

9. Gestaltung von Zahnrädern und Ritzeln

- Die Zahnradgestaltung wird vorrangig durch folgenden Faktoren bestimmt:

- Baugröße, Stückzahl, Fertigungs- und Wärmebehandlungsverfahren.

Dabei unterscheidet man zwischen Zahnrädern, die:

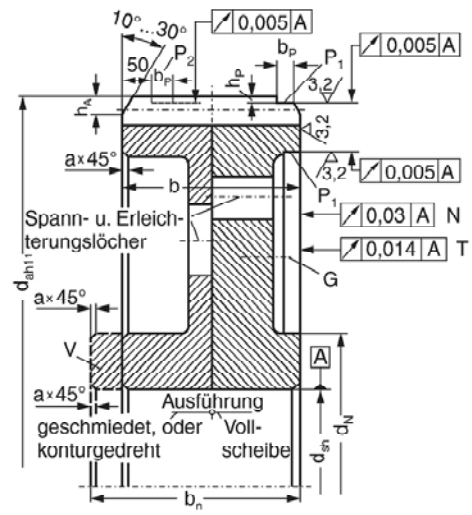
- geschmiedet, konturgedreht, geschweißt oder gegossen sind.

- Um die Werkstoffkosten zu reduzieren, werden vorgefertigte Zahnkränze oftmals auf Bandagen geschrumpft, geschweißt oder verschraubt.

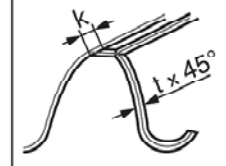
d_a in mm	b in mm	Herstellverfahren, Bauform, Stückzahlen
< 500	< 150	Ein-Scheiben-Räder und Ritzelwellen gesenkgeschmiedet, Serien, Fahrzeugbau
< 700	< 150	Ein-Scheiben-Räder und Ritzelwellen aus geschmiedetem Rundmaterial gedreht (wenn Schweißen und Freiformschmieden ausscheiden); Steg oder Vollscheibe, Einzelfertigung, Kleinserien
700 ... 1.200	> 150 $\leq 25 \cdot m$	Ein-Scheiben-Räder, freiformgeschmiedet (und bei kleinen Trägheitsmomenten konturgedreht); Einzelfertigung, Kleinserien
alle Abmessungen		Ein- oder Mehr-Scheiben-Räder, gegossen, GGL, GGG, GS, GTS für kleine Abmessungen, Mindeststückzahl 3, Serien
> 700	> 150	Geschrumpfte Zahnkränze, Einzelfertigung
> 1.000	> 150	Geschraubte Zahnkränze, Einzelfertigung

Gesichtspunkte zur Wahl der Radkörper-Bauform

Gestaltung von Zahnrädern und Ritzeln



Schutz gegen Transportschäden:
 Stirnkantenbruch:
 $k \approx 0,2 + 0,045 \cdot m$
 Kopfkantenbruch: $t \approx 3 \cdot k$
 Kantenabrundung mit Radius $\approx k$
 bzw. t bei höchsten Anforderungen
 und nitrierten Verzahnungen



Zur Entlastung der Zahnenden:
 bei $b > 10 \cdot m$ $h_a \approx m$
 bei $b < 10 \cdot m$ $h_a \approx 1 + 0,1 \cdot m$

Planlaufabweichung:
 N bei $v_t < 25 \text{ m/s}$
 T bei $v_t > 25 \text{ m/s}$

P_1 und P_2 : Richtflächen (innen oder außen) für Zahnräder, die nicht auf Welle oder Spanndorn verzahnt werden können: ab $d_a \approx 700 \text{ mm}$: $h_p \approx 0,1 \text{ mm}$; $b_p \approx 10 \text{ mm}$; Richtfläche P_2 nur bei $b > 500 \text{ mm}$

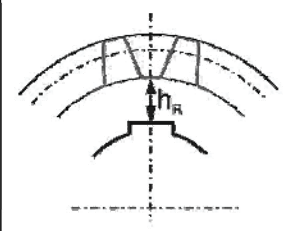
Transport-, Spann- und Erleichterungslöcher n abhängig vom Durchmesser d_a in mm:		Für $d_a < 300$ wird durch die Bohrung gespannt: $n = 0$. Keine Löcher bei Schnelllaufgetrieben	
$300 < d_a < 500$	$n = 4$	$500 < d_a < 1.500$	$n = 5$
$1.500 < d_a < 3.000$	$n = 6$	$d_a > 300$	$n = 8$

Bei Vollscheibenrädern schwerer als 15 kg sind Gewindesacklöcher G zum Transport vorzusehen.

Nabendurchmesser: $d_N = (1,2 \dots 1,6) \cdot d_{sh}$
 Nabenbreite: $b_n > d_{sh}$ und $b_n > d_a / 6$
 Kantenbruch: $\alpha \approx 0,5 + 0,01 \cdot d_{sh}$

Bei Schrägverzahnung ist Kippen durch Aufhebung des Spiels oder Klaffen des Schrumpfsitzes zu prüfen.
 Spaltmasse bei Doppelschrägverzahnungen

Restnabendicke:
 Ungehärtet oder nitriert: $h_R > 2,5 \cdot m$
 Einsatz-, Flamm- oder Induktions-, Flanken- oder Lückenhärtung: $h_R > 3,5 \cdot m$
 Flamm- oder Induktions-Umlaufhärtung: $h_R > 6 \cdot m$ (Lage der Passfeder und Schrumpfspannung beachten)
 Bei Oberflächenhärtung angeben, welche Bereiche weich bleiben müssen (z. B. für Bohrungen, Gewindelöcher)



Allgemeine Radkörperabmessungen

Geschmiedete und konturgedrehte Räder

- Konstruktive Merkmale:

- für kleine und mittlere Abmessungen
- Vollräder oder konturgedrehte Scheibenräder in geschmiedeter Ausführung
- dicker Zahnkranz und Steg → geringer Verzug beim Einsatzhärten
→ niedrige Nachbearbeitungskosten
- Steg mittig anordnen
- vorstehende Naben vermeiden → einfaches Planschleifen

Gestaltung von Zahnrädern und Ritzeln

	<p>Normalform aus geschmiedetem Rundstahl; kostengünstig für ungehärtete und gehärtete Zahnräder, da geringes Zerspanvolumen und wenig Härteverzug; seitliche Ausdrehung wegen eindeutiger Auflage auf Planscheibe nur bei $(d_J - d_N) > 25 \text{ mm}$ (beidseitig bei Scheibenrädern)</p> <hr/> $d_N = (1,2 \dots 1,6) \cdot d_{sh}$ $d_M \approx 0,55 \cdot (d_N + d_J)$ $d_H \approx d_A / 20 \geq 30 \text{ mm}$ $h_J \geq 3 \cdot m$ $b_a = 0,5 + 0,1 \cdot m \text{ (max. 2 mm)}$ <p>Randabstand zwischen Löchern $> 0,8 \cdot d_H$</p>
	<p>Leichtbau-Ausführung, kleines Massenträgheitsmoment (z.B. für Luft- und Raumfahrt), einsatzgehärtet</p> <hr/> $d_N = (1,2 \dots 1,6) \cdot d_{sh}$ $d_M \approx 0,55 \cdot (d_N + d_J)$ $d_H = (0,1 \dots 0,2) \cdot d_a$ $h_J \approx 2 \cdot m$ $h_H > 2 \cdot r_s$ $r_s \approx t$ $b_S = 1,5 \cdot m + 0,1 \cdot b$ <p>Randabstand zwischen Löchern $> 0,8 \cdot d_H$</p>
	<p>Gesenk- oder freiformgeschmiedet</p> <hr/> $d_N = (1,2 \dots 1,6) \cdot d_{sh}$ $d_M \approx 0,55 \cdot (d_N + d_J)$ $d_H \approx d_A / 20 \geq 30 \text{ mm}$ $h_J \approx h_R$ $r_s = (0,5 \dots 1,3) \cdot b_s$ $b_S = 2 \cdot m + 0,15 \cdot b \text{ (mindestens 15 mm)}$ $\delta = 3 \dots 20^\circ \text{ je nach Gesenktiefe}$ <p>Randabstand zwischen Löchern $> 0,8 \cdot d_H$</p> <p style="text-align: center;">Gedrehte oder geschmiedete und gedrehte Radkörper</p>

Geschweißte Räder

- Konstruktive Merkmale:

- für große Abmessungen
- zusätzliche Arbeitsschritte Glühbehandlung, Nahtkontrolle

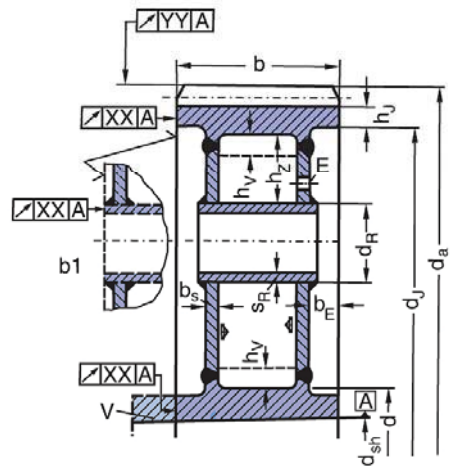
Einscheibenrad: $b_S \approx 0,012 \cdot d_a + (5 \dots 10 \text{ mm})$ je nach Schwere des Betriebes evtl. dicker, wenn genaue Herstellung (Spannen) erschwert

	<ul style="list-style-type: none"> - ohne seitliche Rippen, wenn $b < 10^\circ$, mit seitlichen Rippen allgemein, wenn $b > 10^\circ$ - Anzahl der Rippen bei $10^\circ < b < 20^\circ$ = Anzahl der Löcher, bei $b > 20^\circ$ = doppelter Anzahl der Löcher
$d_N = (1,2 \dots 1,6) \cdot d_{sh}$ $d_M \approx 0,55 \cdot (d_N + d_f)$ $d_H = (0,1 \dots 0,2) \cdot d_a$	Dicke der seitlichen Rippen: $0,6 \cdot b_S$ $b_B \approx 0,15 \cdot b_S$ $r_S = 1,5 \cdot b_S$ (mindestens 10 mm) $h_J = h_R$ mit h_R

Schweißausführung von Großrädern (Teil 1)

Gestaltung von Zahnrädern und Ritzeln

Zwei-Scheiben-Rad, Ausführung für $d_a < 2.000$ mm ,
 Form b1 bei vor- oder zurückstehender Nabe (gestrichelt); dann Auflage zum Verzahnen auf Radkranz und Rohr:
 $b_s \approx 0,008 \cdot d_a + (5 \dots 10 \text{ mm})$ je nach Schwere des Betriebes:

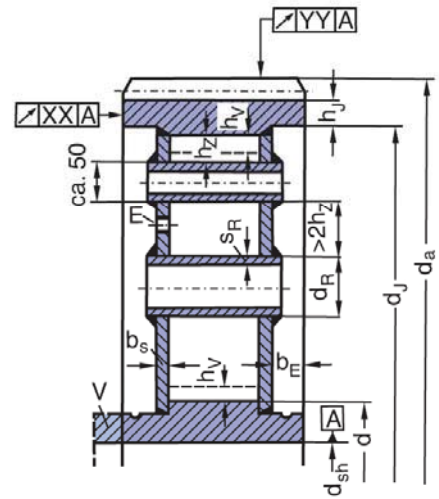


- Versteifungsrippen zwischen den Rohren ca. $0,8 \cdot b_s$ dick
- $s_R = (0,3 \dots 0,5) \cdot b_s$ für kleine bis große Rohrdurchmesser
- r_s und Anzahl der Rippen
- Entlüftungsloch E ca. $\varnothing 6$ mm, nach Spannungsarmglühen zuschweißen oder mit Schraube verschließen

$h_z > 40$ mm
 $h_v \approx 2 \cdot b_s$

$b_E \approx b / 7$
 $d_R = (0,12 \dots 0,20) \cdot (d_j - d_N)$,
 mindestens 50 mm

Zwei-Scheiben-Rad, Ausführung für $d_a > 2.000$ mm



- kleineres Rohr nahe Zahnkranz zum Durchlass der Spannschraube
- $h_z > 40$ mm (so klein wie möglich)
- größeres Rohr zum Durchlass des Spannpilzes
- alle weiteren Maße gemäß b)
- Drei-Scheiben-Räder ab ca. $b \approx 1.500$ mm (Sonderkonstruktion)

Schweißausführung von Großrädern (Teil 2)

Gestaltung von Zahnradern und Ritzeln

Doppelkerben
→ hohe Kerbwirkung

duktiler

Geringe Kerbwirkung

<p>a)</p>	<p>b)</p>	<p>c)</p>	<p>d)</p>
<p>a) und b): Bei gut schweißbarem Bandagenwerkstoff, niedrigen Beanspruchungen und geringem Schadensrisiko; bei b) 5 mm Bandagendicke gespart. Achtung: nicht geeignet bei hohen Sicherheitsanforderungen. Schweißen beschränkt durch maximale Vorwärmtemperatur von 350 ... 400 °C</p> <p>c) mit Zwischenwerkstoff zum Verschweißen höher kohlenstoffhaltiger oder höher legierter, hochfester Bandagenwerkstoffe (z.B. C 35, C 45, 34 CrMo 4, 42 CrMo 4, 36 CrNiMo 8)</p> <p>d) Geringe Kerbwirkung, gut schweißbar und prüfbar (Röntgendurchstrahlung), aber teurer als a) bis c)</p>			

Gestaltung des Steganschlusses

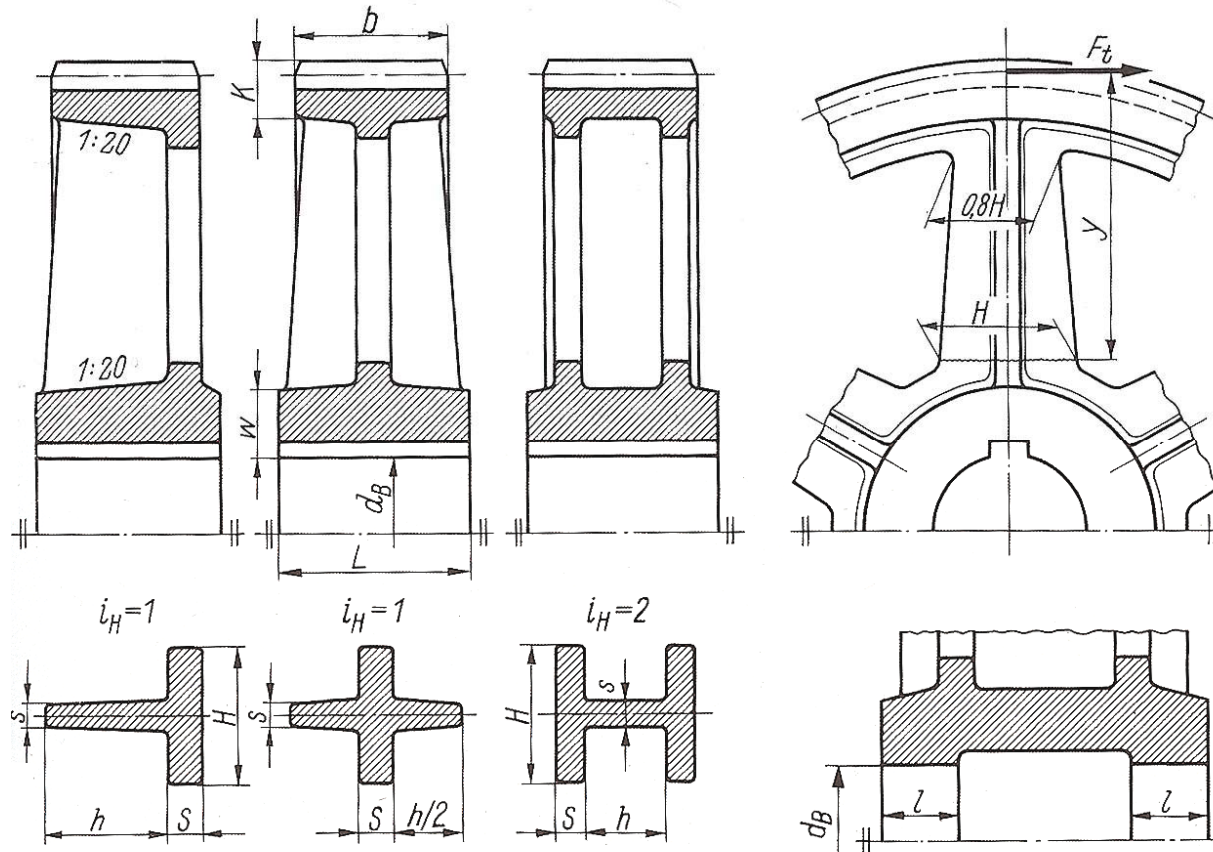
c und d für höher beanspruchte Räder

Gegossene Räder

aus Gusseisen mit Lamellen- (GJL) oder Kugelgraphit (GJS)

- Konstruktive Merkmale:

- große Abmaße (bis \varnothing 10 m)
- komplizierte Radkörpergeometrien (mit Nocken, Klauen)
- oder für niedrige Beanspruchungen
- konische Nabe für konische Schrumpfringe (Reibschluss)
- Auszugsschrägen
- bei $d_a > 2.000mm$
 $b > 600mm$ geteilte Ringe
- große Stückzahlen (wegen Modellkosten)



$$\sigma_b = \frac{4 * F_t * y}{Z * W_b}$$

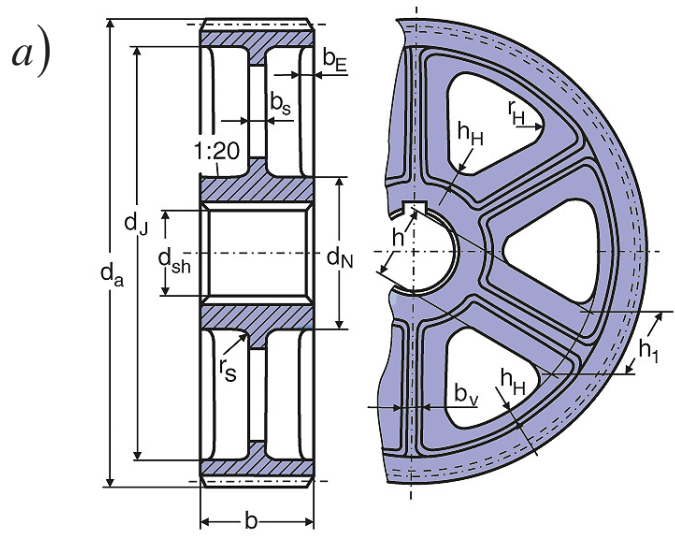
$$W_b = i_H * S * H^2 / 6$$

i_H ... Anzahl der Hauptrippen (bezogen auf Zahnradbreite)

Z ... Anzahl der Arme (bezogen auf Umfang)

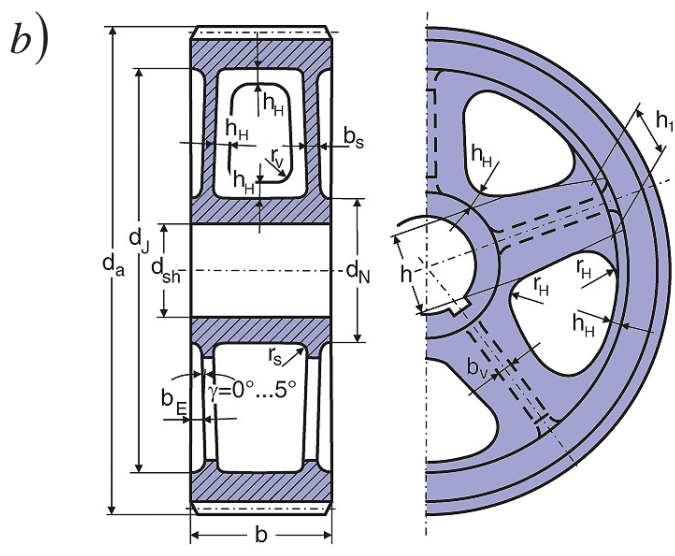
Gussauführung von Großrädern (Teil1)

Gestaltung von Zahnrädern und Ritzeln



Ein-Scheiben-Räder für etwa $d_a < 1.000$ mm
 – Anzahl der Arme entsprechend der Anzahl der Bohrungen nach Abbildung 18.123
 – Gusschrägen 1 : 10 ... 1 : 20 (Nabe, Zahnkranz)

$b < 200$ mm $m < 25$ $d_N = 1,6 \cdot d_{sh}$ $d_J = d_a - 10 \cdot m$ $h_H = (0,15 \dots 0,2) \cdot d_{sh}$ $h = (0,8 \dots 1,0) \cdot d_{sh}$	$h_1 = (0,7 \dots 0,8) \cdot h$ $b_E \approx (0,15 \dots 0,2) \cdot h$ $b_S = (0,15 \dots 0,2) \cdot b$ $b_V = (0,7 \dots 0,8) \cdot b_S$ $r_s > 10$ mm $r_h > 0,4 \cdot h$
---	--



Zwei-Scheiben-Räder für etwa $d_a > 1.000$ mm
 weitere Abmessungen entsprechend a)

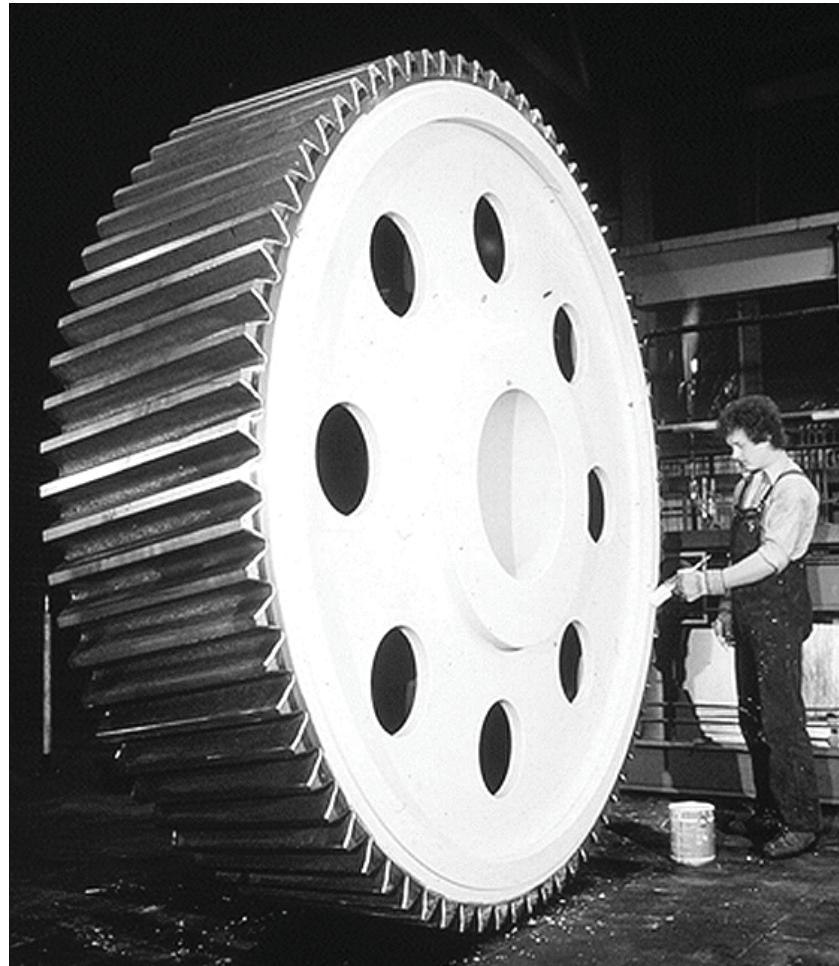
$b > 200$ mm $m < 25$ $d_N = 1,6 \cdot d_{sh}$ $d_J = d_a - 10 \cdot m$ $h_H = (0,1 \dots 0,18) \cdot d_{sh}$ $h = (0,8 \dots 1,0) \cdot d_{sh}$	$h_1 = (0,7 \dots 0,8) \cdot h$ $b_E \approx (0,15 \dots 0,2) \cdot h$ $b_S = (0,12 \dots 0,15) \cdot b$ $b_V = (0,7 \dots 0,8) \cdot b_S$ $r_V \approx r_s > 10$ mm $r_h > 0,4 \cdot h$
---	---

Gussauführung von Großrädern (Teil2)

Aufgeschrumpfte Zahnkranzbandagen

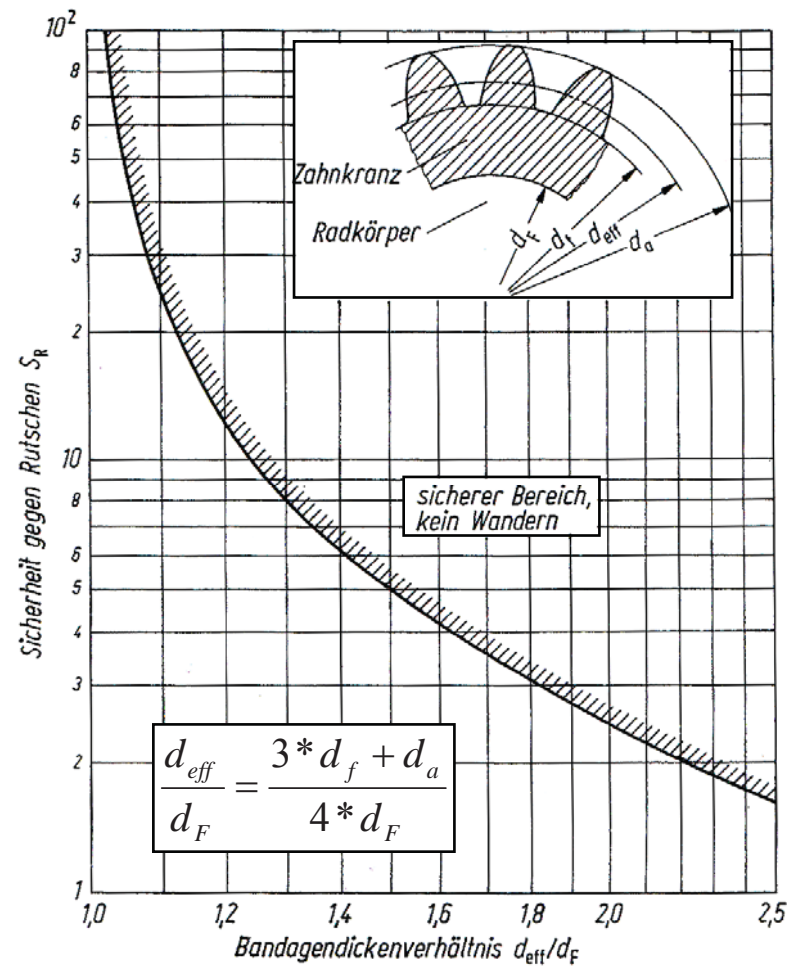
- Konstruktive Merkmale:

- Zahnkränze in der Regel hochfest $R_{m,max} = 1.300 N / mm^2$ und schwer schweißbar
- Radkörper entweder gegossen und geschweißt
- Reibschluss zwischen Kranz und Radkörper $U = 0,8...1,5\%$ → glatte Fügeflächen
 $\sigma_V = (0,4...0,8) * \sigma_S$
- Kranzdicke bei Gusskonstruktion: $s_R = 5...8 * m$
Kranzdicke bei Schweißkonstruktion: $s_R = 3...5 * m$
- bei geschweißten Radkörper kann Kranz aus gebogenem Flachstahl bestehen
- Herstellung: Radnabe, Vorverzahnung der Bandage, Aufschrupfen, Endverzahnung, Wärmebehandlung
→ Achtung: Radkranz kann zwischen Stegen einsinken!



Schrägverzahn­tes Stirnrad mit
aufgeschweißter Bandage

Gestaltung von Zahnrädern und Ritzeln



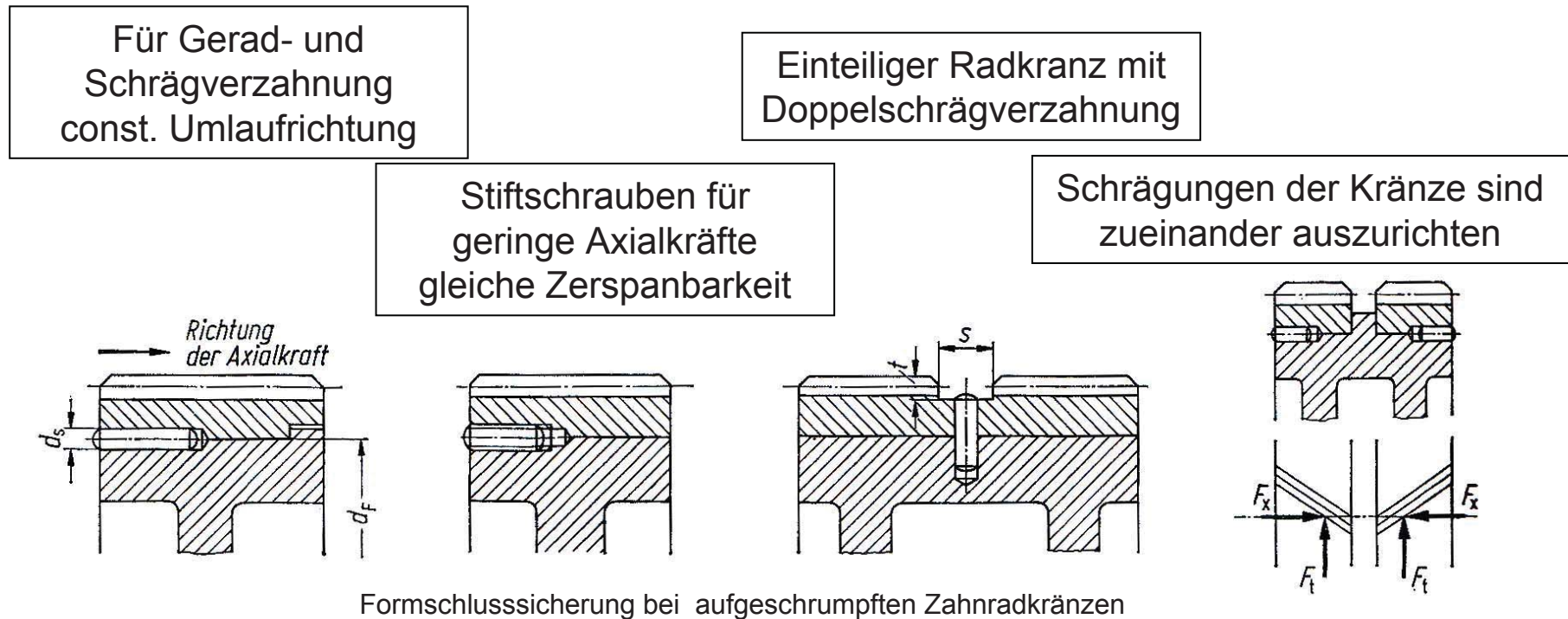
d_F ... Fugendurchmesser

$$S_R = \frac{p * b * d_f^2 * \mu * \pi}{2 * M_t}$$

Rutschsicherheit aufgeschumpfter Zahnradbandagen

Gestaltung von Zahnrädern und Ritzeln

- Es gibt die Möglichkeit für reibschlüssige Verbindungen im kritischen Bereich, Formschlusssicherungen zu verwenden.



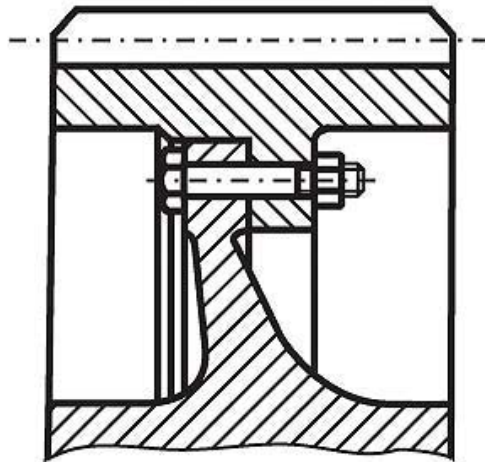
Vorsicht vor Kombination Reib- (hohe Kräfte) und Formschluss (hohe Spannungen)

Geschraubte Zahnkranzbandagen

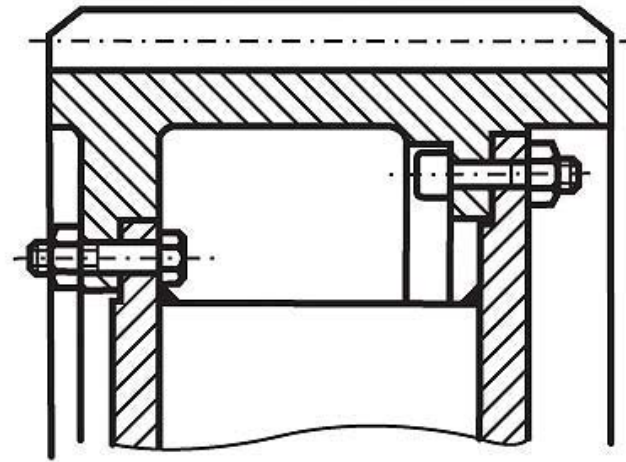
- Da Schrumpfspannungen zu einer Verringerung der Zahnfußtragfähigkeit führen können oder aber sich das Schweißen als schwierig erweist, können die Bandagen auch verschraubt werden. Dabei stellen sich folgende konstruktive Merkmale ein:

- fertigungsintensiv
- sehr sicher
- Fugen dämpfen Körperschalleitung
- unabhängig von Wärmebehandlung
- Verzahnungsschleifen vor oder nach Verschraubung

$b < 500 \text{ mm}$



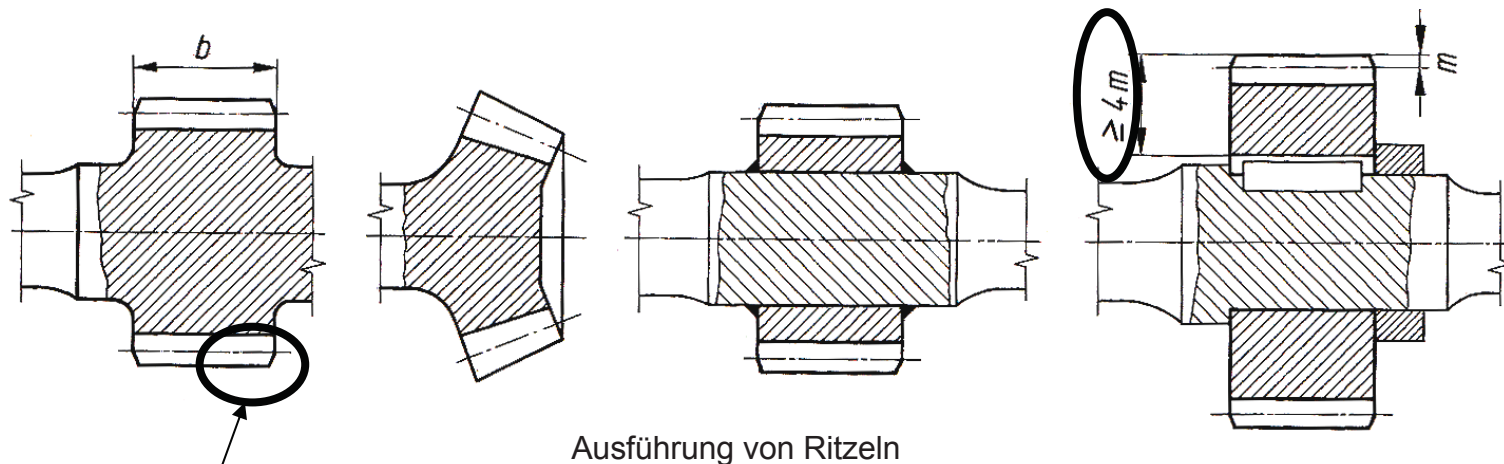
$b > 500 \text{ mm}$



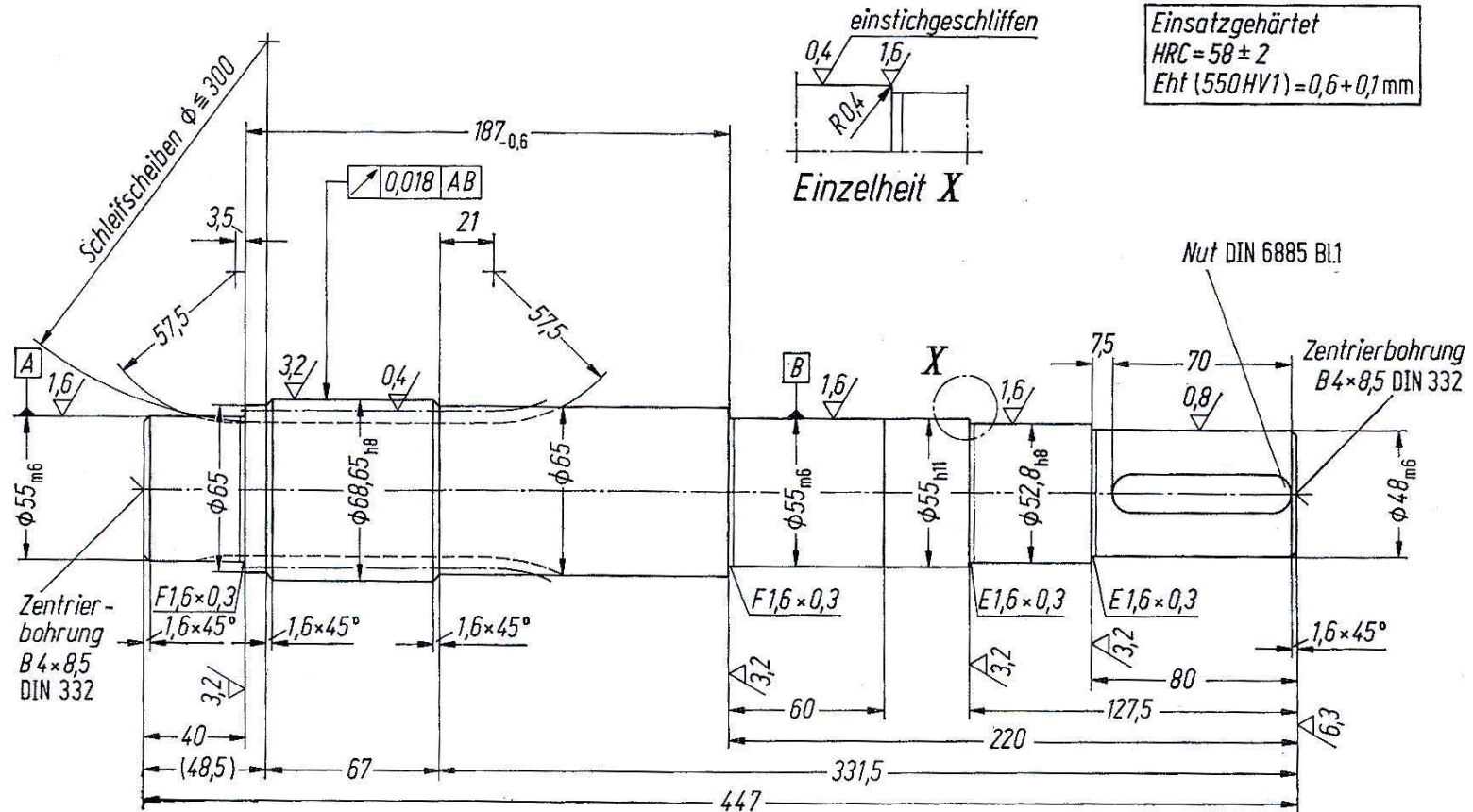
Gestaltung geschraubter Räder

Ritzel

- Ritzel werden meistens aus einem festeren Werkstoff vorgesehen als ihre Gegenräder.
- Bei Wanddicken zwischen Bohrung und Zahnfuß kleiner 2,5m, werden Ritzel und Welle aus einem Stück gedreht. Hierbei müssen die Spannungsmöglichkeiten zum Verzahnen und Schleifen berücksichtigt werden.

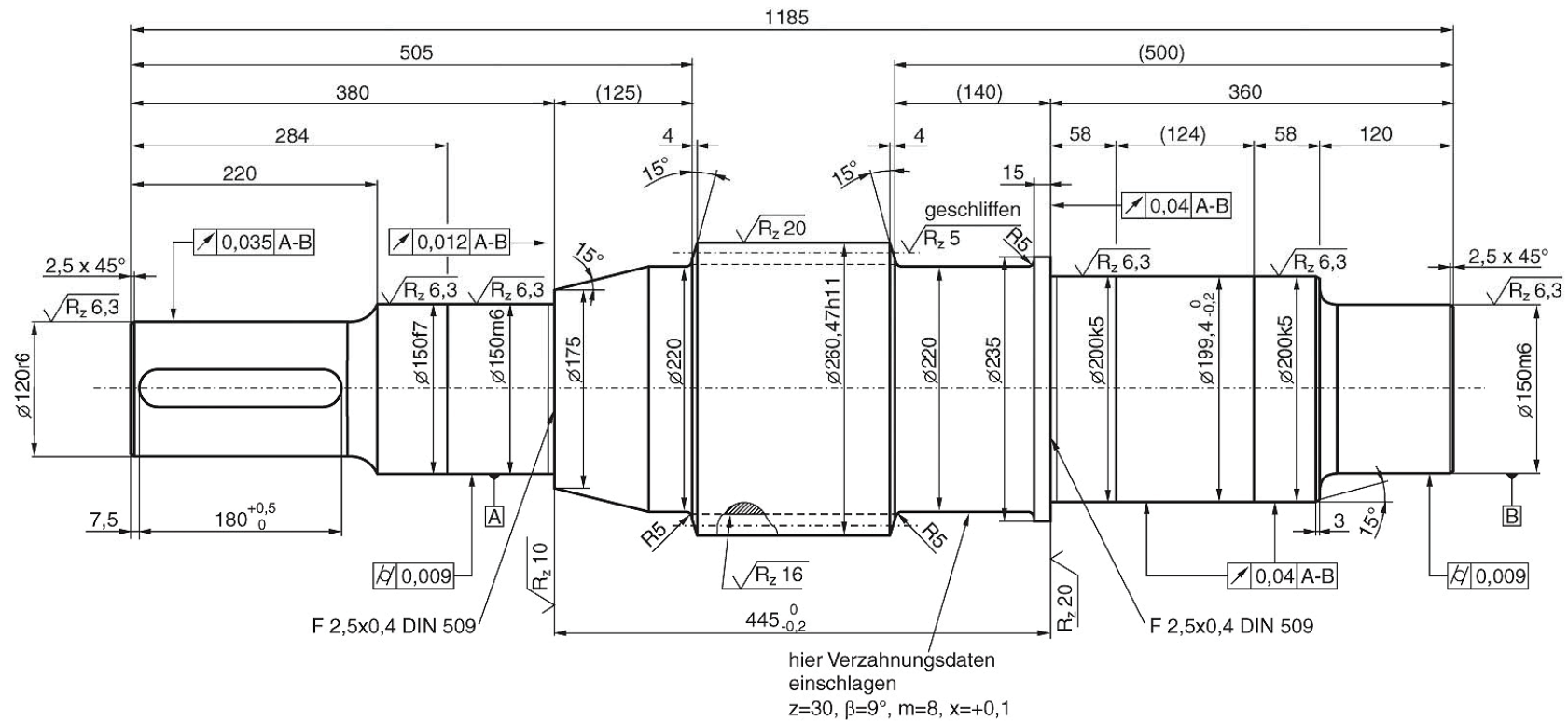


Anfasung → Vermeidung von Gratbildung während des Eingriffs



Ritzelwelle-Werkstattzeichnung (Flender, Bocholt), Werkstoff 16MnCr5, $I = 0,00422 \text{ kgm}^2$, $m = 9,2 \text{ kg}$, Rautiefe R_a in μm , nicht gekennzeichnete Oberflächen $R_a < 12 \mu\text{m}$, Zentrierungen nach DIN 332, Freistiche nach DIN 509

Gestaltung von Zahnrädern und Ritzeln



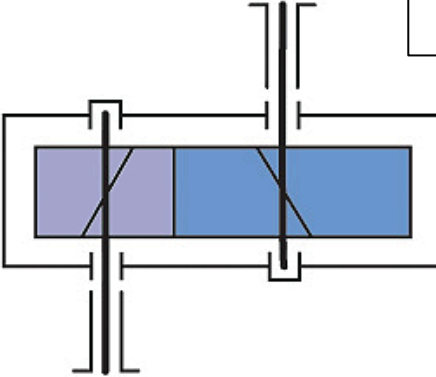
Ritzelwelle eines Gießkrangetriebes – Werkstattzeichnung

10. Gestaltungsgrundsätze von Bauformen, Gehäusen, Deckeln und Lagerungen

- Die wesentlichen Vorgaben für den Aufbau eines Getriebes resultieren aus den zu übertragenden Momenten und der Leistung auf der einen und den eingesetzten Werkstoffen sowie dem Bauraum auf der anderen Seite. Die nachfolgenden Gestaltungsvorschläge sind Anhaltswerte, die sich in ausgeführten Konstruktionen bewährt haben. Dennoch müssen sicherheitshalber die Beanspruchungen und Maße verifiziert werden.

10.1 Bauformen

Normalbauformen



einstufig

- $i < 6$ (8), höchste Leistungen u. Drehzahlen
- Gerad-, Schräg-, Doppelschrägverzahnung
- symmetrischer Lageraufbau → geringe Ritzelverformung
- Schnellaufgetriebe

mehrstufig

- $6 < i < 25$ (35) bei zwei Stufen, $25 < i < 160$ bei drei Stufen

- asymmetrische Anordnung

→ kann zu Schrägstellung und einseitiger Belastung führen

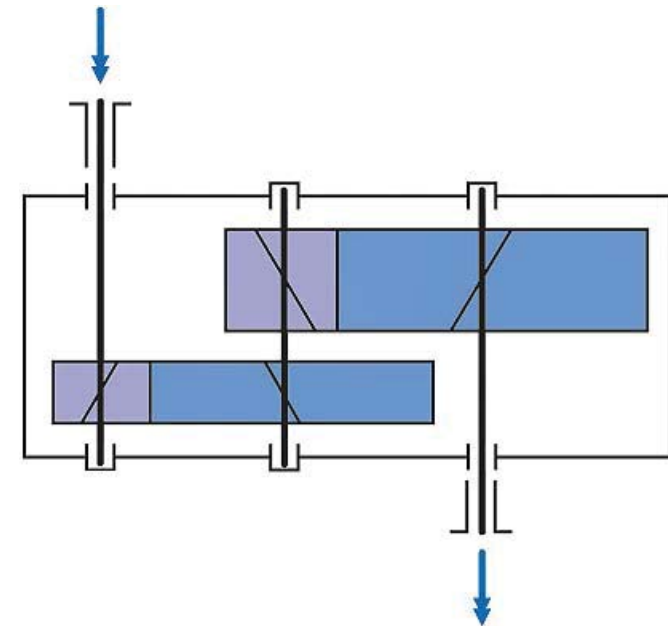
- Beachte: Leistungsflussdichte (wie angegeben)

→ Reduzierung der Verdrillung

- Wahl geeigneter Schrägungswinkel

→ Reduzierung der Axialkräfte

- Welle biegesteif auslegen

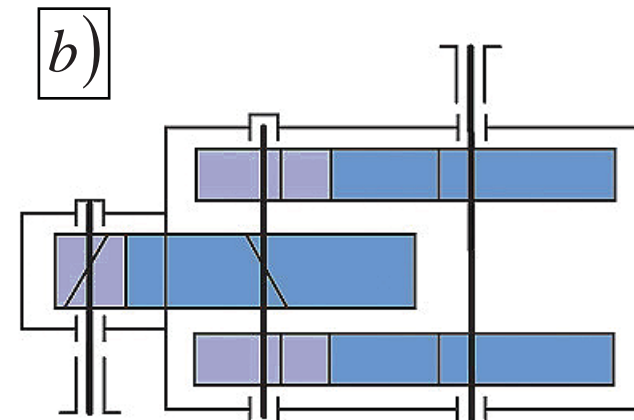
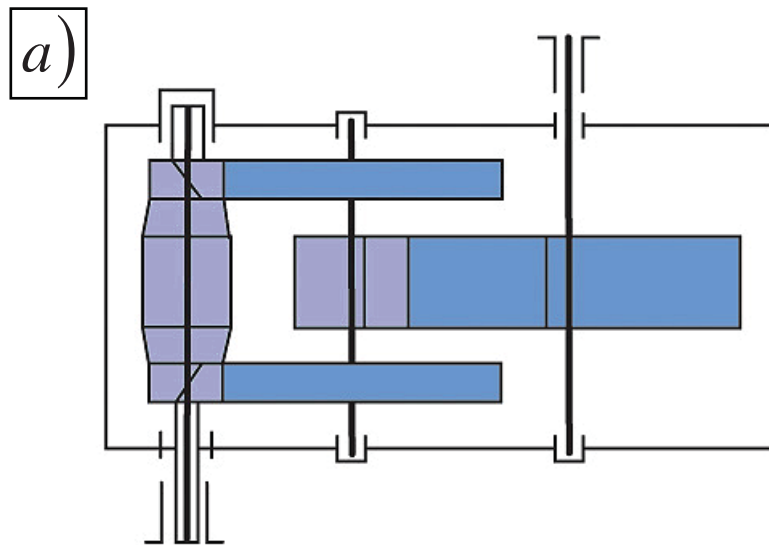


Bauformen mit symmetrischer Räderanordnung

- Schrägverzahnung (Pfeilverzahnung) erlaubt kleinere Durchmesser

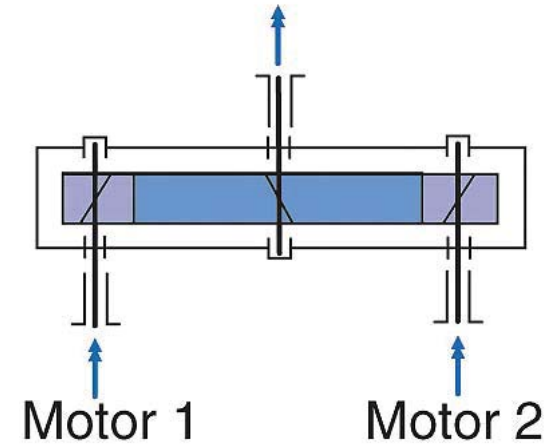
a) - einfache Gehäuse, aber dafür biegesteife Zwischenwelle

b) - steife Antriebswelle, aber kompliziertes Gehäuse, Axialkräfte auf Zwischenwelle
biegesteife Zwischenwelle

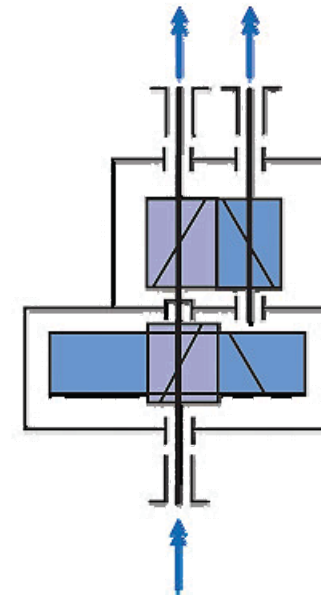


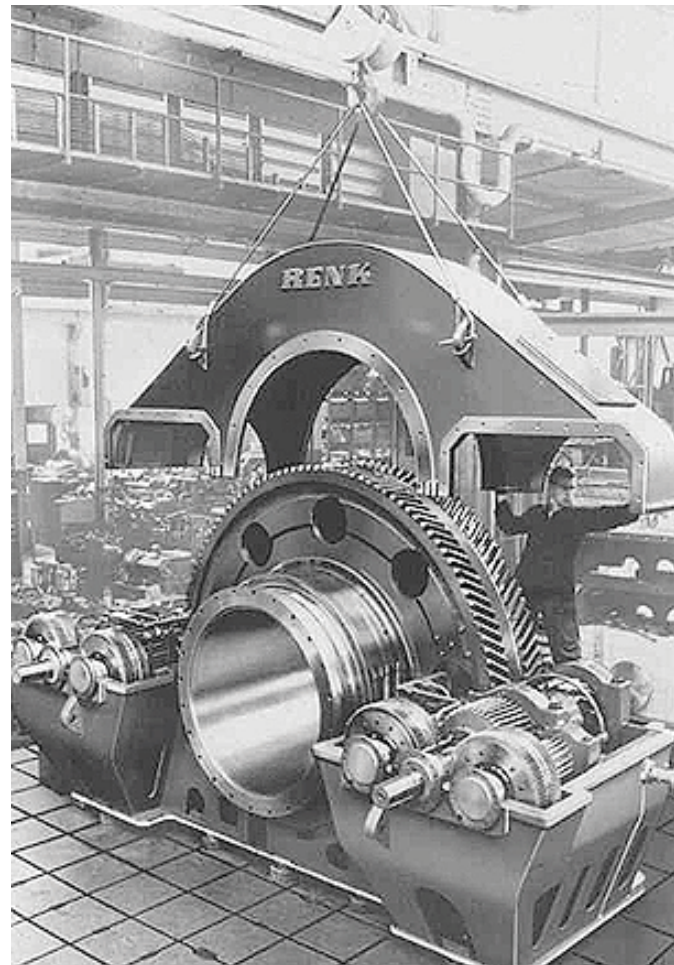
Bauformen als Verteilergetriebe

- **Sammelgetriebe:** Bündelung der Leistung im Abtriebsstrang

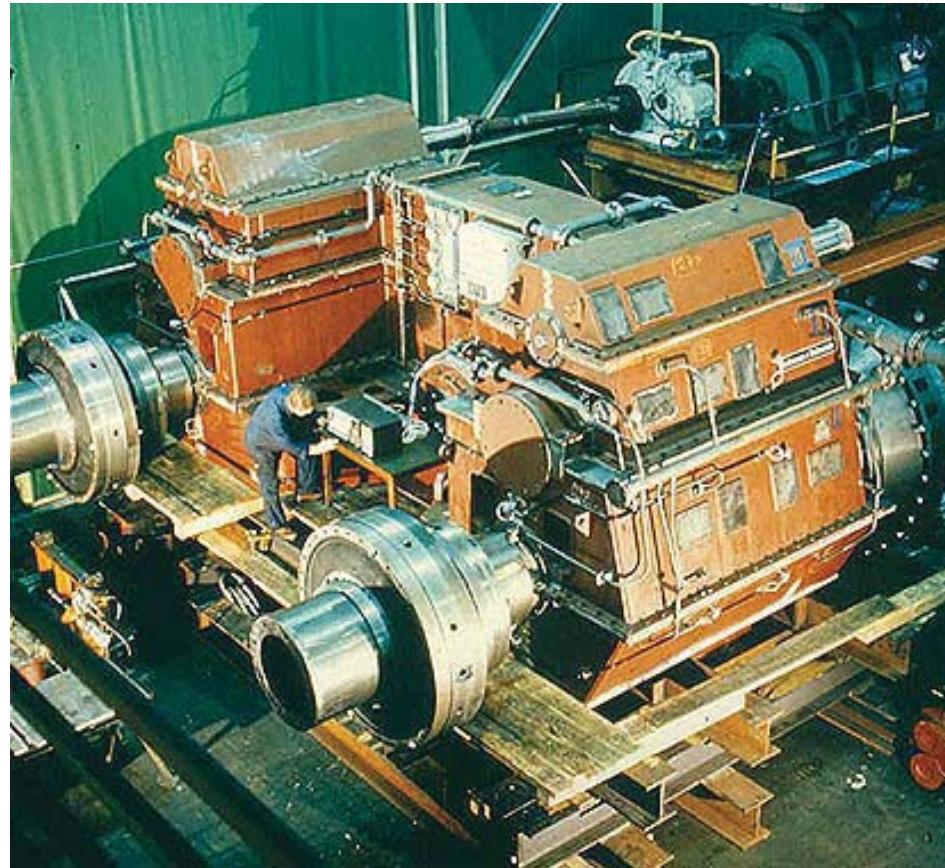


- **Verteilergetriebe:** Aufteilung der Eingangsleistung im Abtriebsstrang

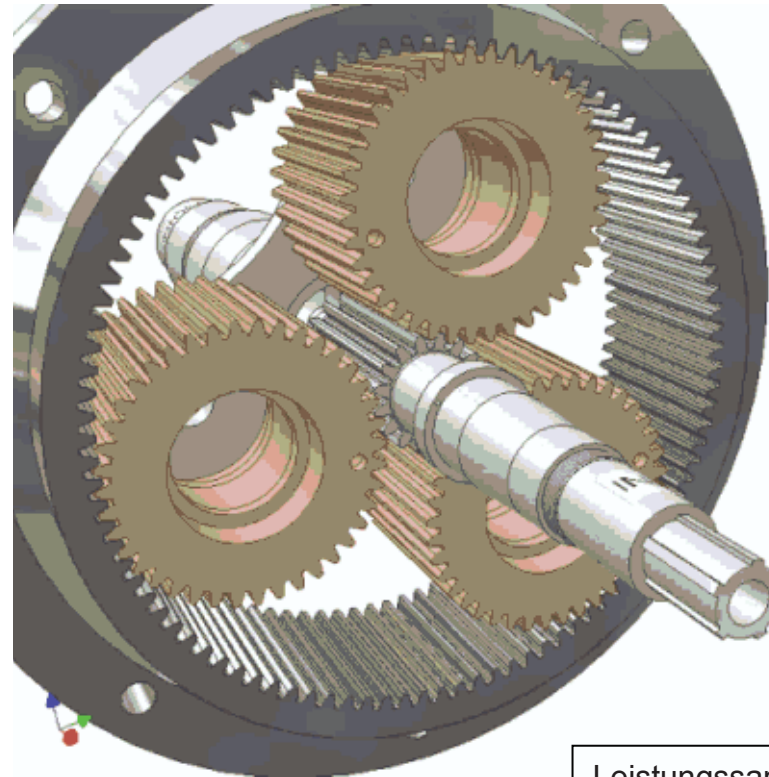




Sammelgetriebe für eine Zementmühle

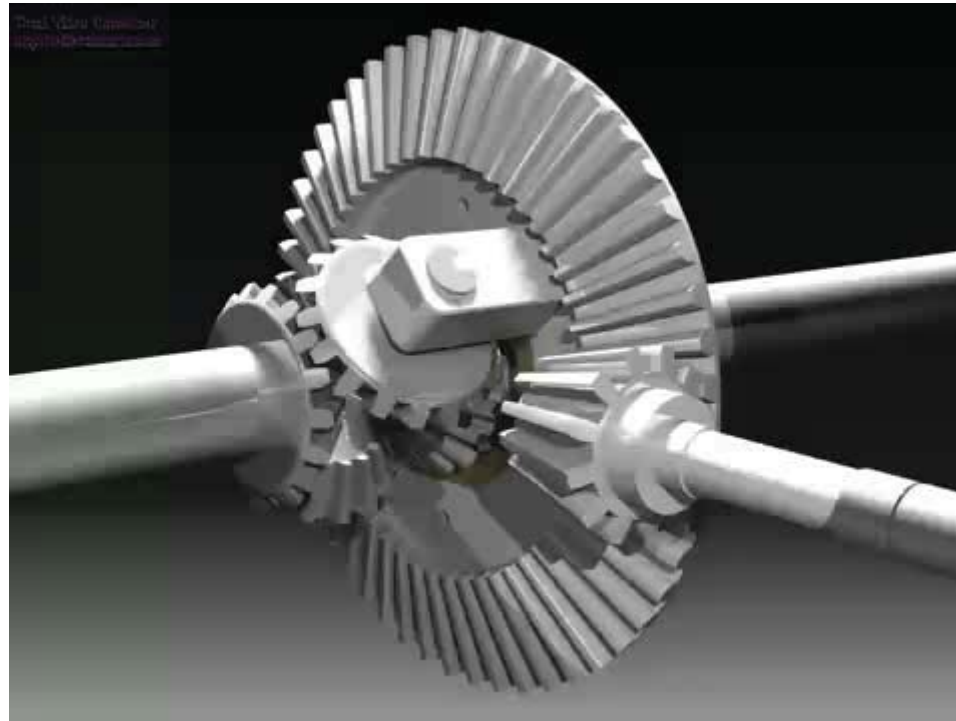


Sammelgetriebe als Schiffsgetriebe



Leistungssammlung:	Steg → Sonnenrad
Leistungsverzweigung:	Sonnenrad → Steg

Planetengetriebe als Sammel- oder Verteilergetriebe



Differentialgetriebes als Verteilergetriebe

- Bei der Wahl des Konstruktionsprinzips müssen folgende Gesichtspunkte berücksichtigt werden:

- Genaue Lage der Wellen und Räder
- Kräfte und Momente aufnehmen
- Schutz vor Staub, Wasser etc.
- Schmierstoffaustritt vermeiden
- Wärme abführen
- geringe Geräuschemission

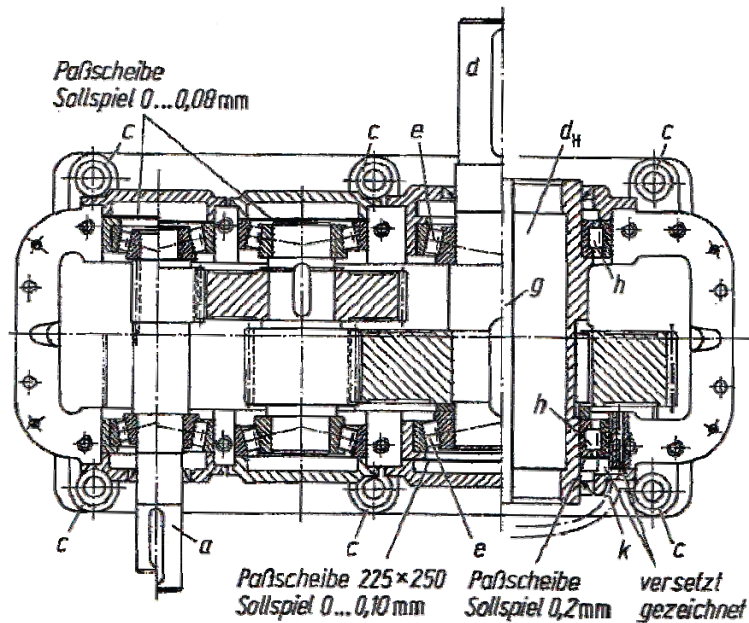
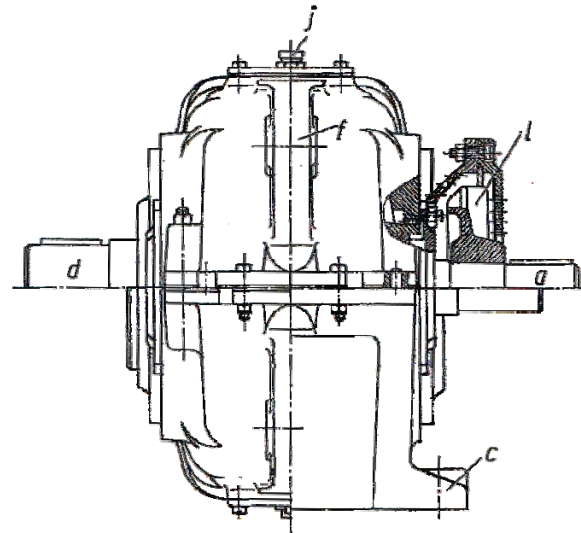
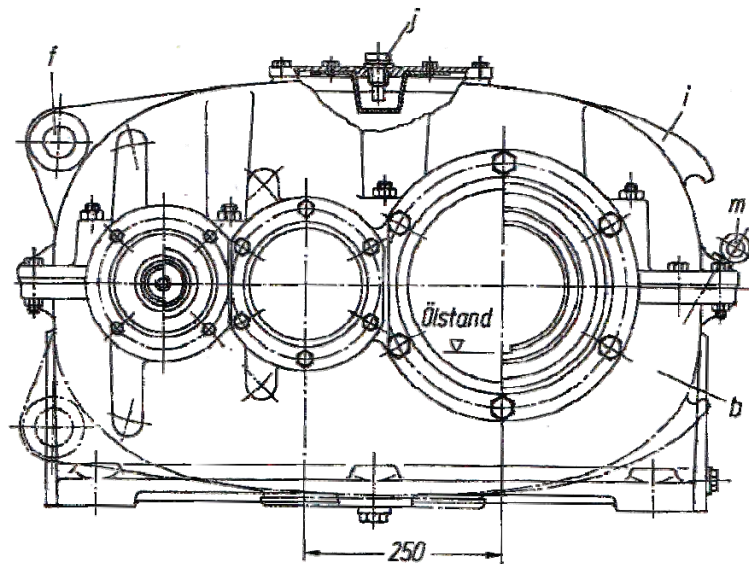
10.2 Gehäuse

- Die Ausführung des Gehäuses richtet sich nach der Krafteinleitung in die Gehäusekomponenten und kann auf drei unterschiedlichen Arten erfolgen:

1. Gesamtgehäuse als tragende Funktion

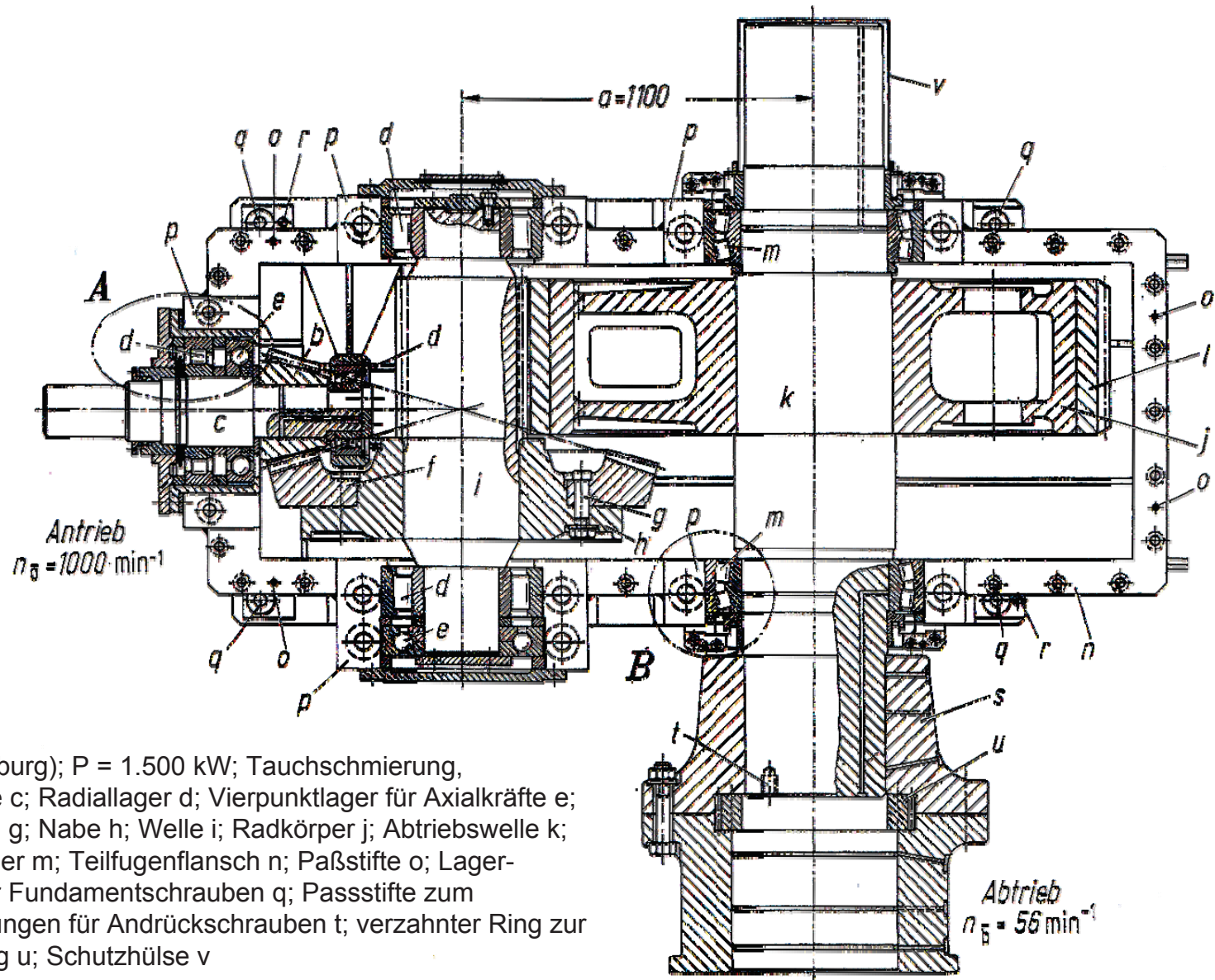
Aufnahme der Kraft erfolgt sowohl auf Ober- und Unterkasten, deren Schnittstelle die Teilfuge in der horizontalen Ebene darstellt. Beide Teile sind in der Regel miteinander verschraubt.

Gestaltungsgrundsätze von Bauformen, Gehäusen, Deckeln und Lagerungen

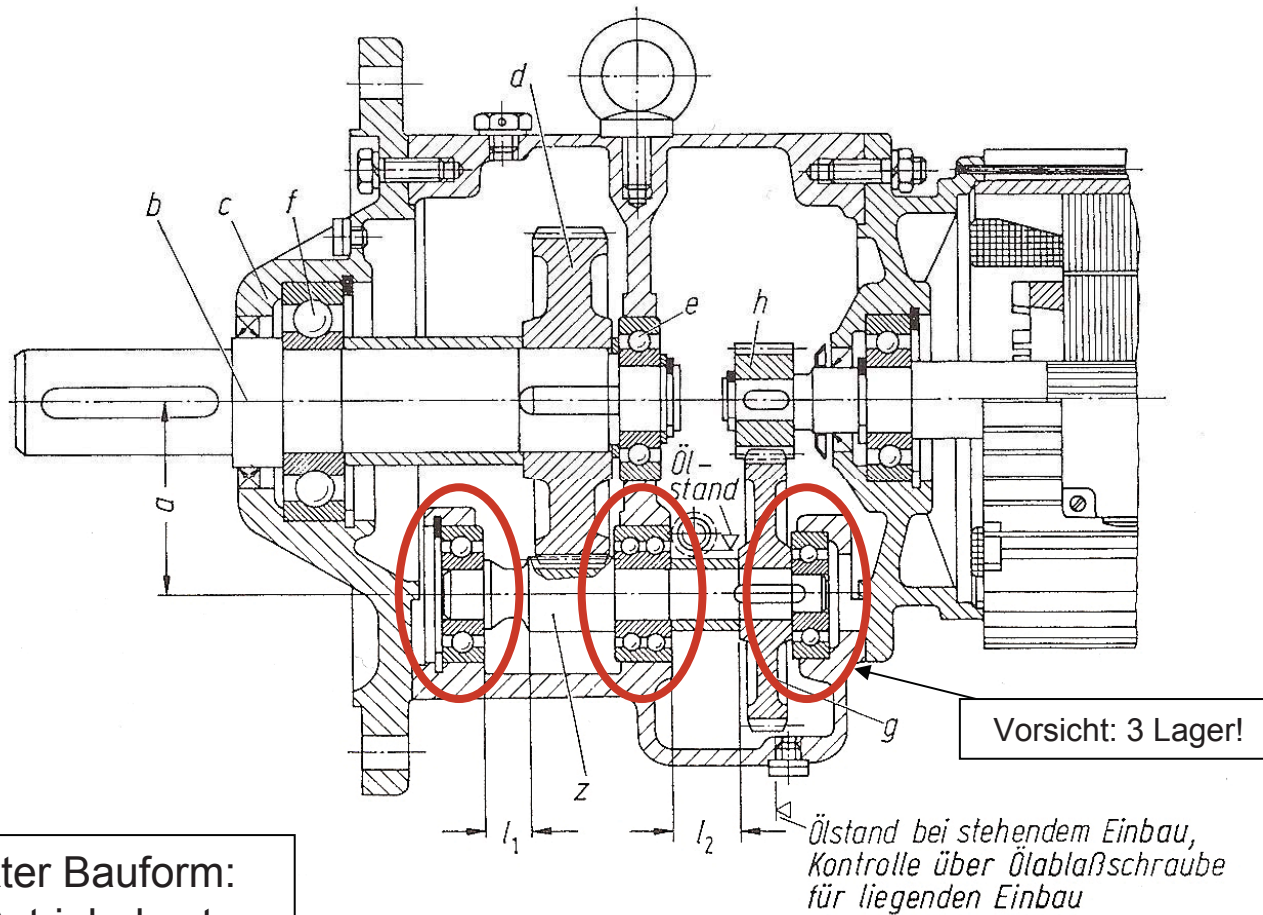


Industriegetriebe (Flender, Bocholt); rechte Hälfte für $i = 7,1$ (linke Hälfte: $i = 20$); $P = 140 \dots 400$ kW; als Standgetriebe mit Fußleiste c und Abtriebswelle d mit angestellten Kegelrollenlagern e; als Aufsteckgetriebe mit Rollenlagern h und Auge f für Drehmomentenstütze; Abtriebswelle d oder als Hohlwelle d_H mit Passfedernut g; Abhebenase i, Entlüftung Öleinfüllschraube j; Deckel für Aufsteckgetriebe mit einseitigem Abtrieb k; Peilstab m

Gestaltungsgrundsätze von Bauformen, Gehäusen, Deckeln und Lagerungen



Bandgetriebe (Renk, Augsburg); $P = 1.500 \text{ kW}$; Tauchschmierung, Kegeleritzel b; Antriebswelle c; Radiallager d; Vierpunktlager für Axialkräfte e; Tellerrad f; Passschrauben g; Nabe h; Welle i; Radkörper j; Abtriebswelle k; Bandage l; Pendelrollenlager m; Teilfugenflansch n; Paßstifte o; Lagerbrammen p; Bohrungen für Fundamentschrauben q; Passstifte zum Fundament; Nabe s; Bohrungen für Andrückschrauben t; verzahnter Ring zur Drehmomentenübertragung u; Schutzhülse v



Bei kompakter Bauform:
Ungeteilter Getriebekasten
mit seitlichen Öffnungen

Getriebemotor (SEW, Bruchsal)

Gestaltungsgrundsätze von Bauformen, Gehäusen, Deckeln und Lagerungen

Bauteil	Gusskonstruktion	Schweißkonstruktion
<p>Gehäusewerkstoff: Guss: GJL, GJS, GS Aushebeschräge ca. 3° Geschweißt: S235JR, S355JO</p>		
<p>1) l = größte lichte Gehäuselänge 2) + 10 mm bei Turbogetrieben zur Schwingungs- und Geräuschkämpfung</p>		
<p>Wanddicke: Unterkasten s_1: Oberkasten s_2: Mindestwerte der Wanddicke $s_{1,2min}$: Höchstwerte der Wanddicke $s_{1,2max}$:</p>	<p>$\approx (0,005 \dots 0,01) \cdot l + 6 \text{ mm}^{1) 2)}$ $\approx (0,5 \dots 0,8) \cdot s_1$ $\approx 8 \text{ mm (GJL, GJS), } \approx 12 \text{ mm (GS)}$ $\approx 50 \text{ mm}$</p>	<p>$\approx (0,004 \dots 0,005) \cdot l + 4 \text{ mm}^{1)}$ $\approx (0,5 \dots 0,8) \cdot s_1$ $\approx 4 \text{ mm}$ $\approx 25 \text{ mm}$</p>
<p>Flansch: Flanschdicke $s_3 \approx s_4$: Flanschbreite b_1:</p>	<p>$\approx (1,3 \dots 1,6) \cdot s_1$ $\approx 3 \cdot s_1 + 10 \text{ mm}$</p>	<p>$\approx 2 \cdot s_1$ $\approx 4 \cdot s_1 + 10 \text{ mm}$</p>

Anhaltswerte für die Gehäuseabmessungen von Guss- und Schweißkonstruktionen (Teil 1)

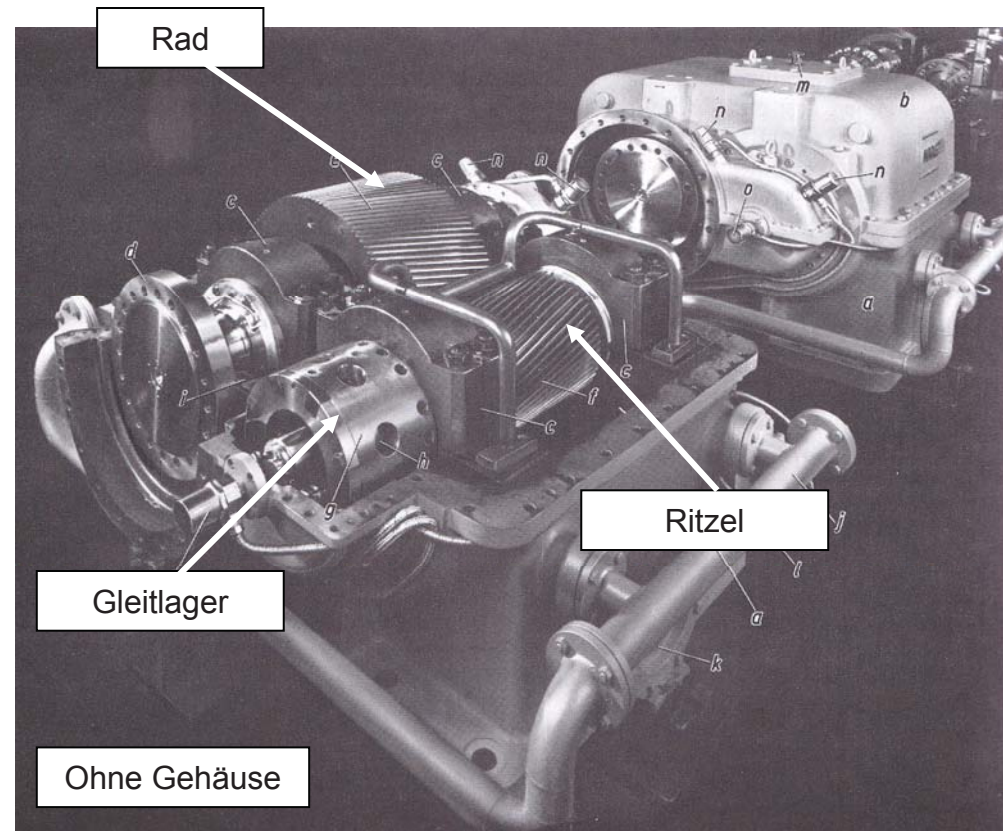
Gestaltungsgrundsätze von Bauformen, Gehäusen, Deckeln und Lagerungen

Flanschschrauben: Durchmesser d_2 : Abstand l_F :	$\approx 1,2 \cdot s_1$ $\approx (6 \dots 10) \cdot d_2$ (je nach Dichtigkeitsforderung)	$\approx 1,5 \cdot s_1$
Fußleistendicke: durchgehend mit Ausnehmung s_5 : durchgehend ohne Ausnehmung s_5 :	$\approx 3 \cdot s_1$ $\approx 1,8 \cdot s_1$	$\approx 3 \cdot s_1$ $\approx 3,5 \cdot s_1$
Fußleistenbreite b_2 :	$\approx 3 \cdot s_1 + 15 \text{ mm}$	$\approx 4 \cdot s_1 + 10 \text{ mm}$
Versteifungs- und Kühlrippen s_5 :	$\approx 0,7 \cdot s_1$ der zu versteifenden Wand	
Außendurchm. Lagergehäuse d_1 :	$\approx (1,2 \dots 1,4) \cdot \text{Lageraußendurchmesser}$	
Fundamentschrauben, Durchmesser d_3 :	$\approx 1,6 \cdot s_1$	$\approx 2 \cdot s_1$
Lagerschrauben d_4 :	$\approx 1,2 \cdot s_1$	$\approx 3 \cdot s_1$
Schaulochdeckelschrauben d_5 :	$\approx 0,8 \cdot s_1$	$\approx 1 \cdot s_1$
Mindestabstand s_{min} zwischen Rädern und Gehäuse abhängig von Umfangsgeschwindigkeit $v_t \geq 50 \text{ m/s}$ und Modul m mit $c = (v_t - 10) / 40 \geq 1$, und v_t in m/s	Am Durchmesser seitlich und oben: $s_{min} = 4 + 3 \cdot m \cdot c \leq 70 \text{ mm}$ An den Stirnflächen seitlich: $s_{min} = 4 + 1,4 \cdot m \cdot c \leq 50 \text{ mm}$ Unten, bei ausreichendem Ölvorrat im Getriebe: $s_{min} = 10 + 5 \cdot m$	
Oberflächenrauheiten:	Flansche, Fußflächen, Schaulochdeckel: $R_Z = 16 \dots 25 \mu\text{m}$ Lagersitze und Lagerstirnflächen: $R_Z = 16 \mu\text{m}$	

Anhaltswerte für die Gehäuseabmessungen von Guss- und Schweißkonstruktionen (Teil 2)

2. Unterkasten mit Lagern als tragende Konstruktion

Der Unterkasten nimmt die Lagerkräfte allein auf und muss daher steif sein. Der Oberkasten dient nur noch zum Schutz und Abdichtung. Diese Bauweise kommt vor allem bei größeren Getrieben zur Anwendung.



Schnelllaufgetriebe (Maag, Zürich)

3. Trennung der Funktionen Lagerung und Schutz

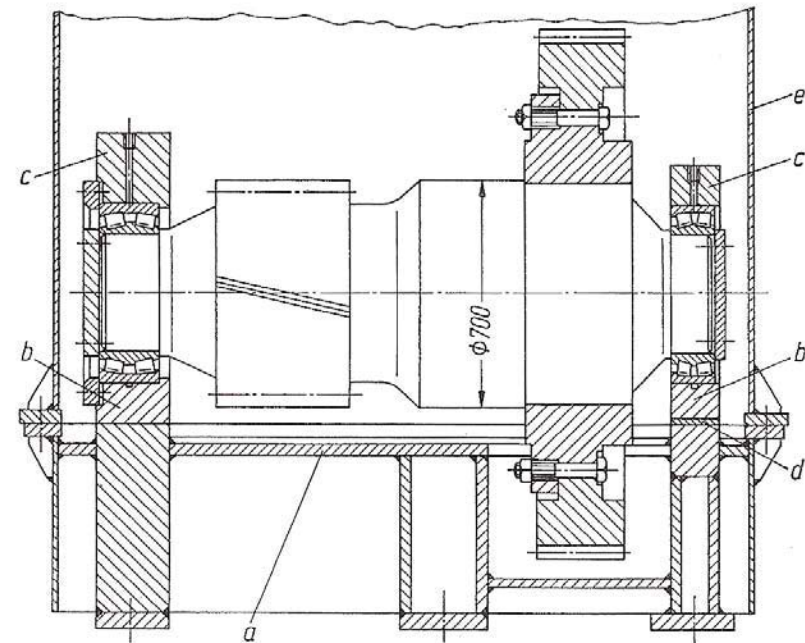
Auf einer steifen Grundplatte (a) werden einzelne Lagerböcke (b) montiert, die die Wellen aufnehmen. Das Gehäuse kann somit als eine Haube (e) konstruktiv ausgeführt werden, die sich leicht demontieren lässt.

Vorteil:

- einfaches Ausrichten durch Passbleche (d)

Nachteil:

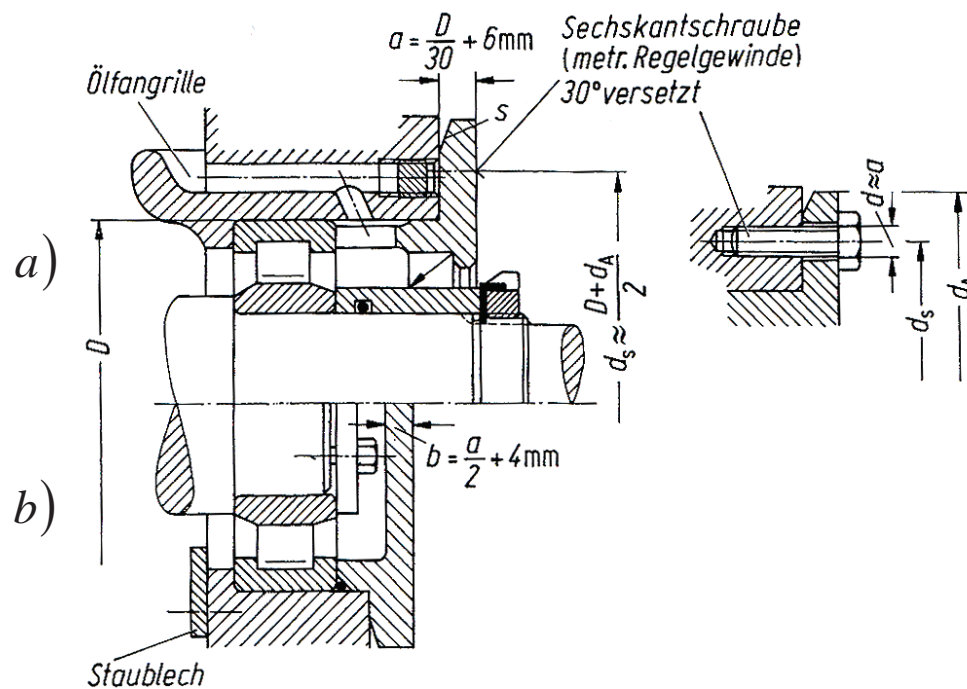
- begrenzte Steifigkeit
→ problematisch bei großen Axialkräften



Ausschnitt aus einem Kammwalzengetriebe

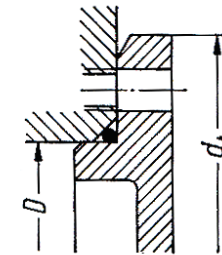
10.3 Gehäusedeckel

- Die Lagerdeckelabdichtung erfolgt entweder durch elastische Dichtmassen bzw. durch Papierdichtungen oder zur Gewährleistung der Zugänglichkeit durch O-Ringe.

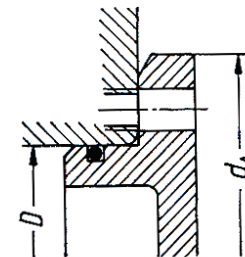


- a) Deckel mit Radialdichtring und Ölzuführung für Wälzlager, elastische Abdichtmasse in der Trennfuge, anstelle der Schräge s für das Abziehwerkzeug ist auch ein Abdrückgewinde möglich
- b) Verschlussdeckel und Staubblech für Mindestölstand

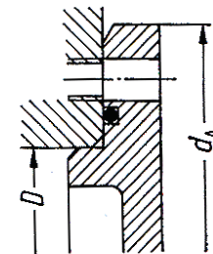
- O-Ring in der Abfasung, kostengünstig aber ungenau, daher Gefahr der Beschädigung des O-Rings



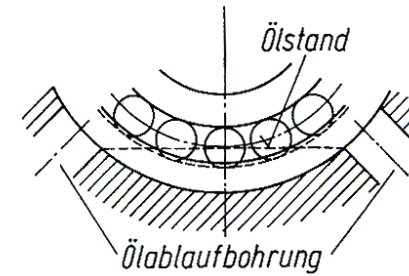
- O-Ring im Zentrierbund, rechteckige Nut, radiale Ringverformung, langer Zentrierbund (aufwendig), Kante am Zentrierbund gut abrunden, sonst Beschädigungsgefahr



- O-Ring in rechteckiger Nut, axiale Ringverformung, großer Deckeldurchmesser erforderlich, sicher aber genaue Auslegung der Nuttiefe erforderlich

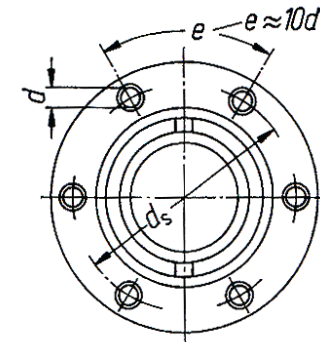


- Ölrücklauf durch seitlich versetzte große Bohrung, üblich bei Öleinspritzung



- Lage der Schraubenabstände

kleine und dafür viele Schrauben



10.4 Lagerungen

- Wälzlager sind zu bevorzugen

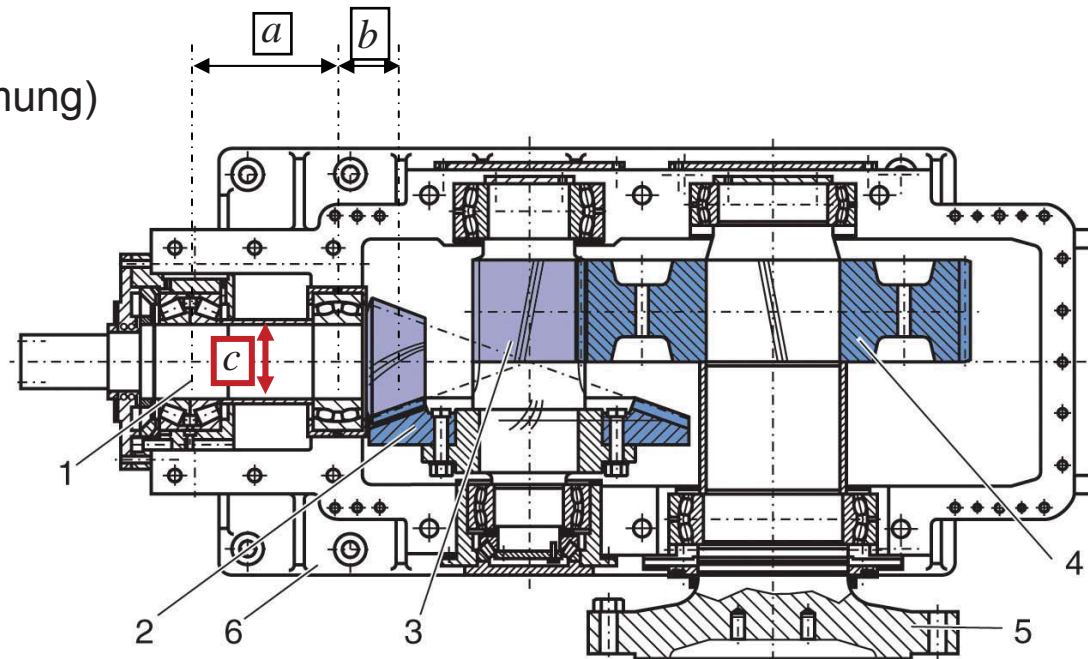
- geringe Reibung beim Anfahren
- einfache Schmierung
- kleine Lagerbreiten → kurze Lagerabstände
- bei zu hohen Fliehkräften → Gleitlager wählen (bei Schnelllaufgetrieben)

- Lager dicht neben Rädern anordnen → geringe Biegung

jedoch minimaler Lagerabstand 70% des Raddurchmessers → sonst zu geringes Verformungsvermögen bei Achsabstands- oder Fluchtfehlern

- möglichst nur 2 Lager je Welle (statisch bestimmt) und beidseitige Anordnung
- Bei fliegender Lagerung:
Abstand Lager1 – Lager2 (a) = 2...3* Überhang (b)
- Axiallager in Nähe der Verzahnung
(Positionstreuung bei Erwärmung)

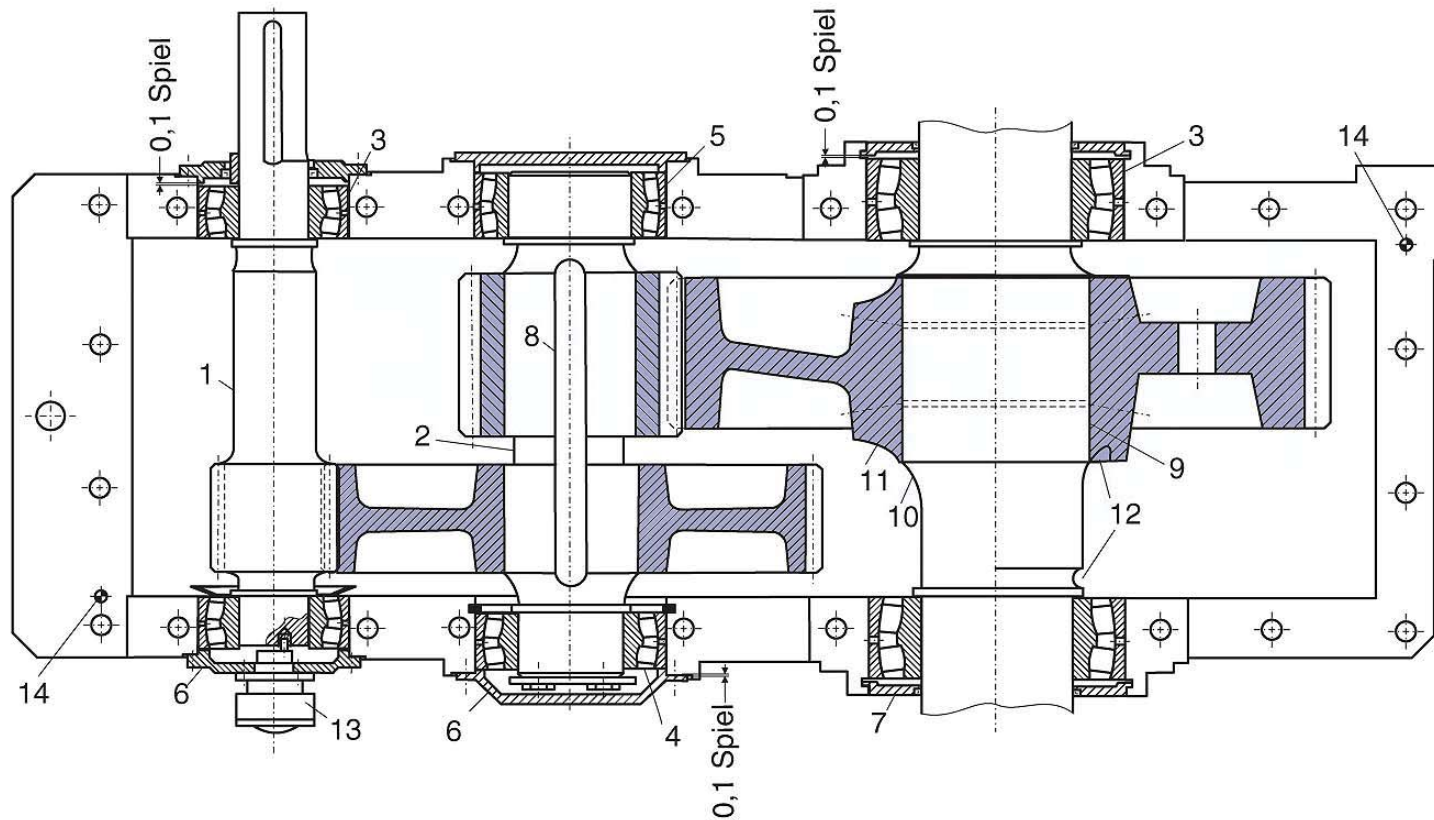
$$a = 2 \dots 3 * b$$
$$c > b$$



Kegel-Stirnradgetriebe

- Keine oder geringe Axialkräfte: Zylinderrollenlager, schwimmend gelagert
- Hohe Axialkräfte: Vierpunktlager, Pendelrollenlager, zweireihiges Kegelrollenlager
- Loslager: Zylinderrollenlager optimal
- Bei großen Getrieben:
 - hohe Belastungen und hohe Drehzahlen
→ Zylinderrollenlager
 - hohe Belastungen und niedrige Drehzahlen
→ vollrollige Zylinderrollenlager
 - große Durchbiegungen
→ Pendelrollenlager

Gestaltungsgrundsätze von Bauformen, Gehäusen, Deckeln und Lagerungen

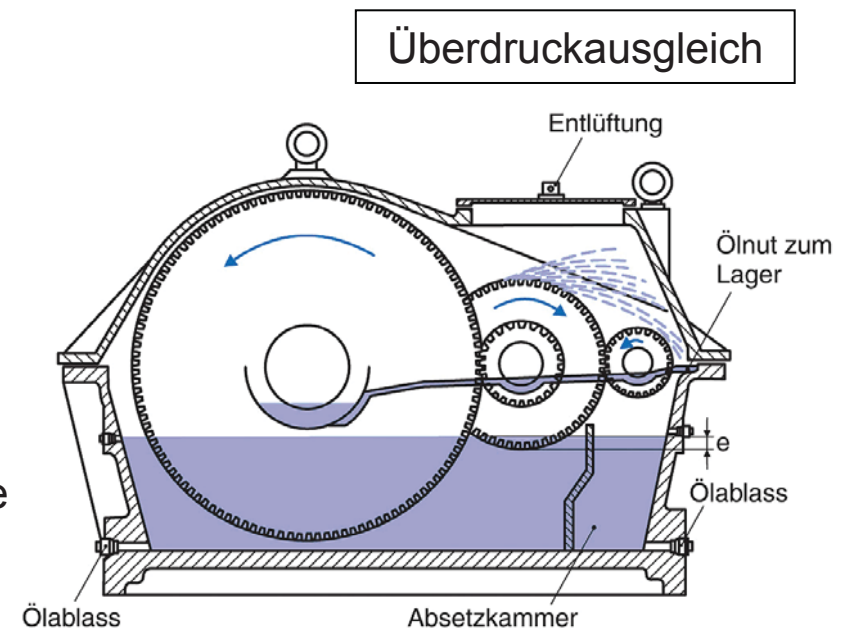


Gestaltungsmöglichkeiten konstruktiver Details (Kranhubwerksgetriebe)

1	Antriebswelle als Ritzelwelle	8	Passfederverbindung
2	Zwischenwelle mit aufgesetztem Ritzel	9	Schrumpfsitz des Antriebsrades
3	An- und Abtriebswelle schwimmend gelagert	10/11	Kerbarme Wellen- und Nabengestaltung
4/5	Fest- und Loslager der Zwischenwelle	12	Entlastungskerbe
6	Augesetzter Lagerdeckel	13	Ölpumpe
7	Eingelegter Lagerdeckel	14	Passstift

11 Ölschmierung

- Hinsichtlich der konstruktiven Umsetzung stehen zur Ölschmierung bei Getrieben die Tauchschmierung, die Einspritz- sowie die Nebelschmierung zur Verfügung, welche auch miteinander kombinierbar sind.



Tauchschmierung eines geschlossenen Standgetriebes

- Bei der **Tauchschmierung** handelt es sich um ein einfaches, zuverlässiges und wirtschaftliches Schmierverfahren.

Eintauchen der großen Zahnräder in Öl oder Tauchrad → direkt o. indirekt Schmierung

Eine indirekte Schmierung erfolgt durch Abtropfen von Wänden bzw. über Fangbleche, Leitkanäle. Die Tauchschmierung ist auch für Lagerschmierung geeignet.

- Nachteil der Tauchschmierung ist die begrenzte Ölmenge und die damit einhergehende hohe Beanspruchung des Schmierstoffs durch fehlende Filterung und Zusatzkühlung.
- Die wichtigsten Kenngrößen der Tauchschmierung sind:
 - die Umfangsgeschwindigkeit

bis 20 m/s ohne zusätzliche Maßnahmen

30 ... 60 m/s Leitbleche erforderlich

- - die Tauchtiefe

niedriger Ölstand:

Mangelschmierung → Erhitzung, Verschleiß

hoher Ölstand:

Planschverluste (max. 0,75 % von P_V), Ölerwärmung
→ geringere Viskosität → schlechtes Haftvermögen +
Quetschverluste

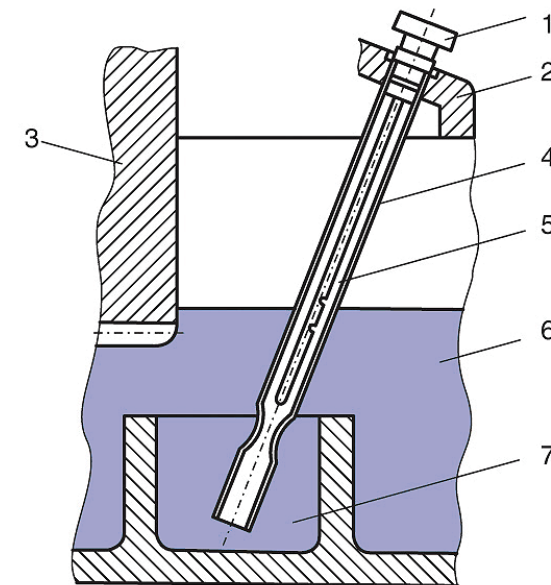
Empfohlene Werte

$$v < 5 \text{ m/s} \rightarrow e = (3...6)*m$$

$$v = 5...20 \text{ m/s} \rightarrow e = (1...3)*m$$

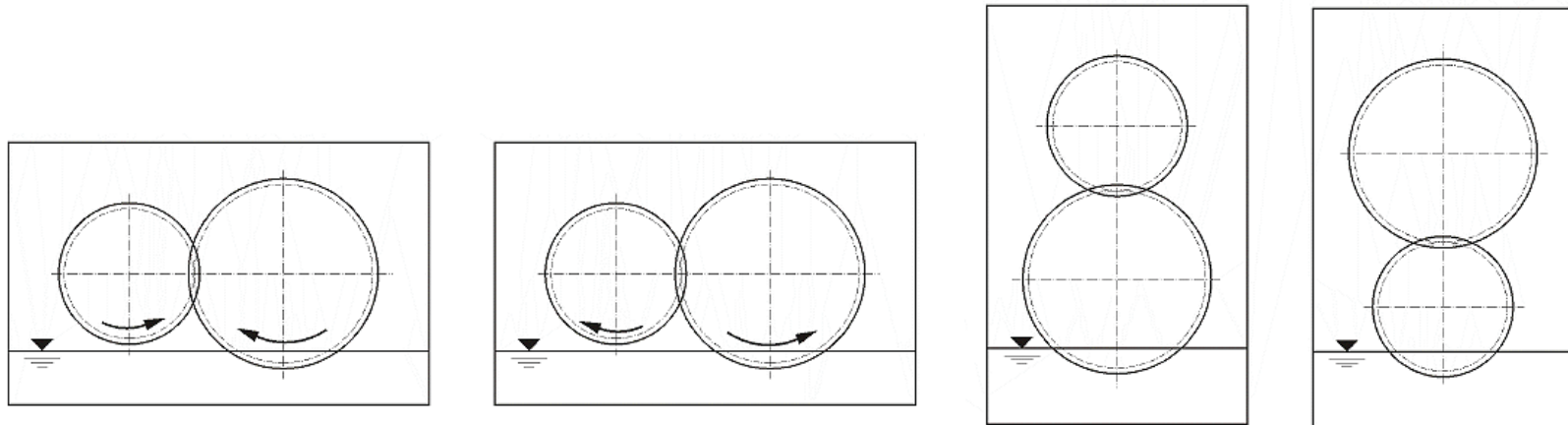
$$v > 20 \text{ m/s} \rightarrow e \leq 25*m$$

- Eine einfache Messung des Ölstandes kann mittels eines Ölmesstabes oder eines Ölstandsfensters erfolgen



Ölmesstab

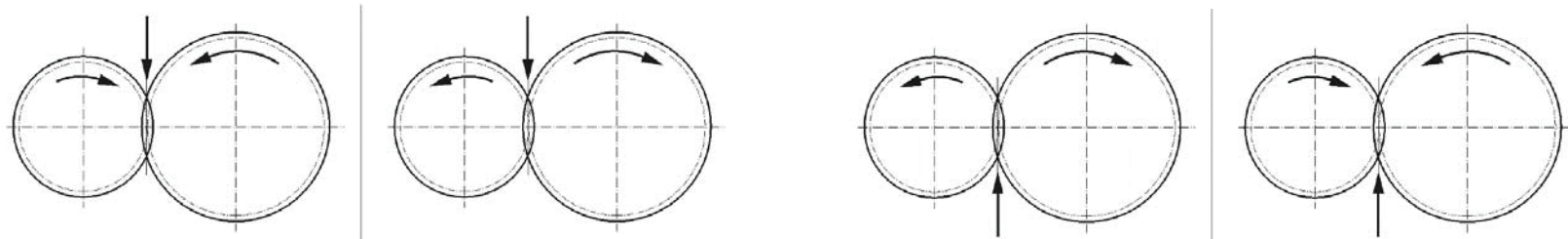
- Weitere Einflussgrößen bei der Tauchschmierung auf das Schmierverhalten im Zahneingriff resultieren aus der Drehrichtung sowie der Achslagen.



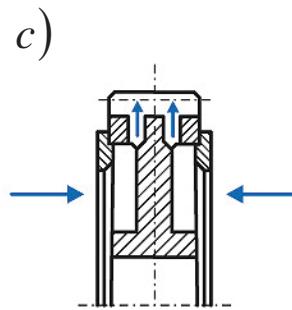
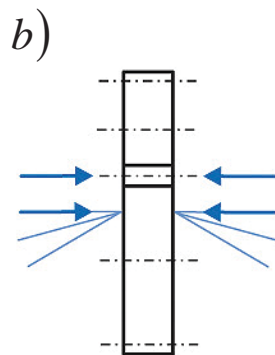
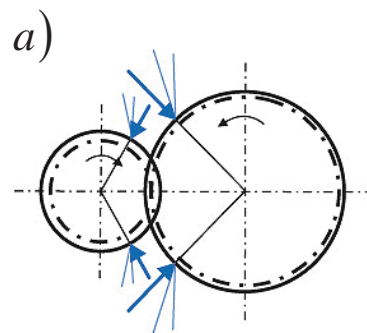
Drehrichtungen und Achslagen

- Bei der **Öl-Nebelschmierung** wird mit Hilfe eines Zerstäubers das Öl mit geringem Druck indirekt oder direkt (bei hohen Umfangsgeschwindigkeiten) eingesprüht. Hierdurch werden zwar Öl- und Planschverluste vermieden, jedoch ist praktisch keine Wärmeabfuhr vorhanden.

- Bei der **Einspritzschmierung** dient bei kleinen Umfangsgeschwindigkeiten das Öl in erster Linie dem Aufbau eines Schmierfilms, dagegen bei hohen Umfangsgeschwindigkeiten ist die Kühlwirkung vorrangig. Die Einspritzung kann vor – verbunden mit einem optimierten Schmierfilmaufbau aber einer höheren Ölquetschung – oder nach dem Eingriff – verbunden mit einer besseren Kühlung der Zahnflanken – erfolgen.



Einspritzschmierung – tangentielle Düsenpositionen und Spritzrichtungen vor und hinter dem Zahneingriff

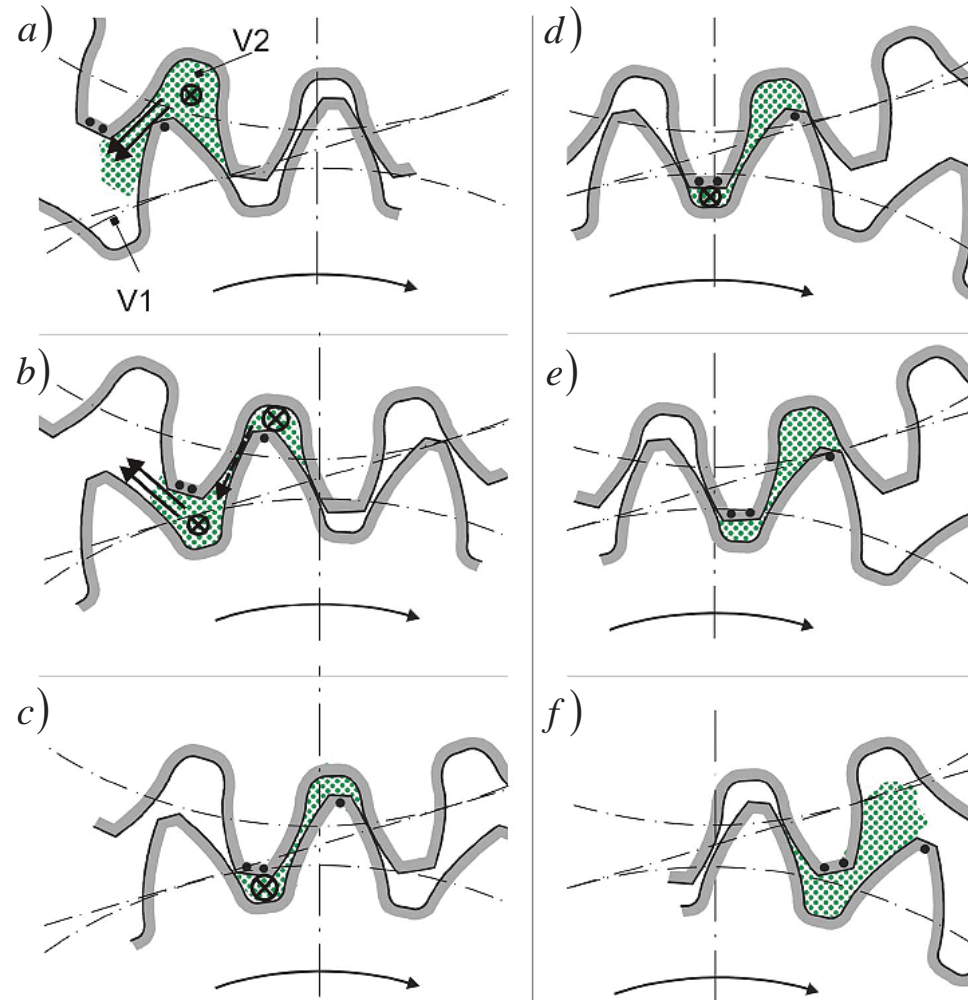


- a) Düsenpositionen in Umfangsrichtung und Spritzrichtungen vor und hinter dem Zahneingriff
- b) Strahlrichtung parallel oder geneigt zu den Radachsen
- c) Zentrifugal-Einspritzschmierung

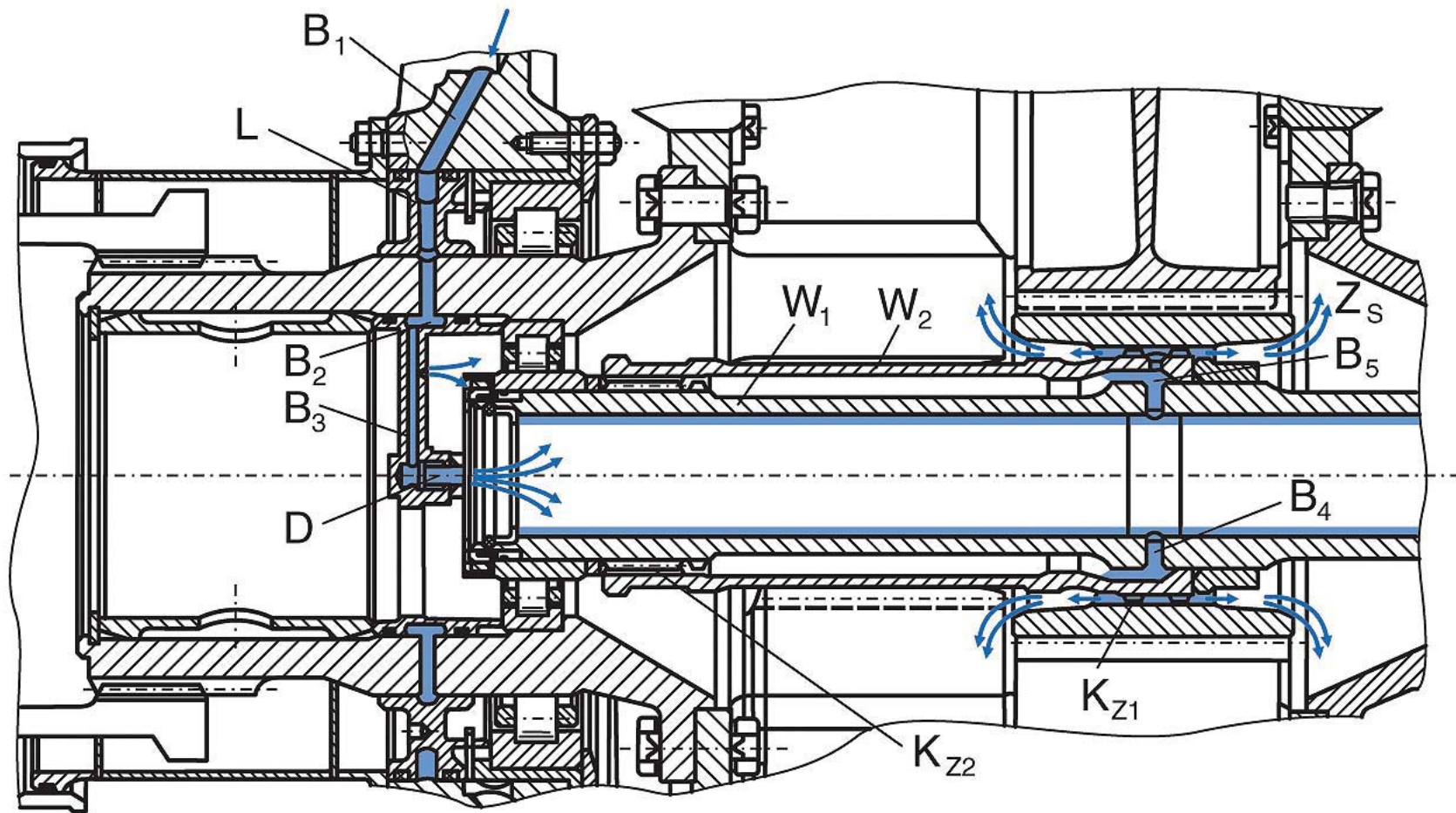
- Quetschverluste entstehen durch Verdrängung des Öles aus den Freiräumen zwischen den sich im Eingriff befindlichen Zähnen. Dabei wird das Öl sowohl entgegen der Drehrichtung in die nachfolgenden Freiräume als auch in axialer Richtung verdrängt.

- Einflussfaktoren, die neben zunehmenden Ölviskositäten, Einspritzmengen und Umfangsgeschwindigkeiten zu höheren Quetschverlusten führen sind:

- große Moduln
- große Zahnbreiten und -höhen



Quetschölströme während des Zahneingriffs



Sonderausführung eines Schmierkühlsystems bei einem Umlaufrädergetriebe zur Schmierung und Kühlung der Verzahnungen, Lager und Zahnkupplungen

