen
- ↓ Wellenmindestdurchmesser, Wellengroblayout
- ↓ Welle-Nabe-Verbindungen WNV
- ↓ Lastdaten für die Wellennachrechnung
- ↓ Kräfteplan
- ↓ Programm Ein- und Ausgabe
- ↓ Überprüfen
- ↓ Dokumentieren

# Verzahnungskräfte Schrägverzahnung

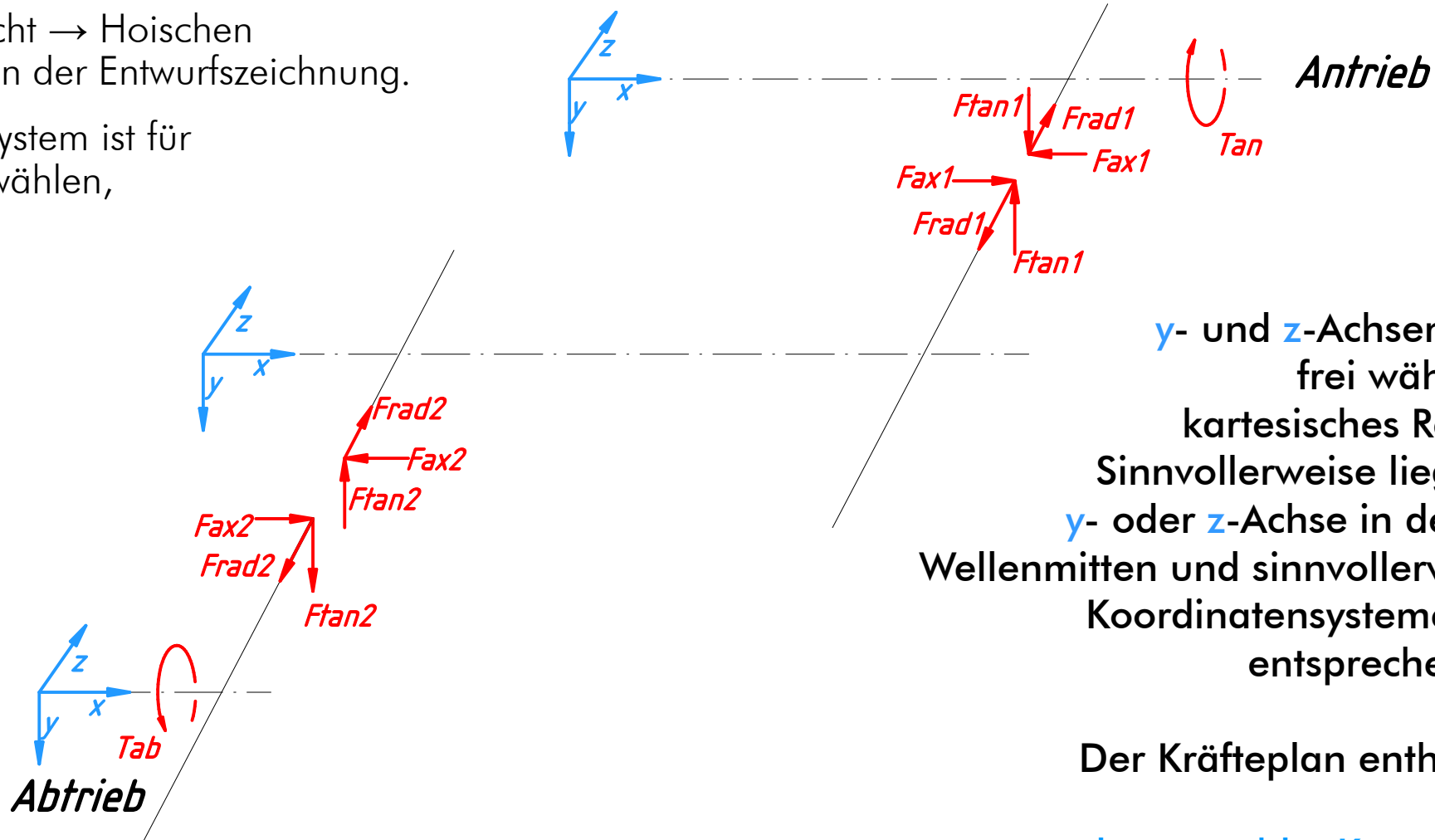


# Kräfteplan gesamt

(Beispiel, weicht evtl. von der aktuellen Aufgabe ab!)

Isometrische Ansicht → Hoischen  
Blickrichtung wie in der Entwurfszeichnung.

Das Koordinatensystem ist für  
jede Welle so zu wählen,  
dass die  
**x-Achse**  
jeweils  
in der  
Wellenmitte liegt.



y- und z-Achsenrichtung sind  
frei wählbar, aber als  
kartesisches Rechts-System.  
Sinnvollerweise liegen entweder  
y- oder z-Achse in der Ebene aller  
Wellenmitten und sinnvollerweise sind die  
Koordinatensysteme aller Wellen  
entsprechend orientiert.

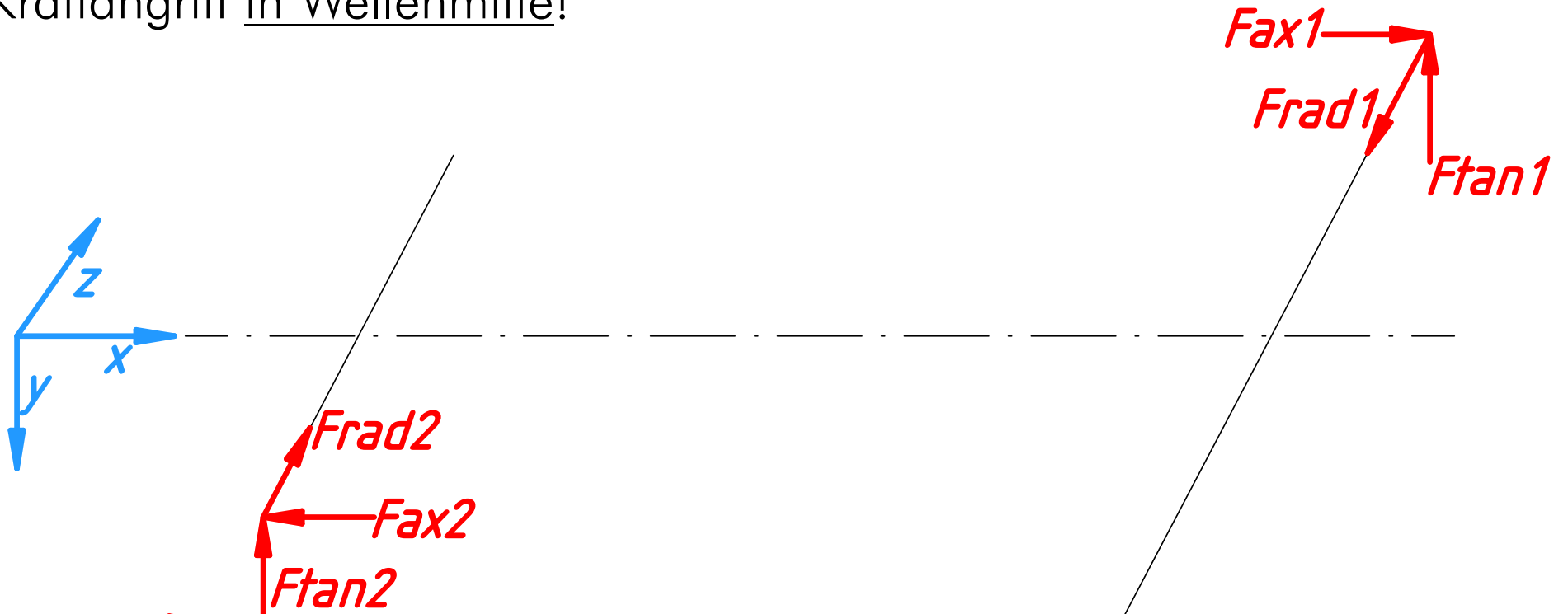
Der Kräfteplan enthält unbedingt

- alle Kräfte
- das gewählte Koordinatensystem

# Kräfteplan Zwischenwelle (Beispiel)

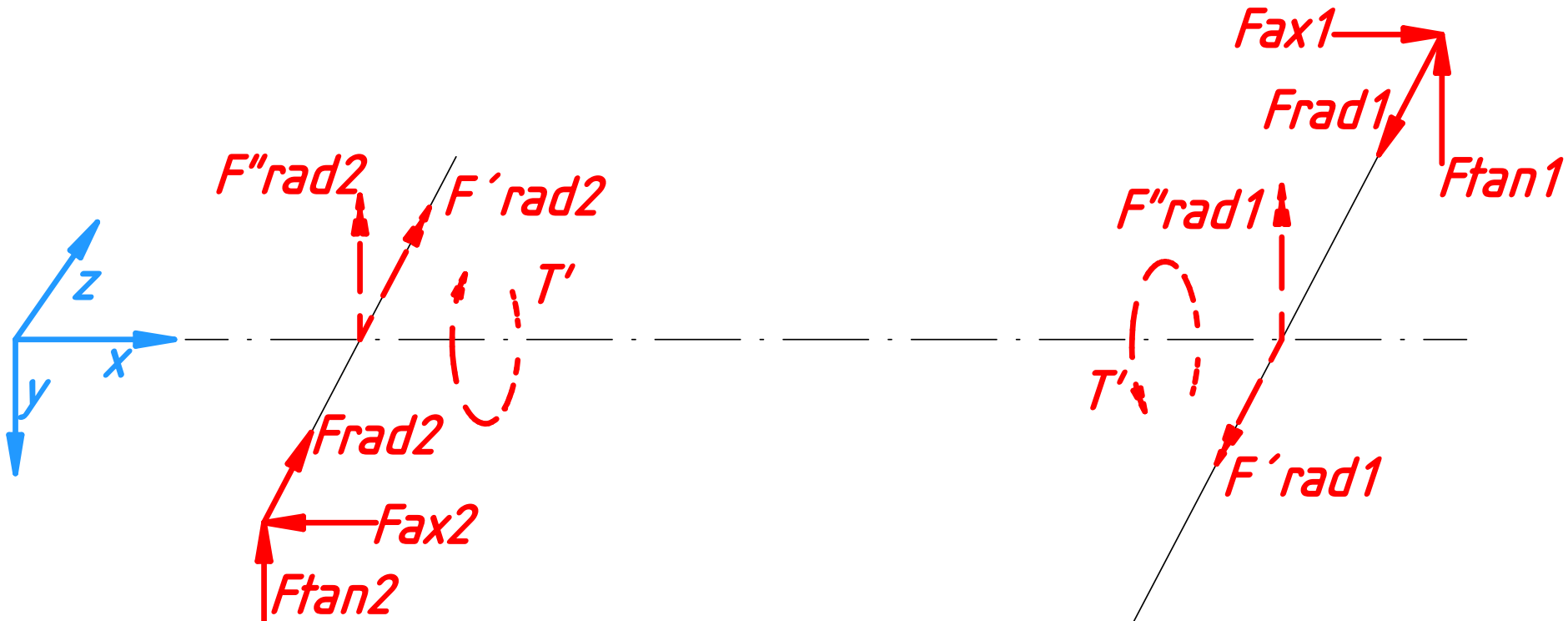
Verzahnung:  $F_{tan}$ ,  $F_{rad}$ ,  $F_{ax}$  am Verzahnungsdurchmesser,  
Kräfte von außen aufs Zahnrad

MDESIGN-Welle verarbeitet Kräfte senkrecht zur Wellendrehachse  
aber nur mit Kraftangriff in Wellenmitte!



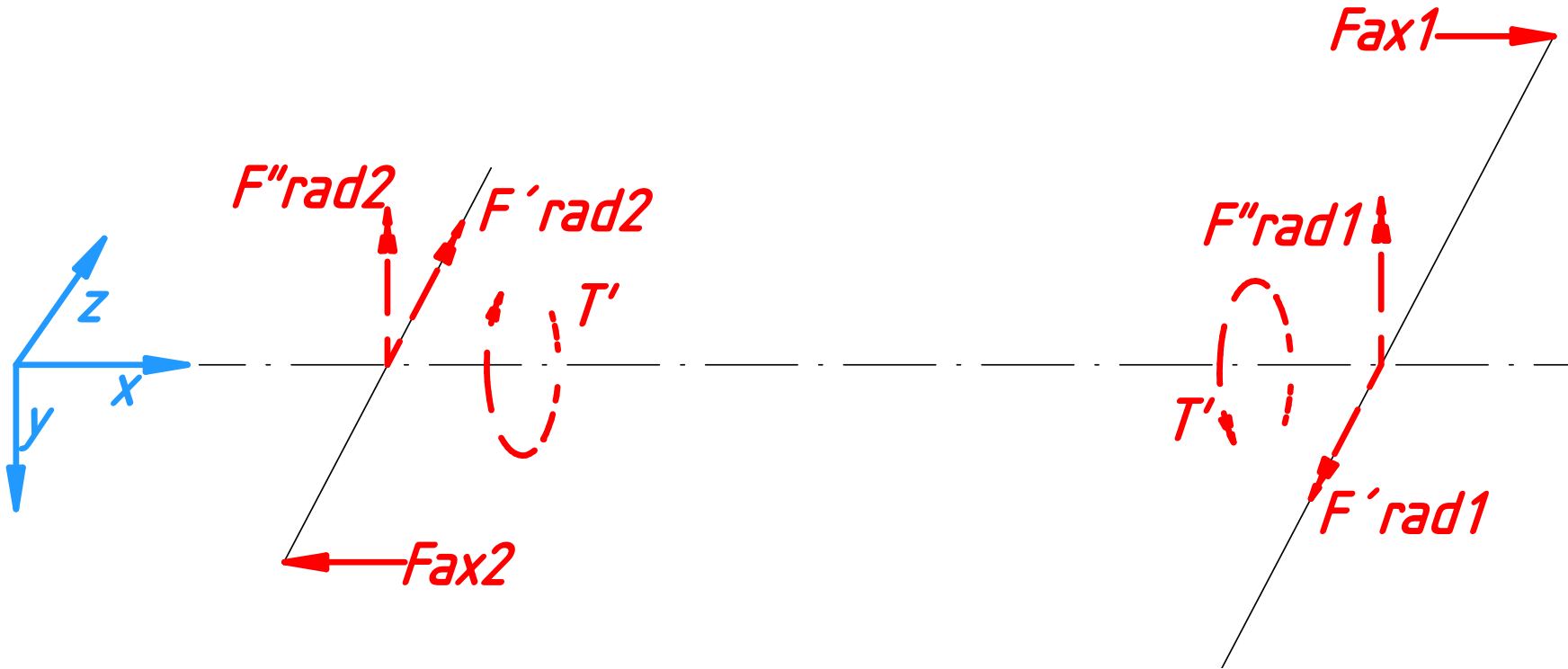


# Kräfteplan Zwischenwelle



$F_{rad1}$  wird entlang der Wirkungslinie verschoben zu  $F'_{rad1}$  .  
 $F_{tan1}$  muss ersetzt werden durch  $F''_{rad1}$  und Drehmoment  $T'$  !  
Ebenso die Kräfte in 2.

# Kräfteplan Zwischenwelle für MDESIGN



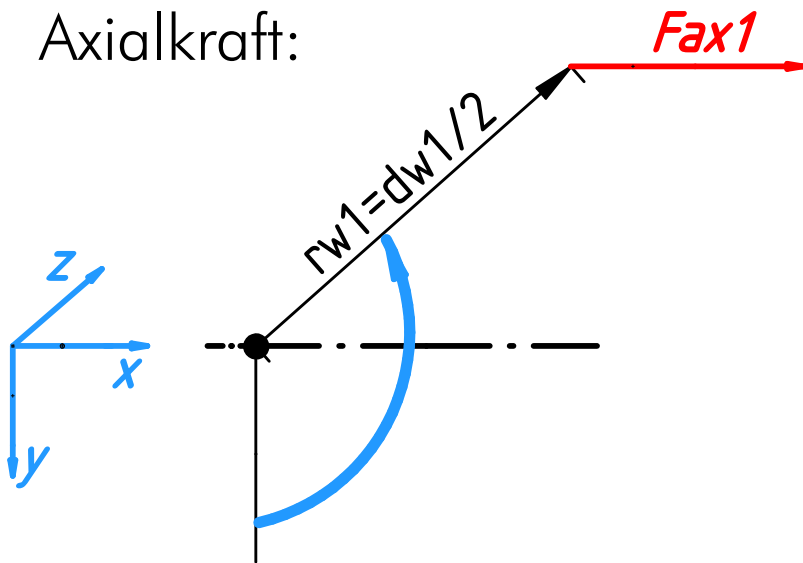
**Nur diese Kräfte und Momente werden  
nun für die Berechnung mit MDESIGN verwendet!**

# MDESIGN-Welle

## Angabe der Axialkraft im Raum

Im Programm ist ausgehend vom vorher gewählten Koordinatensystem für die Angabe der Kräfte im Raum ein strenges Schema vorgegeben.

Axialkraft:



„Drehe von Richtung **y**-Achse um die **x**-Achse in Richtung **z**-Achse bis zum Kraftangriff!“

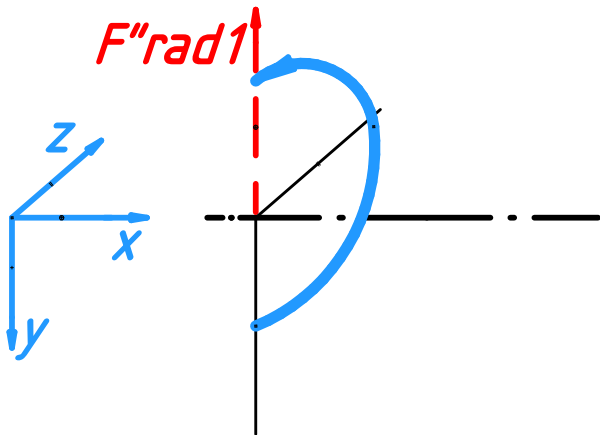
Hier im Beispiel:

**Fax1:** Betrag : positiv  
Radius: Wälzkreisradius  
Winkel  $\alpha$  :  $90^\circ$

# MDESIGN-Welle

## Angabe der Radialkrafttrichtung

Radialkräfte greifen immer in Wellenmitte an.  
Zahnradtangentialkräfte sind umzurechnen (s.oben).



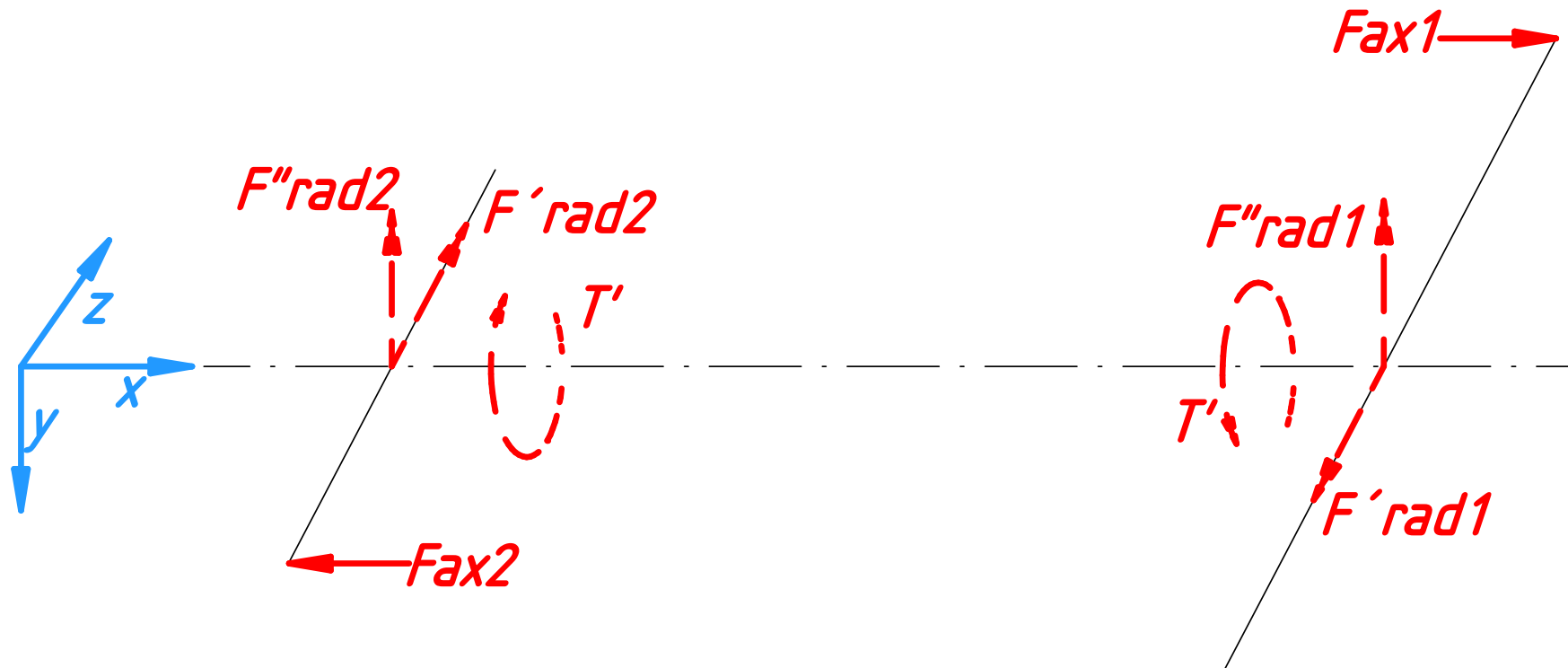
„Drehe von Richtung **y**-Achse  
um die **x**-Achse in Richtung  
**z**-Achse bis zum Kraftangriff!“

Hier im Beispiel:

**$F''_{rad1}$** : Betrag: positiv (von der Welle weg)

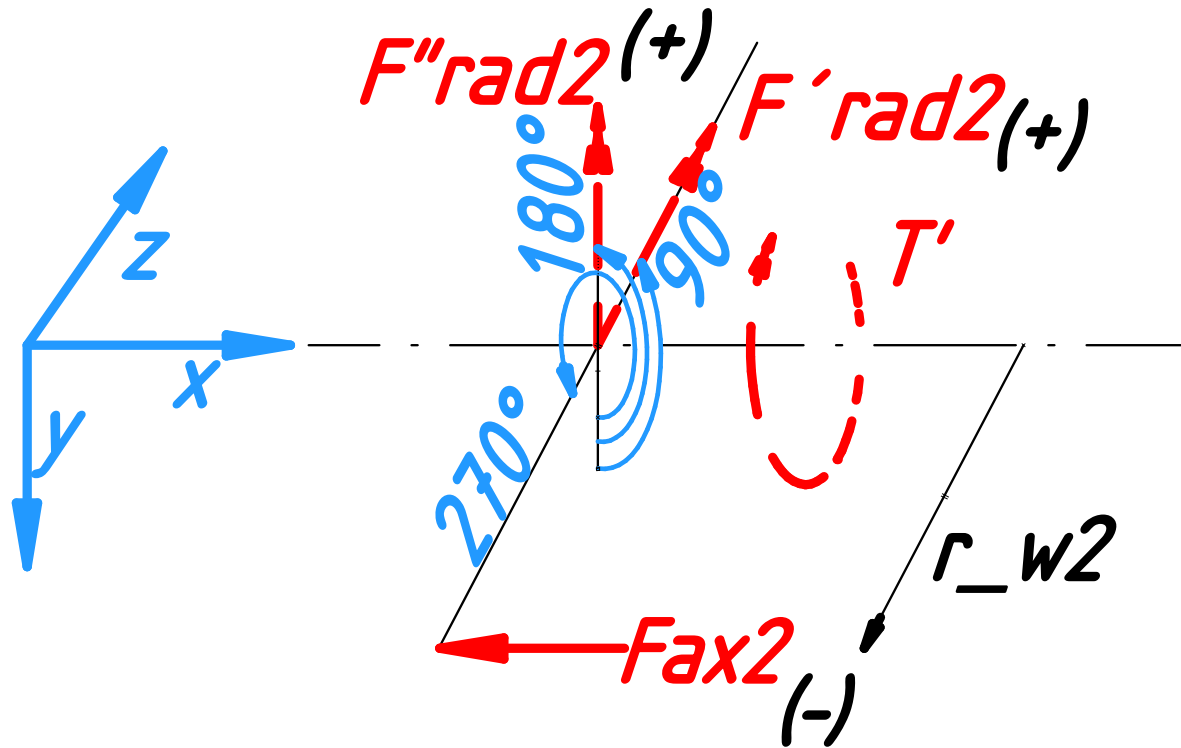
Winkel  $\alpha$ : **+180°**

# Beispiel Kräfteplan Zwischenwelle für MDESIGN



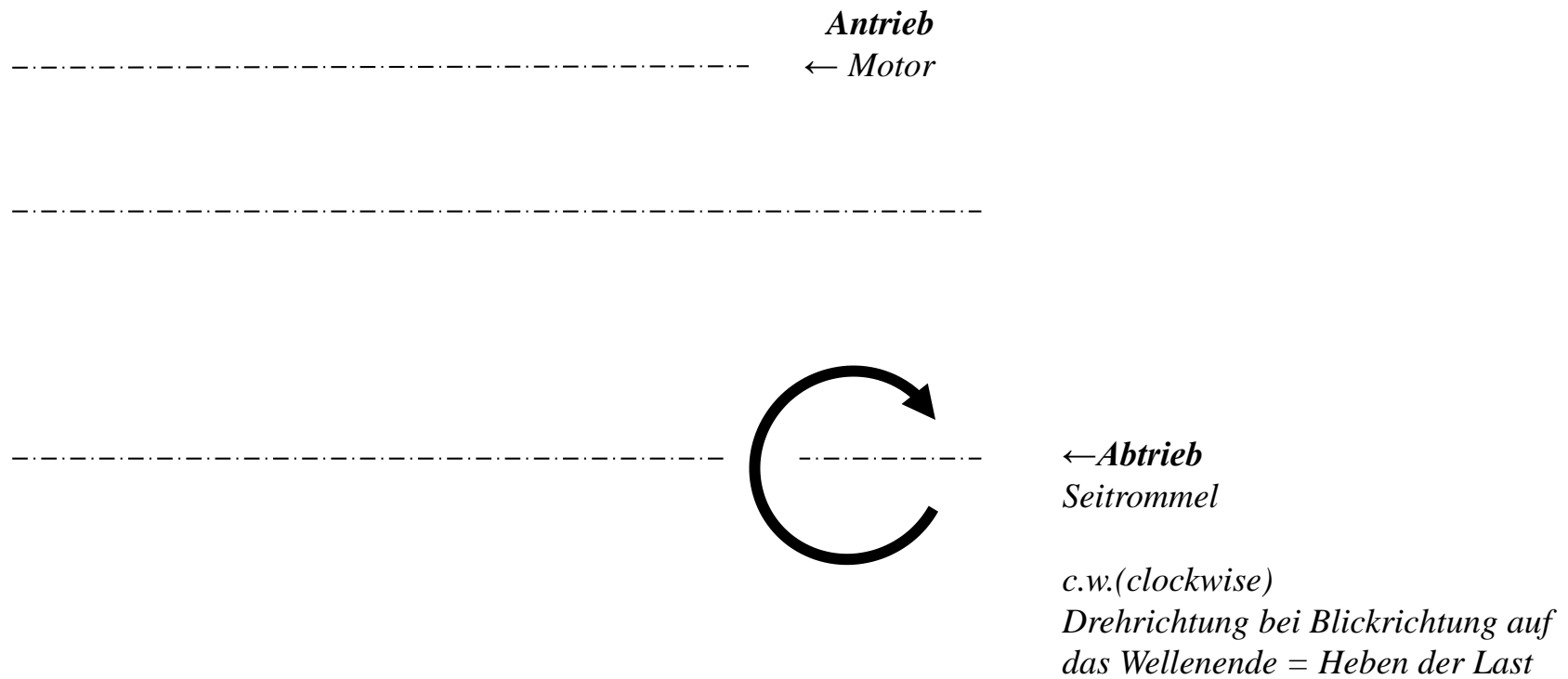
# Beispiel Kräfteplan für MDESIGN

## Zwischenwelle Zahneingriff2



# Drehrichtung Hubwerk für Kräfteplan

einheitlich zur leichteren Kontrolle



# Wellenauslegung - Ablauf

---

- ↓ Leistung – Drehmomente, Lastdaten der Zahnradstufen
- ↓ Wellenmindestdurchmesser, Wellengroblayout
- ↓ Welle-Nabe-Verbindungen WNV
- ↓ Lastdaten für die Wellennachrechnung
- ↓ Kräfteplan
- ↓ Programm Ein- und Ausgabe
- ↓ Überprüfen
- ↓ Dokumentieren



# MDESIGN- Wellenberechnung

---

- **F'rad** und **F''rad** nehmen Sie am besten immer positiv an, das erleichtert Ihnen und uns die Kontrolle
- Vergessen Sie nicht die Eingabe der Torsionsmomente nicht!
- Überlastungsfall (RM Kap. 3.5.2) ?
- Sicherheiten wählen Sie hier selbst und begründen diese schriftlich!  
(Schadensfolge, Entdeckungswahrscheinlichkeit, ...)  
z.B. nach RM

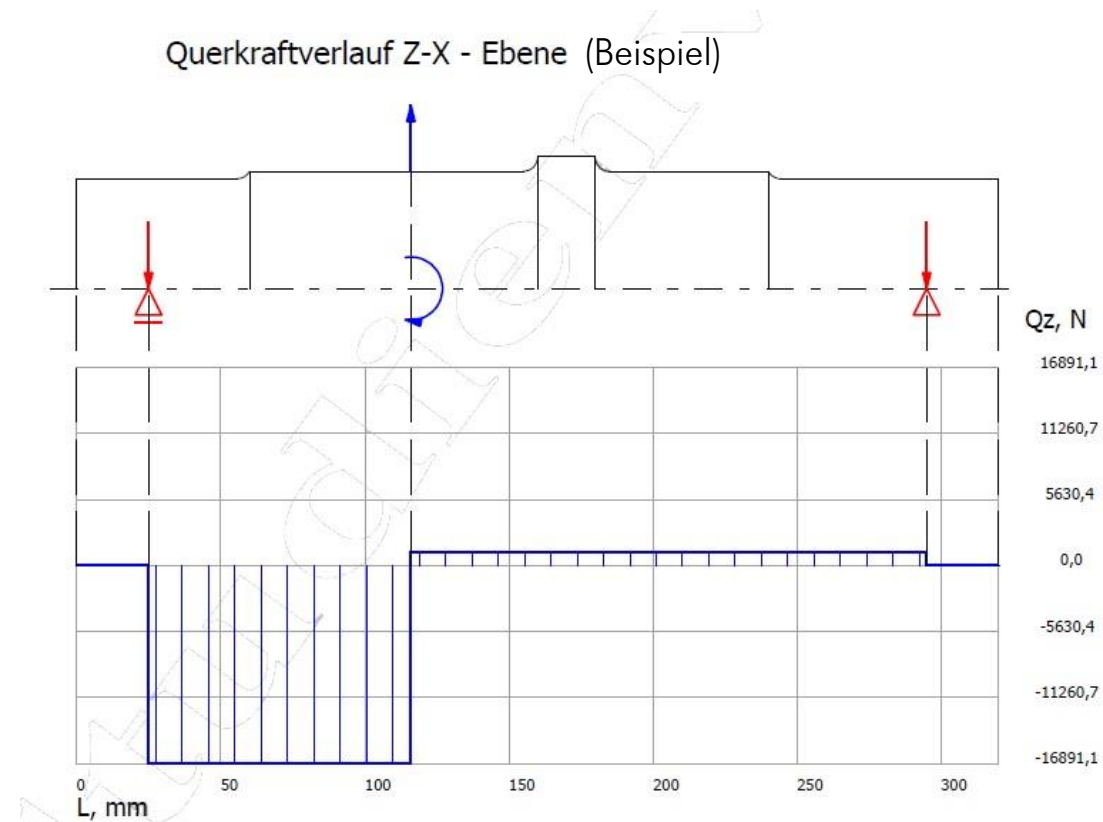
# Wellenauslegung - Ablauf

---

- ↓ Leistung – Drehmomente, Lastdaten der Zahnradstufen
- ↓ Wellenmindestdurchmesser, Wellengroblayout
- ↓ Welle-Nabe-Verbindungen WNV
- ↓ Lastdaten für die Wellennachrechnung
- ↓ Kräfteplan
- ↓ Programm Ein- und Ausgabe
- ↓ Überprüfen
- ↓ Dokumentieren

# Kontrolle der Eingabe

- Sind alle Eingabewerte vorhanden?
- Krafrichtungen in der 3D-Ansicht der Welle überprüfen
- Querkraftverlauf in x-y- und x-z-Richtung mit ausplotten und überprüfen!



# Kontrolle der Ergebnisse

---

- Plausibilität?
- Warnmeldungen?
- Sicherheit ausreichend?

## Abhilfe bei zu geringer Sicherheit

Kerbwirkung verringern  
Durchmesser vergrößern  
evtl. Werkstoff ändern

# Sicherheiten?

Auswahl schriftlich begründen!

(abhängig von Schadensfolge,  
Entdeckungswahrscheinlichkeit, ...)

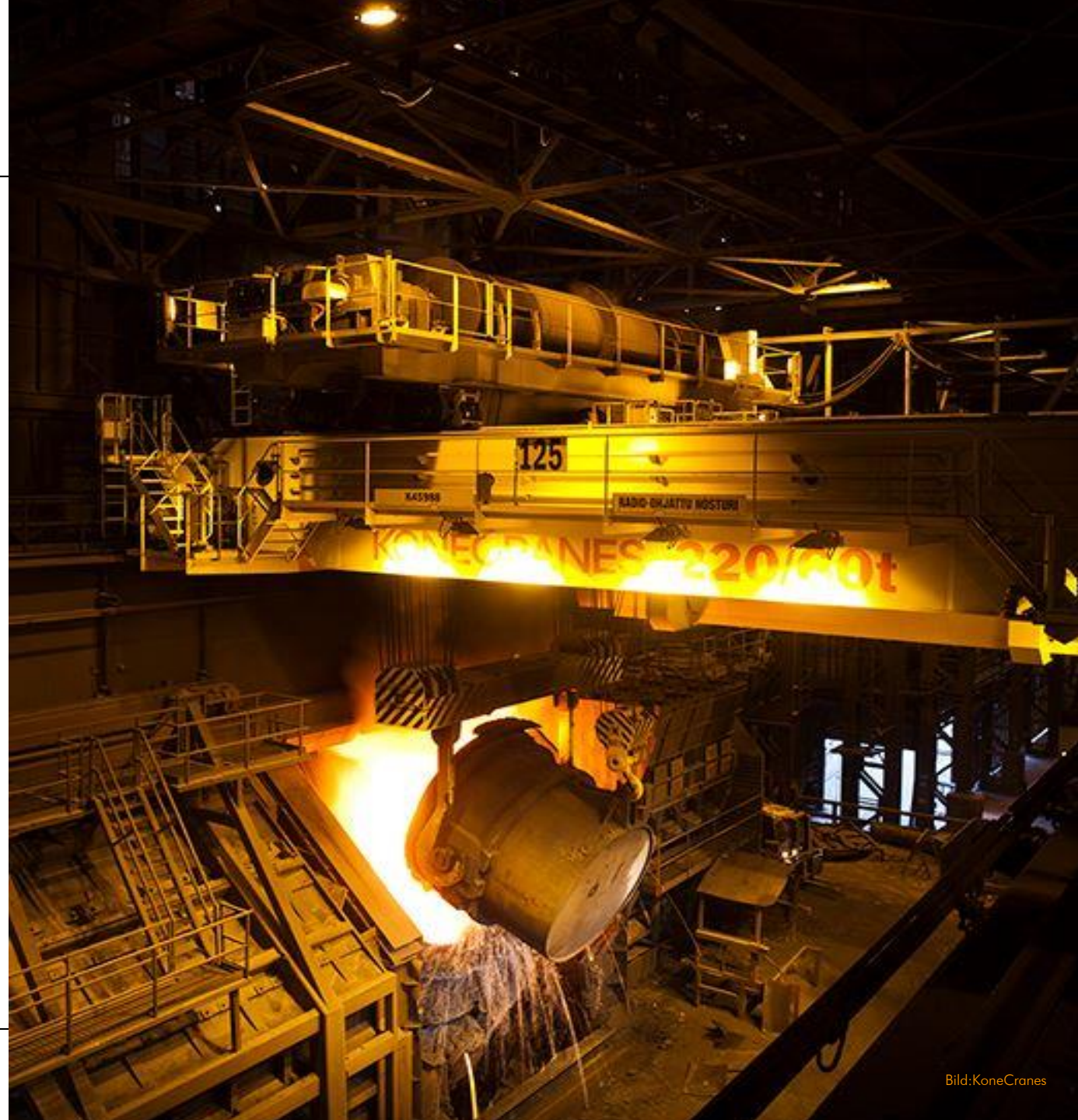
z.B. nach RM

**Sicherheiten dürfen Sie nie aufrunden!**

Beispiel:

$S_{\text{gefordert}} = 1,3$

$S_{\text{berechnet}} = 1,29$  ist also zu wenig!



# Sicherheiten zu groß?

---

Verzahnungssicherheit zu groß

⇒ Getriebekosten zu hoch:  
Verzahnung optimieren

Wälzlagerlebensdauer zu hoch

⇒ Lagerkosten zu hoch, evtl. Schadensrisiko:  
Lagerwahl verbessern

Wellensicherheit hoch








⇒ oft kaum Einfluss auf Getriebekosten:  
Welle so belassen

# Wellenauslegung - Ablauf

---

- ↓ Leistung – Drehmomente, Lastdaten der Zahnradstufen
- ↓ Wellenmindestdurchmesser, Wellengroblayout
- ↓ Welle-Nabe-Verbindungen WNV
- ↓ Lastdaten für die Wellennachrechnung
- ↓ Kräfteplan
- ↓ Programm Ein- und Ausgabe
- ↓ Überprüfen
- ↓ Dokumentieren

# EDV

-  Datei sinnvoll benennen
-  Projekteigenschaften ausfüllen?
-  Ausgabeumfang?
-  Backup
-  Berechnung zuhause und in Rechenzentrum kann unterschiedliche Ergebnisse liefern (→PDF?)
-  Ausgabedatei überprüfen!
-  Dateibenennung bei Abgabe wie in moodle angegeben!



# Abgabe zum Testat „Welle“

- s. Angabe
- Deckblatt mit Hauptdaten, Ergänzendes Hauptwerte mit eigener Rechnung (MathCadExpress, Open Calc, 123, Excel, Smath ...)  
z.B. Übersetzung, Vergleich mit Sollwert
- Wellenberechnung:  
(unwichtige Ausgabeseiten abwählen)  
wichtig sind aber: alle Eingabewerte  
Verläufe in x-y und x-z-Richtung und  
zusätzlich: Definition Koordinatensysteme, Kräfteplan; Kräftetabelle

## zum Testat „Welle“

- Zeichnung:
  - 3D-Gesamtansicht isometrisch
  - 2D-Gesamtansicht in Teilfugenebene (Abstand Zahnräder!)
  - Mittlere Welle detaillierter, andere Wellen grob,
  - keine Fertigungszeichnung mit Detailbemaßung.**
  - Zahnräder vereinfacht modellieren, normgerecht darstellen.  
(→ Hinweis zur vereinfachten Ersatzlösung)
  - Zeichnungsrahmen, Schriftfeld, ... nicht vergessen!
- Das CAD-Modell bauen Sie so auf, dass es Zug um Zug verfeinert werden kann.
- An- und Abtriebswelle vorerst nur als Zylinder, Mittelwelle genauer
- später: s. Hoischen, Kap. 13.1.3
- ⚠ Keine Fertigungszeichnung, keine Form- und Lagetoleranzen, keine Oberflächenangaben, keine Detailbemaßungen!
- ⚠ Nur was im Testat vorgelegt wird, kann geprüft werden!

## und wie geht es weiter?

---

- Vorbesprechung "Lager und Gehäuse"
- Testat Welle, Korrektur, Verbesserung
- Gestaltung der anderen Wellen
- Lagerauslegung → evtl. Welle anpassen
- Schrumpfverbindung Rad-Welle → evtl. Welle anpassen
- Testat Entwurf
- Gehäusegestaltung, weitere Teile