

Prof. Dr.-Ing. Horst Pippert

Antriebstechnik

Strömungsmaschinen für Fahrzeuge

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

VOGEL-VERLAG

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | Gemeinsame Behandlung aller Strömungsmaschinen. | 9 |
| 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 β_3 bei Pumpen bzw. der Eintrittswinkel β_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 |
| 2. | Strömungswandler und Strömungskupplungen. | 59 |
| 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> | 91 |
| 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> | 107 |
| 2.12. | Leistungsverzweigung | 109 |
| 2.13. | Konstruktive und technologische Probleme | 113 |
| 2.13.1. | <i>Kühlung (Abführung der Verlustleistung).</i> | 114 |
| 2.13.2. | <i>Axialschub.</i> | 116 |
| 2.13.3. | <i>Verformung des hydrodynamischen Wandlers bzw. der Kupplung (Aufblähung)</i> .. | 116 |
| 2.13.4. | <i>Konstruktion der hydrodynamischen Wandler und Kupplungen.</i> | 119 |
| 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> | 127 |
| 2.14.3. | <i>Das Voith-DI WA-Getriebe.</i> | 133 |
| 2.14.4. | <i>Das Voith-Turbogetriebe (Mehrwandlergetriebe).</i> | 136 |
| 2.14.5. | <i>Das Zf-Synchroma-Getriebe mit Wandler-Schaltkupplung (WSK).</i> | 138 |
| | Beispiel 1: Berechnung der Kennlinien eines Trilokwandlers | 140 |
| | Beispiel 2: Untersuchung des Einflusses des Pumpenaustrittswinkels β_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. | Werkstoffe | 213 |
| 3.10.2. | Kühlung der Bauteile | 214 |
| 3.10.3. | Lager- und Geräuschfragen | 215 |
| 3.10.4. | Brennstoffe | 215 |
| 3.11. | Ausgeführte Anlagen | 215 |
| 3.11.1. | Die MAN-Versuchsgasturbine | 216 |
| 3.11.2. | Die Volvo-Gasturbine (250 PS) | 221 |
| 3.11.3. | Die KHD-Einwellen-Kleingasturbine T16 | 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 |
| 4. | Strömungsbremsen | 246 |
| 4.1. | Wirkungsweise der Strömungsbremse | 246 |
| 4.2. | Regelung der Strömungsbremse | 247 |
| 4.3. | Ausgeführte Beispiele von Strömungsbremsen | 248 |
| 4.3.1. | Voith-Strömungsbremse Typ B180 | 248 |
| 4.3.2. | ATE-Strömungsbremse | 249 |
| 5. | Abgasturbolader | 251 |
| 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 |