

**Prof. Dr.-Ing. Horst Pippert**

# Antriebstechnik

*Strömungsmaschinen für Fahrzeuge*

*Strömungswandler und Strömungskupp-  
lungen, Gasturbinen, Strömungsbremsen,  
Abgasturbolader*

**VOGEL-VERLAG**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Gemeinsame Behandlung aller Strömungsmaschinen.</b>	<b>9</b>
1.1.	Einleitung	9
1.2.	Eulersche Turbinengleichung	9
1.3.	Eulersche Turbinengleichung bei endlicher Schaufelzahl (Minderablenkung)...	12
1.4.	Berücksichtigung der endlichen Schaufeldicke	16
1.5.	Kavitations- und Überschallgefahr	17
1.6.	Der Austrittswinkel $\beta_3$ bei Pumpen bzw. der Eintrittswinkel $\beta_2$ bei Turbinen..	18
1.7.	Tragflügeltheorie	20
1.8.	Reaktionsgrad, spezifische Spaltdruckarbeit	22
1.9.	Leitvorrichtungen	23
1.10.	Verluste und Wirkungsgrade	31
1.10.1.	<i>Verluste</i>	31
1.10.2.	<i>Wirkungsgrade (Energiebetrachtungen)</i>	43
1.11.	Ähnlichkeitsbetrachtungen	47
1.12.	Betrachtung der 3dimensionalen Strömung	50
1.13.	Axialschub	51
	Beispiel 1: Nachrechnung des Laufrades einer Radialpumpe am Auslegungspunkt	52
	Beispiel 2: Nachrechnung des Leitrades der Radialpumpe nach Beispiel 1.	55
	Beispiel 3: Berechnung des Laufrades der ersten Stufe eines mehrstufigen Axialverdichters.	56
<b>2.</b>	<b>Strömungswandler und Strömungskupplungen.</b>	<b>59</b>
2.1.	Einführung	59
2.2.	Der hydrodynamische Kreislauf in Strömungswandlern	61
2.2.1.	<i>Spezifische Schaufelarbeit der Pumpe und der Turbine</i>	63
2.2.2.	<i>Verluste im hydrodynamischen Kreislauf (hydraulische Verluste)</i>	65
2.2.3.	<i>Energiebilanz des hydrodynamischen Kreislaufs im Wandler</i>	66
2.2.4.	<i>Der Trilokwandler im Kupplungsbereich</i>	68
2.2.5.	<i>Aufstellen der Beziehungen für den hydrodynamischen Kreislauf eines Nicht-Trilokwandlers</i>	70
2.2.6.	<i>Reale, mit der vorstehenden Theorie nicht erfaßte Strömung</i>	72
2.3.	Aufstellen der Primärkennlinien von Strömungswandlern	74
2.4.	Verschiedene Bauformen von Strömungswandlern und ihre Primärkennlinien..	78
2.5.	Experimentelle Untersuchungen von Strömungswandlern	85
2.6.	Der hydrodynamische Kreislauf in Strömungskupplungen	88
2.6.1.	<i>Spezifische Schaufelarbeit der Pumpe und der Turbine</i>	89
2.6.2.	<i>Verluste im hydrodynamischen Kreislauf</i>	90

2.6.3.	<i>Energiebilanz</i> .....	90
2.6.4.	<i>Reale, mit der vorstehenden Theorie nicht erfaßte Strömung.</i> .....	<b>91</b>
2.7.	Aufstellen der Primärkennlinien von Strömungskupplungen .....	92
2.8.	Verschiedene Bauformen von Strömungskupplungen und ihre Kennlinien. . . . .	92
2.9.	Experimentelle Untersuchungen von Strömungskupplungen .....	93
2.10.	Ähnlichkeitsbetrachtungen .....	95
2.11.	Zusammenarbeit von Strömungswandlern bzw. Strömungskupplungen mit Antriebsmaschinen (Sekundärkennlinien) .....	97
2.11.1.	<i>Verschiedene Arbeitsbereiche eines Strömungswandlers bzw. einer Strömungs- kupplung</i> .....	97
2.11.2.	<i>Kennlinien verschiedener Antriebsmaschinen.</i> .....	97
2.11.3.	<i>Aufstellen der Sekundärkennlinien.</i> .....	98
2.11.4.	<i>Die Antriebskombination Motor — hydrodynamisches Getriebe im Fahrleistungs- schaubild.</i> .....	104
2.11.5.	<i>Bewertungsziffern für verschiedene Wandler bzw. Kupplungsausführungen.</i> . . . . .	<b>107</b>
2.12.	Leistungsverzweigung .....	109
2.13.	Konstruktive und technologische Probleme .....	113
2.13.1.	<i>Kühlung (Abführung der Verlustleistung).</i> .....	<b>114</b>
2.13.2.	<i>Axialschub.</i> .....	116
2.13.3.	<i>Verformung des hydrodynamischen Wandlers bzw. der Kupplung (Aufblähung)</i> ..	<b>116</b>
2.13.4.	<i>Konstruktion der hydrodynamischen Wandler und Kupplungen.</i> .....	<b>119</b>
2.13.5.	<i>Das Strömungsmedium (öl).</i> .....	122
2.14.	Ausgeführte Beispiele hydrodynamischer Getriebe .....	123
2.14.1.	<i>Das VW-Getriebe.</i> .....	125
2.14.2.	<i>Das automatische Nutzfahrzeuggetriebe W3 D 080 (Daimler-Benz).</i> . . . . .	<b>127</b>
2.14.3.	<i>Das Voith-DI WA-Getriebe.</i> .....	133
2.14.4.	<i>Das Voith-Turbogetriebe (Mehrwandlergetriebe).</i> .....	<b>136</b>
2.14.5.	<i>Das Zf-Synchroma-Getriebe mit Wandler-Schaltkupplung (WSK).</i> .....	<b>138</b>
	Beispiel 1: Berechnung der Kennlinien eines Trilokwandlers .....	140
	Beispiel 2: Untersuchung des Einflusses des Pumpenaustrittswinkels $\beta_2$ auf die Kennlinien eines Trilokwandlers .....	148
	Beispiel 3: Untersuchung des Einflusses des Radien Verhältnisses $i_{T1} = i_{T4}$ auf die Kennlinien eines Trilokwandlers .....	148
	Beispiel 4: Berechnung der Kennlinien einer Strömungskupplung .....	148
	Beispiel 5: Berechnung einer Antriebskombination Kolbenmotor—Wandler ...	153

### **3. Gasturbinen.....157**

3.1.	Funktion von Gasturbinen .....	157
3.2.	Thermodynamische Grundlagen .....	161
3.2.1.	<i>Kreisprozesse.</i> .....	161
3.2.2.	<i>Verbrennung.</i> .....	174
3.3.	Strömungstechnische Grundlagen .....	178
3.3.1.	<i>Berechnung der Verdichterstufe.</i> .....	178
3.3.2.	<i>Berechnung der Turbinenstufe.</i> .....	182
3.4.	Kennfelder von Verdichtern .....	185
3.5.	Turbinenkennfelder .....	189

3.6.	Kennfelder von Gasturbinen .....	195
3.7.	Die Regelung der 2-Wellen-Gasturbine .....	201
3.8.	Die Brennkammer der Gasturbine .....	206
3.9.	Der Wärmetauscher .....	209
3.10.	Technologische und konstruktive Probleme .....	213
3.10.1.	<i>Werkstoffe</i> .....	213
3.10.2.	<i>Kühlung der Bauteile</i> .....	214
3.10.3.	<i>Lager- und Geräuschfragen</i> .....	215
3.10.4.	<i>Brennstoffe</i> .....	215
3.11.	Ausgeführte Anlagen .....	215
3.11.1.	<i>Die MAN-Versuchsgasturbine</i> .....	216
3.11.2.	<i>Die Volvo-Gasturbine (250 PS)</i> .....	221
3.11.3.	<i>Die KHD-Einwellen-Kleingasturbine T16</i> .....	223
	Beispiel 1: Thermodynamische Berechnung einer Gasturbinenanlage (2-Wellen-Gasturbine) .....	225
	Beispiel 2: Berechnung der Stufe eines Radialverdichters .....	229
	Beispiel 3: Berechnung der Stufe einer Turbine .....	233
	Beispiel 4: Berechnung des Kennfeldes eines Verdichters .....	236
	Beispiel 5: Berechnung eines Turbinenkennfeldes .....	239
	Beispiel 6: Berechnung der Kennlinien einer 2-Wellen-Gasturbinenanlage ...	241
<b>4.</b>	<b>Strömungsbremsen.....</b>	<b>246</b>
4.1.	Wirkungsweise der Strömungsbremse .....	246
4.2.	Regelung der Strömungsbremse .....	247
4.3.	Ausgeführte Beispiele von Strömungsbremsen .....	248
4.3.1.	<i>Voith-Strömungsbremse Typ B180</i> .....	248
4.3.2.	<i>ATE-Strömungsbremse</i> .....	249
<b>5.</b>	<b>Abgasturbolader.....</b>	<b>251</b>
5.1.	Wirkungsweise von Abgasturboladern .....	251
5.2.	Thermodynamische Beziehungen .....	253
5.3.	Berechnung des Verdichters und der Turbine .....	255
5.4.	Zusammenarbeit von Motor und Abgasturbolader .....	255
5.5.	Auslegung der Kombination Kolbenmotor—Abgasturbolader bei Vorliegen von Verdichter- und Turbinenkennfeldern .....	258
5.6.	Beispiel für die Ausführung eines Abgasturboladers (KKK 3 LD-179) .....	259
	Beispiel 1: Auswahl eines Turboladers .....	262
	Verzeichnis der wichtigsten Symbole .....	267
	Literaturverzeichnis .....	269
	Stichwortverzeichnis .....	271