

Grundlagen der Strömungsmaschinen und Windturbinen

13. Dampfturbinen Lehrstuhl Strömungsmaschinen

Gliederung der Vorlesung

1. Einführung, Einteilung, Historische Entwicklung, Aufbau und Wirkungsweise
2. Strömungsmechanische Grundlagen
3. Energieübertragung am Rotor, Ableitung der Euler'schen Turbomaschinengleichung
4. Ähnlichkeitsmechanik
5. Bestimmung der Hauptabmessungen, Entwurfsschritte, Verluste
6. Kavitation
7. Strömungsmaschine im System, Kennlinien, Regelung
8. Pumpenbauarten, Sonderbauarten
9. Strömungswandler
10. Voith-Schneider-Propeller, Gezeitenturbine, Wells-Turbine
11. Windturbinen – Einführung, Aufbau
12. Windturbinen – Entwurf
13. **Dampfturbinen**
14. Zusammenfassung

13.1 Einführung

Sigloch, H. „Strömungsmaschinen“

Dietzel, F. „Dampfturbinen“

Lindner, E. „Lehrbriefe SM“

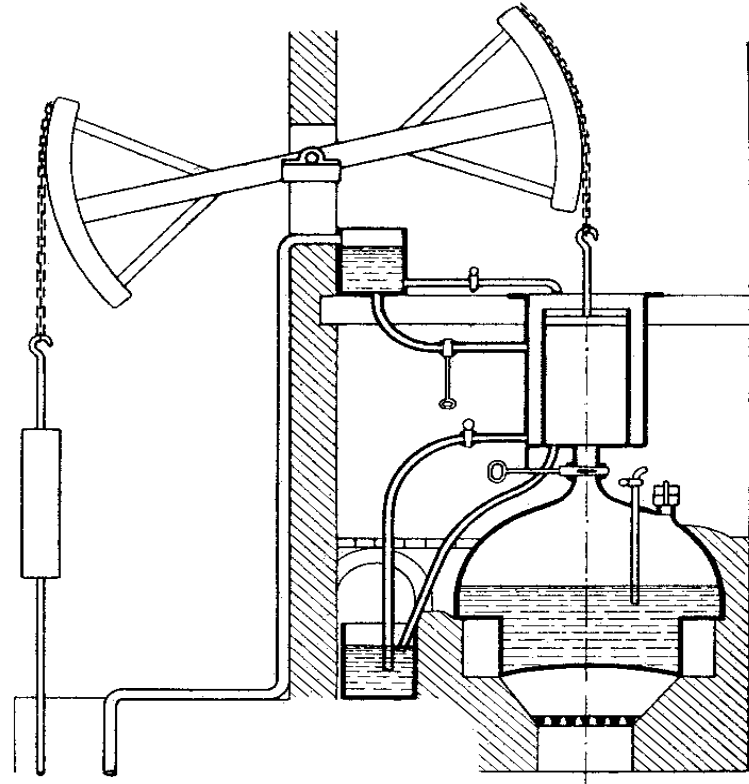
Bohl, W. „Strömungsmaschinen“

Traupel, W. „Thermische Turbomaschinen“

Historische Entwicklung



Aeolipile (Heron's ball), Heron von
Alexandria, Antike



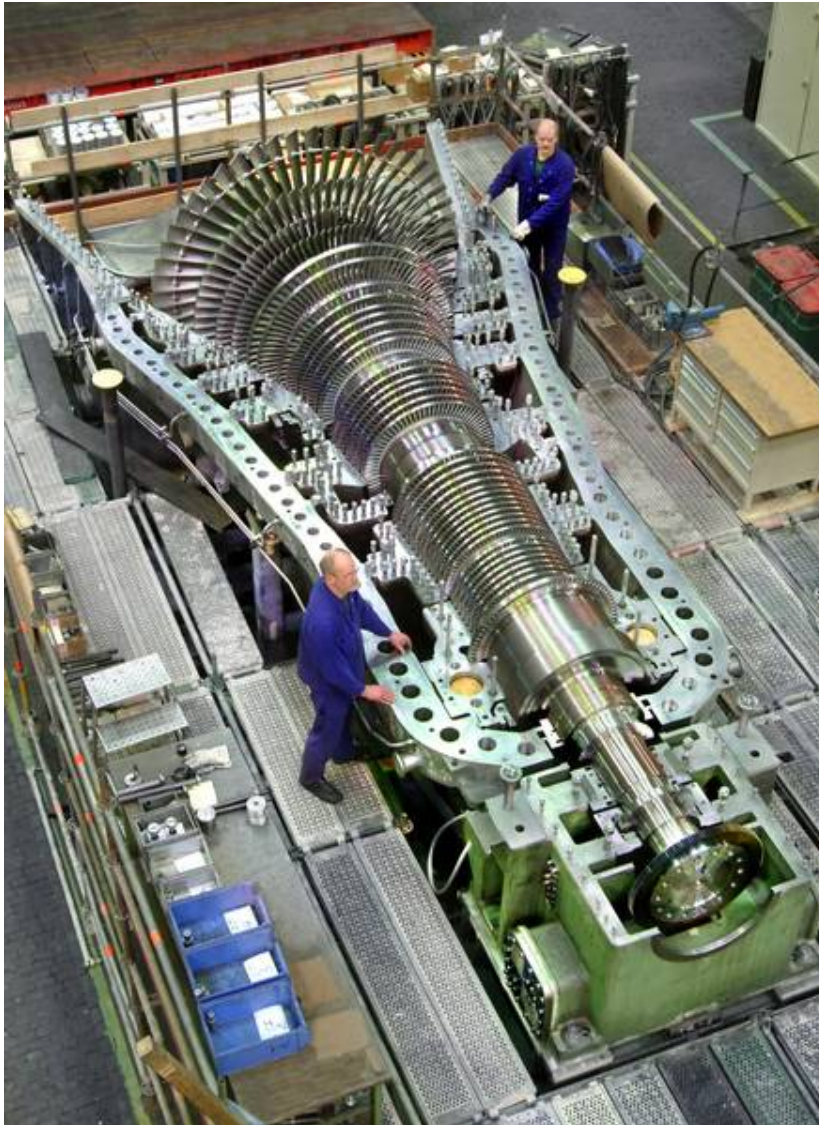
Dampfmaschine von Newcomen, 1712

Bildquellen: Wikipedia

erste einsetzbare Dampfturbinen:

- 1883 entwickelte Carl Gustav Patrik de Laval (1883) eine Dampfturbine, die nach dem Aktionsprinzip arbeitet
- 1884 entwickelte Charles Parsons eine Dampfturbine, die das Reaktionsprinzip nutzt

moderne Dampfturbinen



Parsons-Turbine (MAN)

Bildquellen: Sigloch, Strömungsmaschinen

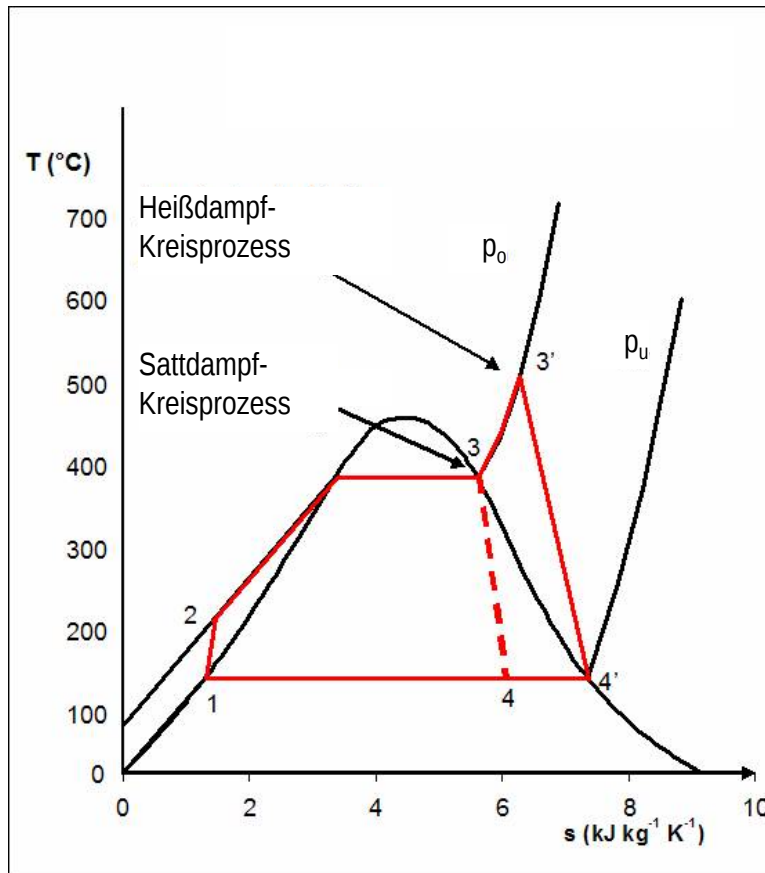
Anwendung:

- Kraftwerke (Elektrizitätserzeugung)
- Industrie (Elektrizitätserzeugung)
- atomgetriebene Schiffe (Antrieb oder Elektrizitätserzeugung + Antrieb über E-Motor)
- Hilfs-DT (Antrieb von Pumpen, Verdichtern usw.)

bedeutende Dampfturbinenhersteller (2012):

- **General Electric** (USA, 300000 Mitarbeiter, 147 Mrd. \$ Umsatz)
- **ALSTOM** (Frankreich, 94000 Mitarbeiter, 18,7 Mrd. € Umsatz)
- **Siemens Sector Energy** (Deutschland, 97000 Mitarbeiter, 27,6 Mrd. \$ Umsatz)
- **Bharat Heavy Electricals** (Indien, 43000 Mitarbeiter)
- **MAN Turbo AG** (Deutschland, MAN: 52500 Mitarbeiter, 16,5 Mrd. € Umsatz)
- **Bharat Heavy Electricals** (Indien, 43000 Mitarbeiter)
- **Mitsubishi Heavy Industries**

Dampfkraftprozess nach Clausius-Rankine



1→2: Druckerhöhung in Speisewasserpumpe

2→3: Wärmezufuhr im Verdampfer

3→3': Überhitzung im Überhitzer

3→4:
Expansion in Turbine

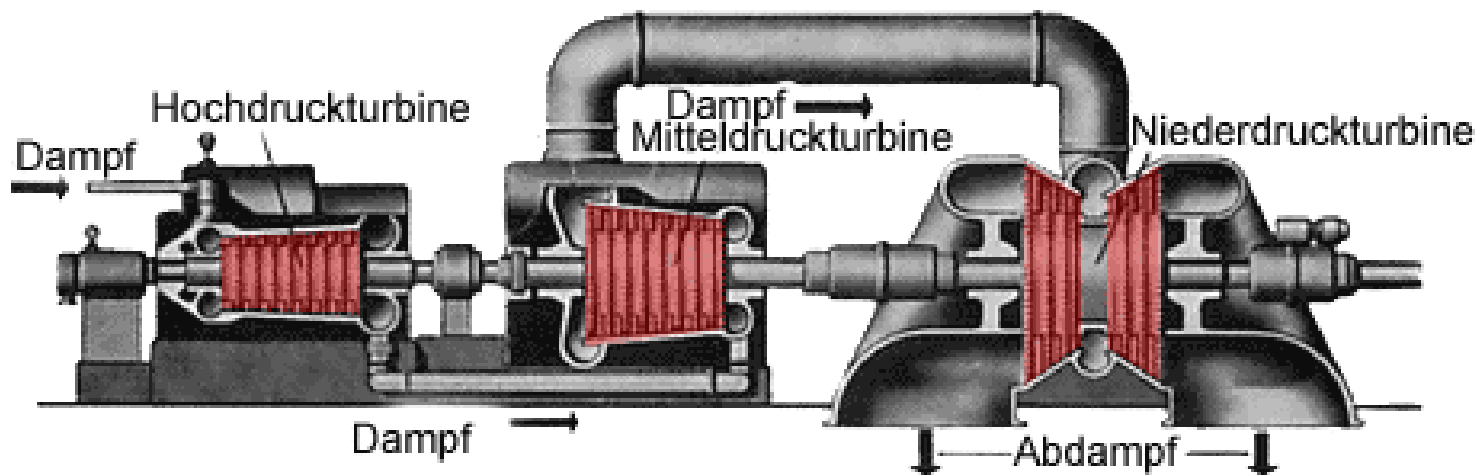
3'→4':

4', 4 → 1: Wärmeabfuhr im Kondensator

T1

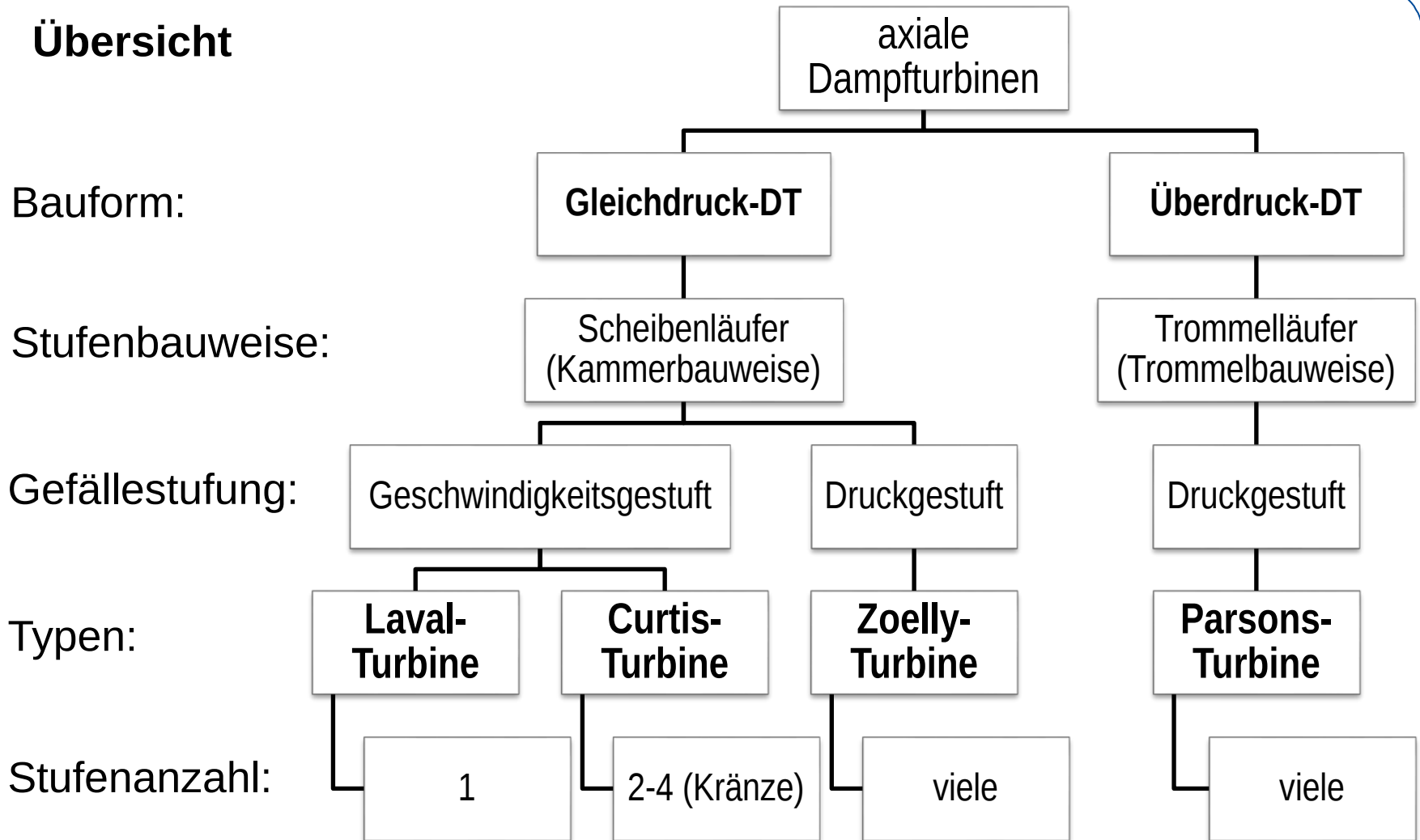
- 70 % der Stromerzeugung in Deutschland stammt aus Dampfkraftanlagen
- Primärenergieträger:
 - Kohle
 - Erdöl
 - Erdgas
 - Kernbrennstoffe

Mehrgehäuse-DT für große Dampfturbinen



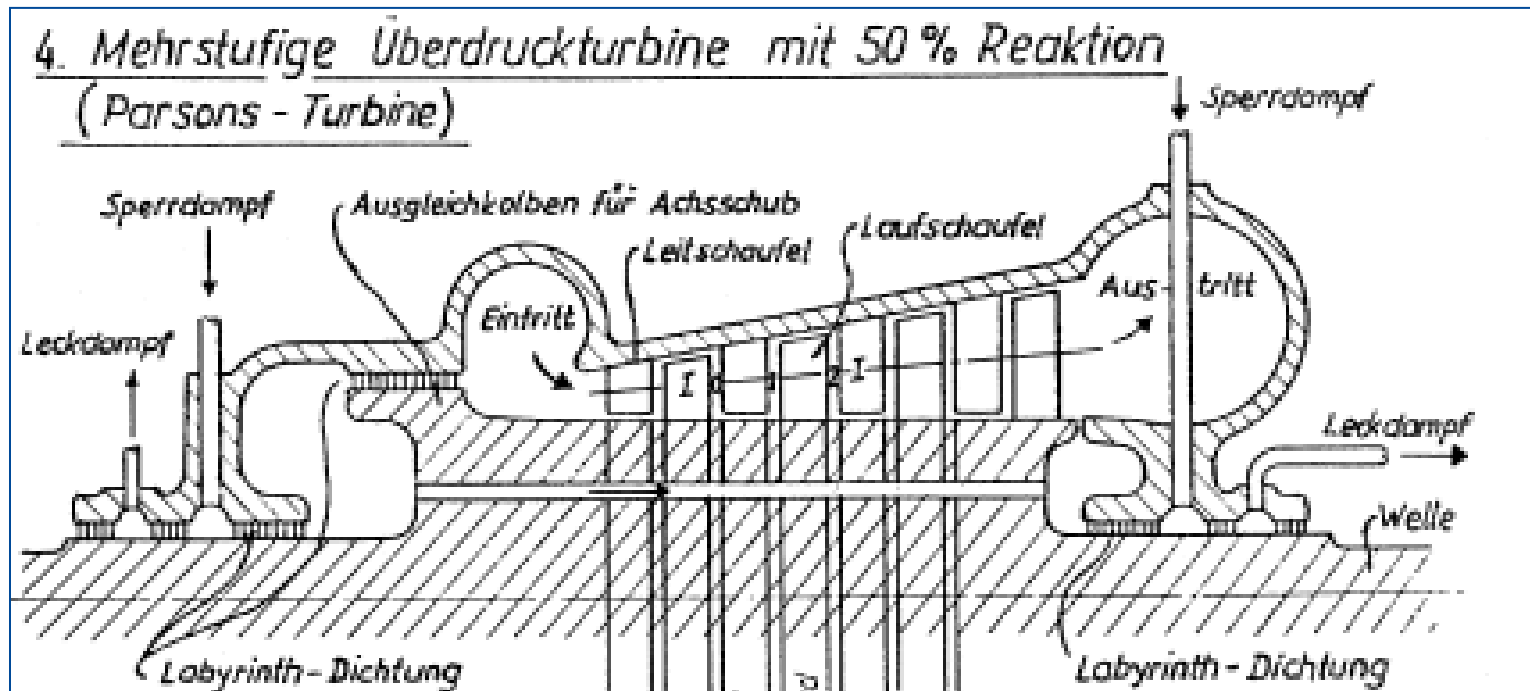
Grafik: Gekoppelte Dampfturbine. Quelle: Helmut Hütten, "Motoren", Motorbuchverlag Stuttgart, S.379

Übersicht



13.2 Aufbau / Wirkungsweise

Aufbau einer Dampfturbine am Beispiel der Parsons-Turbine



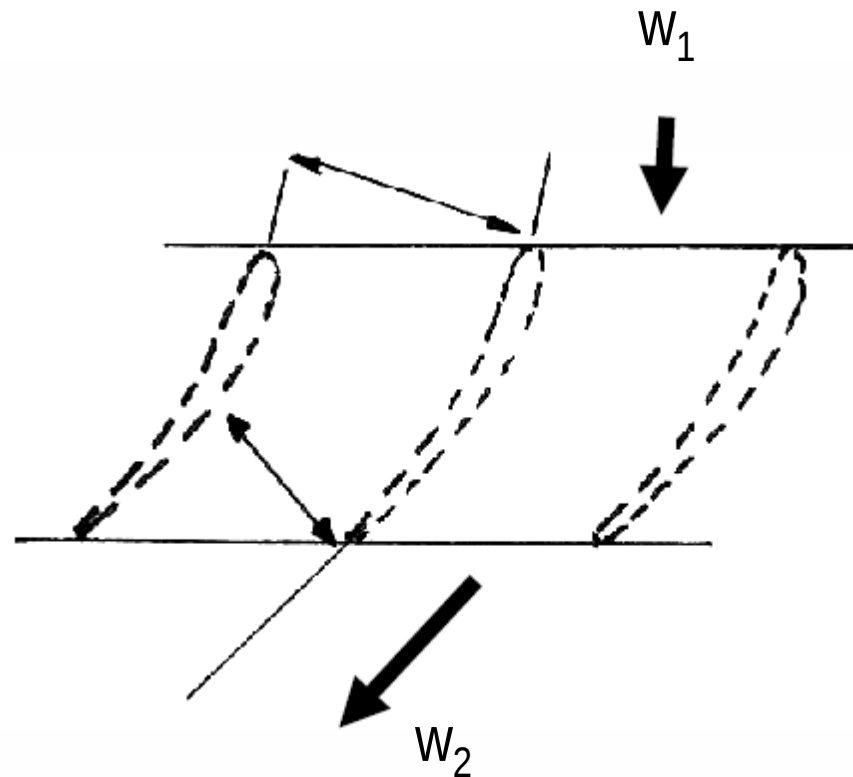
weitere Bauteile:

- Einlassventil mit Schnellschluss
- Regelventile (Ringkanal mit Düsendruppen)
- Turbinengehäuse
- Wellenlager
- Ölbehälter und Hilfsölpumpe
- Dichtungen

In Turbinen wird die Relativbewegung des Fluid

- beschleunigt (→ Beschleunigungsgitter)
- oder stark umgelenkt.

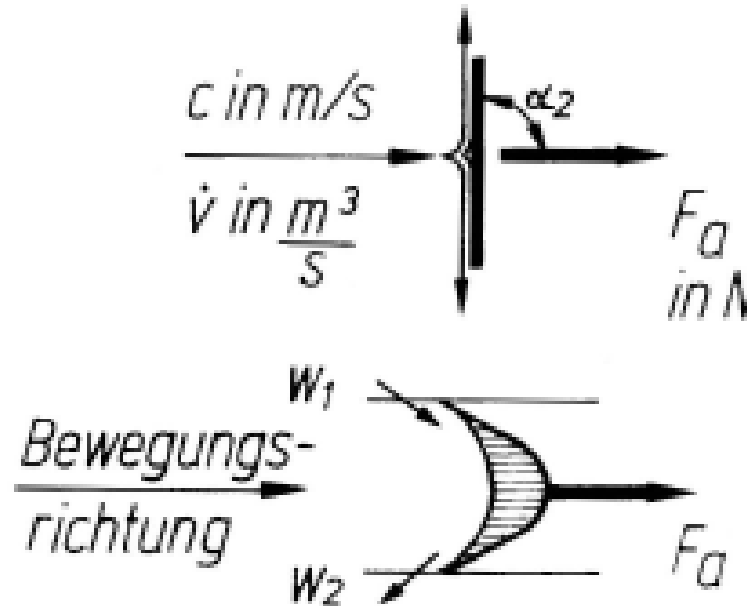
Beschleunigungsgitter:



Wirkungsweise

Umfangsleistung: $P_u = F_u \cdot u$

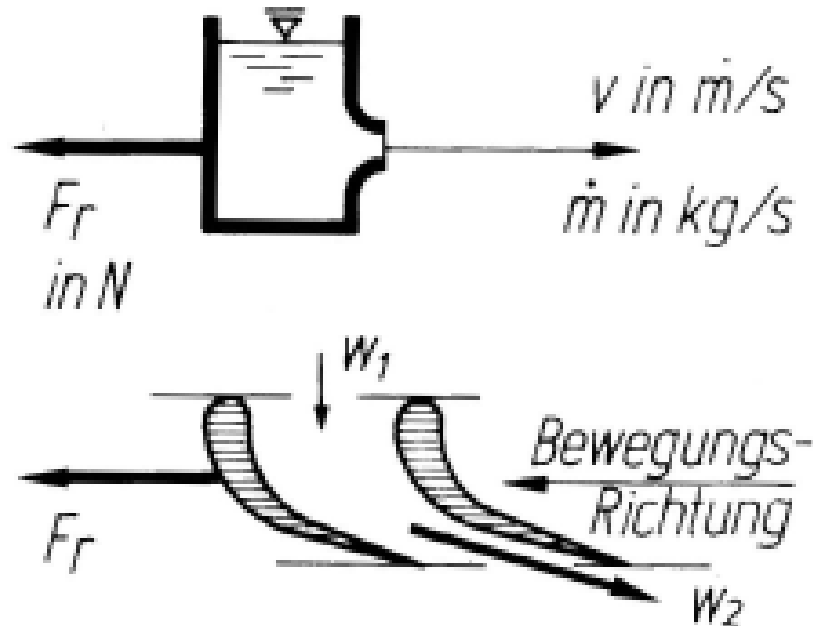
Aktionskraft:



Aktions- oder Stoßdruckkraft:

- auf die Wand treffende Flüssigkeitsstrahl übt eine Aktions- oder Stoßkraft aus
- nur Ablenkung bzw. Umlenkung des Fluidstroms → Entzug kinetischer Energie
- $w_2 = w_1$

Reaktionskraft:



Reaktions- oder Rückstoßkraft:

- Erhöhung der Relativgeschwindigkeit infolge weiteren Druckabbaus im Laufrad → Rückstoßwirkung beim Austritt aus Laufrad
- $W_2 > W_1$

13.3 Gleichdruck-Dampfturbine

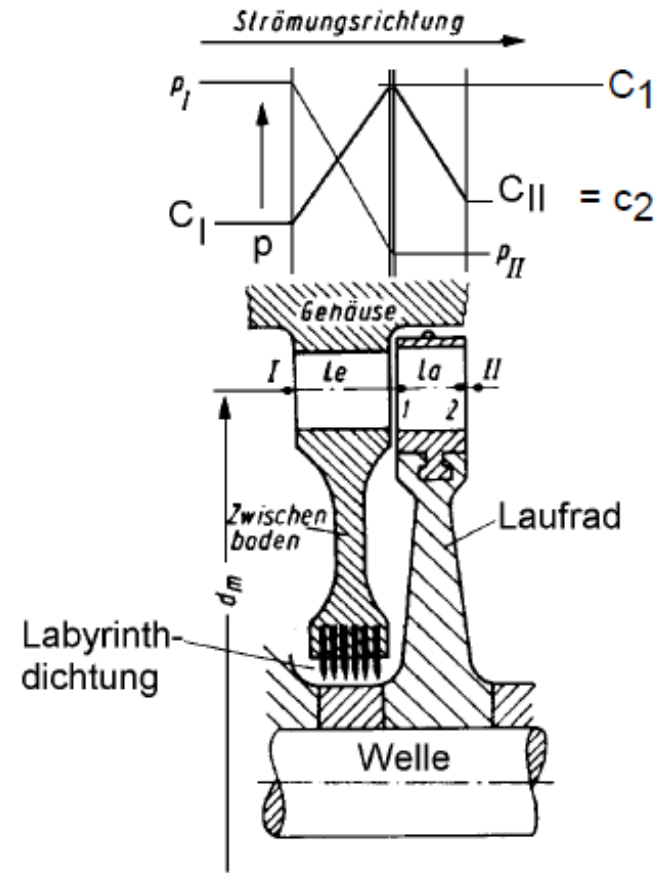
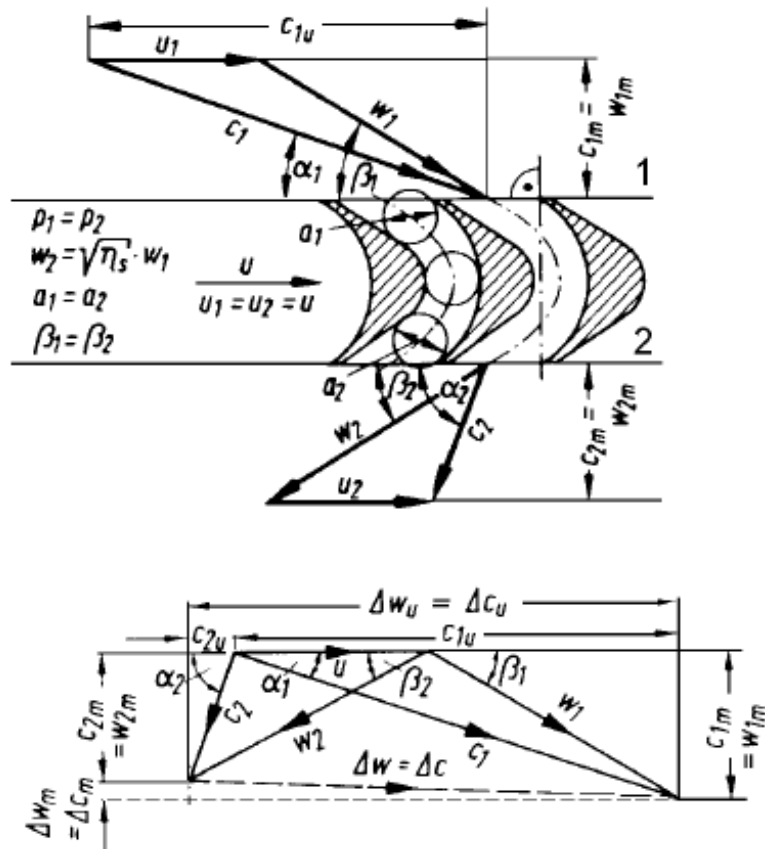
Gleichdruck-Dampfturbine

- Dampfenthalpie (und Druck) wird in Leitrad abgebaut
- Druck bleibt über Laufrad konstant
- hochbeschleunigter Dampf wird in Laufrad umgelenkt (Aktionswirkung)
- kinetische Dampfenenergie wird in Umfangsarbeit umgewandelt

Bauformen:

- Laval-Turbine
- Curtis-Turbine
- Zoelly-Turbine

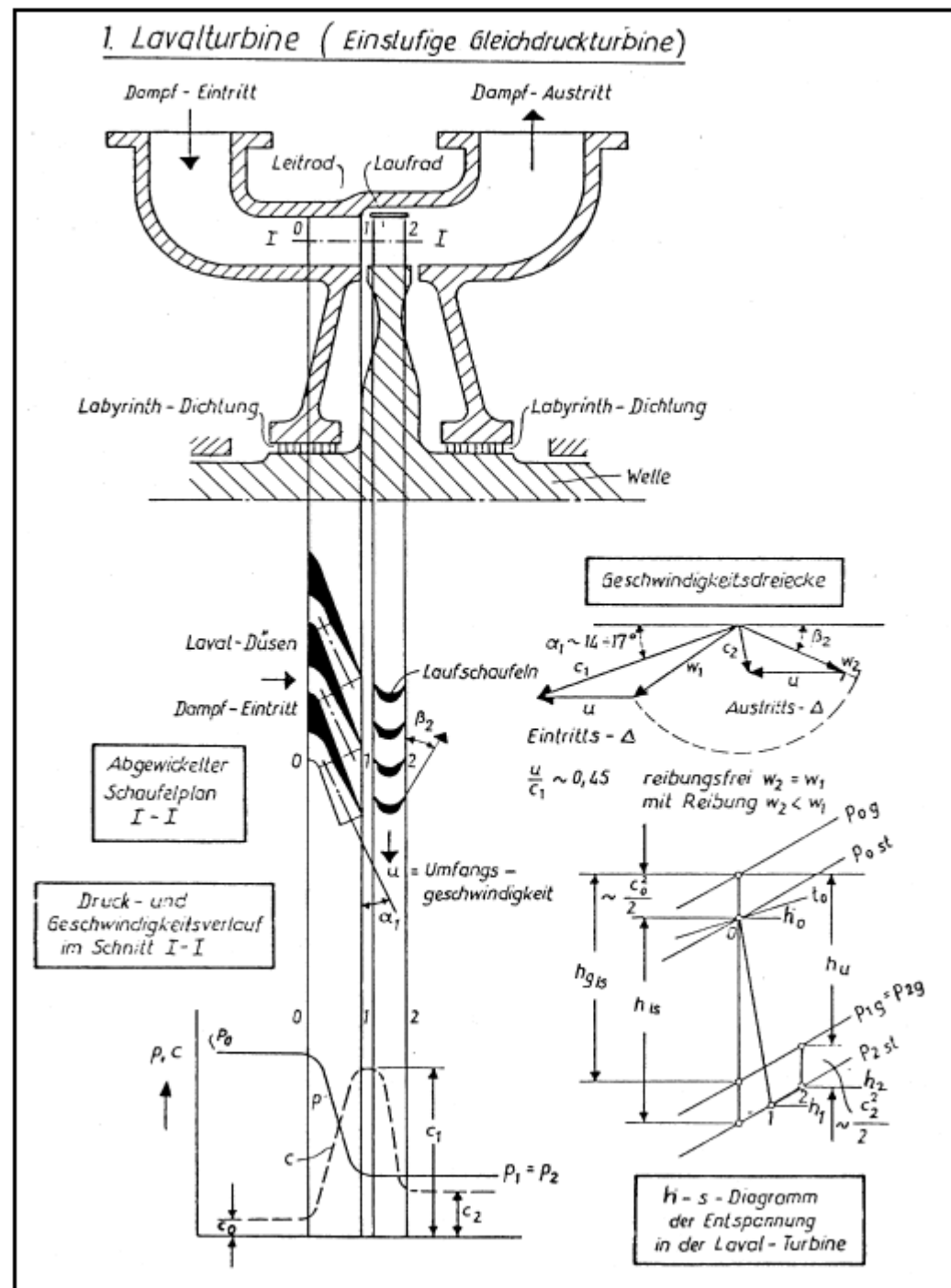
Gleichdruck-Dampfturbine



Gleichdruck-Dampfturbine

Laval-Turbine

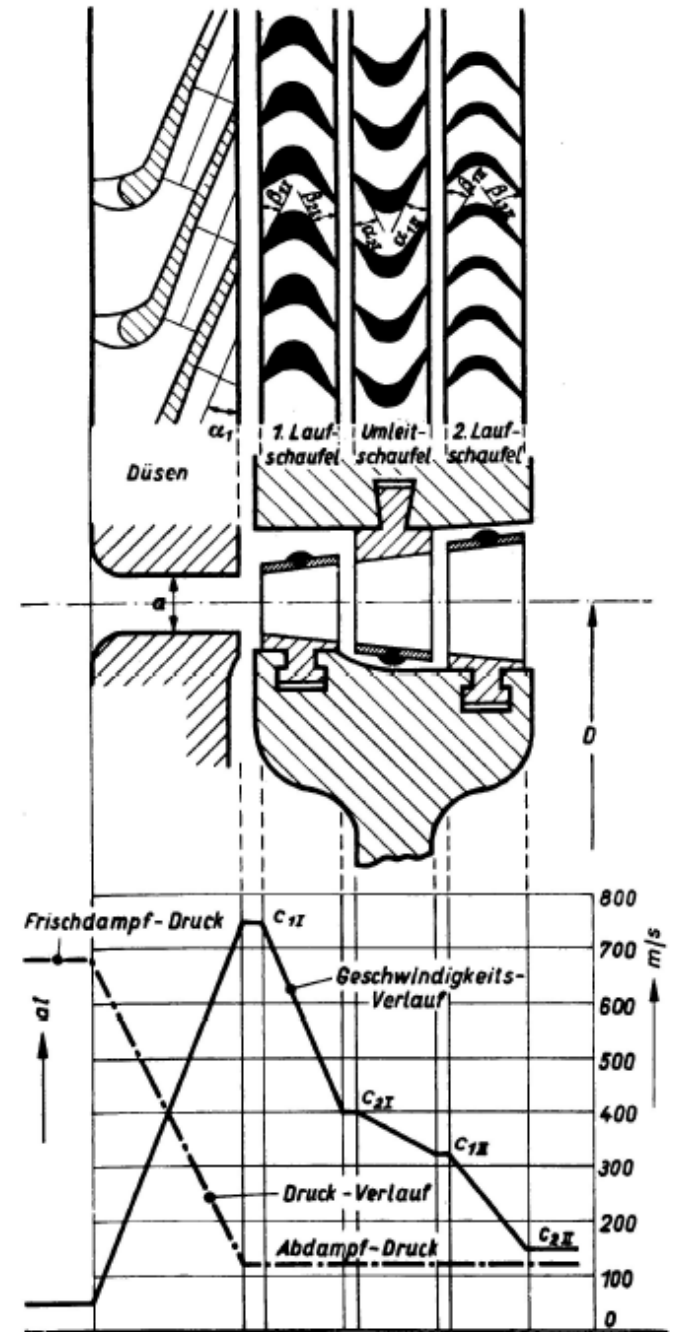
- auch Aktionsrad (A-Rad) ist kleinste Dampfturbine
- Düse fast immer Lavaldüse
- einstufig
- Laufrad kann über Umlenkammern mehrfach durchströmt werden
 - Geschwindigkeitsstufung
 - größeres Enthalpiegefälle erhöht Leistung
 - vermehrte Reibung vermindert Wirkungsgrad
- Leistung: 1...5000 kW
- Wirkungsgrad: 40 bis 80 %



Gleichdruck-Dampfturbine

Curtis-Turbine

- 2- bis 4-stufige Turbinen (2C- bis 4C-Rad)
- Zuströmung über Laval-Düsen
- auf gemeinsamer Radscheibe angeordnete Laufschaufeln
- geschwindigkeitsgestuft
- Kleinturbine
 - Leistung: 1...5000 kW
 - innerer Wirkungsgrad: 0,65
 - mech. Wirkungsgrad: 0,96



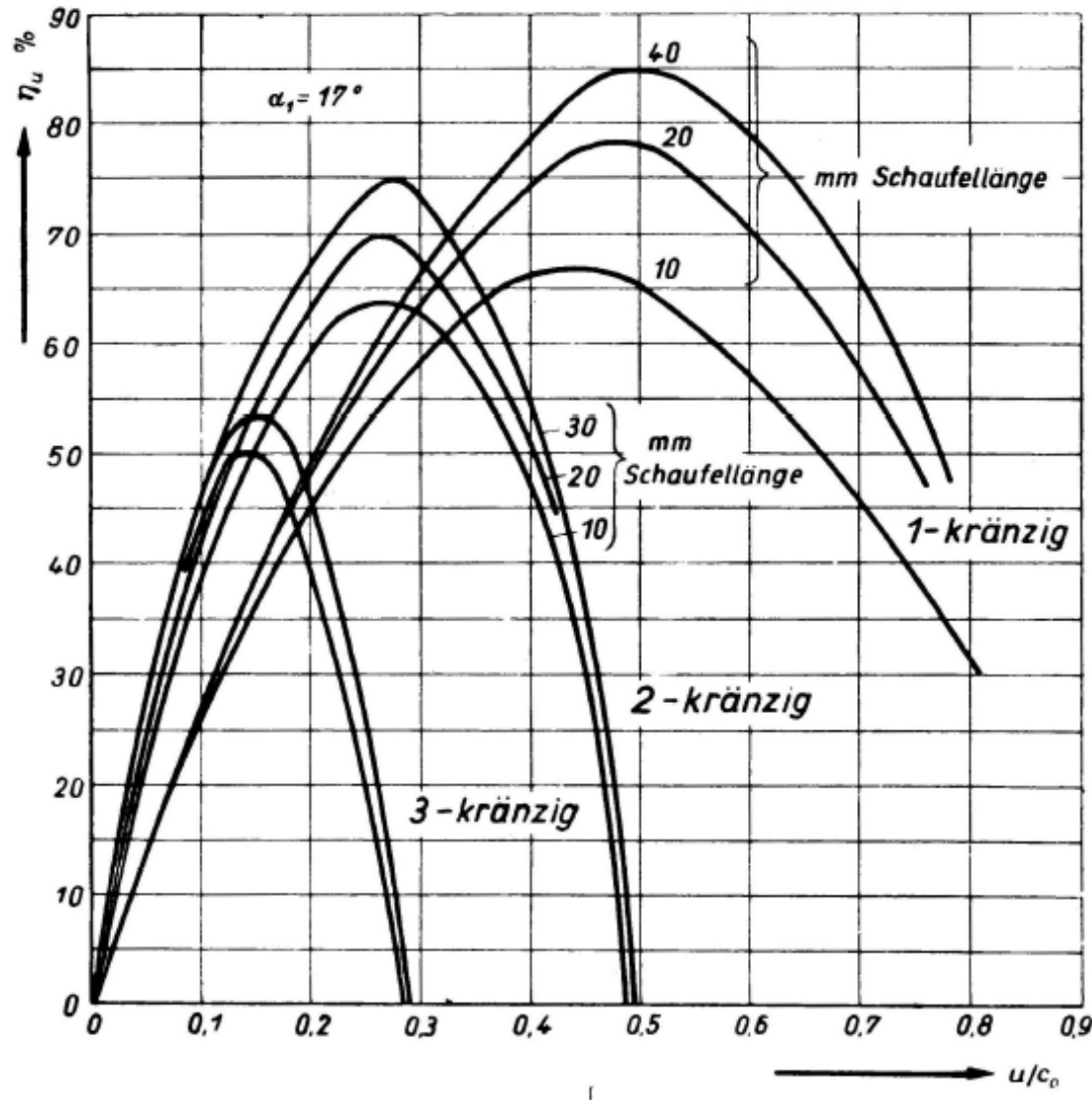
Vorteile:

- einfacher Aufbau
- hoher Energieumsatz in wenigen Stufen
- Teilbeaufschlagung möglich
- Abbau Druck und Temperatur bereits in Laval-Düsen → geringere Belastung der folgenden Schaufeln

Nachteile:

- hohe Geschwindigkeiten und große Umlenkung → Ansteigen der Verluste führt zu niedrigem Wirkungsgrad

Wegen der aufgeführten Vorteile werden Laval- und Curtisträder häufig als Regelstufe bei Mittel- und Großturbinen eingesetzt (auch bei ÜD-Maschinen).

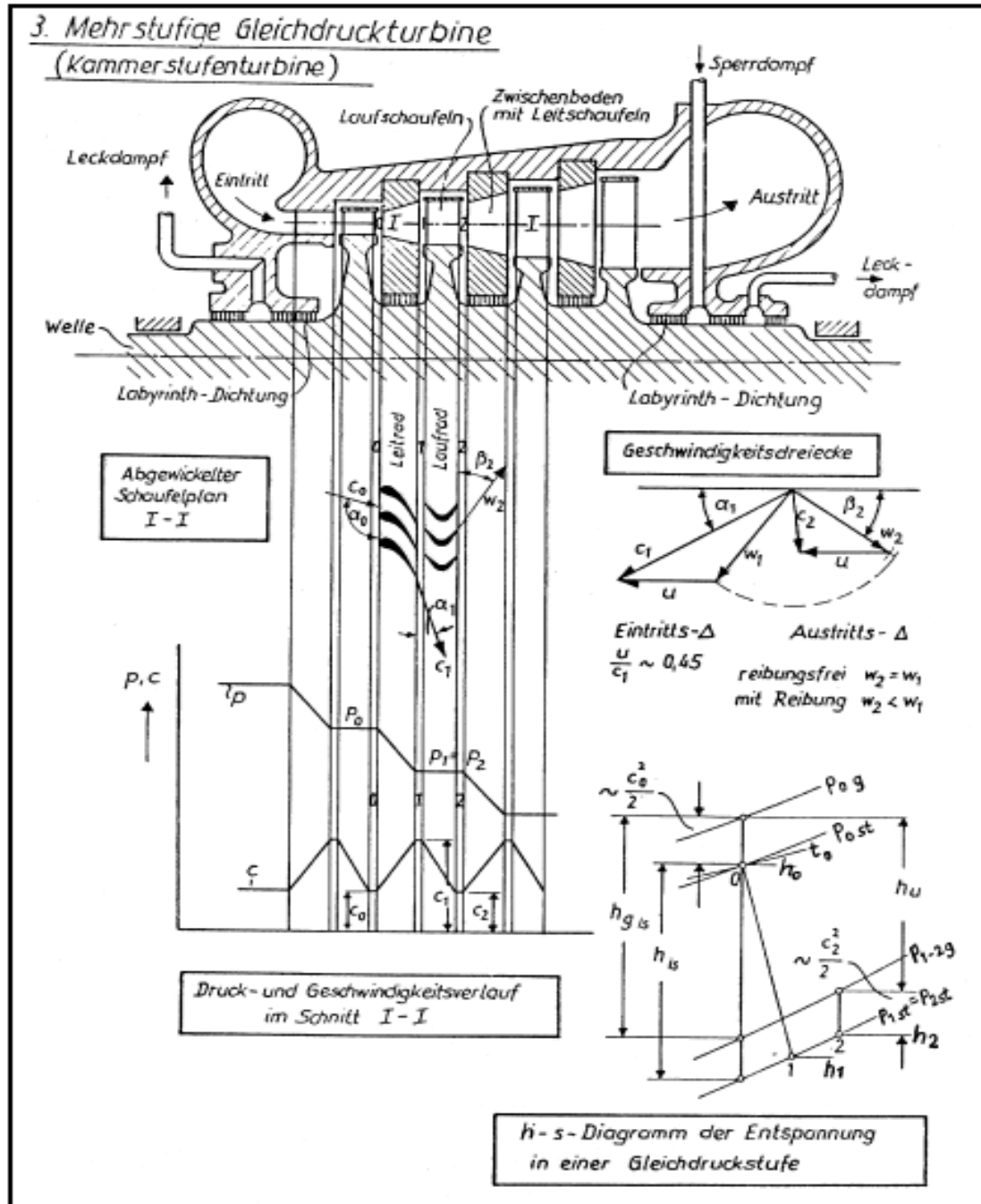


Wirkungsgrad η_u
für 1-, 2-, 3-kränzig
beschaufelte
Gleichdruckräder

Gleichdruck-Dampfturbine

Zoelly-Turbine

- unterkritischer Druckbereich
→ sich verjüngende Düsen
- druckgestuft
- für höchste Leistungen
- Dampfzufuhr über teilbeaufschlagten Regelkranz (A-Rad)
- Rotor durch Labyrinth gedichtet

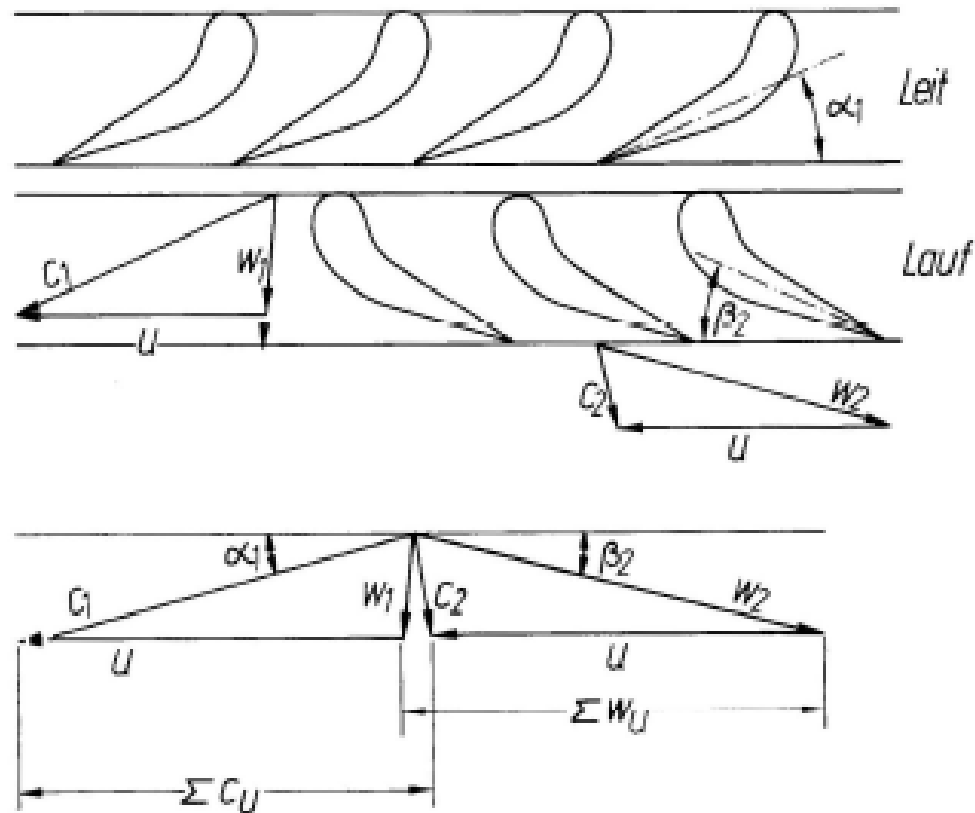


13.4 Überdruck-Dampfturbine

- Leit- und Laufschaufeln bilden verengenden Kanal mit Düsenwirkung
- Dampf wird im Laufrad entspannt und beschleunigt (relativ)
- kinetische Eintrittsenergie und aus potenzieller Energie umgewandelte kinetische Energie werden in Umfangsarbeit umgewandelt

Bauformen:

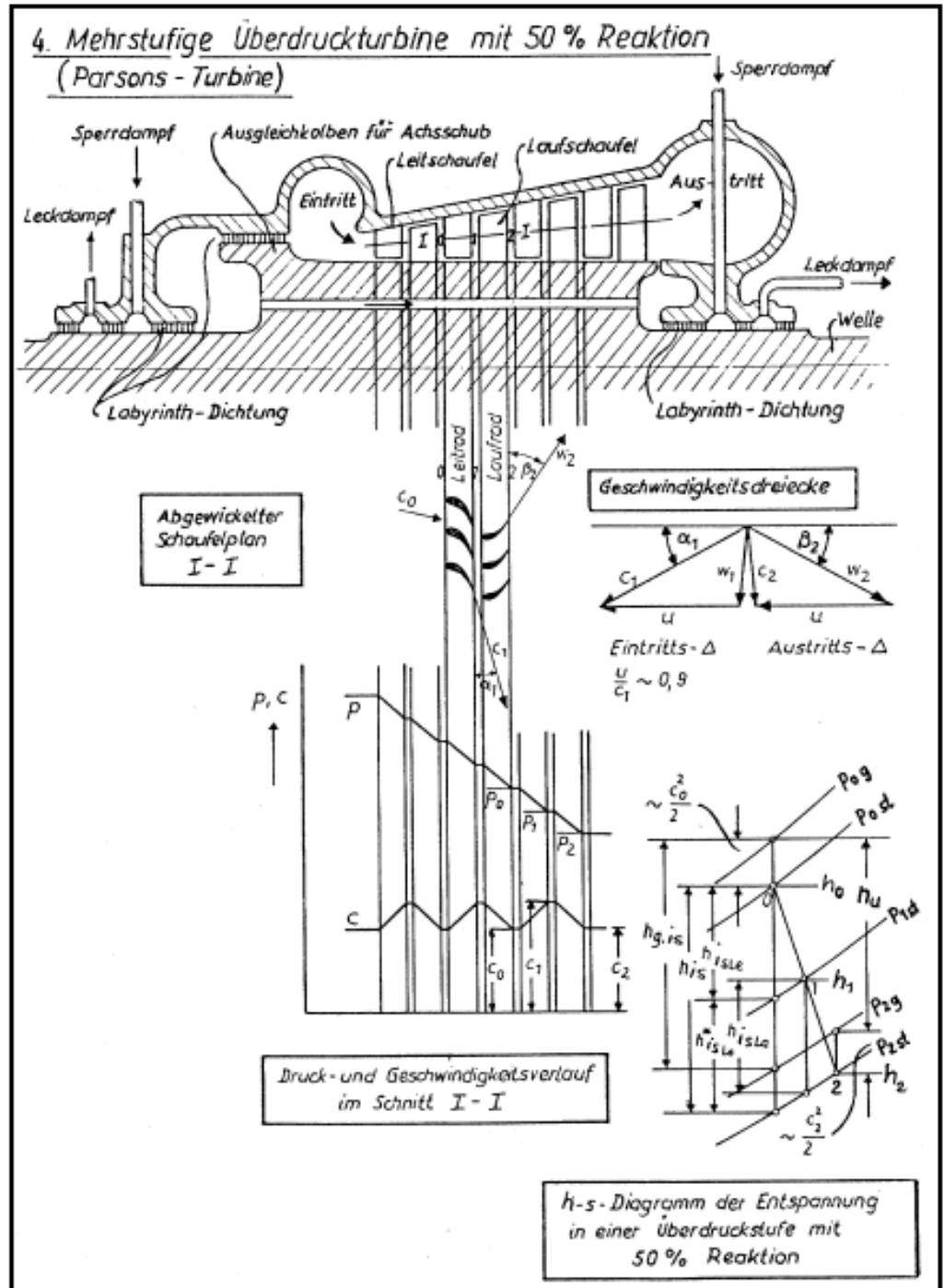
- Parsons-Turbine



Überdruck-Dampfturbine

Parsons-Turbine

- Überdruckturbine mit Reaktion
- Lauf- und Leitschaufel müssen gegen Spaltströmungen abgedichtet werden (Flächen größer als bei GD-Turbinen)
- Druckdifferenz über Laufschaukel führt zu Axialschub
- für höchste Leistungen
- Dampzufuhr über teilbeaufschlagten Regelkranz (A-Rad)
- Rotor durch Labyrinth gedichtet

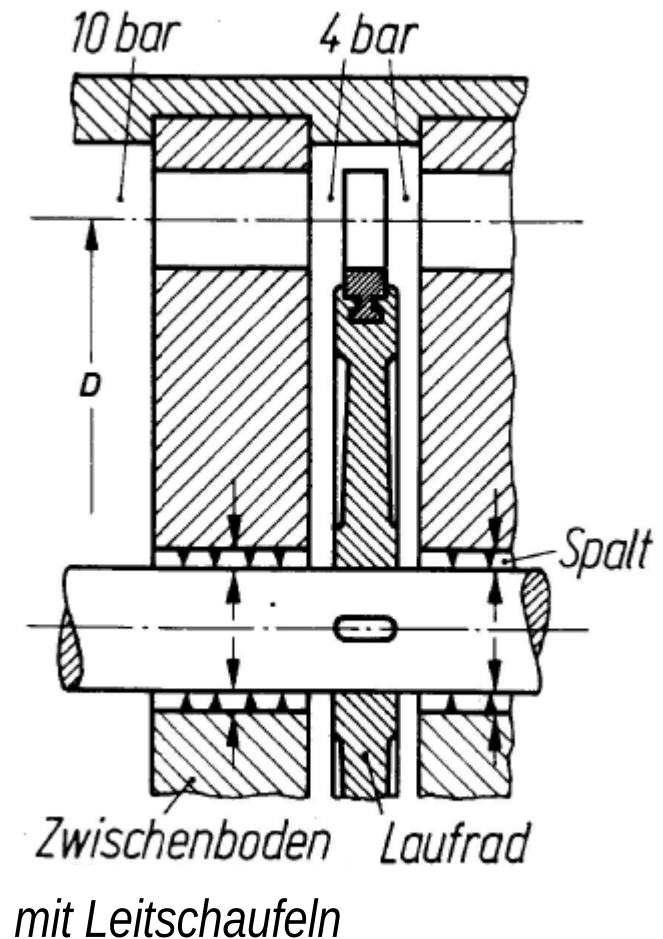


13.5 Stufenbauarten

- Gleichdruckturbinen
 - Kammerstufen mit Scheibenläufer
- Überdruckturbinen
 - Trommelstufen mit Trommelläufer

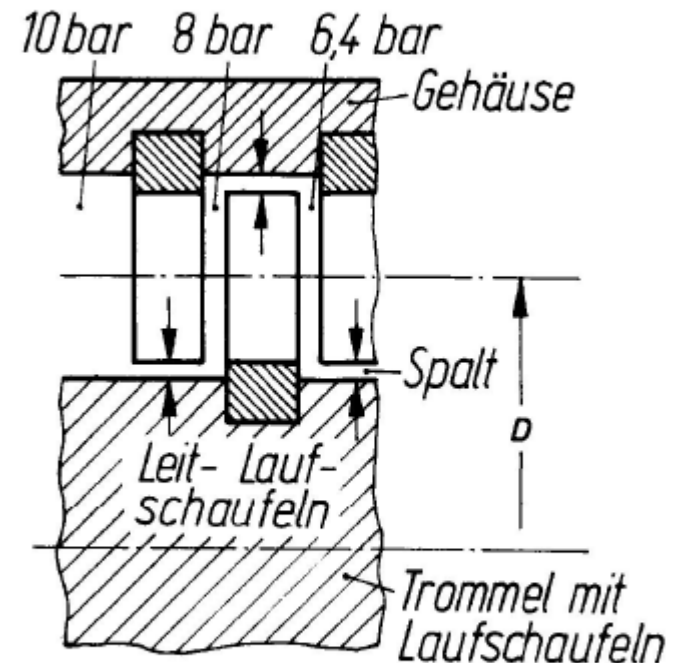
Kammerstufen mit Scheibenläufer

- Gleichdruckturbinen
- einzelne, auf der Welle befestigte Radscheiben
- Einzelstufen werden durch Zwischenböden mit Leitschaufeln abgeteilt
- Die Kammern erfordern große Stufenabstände, was bei ÜD-Turbinen infolge höherer Stufenzahlen zu langen Maschinenlängen führen würde → Einsatz nur bei GD-Turbinen



Trommelstufen mit Trommelläufer

- Überdruckturbinen
- Trommel als Laufzeug, auf deren Umfang die Laufschaufeln befestigt sind.
- zugehörige Leitschaufeln befinden sich in der Gehäusewand
- Deckbänder an den Schaufelenden ermöglichen zusätzliche Abdichtungen
- gedrängte Bauweise bewirkt kleinen Stufenabstand → Trommelturbinen besonders für Überdruckturbinen geeignet





Kammerstufen mit Scheibenläufer
Zoelly-Bauweise, Gleichdruckwirkung,
Laufschaufeln mit angenieteten Deckkränzen



Trommelstufen mit Trommelläufer
Parsons-Bauweise, Überdruckwirkung, mit
Randabdeckung an den vorderen
Laufschaufeln

Bildquellen: Sigloch / Siemens AG

4.5 Vergleich GD u. ÜD-Turbine

	Gleichdruck	Überdruck
Entspannung	nur im Leitrad	im Leit- und Laufrad
Beaufschlagung	Teil- und Vollbeaufschlagung (Regelstufe)	nur Vollbeaufschlagung
Stufengefälle	größer	kleiner
Stufenzahl	kleiner	größer
Strömungs- beschleunigung	nur im Leitrad	in Leit- und Laufrad
Strömungsumlenkung	groß (Hakenschaufeln)	geringer (Rückstoßwirkung)
Dampfgeschwindigk.	höher (bis Überschall)	geringer (immer Unterschall)
Achsschub	nicht bzw. gering	immer vorhanden
übliche Stufenbauart	Kammerbauweise mit Scheibenläufern	Trommelbauweise mit Trommelläufern
Stufung	Geschwindigkeits- u. Druckstufung	nur Druckstufung

4.5 Vergleich GD u. ÜD-Turbine

	Gleichdruck	Überdruck
Verluste	Schaufelungsverluste insgesamt etwa gleich, da je Stufe größer Stufenaustrittsverluste größer Radreibungsverluste größer Ventilationsverluste bei Teilbeaufschlagung	mehr Stufen vorhanden Spaltverluste größer Stopfbuchsenverluste größer
Wirkungsgrad	gleich hohe Werte erreichbar, da Einzelverluste zwar unterschiedlich groß aber in sich Summe ausgleichen	
Bauaufwand, Betrieb	etwa gleich, Baugröße und Baukosten ungefähr gleich, Lebensdauer gleich, etwa gleicher Betriebs- u. Wartungsaufwand	
Zusammenfassung	gleichwertige Arbeitsverfahren, beide Verfahren werden angewendet (abhängig vom Turbinenhersteller, speziellem Verwendungszweck, Entwicklungsstand)	