

Sommersemester 2016

Thermische Strömungsmaschinen

Prof. Dr. Hendrik Wurm  
Lehrstuhl für Strömungsmaschinen



# Inhalt der Vorlesung

## Thermische Strömungsmaschinen

- Einführung / industrieller Hintergrund (V1)
- Thermodynamische Grundlagen (V1+V2)
- Aufbau und Anwendung von Gasturbinen und von Flugtriebwerken (V2)
- Grundlagen der Strömungsmechanik von kompressiblen Fluiden (V3)
- Entwurf von Verdichtern (V4+V5)
- Dreidimensionale Strömungseffekte in Axialverdichtern und -turbinen (V6)
- **Kennlinien und Regelung von Verdichtern (V7)**
- Brennkammer und **Turbine** (V8)

# Inhalt der Vorlesung

## Thermische Strömungsmaschinen

- Grundlagen der Dampfturbinen (V9+10+11)
- Schallquellen in Strömungsmaschinen und Einführung in die Akustik (V12+13)
- Wartung von Flugtriebwerken (V14)

# Kennlinien



$$\psi = \psi(\varphi)$$

$$\pi = \pi(Q) \text{ oder } \pi = \pi(\varphi)$$

$$\psi = \psi(\eta)$$

mit

$$\psi = \frac{2 \cdot \Delta h_{R, \text{isentrop}}}{u_2^2}$$

oder

$$\psi = \frac{2 \cdot c_p \cdot T_{RS} (\pi^m - 1)}{u_2^2}$$

Tafelbild 1

- dimensionslose Darstellung

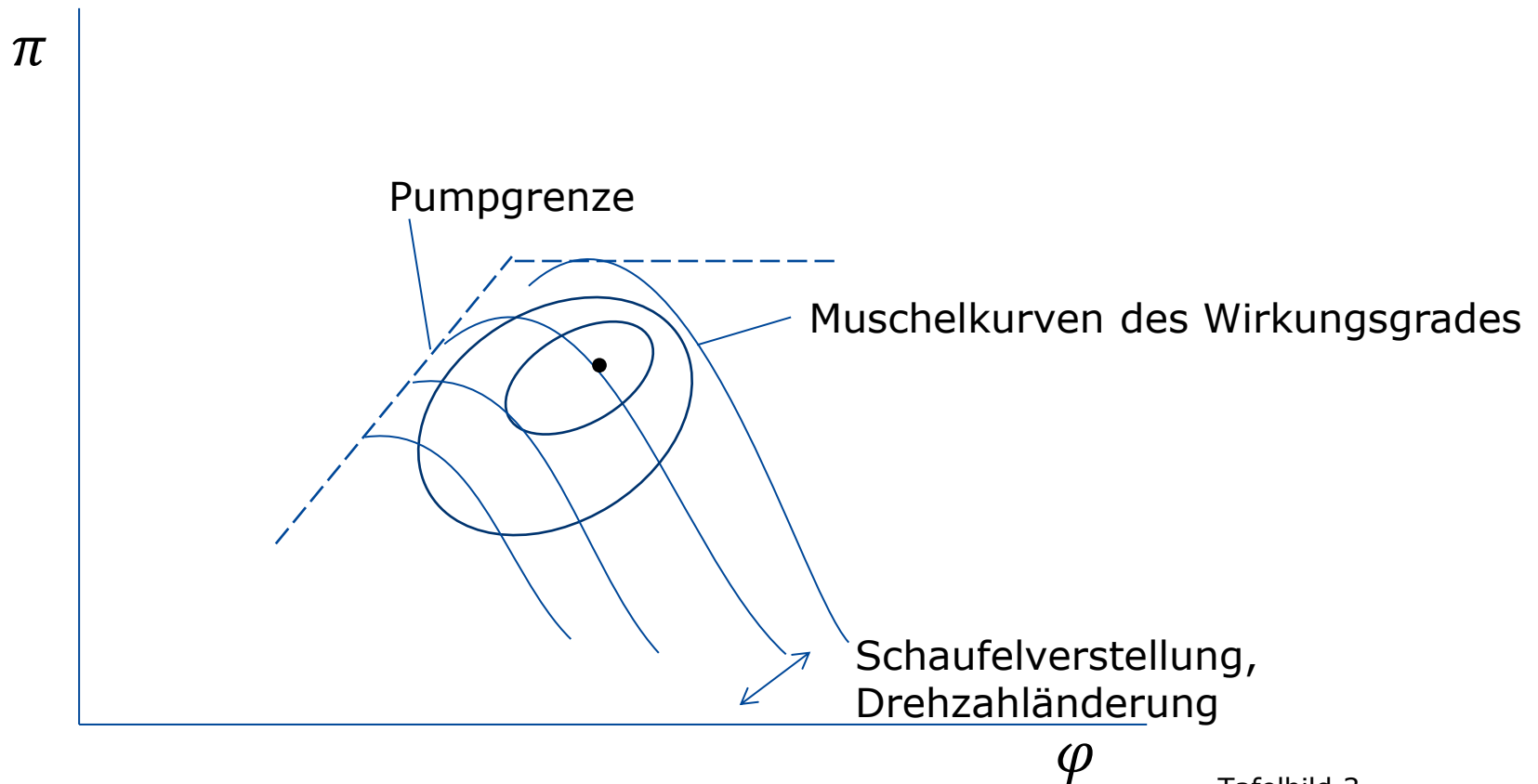
$$\varphi = \frac{Q_{RS}}{Q_{RS,n}} \sqrt{\frac{T_{RS,n}}{T_{RS}}} = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_n} \cdot \frac{\rho_{RS,n}}{\rho_{RS}} \sqrt{\frac{T_{RS,n}}{T_{RS}}}$$

- $\varphi$  entspricht  $\dot{m}^*$  ... relativer reduzierter Massenstrom
- Darstellung  $\pi$  über  $\varphi$  führt zu einer Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen

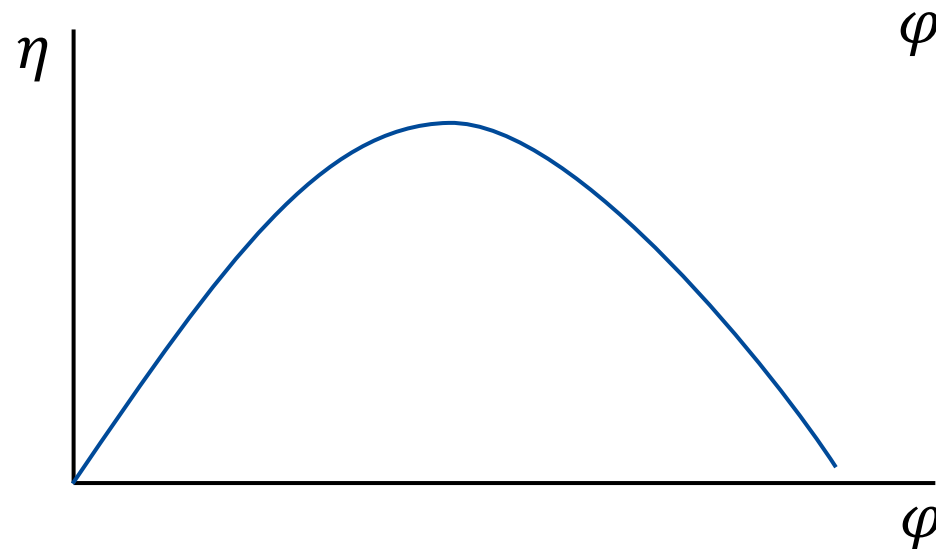
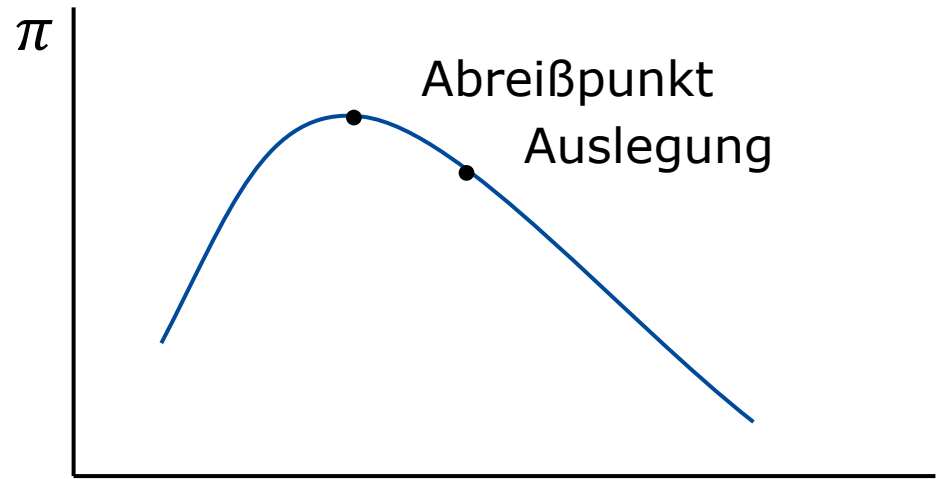
- dimensionslose Darstellung

$$n^* = \frac{n}{n_n} \cdot \sqrt{\frac{T_{RS,n}}{T_{RS}}}$$

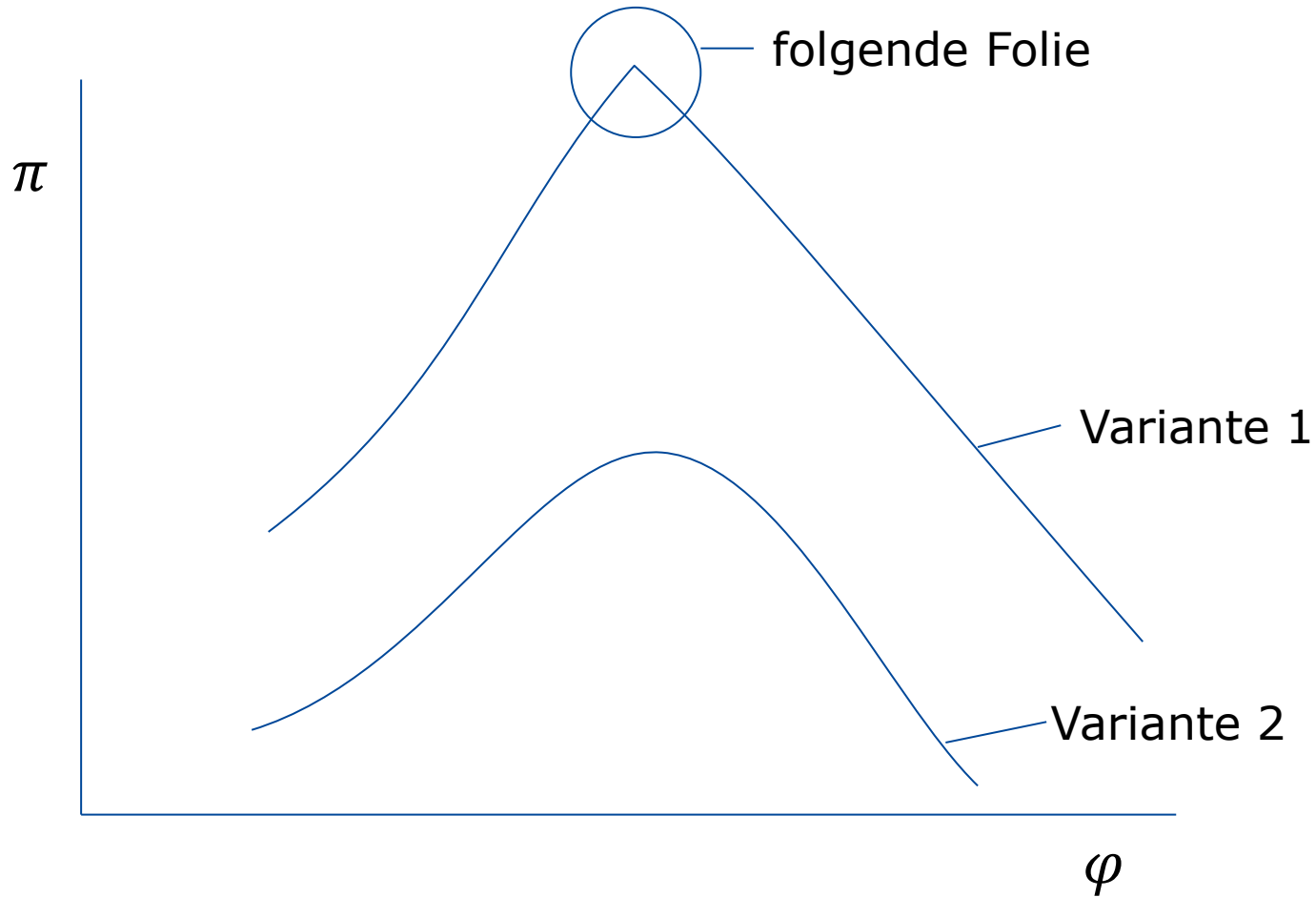
- Die Darstellung  $\pi = \pi(\varphi)$  mit  $n^*$  als Parameter ist gültig für unterschiedliche Umgebungsbedingungen (Ansaugtemperaturen, Ansaugdrücke)



Tafelbild 3



# $\pi - \varphi$ - Kennlinie



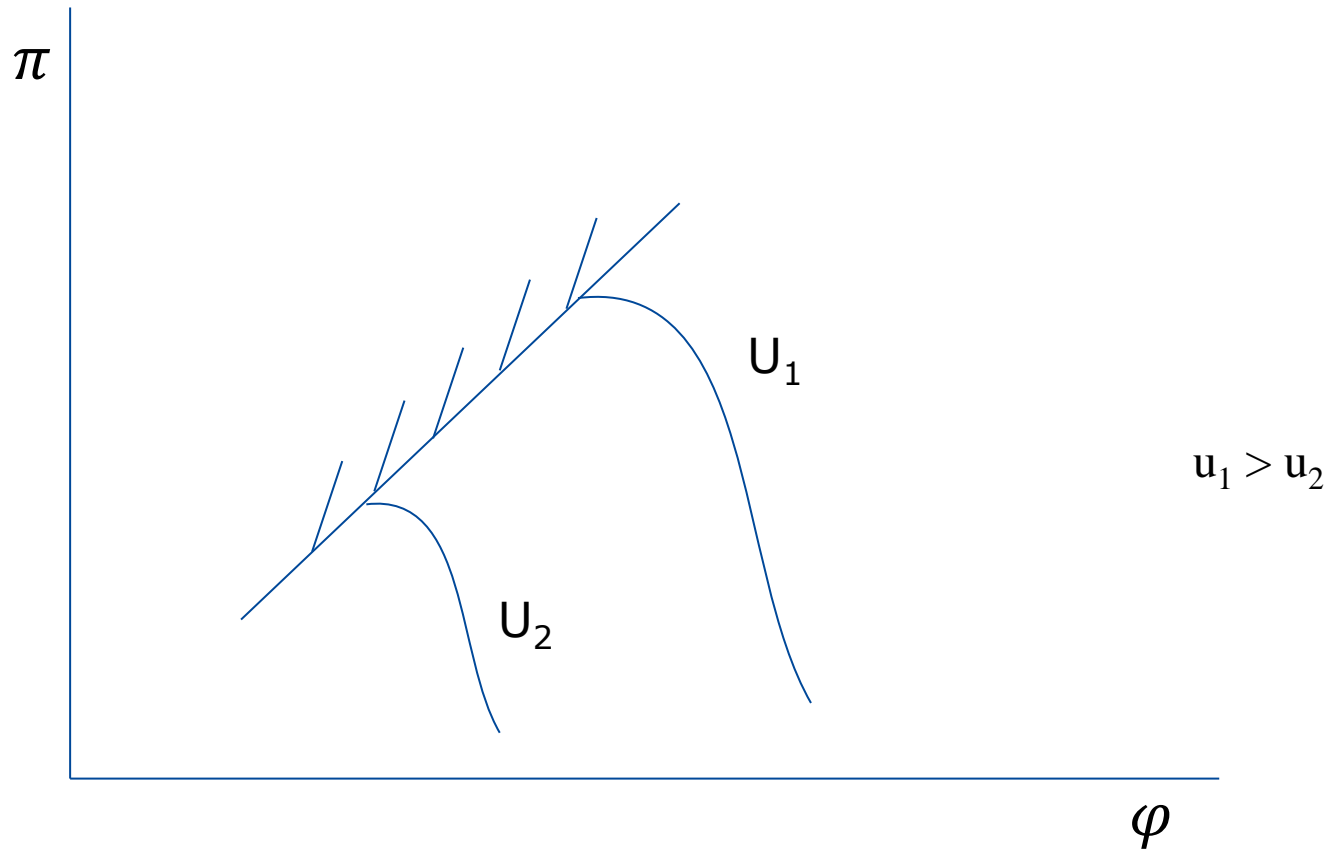
- Abreißcharakteristik wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst, z.B. Stufenbelastung und Nabenverhältnis  
(tendenziell gilt: große Belastung – harte Abreißcharakteristik)
- Abreißcharakteristik kann für verschiedenen Stufen unterschiedlich gestaltet sein

# Regelung



- Drehzahl
- Leitschaufelverstellung
- Laufschaufelverstellung
- Drosselregelung
- Bypass – oder Abblaseregelung

# Drehzahlregelung

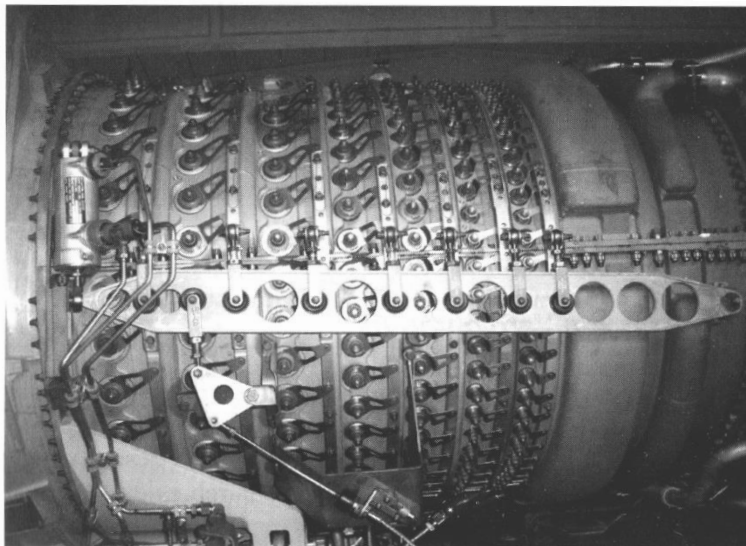




Verschieben des Volumenstromes für die stoßfreie Anströmung zu größeren/kleineren Volumenströmen als für den Auslegungsfall

Tafelbild 4

- Beeinflussung des Vordralls für die Laufschaufeln  
→ Eulergleichung
- Ausführung mit einer Reihe verstellbarer Leitschaufeln oder Realisierung in mehreren Stufen
- Reduktion auf etwa  $0,5 \cdot Q_{\text{nenn}}$  möglich



Quelle: Bräunling Flugzeugtriebwerke



- Abblasen mit oder ohne Rückführung in die Saugleitung

# Turbine





- im Schaufelgitter wird die Strömung beschleunigt  
→ Verringerung von statischem Druck und Totaldruck
- neben der strömungstechnischen Auslegung ist die Lösung konstruktiver Aufgaben die größte technische Herausforderung
- die Turbineneintrittstemperatur hat wesentlichen Einfluss auf die Schubkraft des Triebwerkes



einstufig: Leitrad und Laufrad

mehrstufig: mehrfache Leitrad/Laufrad-Kombinationen

T5



- Teilung in Hoch- und Niederdruckturbine
- Hochdruckturbine besteht aus 1 (2) Stufen und treibt den Verdichter an (benötigt ca.  $\frac{3}{4}$  der im Heissgas zur Verfügung stehenden Energie)
- die nachfolgende Niederdruckturbine sitzt bei Mehrwellentriebwerken auf einer separaten Welle und rotiert mit deutlich geringer Drehzahl und treibt den Fan an  
( $U_{2\max} \approx 450\text{m/s}$ )

$$\eta_{T,\text{isentrop}} = \frac{\text{spez. Turbinenarbeit bei polytroper Zustandsänderung}}{\text{spez. Turbinenarbeit bei isentroper Zustandsänderung}}$$

$$\eta_{T,\text{isentrop}} = \frac{1 - \pi}{1 - \pi^{\frac{x-1}{x}}}$$

# Möglichkeiten zur Erzielung maximaler $T_{\text{Turbine,ein}}$

Turbineneintrittstemperatur  $T_{\text{Turbine,ein}} \approx 1700\text{K}$

- Verwendung angepasster Legierungen
- Schaufelkühlung
- Schaufelbeschichtung

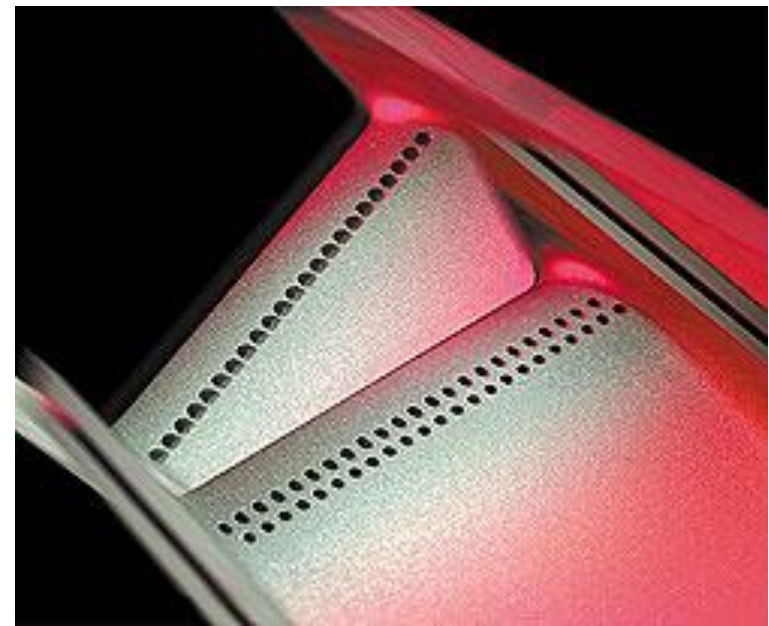
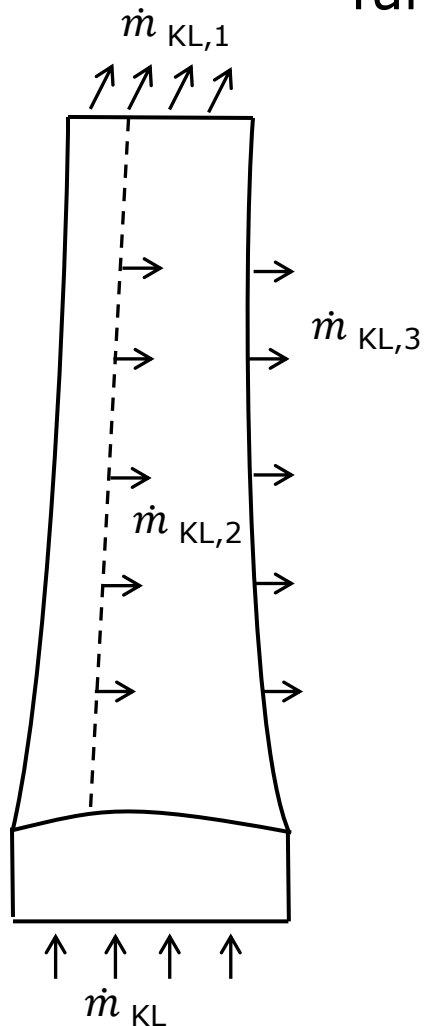
- Nickellegierungen
- neue Legierungen durch neue Technologien
- Beschichtungen

# Beispiel Schaufelkühlung



# Möglichkeiten zur Erziehung maximaler $T_{T,ein}$

## Turbinenschaufelkühlung



KL ....Kühlung

T8,T9

