

Dampfturbinen

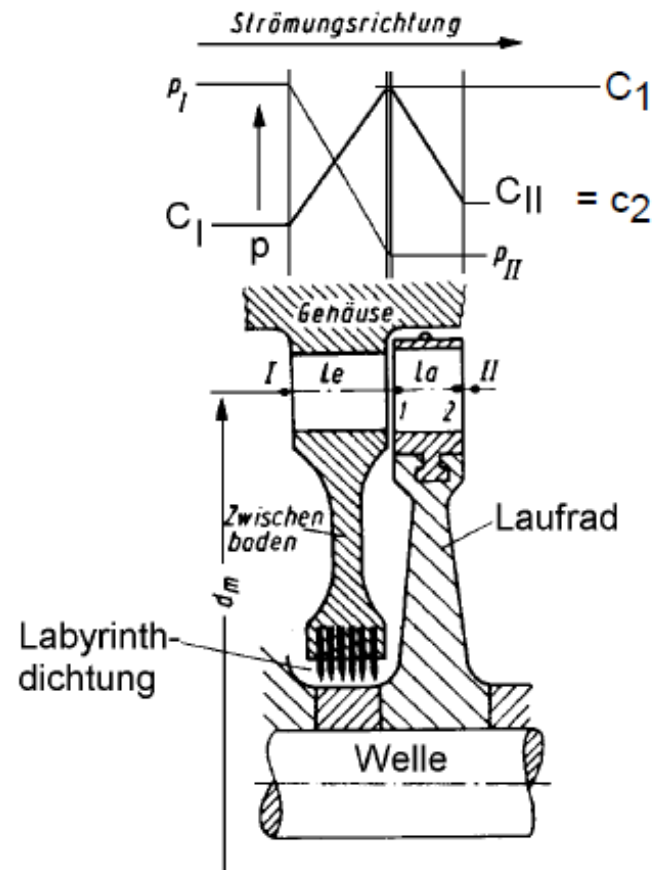
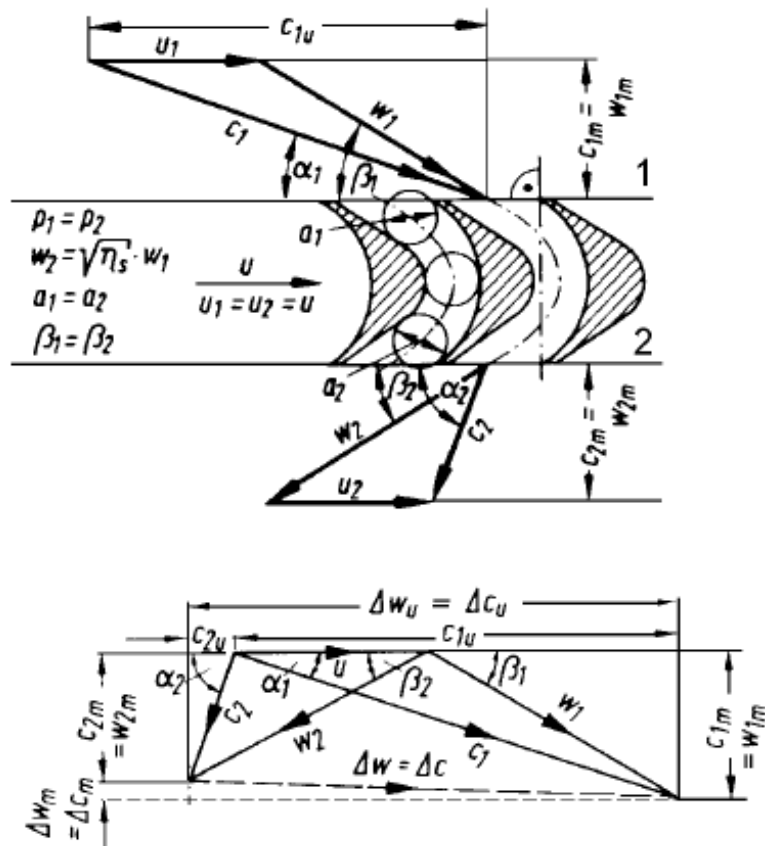
*Lehrstuhl Strömungsmaschinen
Universität Rostock*

1. Einführung
2. Energieumwandlung in einer Dampfturbine
3. Gleichdruck-Dampfturbine
4. Überdruck-Dampfturbine
5. Verluste in den Stufen
6. Regelung

3. Gleichdruck-Dampfturbine

3.1 Geschwindigkeitspläne

- Dampfenthalpie wird in Leitrad abgebaut ($r=0$)
- hochbeschleunigter Dampf wird in Laufrad umgelenkt (Aktionswirkung)
- kinetische Dampfenenergie wird in Umfangsarbeit umgewandelt



3.2 Kennzahlen

Leistung: $P_U = F_U \cdot u \quad F_U = \dot{m} \cdot (\vec{w}_{1U} - \vec{w}_{2U})$

Laufzahl: Geschwindigkeitsverhältnis u/c_0

Die Energie aus der Zulaufgeschwindigkeit c_0 muss so weitgehend wie möglich an das Laufrad übertragen werden. Die Austrittsenergie, die in c_2 enthalten ist, sollte so klein wie möglich sein $\rightarrow$ bestimmtes Verhältnis zwischen der Umlaufgeschwindigkeit u und der Zulaufgeschwindigkeit c_0 erforderlich.

Um einen guten Wirkungsgrad zu erhalten, muss die Gleichdruckstufe $r=0$ mit folgendem Geschwindigkeitsverhältnis ausgeführt werden

$$\eta_{u, \max} \text{ für } u/c_1 = 0,5 \text{ oder } c_1 = 2 \cdot u$$

dem Laufrad zugeführt $P_0 = \dot{m}_s \cdot c_0^2 / 2$

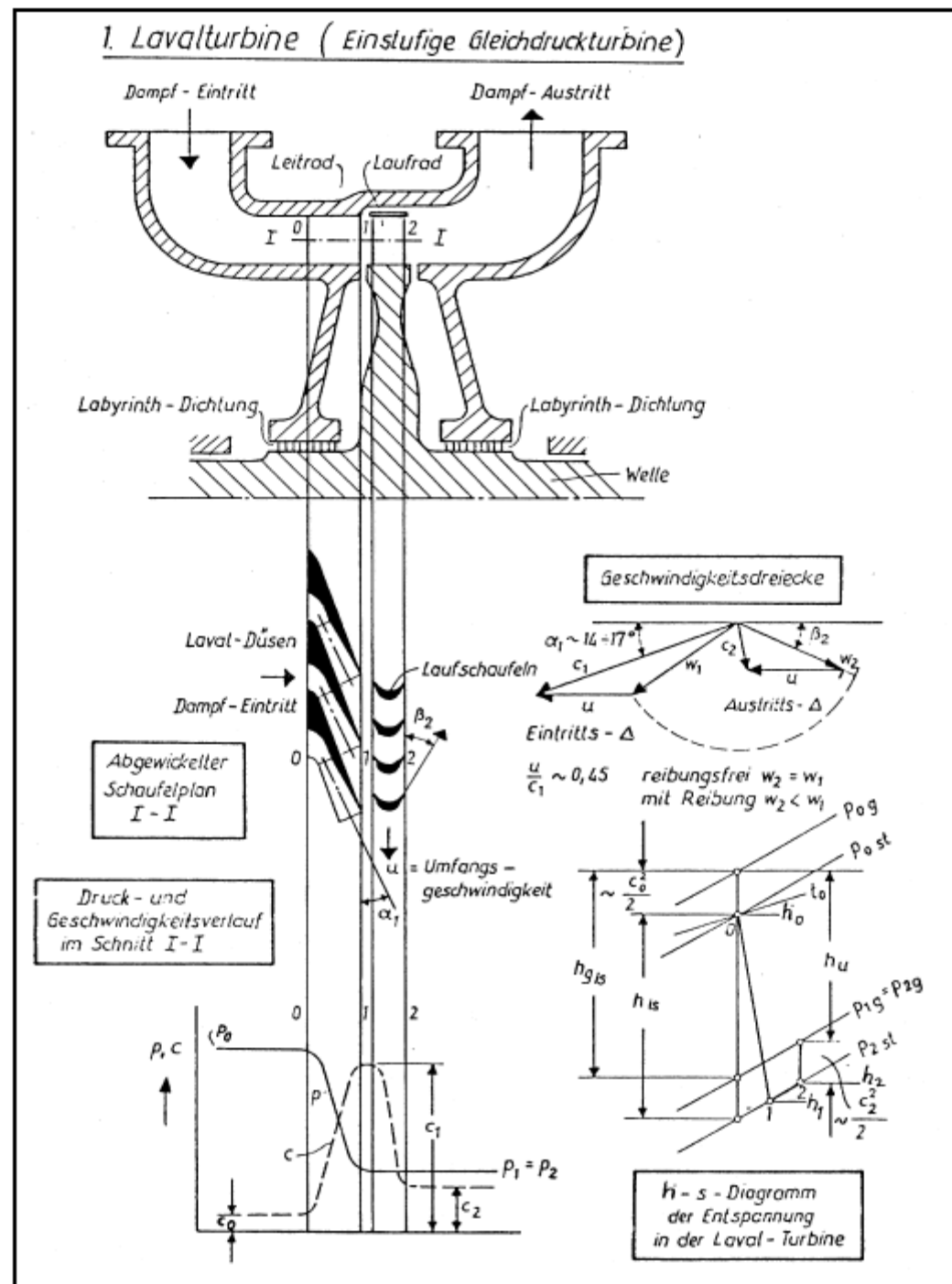
vom Laufrad aufgenommen $P_u = \dot{m}_s \cdot u \cdot (w_{1u} + w_{2u})$

$$\text{Wirkungsgrad } \eta_u = \frac{P_u}{P_0} = \frac{2 \cdot u \cdot (w_{1u} + w_{2u})}{c_0^2}$$

3. Gleichdruck-Dampfturbine

3.3 Laval-Turbinen

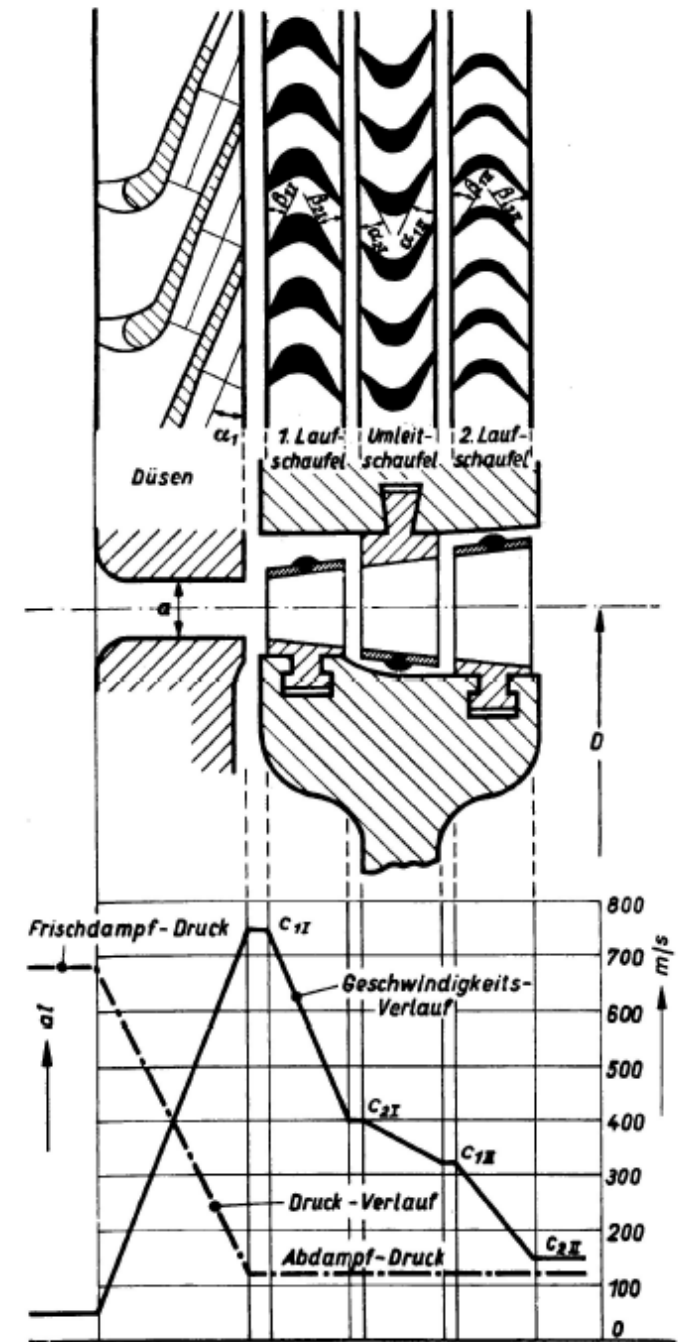
- auch Aktionsrad (A-Rad) ist kleinste Dampfturbine
- Düse fast immer Lavaldüse
- einstufig
- Laufrad kann über Umlenkammern mehrfach durchströmt werden
 - Geschwindigkeitsstufung
 - größeres Enthalpiegefälle erhöht Leistung
 - vermehrte Reibung vermindert Wirkungsgrad
- Leistung: 1...5000 kW
- Wirkungsgrad: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



3. Gleichdruck-Dampfturbine

3.4 Curtis-Turbinen

- 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



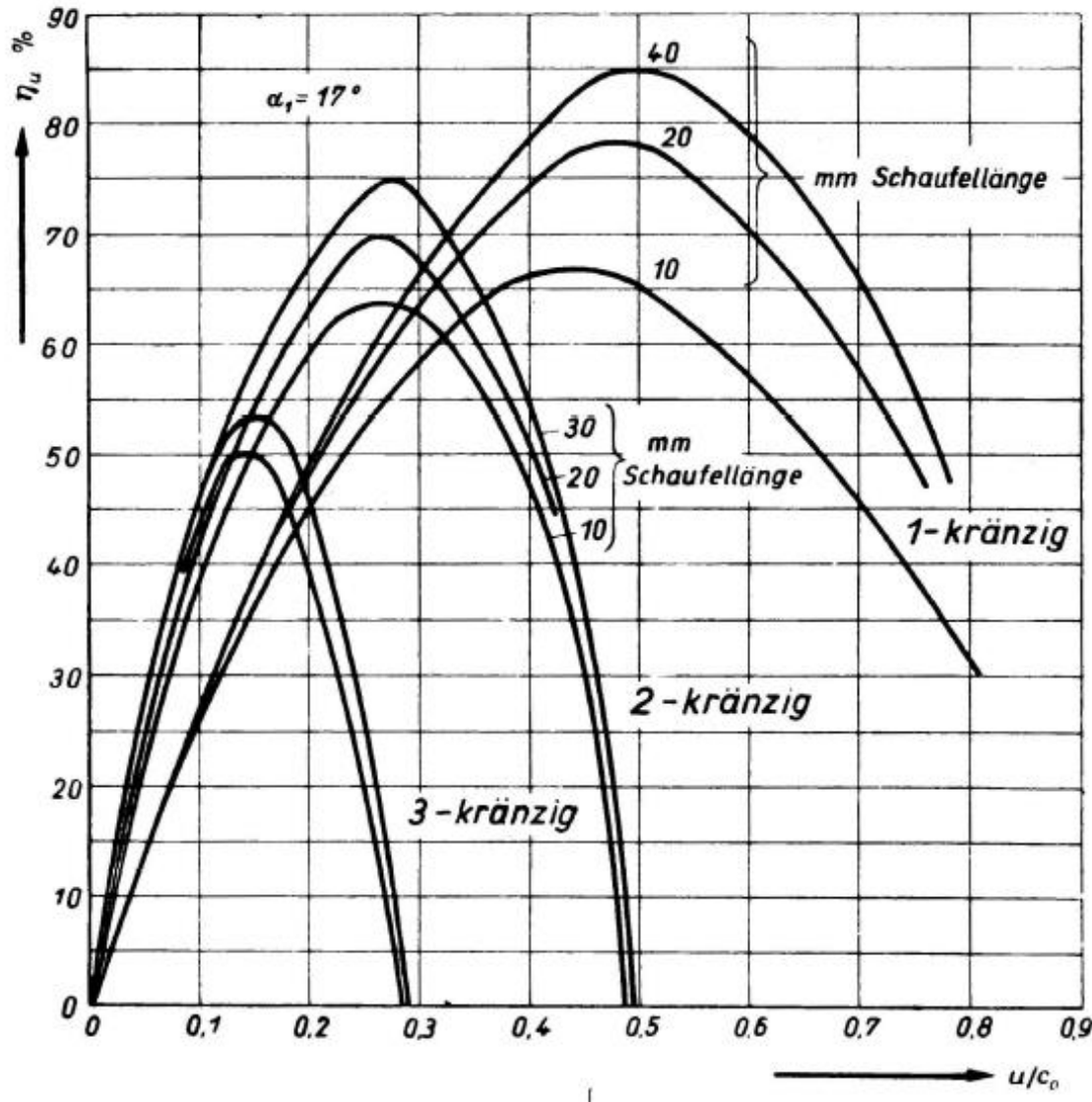
Vorteile:

- 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 Curtisräder häufig als Regelstufe bei Mittel- und Großturbinen eingesetzt (auch bei ÜD-Maschinen).

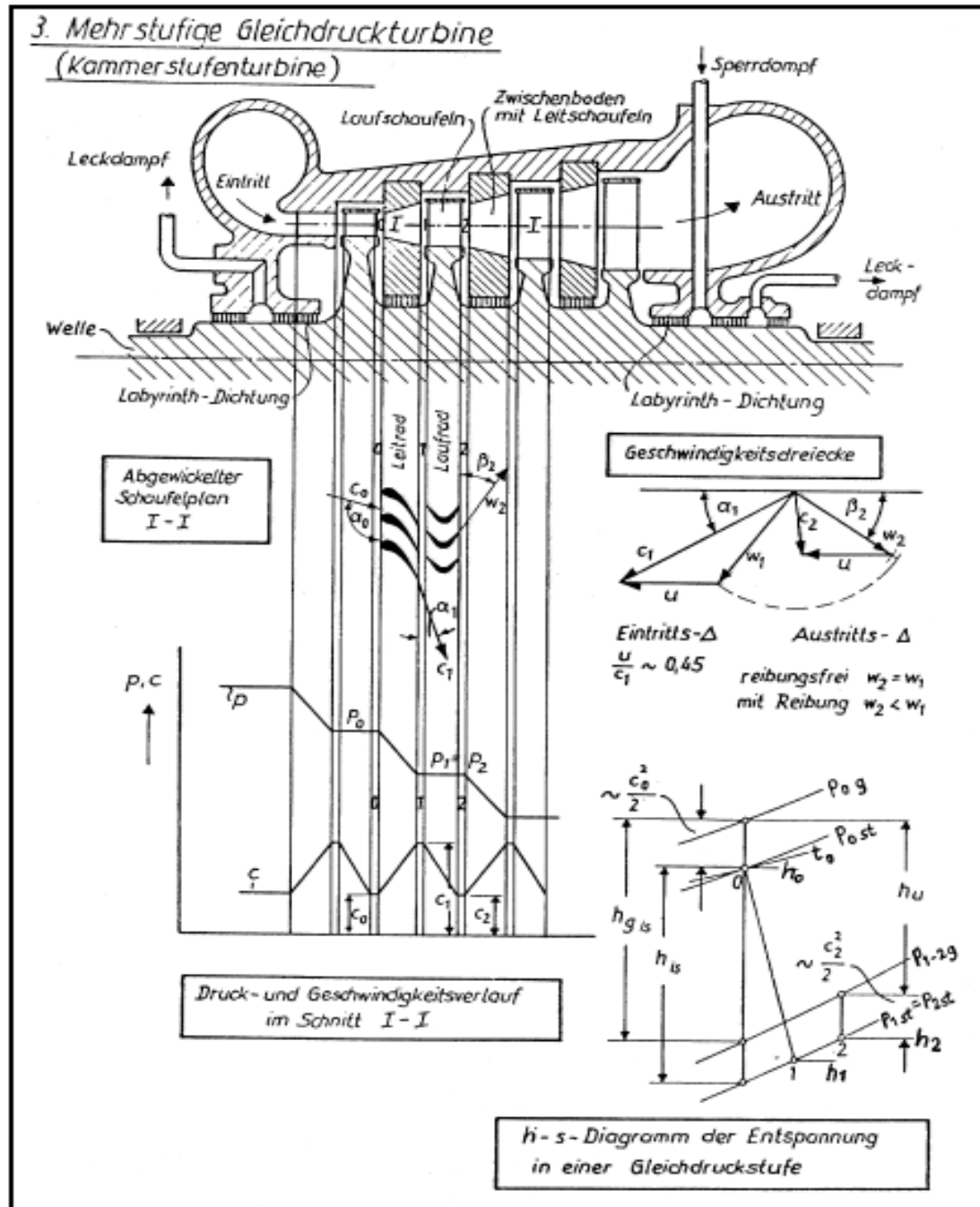


Wirkungsgrad η_u
für 1-, 2-, 3-kränzig
beschaufelte
Gleichdruckräder

3. Gleichdruck-Dampfturbine

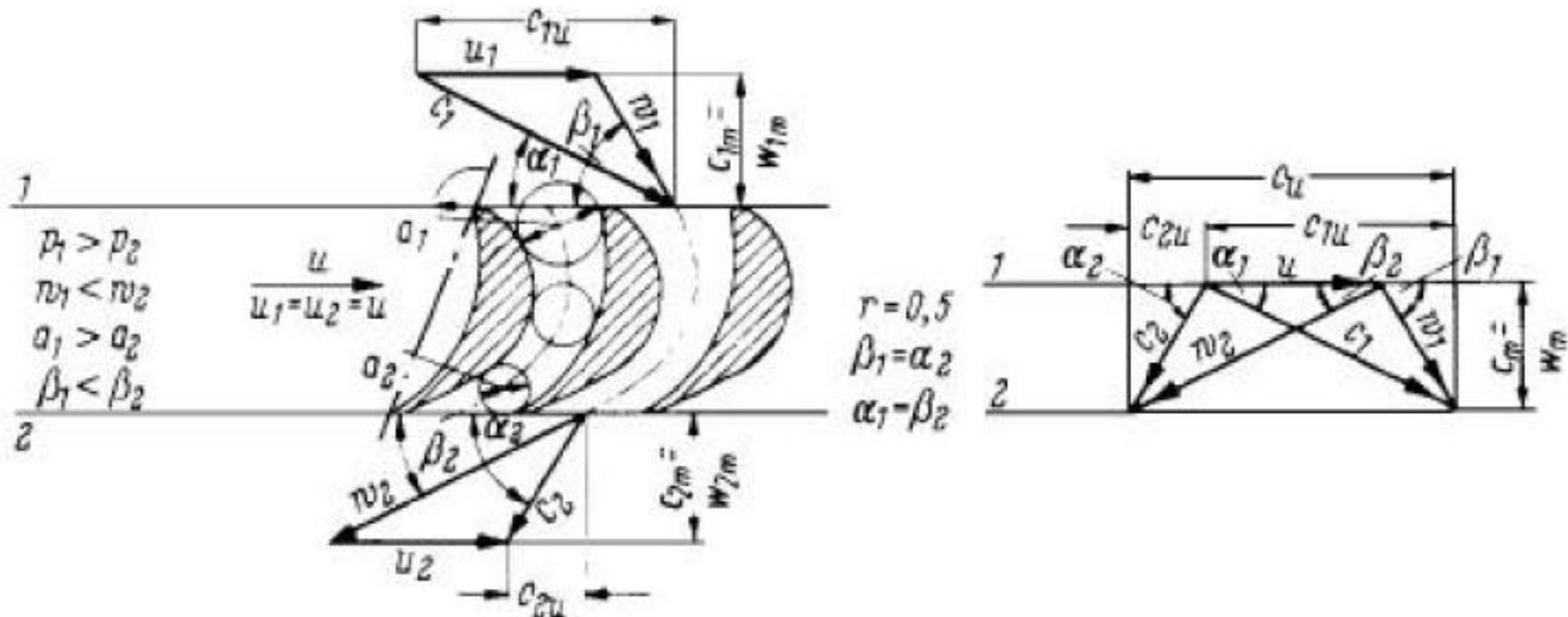
3.5 Zoelly-Turbinen

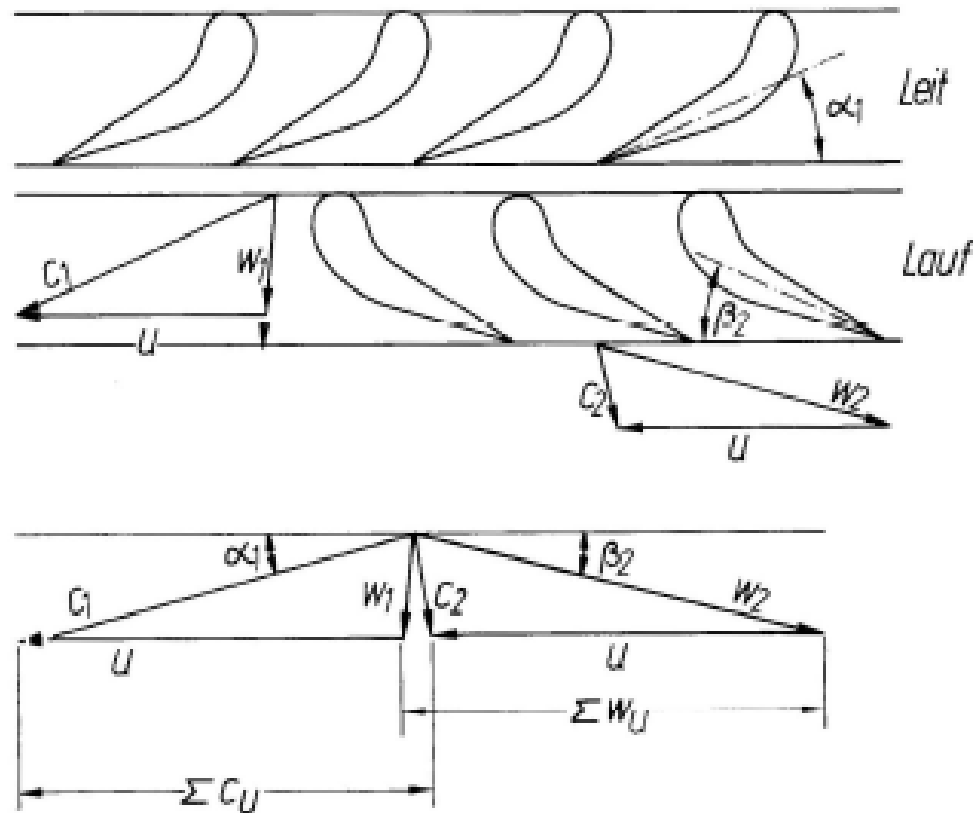
- unterkritischer Druckbereich
→ sich verjüngende Düsen
- druckgestuft
- für höchste Leistungen
- Dampfzufuhr über teilbeaufschlagten Regelkranz (A-Rad)
- Rotor durch Labyrinth gedichtet

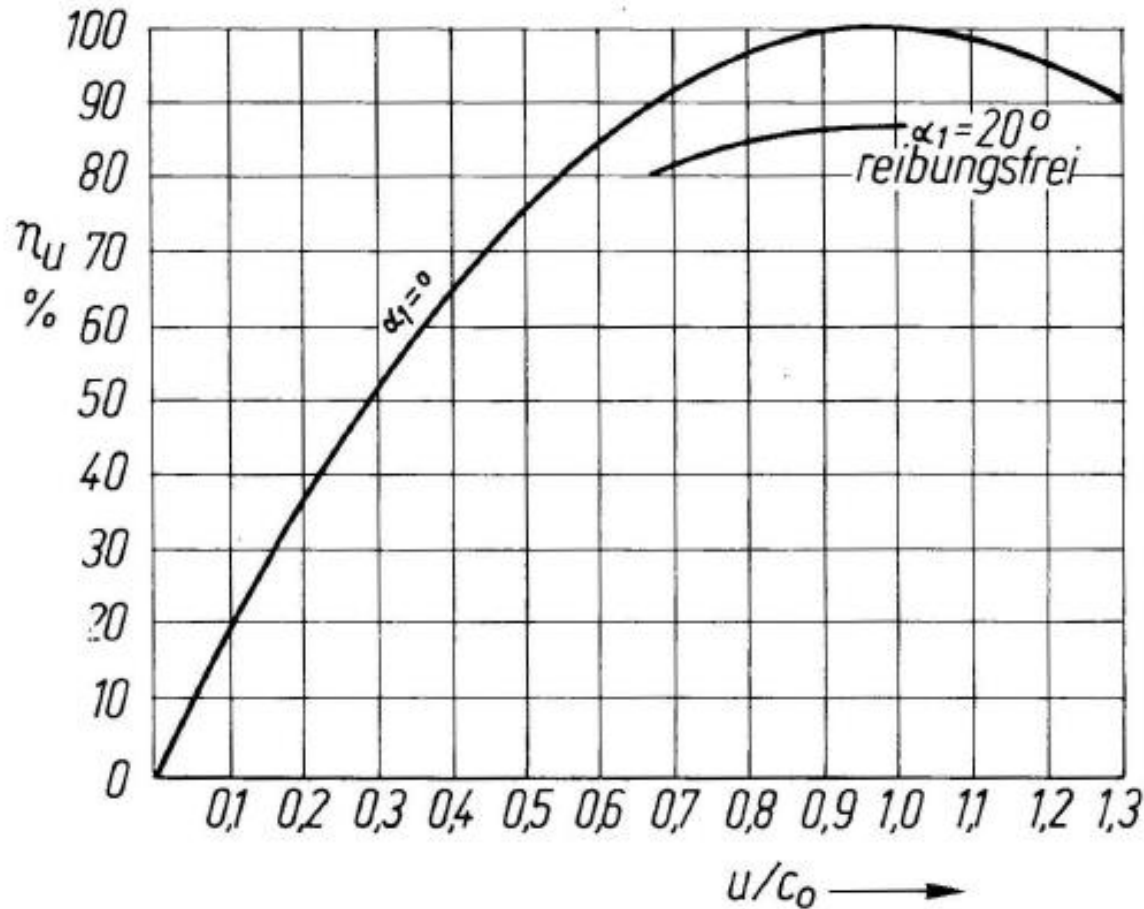


4. Überdruck-Dampfturbine

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





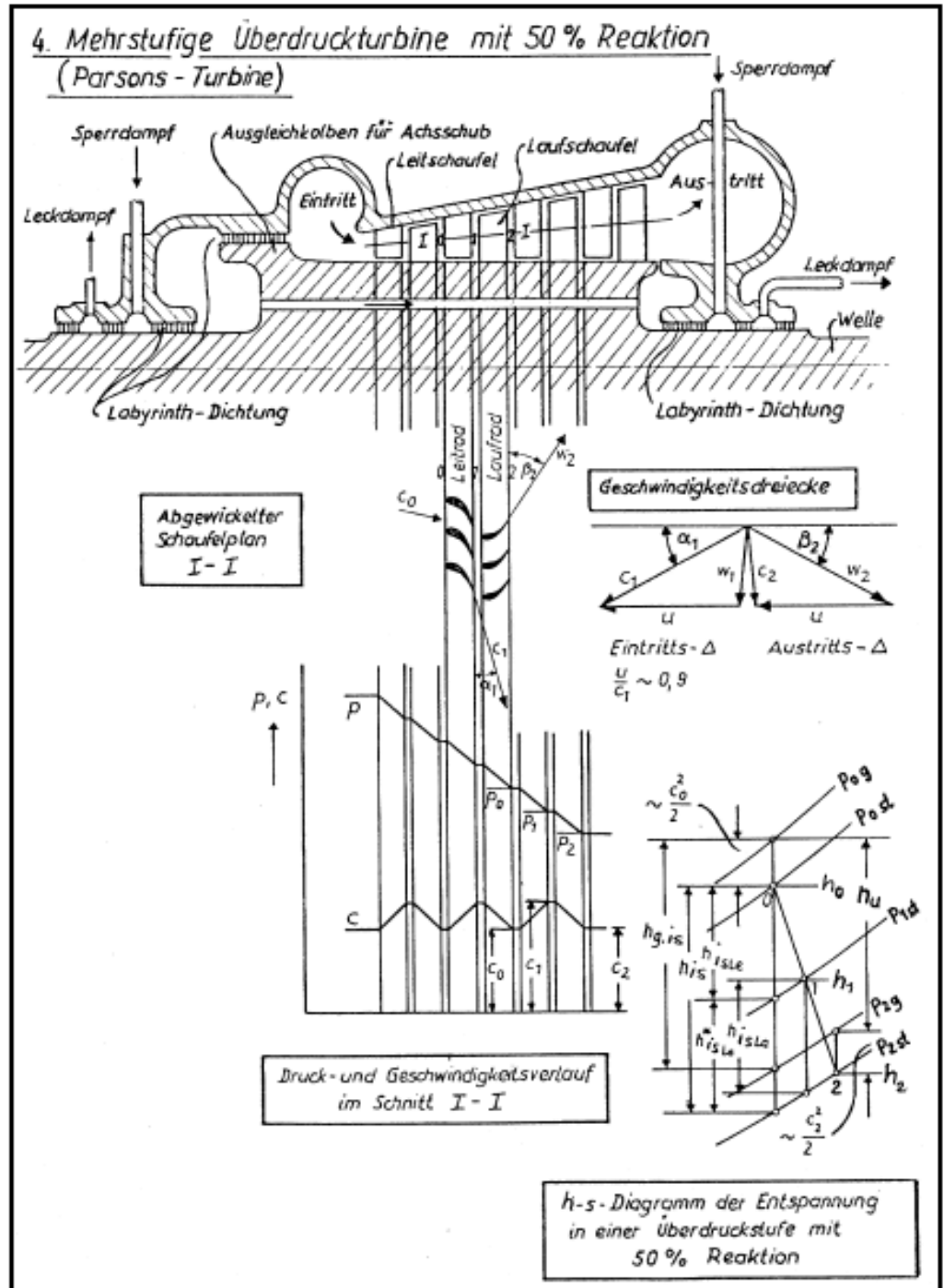


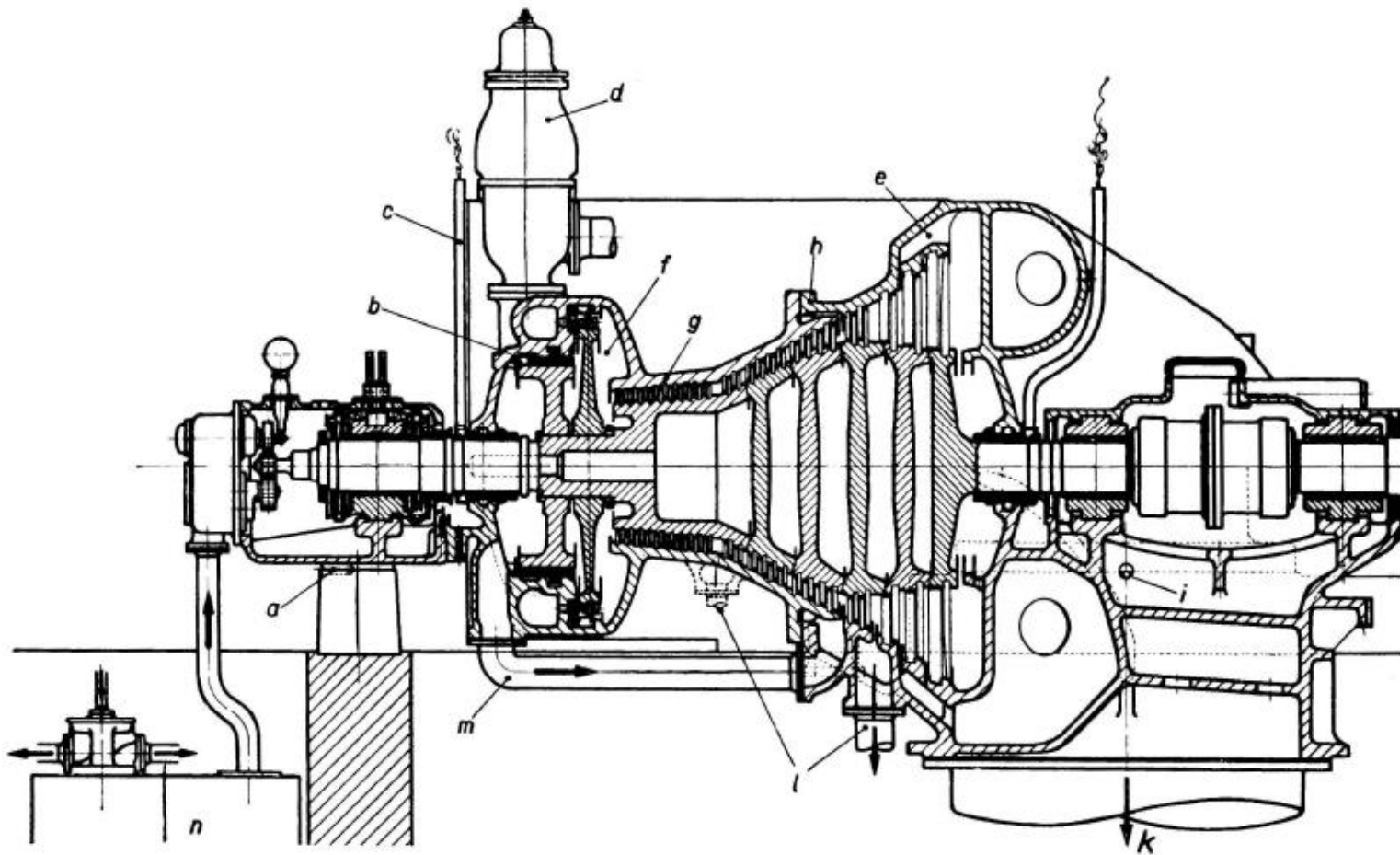
Verlauf von η_u über der Laufzahl u/c_0 , $r = 0,5$ in Abhängigkeit vom Laufrad-Austrittswinkel α

4. Überdruck-Dampfturbine

4.3 Parsons-Turbinen

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



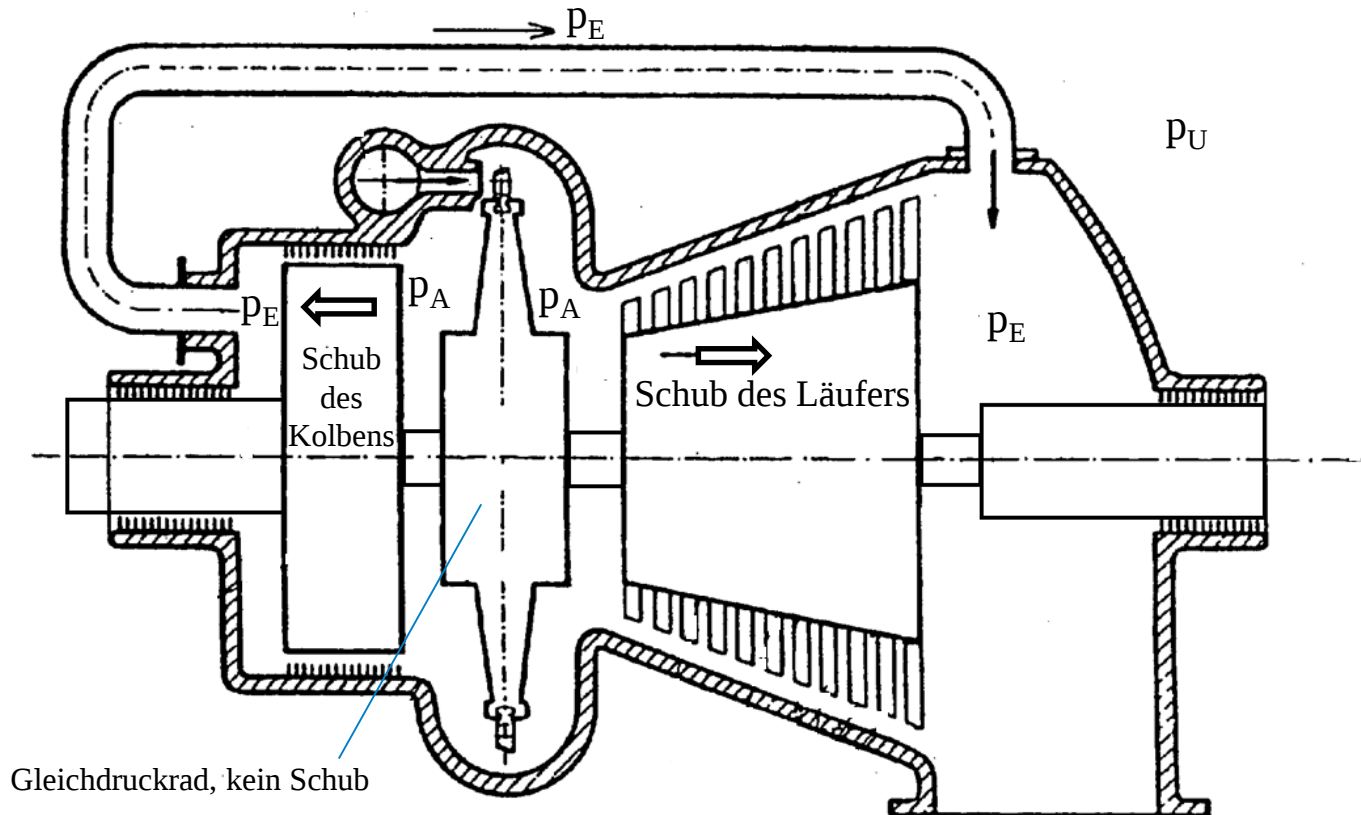


Schnittbild einer eingehäusigen Kondensationsturbine in
Überdruck-Bauart

4.3 Parsons-Turbinen

Ausgleich des Axialschubes

- durch Schubausgleichskolben
- entgegengesetzte Dampfführung, Doppelendturbinen



Schematische Darstellung einer Überdruckturbine mit Schubausgleichskolben

T6

T7

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

	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)	