

Table with columns: Entrittstutzen der Turbine, Durchsatz, Durchmesser, Druck, etc. Includes sub-tables for Dampfdruck, Ampferzeuge, Ausritt der Turbine, Berechnung für Axialturbinen, and Leitschaukeln.

Dampfturbinen-berechnung, 12 MW. 16. Nov., 2013



### Gleichungen

$$c_1 = \eta_{Le} \left( (1 - r) 2 \Delta H_s + c_0^2 \right)^{0.5} \quad [\text{m/s}]$$

$$c_{1m} = c_1 \sin \alpha_1 \quad [\text{m/s}]$$

$$c_{1u} = c_1 \cos \alpha_1 \quad [\text{m/s}]$$

$$w_{1m} = c_{1m} \quad [\text{m/s}]$$

$$u = u_1 = u_2 \quad [\text{m/s}] \text{ wird angenommen}$$

$$w_{1u} = c_{1u} - u_1 \quad [\text{m/s}]$$

$$w_1 = (w_{1m}^2 + w_{1u}^2)^{0.5} \quad [\text{m/s}]$$

$$\beta_1 = \arctan(w_{1m}/w_{1u}) \quad [^\circ] \text{ falls } w_{1u} > 0$$

$$\beta_1 = 180^\circ + \arctan(w_{1m}/w_{1u}) \quad [^\circ] \text{ falls } w_{1u} < 0$$

$$w_2 = [\eta_{La} (2r \Delta H_s + w_1^2 - u_1^2 + u_2^2)]^{0.5} \quad [\text{m/s}]$$

$$h_1 = h_0 - (c_1^2 - c_0^2)/2 \quad [\text{kJ/kg}]$$

$$w_{2m} = w_2 \sin \beta_2 \quad [\text{m/s}]$$

$$w_{2u} = w_2 \cos \beta_2 \quad [\text{m/s}]$$

$$c_{2m} = w_{2m} \quad [\text{m/s}]$$

$$c_{2u} = w_{2u} + u_2 \quad [\text{m/s}]$$

$$c_2 = (c_{2m}^2 + c_{2u}^2)^{0.5} \quad [\text{m/s}]$$

$$a_2 = \arctan(c_{2m}/c_{2u}) \quad [^\circ] \text{ falls } c_{2u} > 0$$

$$a_2 = 180^\circ + \arctan(c_{2m}/c_{2u}) \quad [^\circ] \text{ falls } c_{2u} < 0$$

$$h_{\text{Verluste}} = \Delta H_s (\zeta_{Sp} + \zeta_R + \zeta_V + \zeta_N) \quad [\text{kJ/kg}]$$

Diese Verluste sind ja nicht in  $h_{Le}$  und  $h_{La}$  enthalten.

$$h_2 = h_1 - (w_2^2 - w_1^2 - u_2^2 + u_1^2)/2 + h_{\text{Verluste}} \quad [\text{kJ/kg}]$$

$h_5 = c_2^2/2$  [kJ/kg] Geschwindigkeitverlust, ob viel grösser  $D_m$  in der nächter Stufe. D.h. die Austrittsgeschwindigkeit  $c_2$  kann nicht in nächter Stufe ausgenützt werden, sondern wird als Wärme umgewandelt und als solche die nächste Stufe zugeführt.

$$h_0 \text{ Eintritt nächste Stufe} = h_2 + h_5 \quad [\text{kJ/kg}]$$

Dies ist eine Überprüfungsrechnung des Beispiels für eine 12 MW Dampfturbine, Seite 198 bis 224 im Buch "Dampfturbinen, F. Dietzel, 1980.

Diese Berechnung hier stimmt gut mit dem Beispiel im Buch überein. Das Beispiel im Buch hat aber niedrige Berechnungsgenauigkeit. Es wird grosszügig abgerundet.

Die hier berechnete Schauffellängen für Stufe 1 bis 20 stimmen ziemlich gut mit denen im Buch überein.

Diese Berechnung ist basiert an den Büchern Dampfturbinen F. Dietzel, 3. Auflage 1980 und Strömungsmaschinen, K. Menny, 5. Auflage 2006.

Diese Berechnung hier verwendet Dampfzustands-gleichungen des Industriestandards IAPWS-IF97, also eine sehr genaue Berechnung bezüglich Dampfzustände.

Die Berechnung hier ist gemäss eindimensionaler Stufentheorie, also vereinfacht die wirkliche Strömung in der Dampfturbine, die dreidimensional ist.

### Spaltverluste

Für die erste Stufe einer Dampfturbine, so wird es keine Spaltverluste in den Leitschaufelkranz. Dies da diese erste Leitschaufelkranz (eigentlich ein Düsenkranz) direkt mit Dampf in die Leitschaufeln (Düsen) angespeist wird. Es kann also nicht lecken. Im Laufschaufelkranz, wird es auch keinen Spaltverlust, ob es eine Gleichdruckstufe ist, z.B. ein Curtisrad ist.

Ist die erste Stufe aber eine Überdruckstufe, dann wird über dem Laufschaufelkranz einen Spaltverlust, aber immer noch keinen Spaltverlust über dem Leitschaufelkranz.

### Gleichungen Dampfzustand.

#### Leitschaufeln

$$h_{1s} = h_0 - (1 - r) \Delta H_s \quad [\text{kJ/kg}]$$

$$p_1 = f(h_{1s}, s_0) \quad [\text{bar(a)}], \text{ wo } f \text{ ist Druckfunktion von } h \text{ und } s.$$

$$s_1 = f(p_1, h_1) \quad [\text{kJ/(kgK)}] \text{ wo } f \text{ ist Entropiefunktion von } p \text{ und } h.$$

$$T_1 = f(p_1, h_1) \quad [^\circ\text{C}] \text{ wo } f \text{ ist Temperaturfunktion von } p \text{ und } h.$$

$$v_1 = f(p_1, h_1) \quad [\text{m}^3/\text{kg}] \text{ wo } f \text{ ist Volumenfunktion von } p \text{ und } h.$$

$$x_1 = f(p_1, h_1) \quad [\text{kg/kg}] \text{ wo } f \text{ ist Dampfgehaltfunktion von } p \text{ und } h.$$

#### Laufschaufeln

$$h_{2s} = h_1 - r \Delta H_s \quad [\text{kJ/kg}]$$

$$p_2 = f(h_{2s}, s_1) \quad [\text{bar(a)}], \text{ wo } f \text{ ist Druckfunktion von } h \text{ und } s.$$

$$s_2 = f(p_2, h_2) \quad [\text{kJ/(kgK)}] \text{ wo } f \text{ ist Entropiefunktion von } p \text{ und } h.$$

$$T_2 = f(p_2, h_2) \quad [^\circ\text{C}] \text{ wo } f \text{ ist Temperaturfunktion von } p \text{ und } h.$$

$$v_2 = f(p_2, h_2) \quad [\text{m}^3/\text{kg}] \text{ wo } f \text{ ist Volumenfunktion von } p \text{ und } h.$$

$$x_2 = f(p_2, h_2) \quad [\text{kg/kg}] \text{ wo } f \text{ ist Dampfgehaltfunktion von } p \text{ und } h.$$

Diese Funktionen sollen Geltung in den folgenden Bereichen haben:

- Flüssiges Wasser, Bereich 1.
- Überhitzer Dampf, Bereich 2.
- Überkritischer Dampf, Bereich 3.
- Gesättigter Dampf und Kondensat, Bereich 4.

### Gleichungen Dampfzustand 2C- Curtisrad.

#### 1. Leitschaufelkranz (1I)

$$h_{1s} = h_0 - (1 - (r_1 + r_2 + r_3)) \Delta H_s \quad [\text{kJ/kg}]$$

$$p_1 = f(h_{1s}, s_0) \quad [\text{bar(a)}], \text{ wo } f \text{ ist Druckfunktion von } h \text{ und } s.$$

$$s_1 = f(p_1, h_1) \quad [\text{kJ/(kgK)}] \text{ wo } f \text{ ist Entropiefunktion von } p \text{ und } h.$$

$$T_1 = f(p_1, h_1) \quad [^\circ\text{C}] \text{ wo } f \text{ ist Temperaturfunktion von } p \text{ und } h.$$

$$v_1 = f(p_1, h_1) \quad [\text{m}^3/\text{kg}] \text{ wo } f \text{ ist Volumenfunktion von } p \text{ und } h.$$

$$x_1 = f(p_1, h_1) \quad [\text{kg/kg}] \text{ wo } f \text{ ist Dampfgehaltfunktion von } p \text{ und } h.$$

#### 1. Laufschaufelkranz (2I)

$$h_{2s} = h_1 - r_1 \Delta H_s \quad [\text{kJ/kg}]$$

$$p_2 = f(h_{2s}, s_1) \quad [\text{bar(a)}], \text{ wo } f \text{ ist Druckfunktion von } h \text{ und } s.$$

$$s_2 = f(p_2, h_2) \quad [\text{kJ/(kgK)}] \text{ wo } f \text{ ist Entropiefunktion von } p \text{ und } h.$$

$$T_2 = f(p_2, h_2) \quad [^\circ\text{C}] \text{ wo } f \text{ ist Temperaturfunktion von } p \text{ und } h.$$

$$v_2 = f(p_2, h_2) \quad [\text{m}^3/\text{kg}] \text{ wo } f \text{ ist Volumenfunktion von } p \text{ und } h.$$

$$x_2 = f(p_2, h_2) \quad [\text{kg/kg}] \text{ wo } f \text{ ist Dampfgehaltfunktion von } p \text{ und } h.$$

#### 2. Leitschaufelkranz (1II)

$$h_{1s} = h_0 - r_2 \Delta H_s \quad [\text{kJ/kg}]$$

$$p_1 = f(h_{1s}, s_0) \quad [\text{bar(a)}], \text{ wo } f \text{ ist Druckfunktion von } h \text{ und } s.$$

$$s_1 = f(p_1, h_1) \quad [\text{kJ/(kgK)}] \text{ wo } f \text{ ist Entropiefunktion von } p \text{ und } h.$$

$$T_1 = f(p_1, h_1) \quad [^\circ\text{C}] \text{ wo } f \text{ ist Temperaturfunktion von } p \text{ und } h.$$

$$v_1 = f(p_1, h_1) \quad [\text{m}^3/\text{kg}] \text{ wo } f \text{ ist Volumenfunktion von } p \text{ und } h.$$

$$x_1 = f(p_1, h_1) \quad [\text{kg/kg}] \text{ wo } f \text{ ist Dampfgehaltfunktion von } p \text{ und } h.$$

#### 2. Laufschaufelkranz (2II)

$$h_{2s} = h_1 - r_3 \Delta H_s \quad [\text{kJ/kg}]$$

$$p_2 = f(h_{2s}, s_1) \quad [\text{bar(a)}], \text{ wo } f \text{ ist Druckfunktion von } h \text{ und } s.$$

$$s_2 = f(p_2, h_2) \quad [\text{kJ/(kgK)}] \text{ wo } f \text{ ist Entropiefunktion von } p \text{ und } h.$$

$$T_2 = f(p_2, h_2) \quad [^\circ\text{C}] \text{ wo } f \text{ ist Temperaturfunktion von } p \text{ und } h.$$

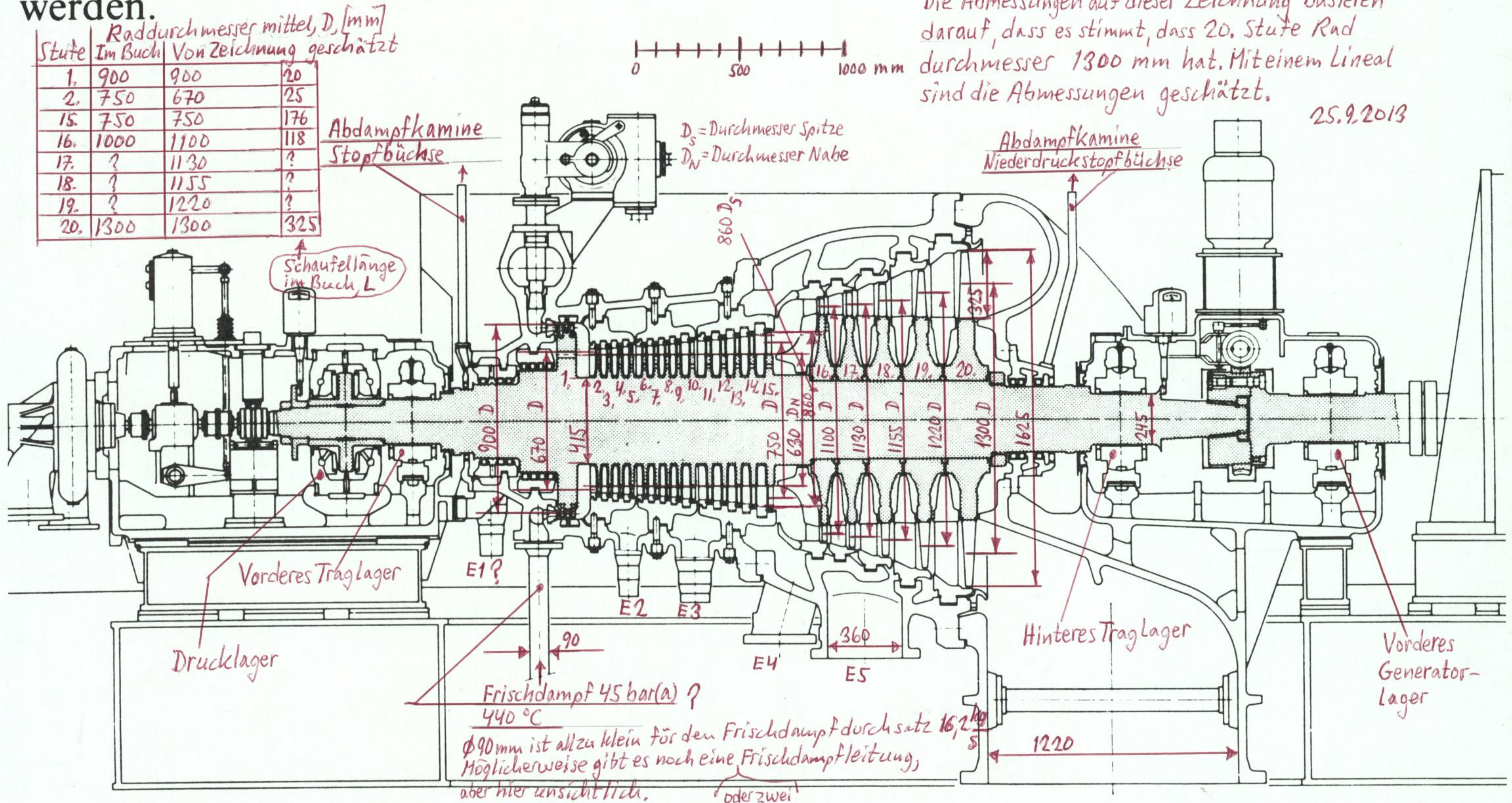
$$v_2 = f(p_2, h_2) \quad [\text{m}^3/\text{kg}] \text{ wo } f \text{ ist Volumenfunktion von } p \text{ und } h.$$

$$x_2 = f(p_2, h_2) \quad [\text{kg/kg}] \text{ wo } f \text{ ist Dampfgehaltfunktion von } p \text{ und } h.$$

Die beiden ersten Stufen der Kondensationsturbine für Generatorantrieb  $P_e = 12\,000\text{ kW}$ ,  $n = 3600\text{ 1/min}$ , Frischdampf 45 bar,  $440\text{ }^\circ\text{C}$ , Abdampf 0,07 bar, **B 4.2,1.**, sollen berechnet werden.

Die Abmessungen auf dieser Zeichnung basieren darauf, dass es stimmt, dass 20. Stufe Rad durchmesser 1300 mm hat. Mit einem Lineal sind die Abmessungen geschätzt.

25.9.2013



**Bild 4.2,1** Kondensationsturbine in Gleichdruckbauart.  $P = 12\,000\text{ kW}$ ,  $n = 3600\text{ 1/min}$ , Frischdampf 45 bar,  $440\text{ }^\circ\text{C}$ , Abdampfdruck 0,07 bar