

● **FLUIDENERGIEMASCHINEN 2**

Einführung

Aufwertung

Verdrängermaschinen

Kombinierte Kraft- und Arbeits-
maschinen

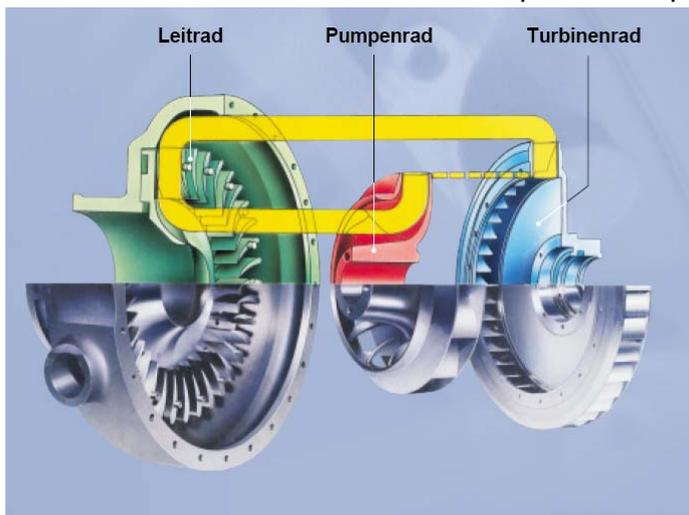
Elektromagnetische
Fluidenergiemaschinen

elektrokinetische
Transportprozess



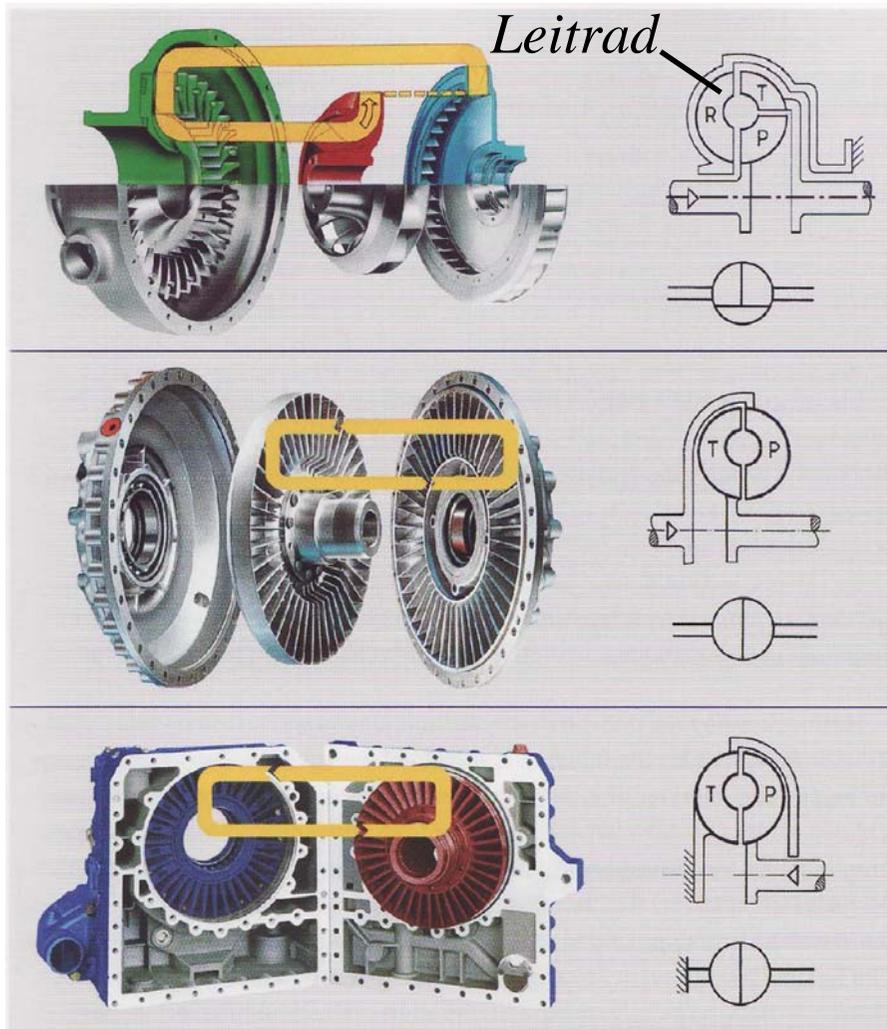
Hermann Föttinger (Erfinder hydrodynamisches Getriebe)

- Hermann Föttinger (* 9. Februar 1877 in Nürnberg; † 28. April 1945 in Berlin) war ein deutscher Elektroingenieur und Erfinder.
- Hermann Föttinger studierte Elektrotechnik von 1895 bis 1899 an der Technischen Hochschule München. Danach arbeitete er als Konstrukteur bei der Vulcan Schiffsbau-Anstalt in Stettin. Die Erprobung und Einführung neuer Dampfturbinen war sein Aufgabengebiet. In dieser Zeit entwickelte er den hydrodynamischen Drehmomentwandler (Zusammenfassung einer Pumpe und einer Turbine in einem Bauteil, der Föttinger-Kupplung), der in seiner Weiterentwicklung z. B. im automatischen Automobilgetriebe verwendet wird. 1909 erhielt er einen Ruf an die KTH Danzig, wo er ein Institut für Strömungstechnik aufbaute. 1924 wurde er an den Lehrstuhl für Strömungsphysik und Turbomaschinen an der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg berufen. Hier wirkte er bis zu seinem Tod durch Granatsplitter im April 1945.



Fa. Voith

Turbowandler, Turbokupplung, Retarder



● Wandler

● Kupplung

● Retarder (Bremse)

Fa. Voith

Turbowandler, Turbokupplung, Retarder

$$P_P = fn(\rho, d_P, \Omega_P, \text{Geometrie})$$

$$M_P = fn(\rho, d_P, \Omega_P, \text{Geometrie})$$

	P_P	ρ	d_P	Ω
L	2	-3	1	0
M	1	1	0	0
T	-3	0	0	-1

$$\frac{P_P}{\rho d_P^5 \Omega_P^3} = \frac{M_P}{\rho d_P^5 \Omega_P^2} = \lambda(\text{Geometrie})$$

	P_P/ρ	ρ	d_P	Ω
L	5	-3	1	0
M	0	1	0	0
T	-3	0	0	-1

$$\rightarrow \frac{P_P}{\rho d_P^5 \Omega_P^3} = \frac{M_P}{\rho d_P^5 \Omega_P^2} = \lambda(\text{Geometrie})$$

Leistungszahl

Baugröße und dimensionslose Größen

$$\frac{M_P}{\rho d_P^5 \Omega_P^2} = \lambda(\text{Geometrie}) \quad \longrightarrow \quad d_P \sim \left(\frac{M_P}{\Omega_P^2} \right)^{1/5} \sim \left(\frac{P_P}{\Omega_P^3} \right)^{1/5}$$

Leistungszahl

Föttinger Getriebe eignen sich insbesondere für große Pumpendrehzahlen.

Bei kleinen Pumpendrehzahlen ist die Baugröße ungeeignet groß, so das z.B. hydrostatische Getriebe vorzuziehen sind.

Drehmomentenzahl $\mu = M_T / M_P$

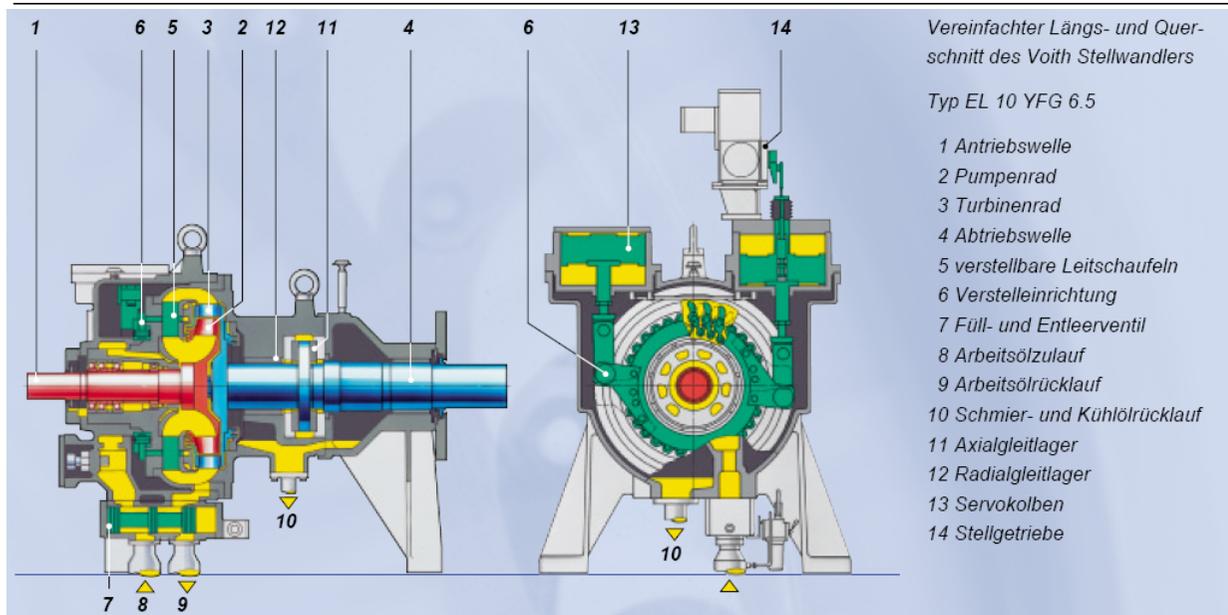
Drehzahlverhältnis $\nu = \Omega_T / \Omega_P$

Schlupf $s = 1 - \nu$

Wirkungsgrad des Föttinger-Getriebes

$$\eta := \frac{P_{\text{Abtrieb}}}{P_{\text{Antrieb}}} = \frac{P_{\text{Turbine}}}{P_{\text{Pumpe}}} = \frac{M_T \Omega_T}{M_P \Omega_P} = \nu \mu$$

Welcher Massenstrom stellt sich im Wandler ein?



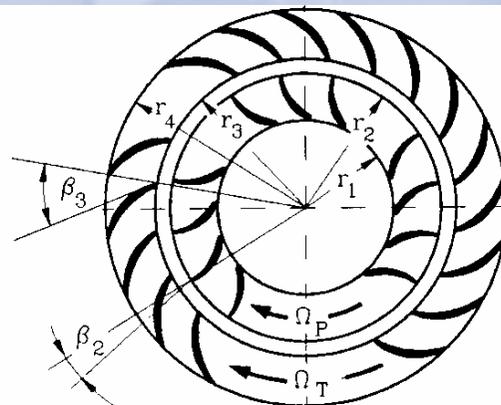
Verlustfreier Wandler mit den Daten

$$M_P, \Omega_P$$

$$\mu = M_T / M_P$$

$$\eta = 1 \rightarrow v = 1 / \mu$$

$$v = \Omega_T / \Omega_P$$



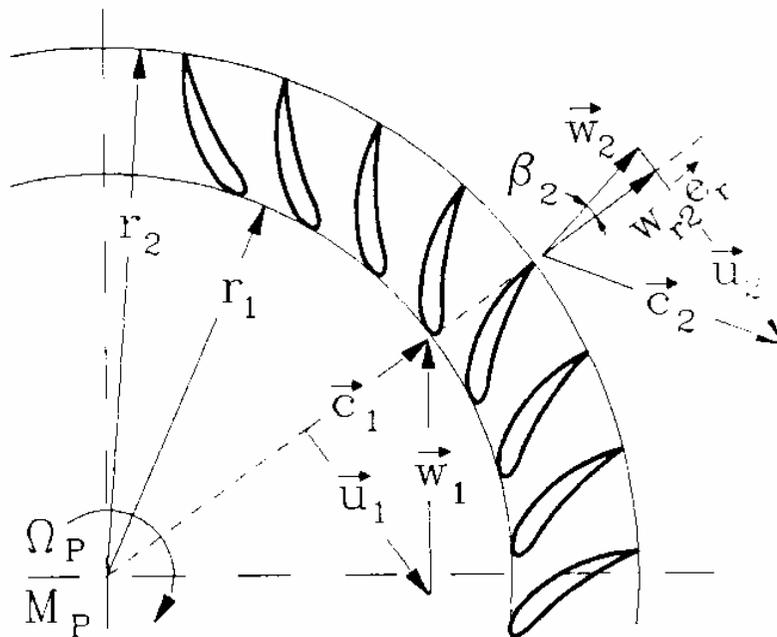
Antriebsmoment = Pumpenmoment

$$M_P = \dot{m}(r_a c_{ua} - r_e c_{ue}) = \dot{m} r_2 c_{u2}$$

bei drallfreier Zuströmung

Welcher Massenstrom stellt sich im Wandler ein?

Tiefe b



Drallkomponente am Pumpenradaustritt ist:

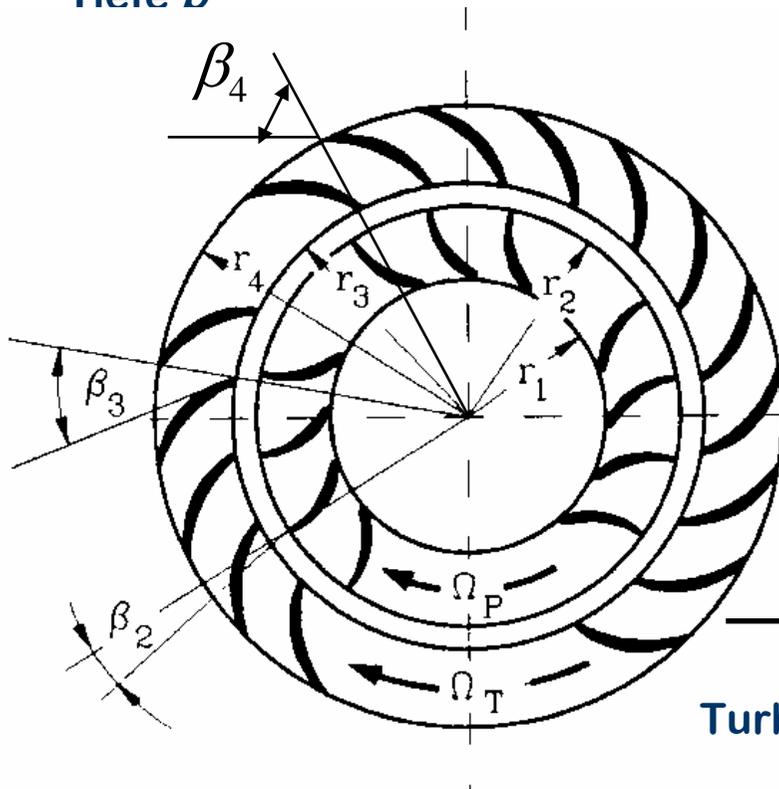
$$c_{u2} = \Omega_P r_2 + w_{u2} = \Omega_P r_2 - \frac{\dot{m}}{\rho 2\pi b r_2} \tan \beta_2$$

Daraus folgt das Pumpenmoment zu

$$M_P = \dot{m} r_2^2 \Omega_P - \dot{m}^2 \frac{\tan \beta_2}{\rho 2\pi b}$$

Welcher Massenstrom stellt sich im Wandler ein?

Tiefe b



Die Drallkomponente am Turbinenradaustritt ist

$$c_{u4} = \Omega_T r_4 + w_{u4}, \text{ mit } w_{u4} = -\frac{\dot{m}}{2\pi r_4 b \rho} \tan \beta_4$$

Das Turbinenmoment folgt aus dem Drallsatz

$$\begin{aligned} M_T &= \mu M_P = \dot{m}(r_4 c_{u4} - r_3 c_{u3}) \\ &= \dot{m}(r_4 c_{u4} - r_2 c_{u2}) \\ &= \dot{m} r_4 c_{u4} - M_P \end{aligned}$$

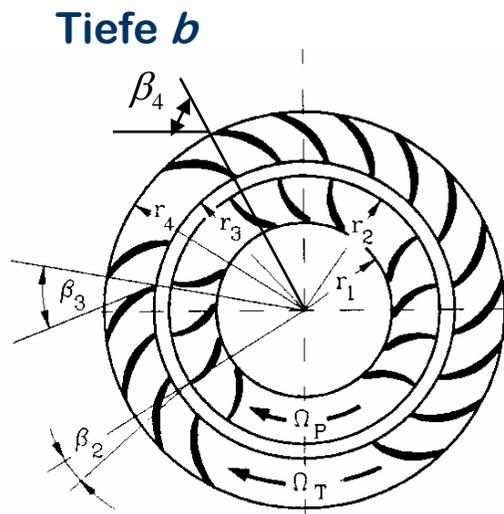
Turbine

$$(\mu + 1) M_P = \dot{m} \Omega_T r_4^2 - \frac{\dot{m}^2}{2\pi b \rho} \tan \beta_4$$

Pumpe

$$M_P = \dot{m} \Omega_P r_2^2 - \dot{m}^2 \frac{\tan \beta_2}{2\pi b \rho}$$

Welcher Massenstrom stellt sich im Wandler ein?



Turbine

$$(\mu + 1)M_P = \dot{m}\Omega_T r_4^2 - \frac{\dot{m}^2}{2\pi b \rho} \tan \beta_4$$

Pumpe

$$M_P = \dot{m}\Omega_P r_2^2 - \dot{m}^2 \frac{\tan \beta_2}{2\pi b \rho}$$

Spezialfall: verlustfreier Wandler

$$\eta = 1 \rightarrow v = 1/\mu$$

$$\frac{\dot{m}}{\rho \Omega_P d_P^3} = \frac{\pi b}{2 d_P} \frac{(1 + \mu) - v(d_T / d_P)^2}{(1 + \mu) \tan \beta_2 - \tan \beta_4}$$

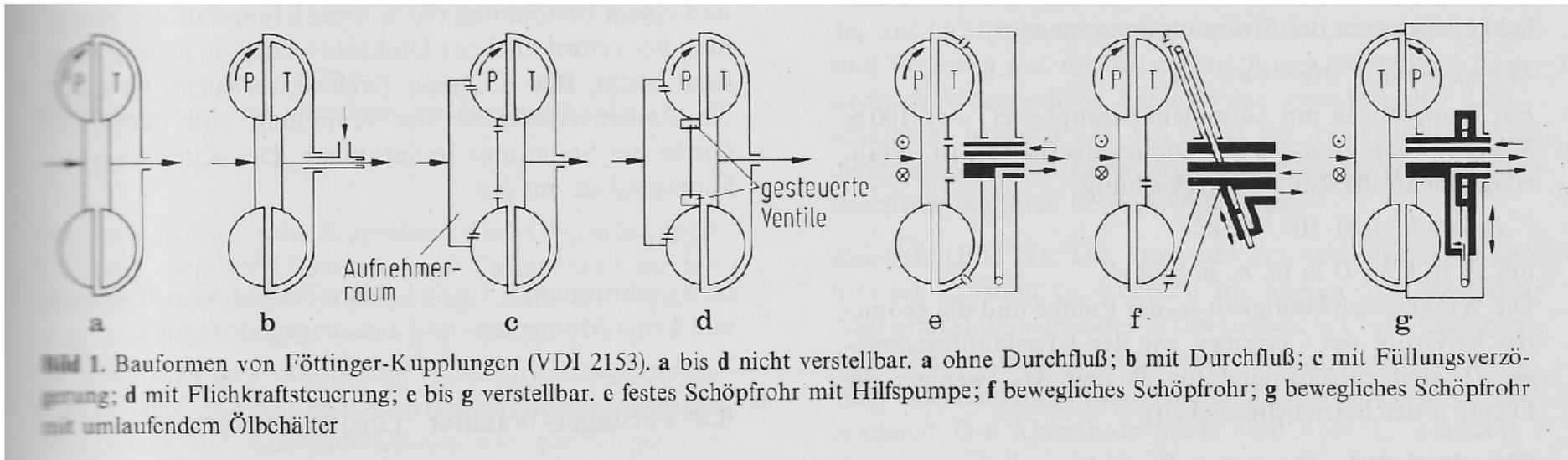
$$\frac{\dot{m}}{\rho \Omega_P d_P^3} = \frac{\pi b}{2 d_P} \frac{1 - \mu(1 + \mu) - (d_T / d_P)^2}{\mu (1 + \mu) \tan \beta_2 - \tan \beta_4}$$

Spezialfall: verlustfreie Kupplung

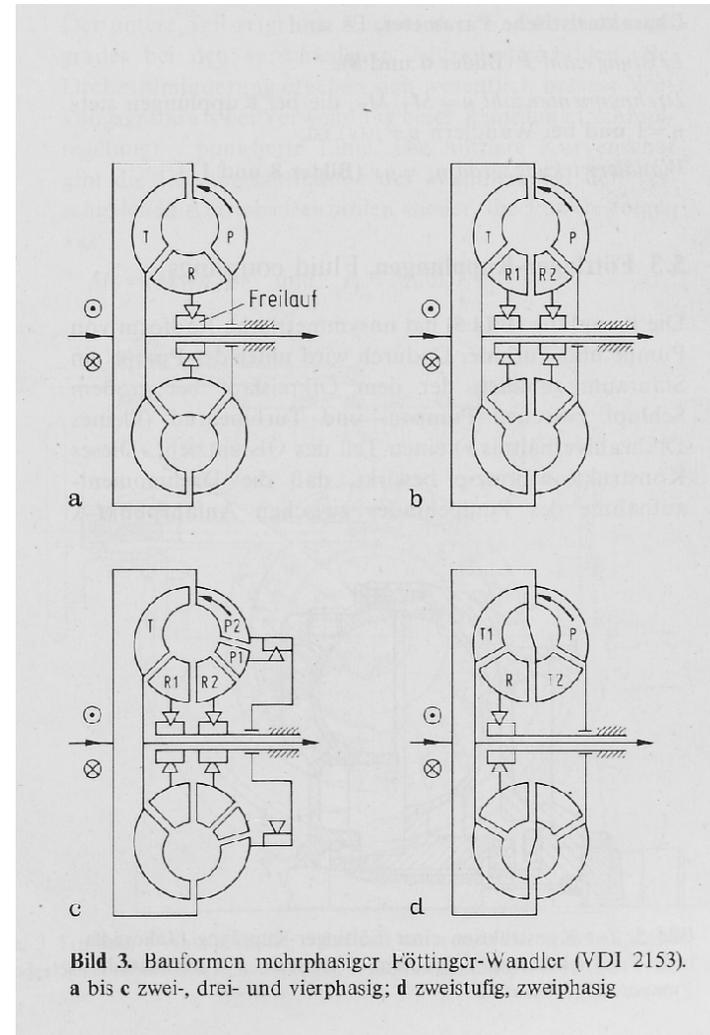
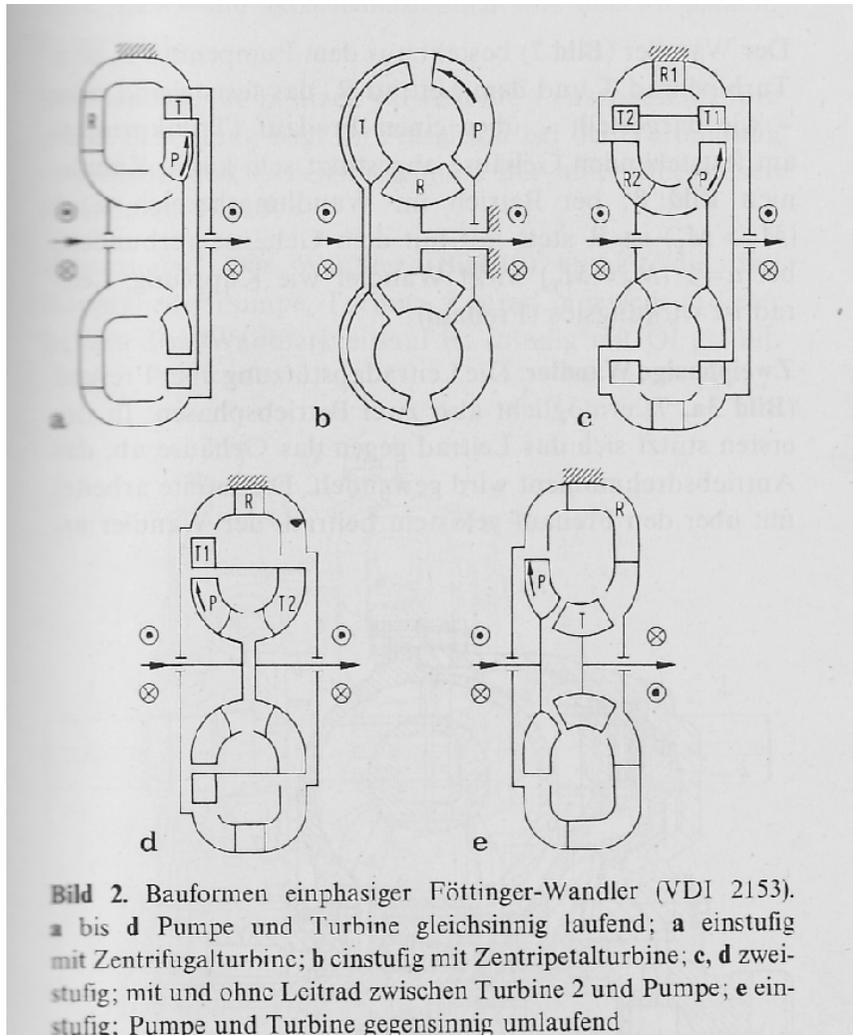
$$\mu = v = \eta = 1$$

$$\frac{\dot{m}}{\rho \Omega_P d_P^3} = \frac{\pi b}{2 d_P} \frac{2 - (d_T / d_P)^2}{2 \tan \beta_2 - \tan \beta_4}$$

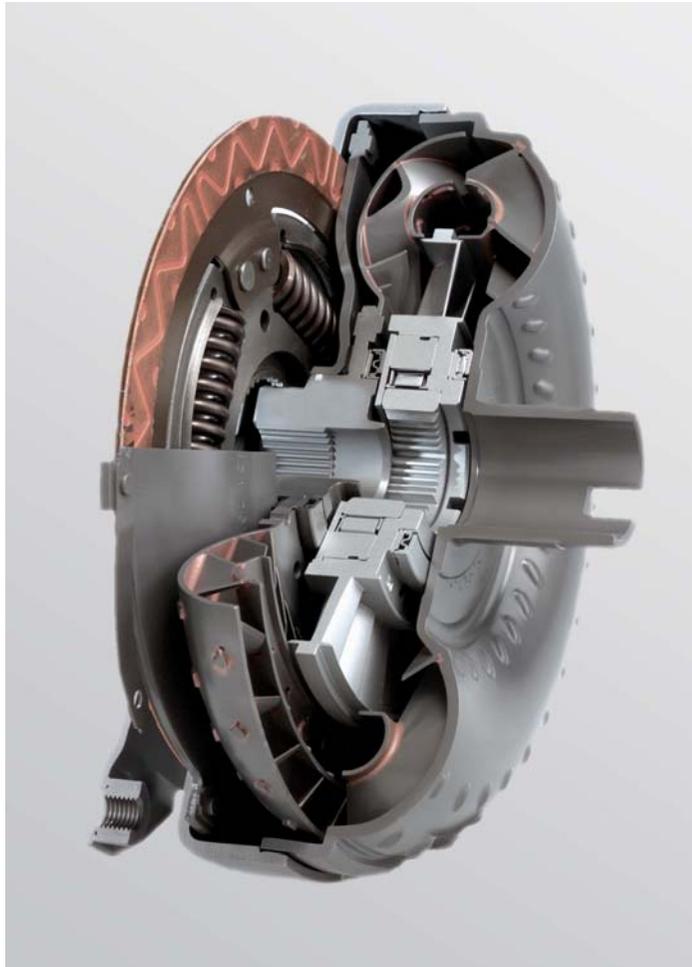
Bauformen von Föttinger-Kupplungen (VDI 2153)



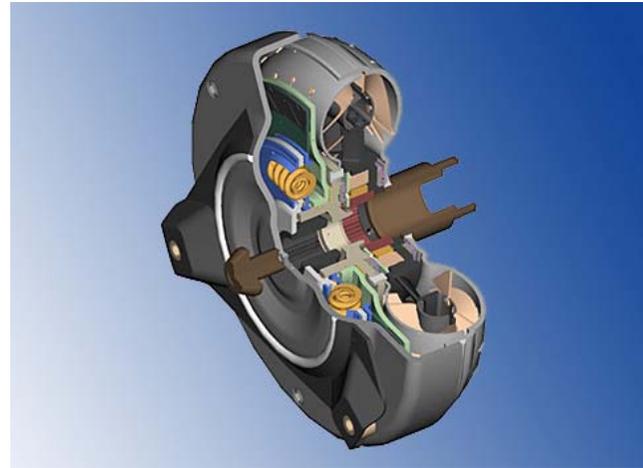
Bauformen von Föttinger-Wandler (VDI 2153)



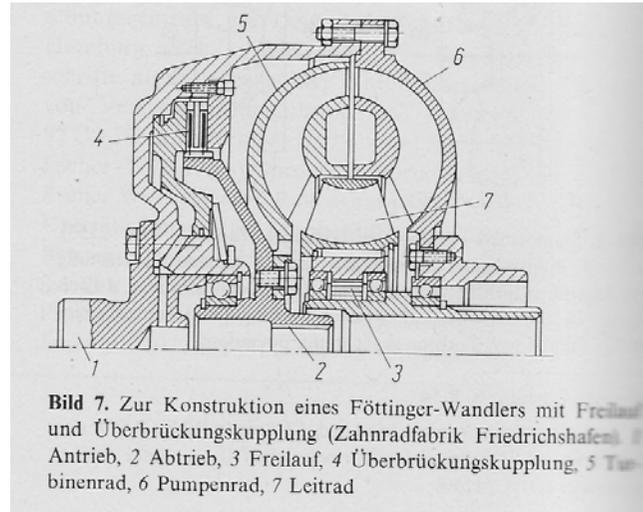
Wandler nach dem Trilokprinzip



Fa. LuK



Fa. ZF



Kennlinie eines Wandlers, der nach dem Trilokprinzip (Leitrad mit Freilauf) arbeitet

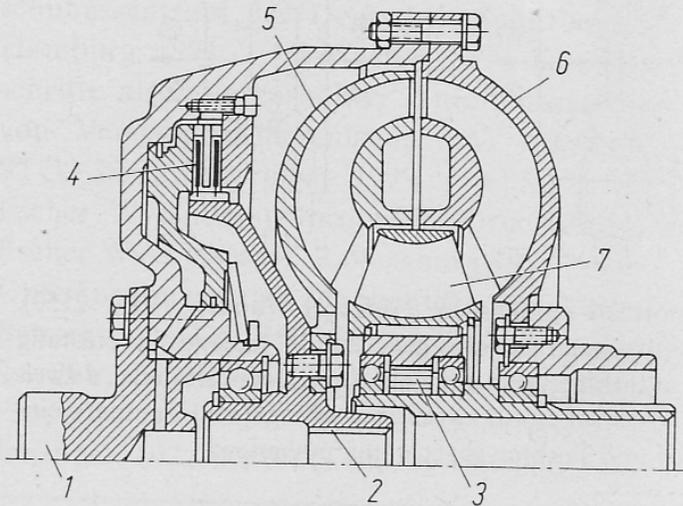
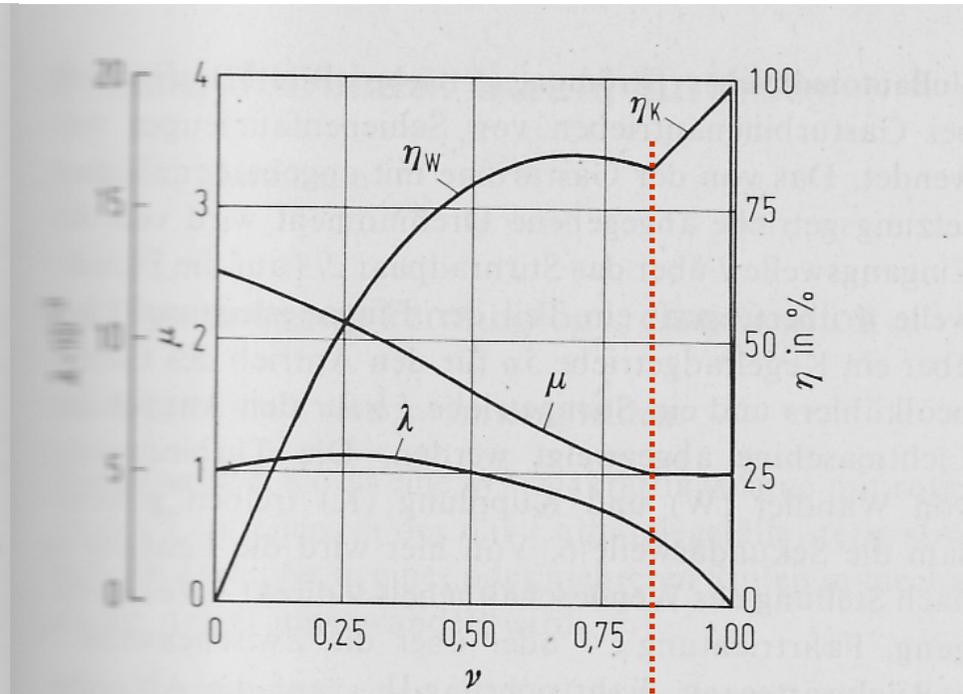


Bild 7. Zur Konstruktion eines Föttinger-Wandlers mit Freilauf und Überbrückungskupplung (Zahnradfabrik Friedrichshafen). 1 Antrieb, 2 Abtrieb, 3 Freilauf, 4 Überbrückungskupplung, 5 Turbinenrad, 6 Pumpenrad, 7 Leitrad



Wandlungsbereich

Kupplung

$$\mu > 1$$

$$\mu = 1$$

Dimensionslose Größen

$\mu = \mu(v)$ $\lambda = \lambda(v)$ $\eta = \eta(v)$



- **Drehmomentenzahl** $\mu = M_T / M_P$
- **Drehzahlverhältnis** $v = \Omega_T / \Omega_P$
- **Schlupf** $s = 1 - v$
- **Wirkungsgrad** $\eta := \frac{P_{Turbine}}{P_{Pumpe}} = \frac{M_T \Omega_T}{M_P \Omega_P} = v \mu$

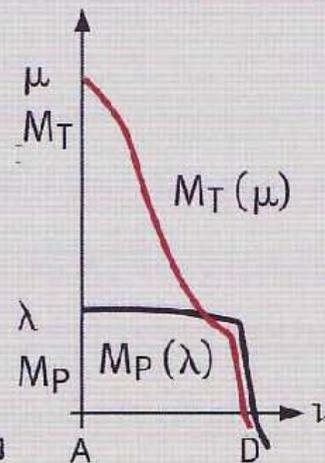
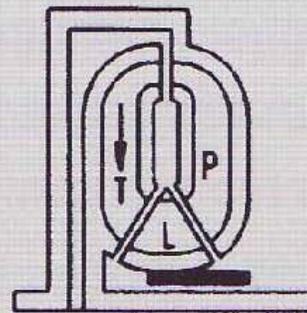
Wandler		$\lambda(v)$	
$M_T = M_P + M_L $ $\mu = M_T / M_P $			
Kennlinienverlauf	abknickend bei $v \approx 1$	annähernd konstant	steigend
Merkmal Turbine	zentripetal durchflossen	zentrifugal durchflossen	axial durchflossen
Gehäuse	umlaufend	feststehend	feststehend
Wandlertyp	Trilok	Föttinger (Lysholm)	Gegenlaufwandler (DIWA)
Kupplung		$\lambda(v)$	
$M_T = M_P $			
Kennlinienverlauf	stetig fallend (Füllung voll — teil- -)	selbstprägend, nur mit Teilfüllung	
Merkmal	geschlossene Meridianströmung	ausweichende Meridianströmung	
Gehäuse	umlaufend	umlaufend	
Kupplungstyp	Föttinger/Vulcan	Voith T-Baureihe (Stauraum S)	

Wandler

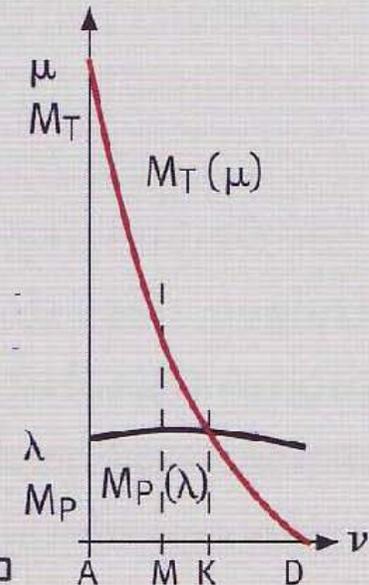
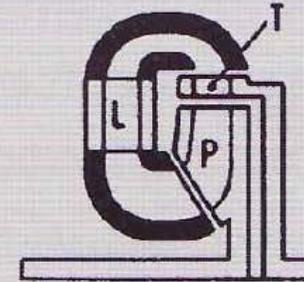
$$M_T = |M_P + M_L|$$

$$\mu = |M_T / M_P|$$

Kennlinienverlauf
Merkmal Turbine
Gehäuse
Wandlertyp

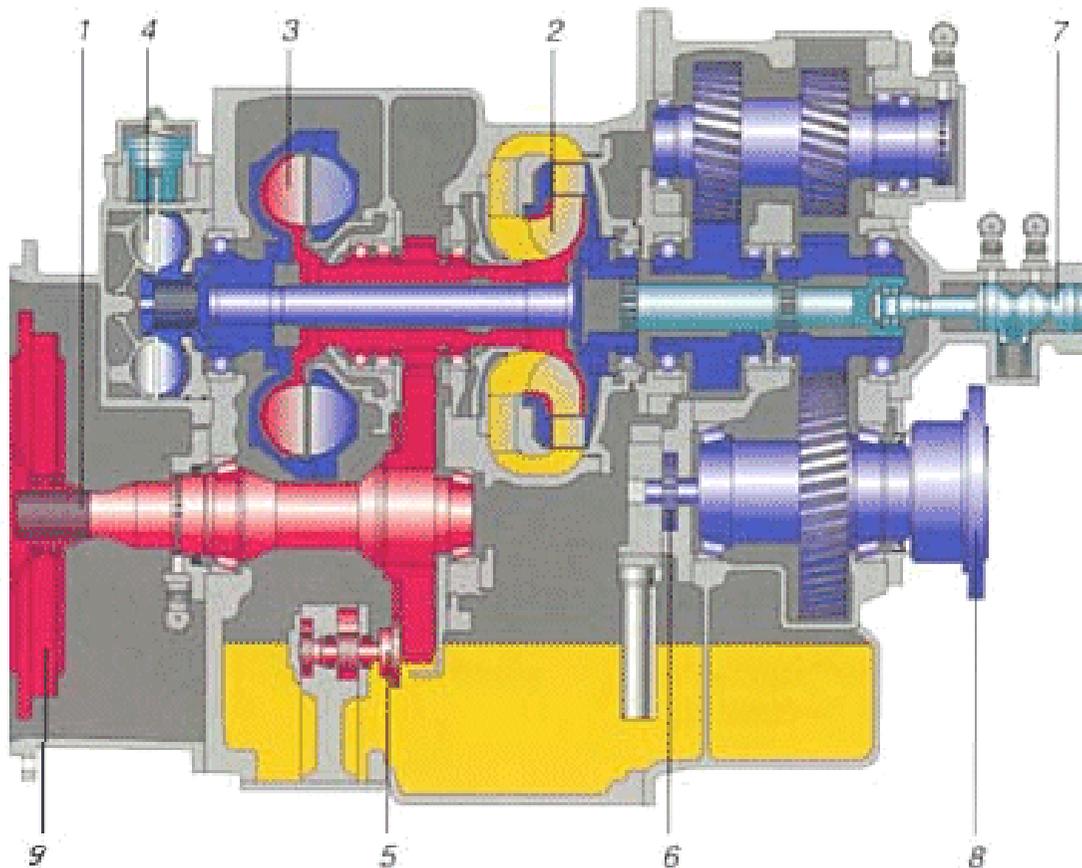


abknickend bei $\nu \approx 1$
zentripetal durchflossen
umlaufend
Trilok



annähernd konstant
zentrifugal durchflossen
feststehend
Föttinger (Lysholm)

Beispiel für eine hydrodynamische Leistungswandlung in einem Schienenfahrzeuggetriebe



Typ T 211 rzze mit Retarder KB 190

- 1 Antrieb
- 2 Drehmomentwandler, Gang 1
- 3 Drehmomentwandler, Gang 2
- 4 Hydrodynamischer Retarder KB 190
- 5 kombinierte Füll- und Steuerpumpe
- 6 Wendeschtaltung
- 8 Abtrieb
- 9 Federkupplung

Automatische Kraftfahrzeuggetriebe mit hydrodynamischer Kupplung / Wandler nach dem Trilokprinzip

