

Sommersemester 2013

Strömungsmaschinen II

Thermische Strömungsmaschinen

Prof. Dr. Hendrik Wurm
Lehrstuhl für 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 Strömungsmaschinen II

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



- Strömungsmaschinen
- Turbomaschinen , im engl. Turbomachinery
- Fluidenergiemaschinen

- Umwandlung von Energie

Energie eines Fluids in mechanische Energie – Kraftmaschine

mechanische Energie an Fluid zuführen - Arbeitsmaschine



- Strömungsmaschine als Arbeitsmaschine

Energieübertragung an

Flüssigkeit -- Pumpe (Kreiselpumpe)

Gas -- Verdichter (Kreisel-, Turboverdichter)

Ventilatoren

Gebläse

Kompressoren



- Strömungsmaschine als Kraftmaschine

Energie aus	Wasser -- Wasserturbine
	Wind -- Windturbine
	Dampf -- Dampfturbine
	Gas+Brennstoff -- Gasturbine

- Dampf- und Gasturbinen, z.B.

MAN Turbo AG (12.500 MA; ca. 4 Mrd.€ Umsatz)

Siemens Energy (88.000 MA; ca. 25 Mrd.€ Umsatz)

- Flugtriebwerke, z.B.

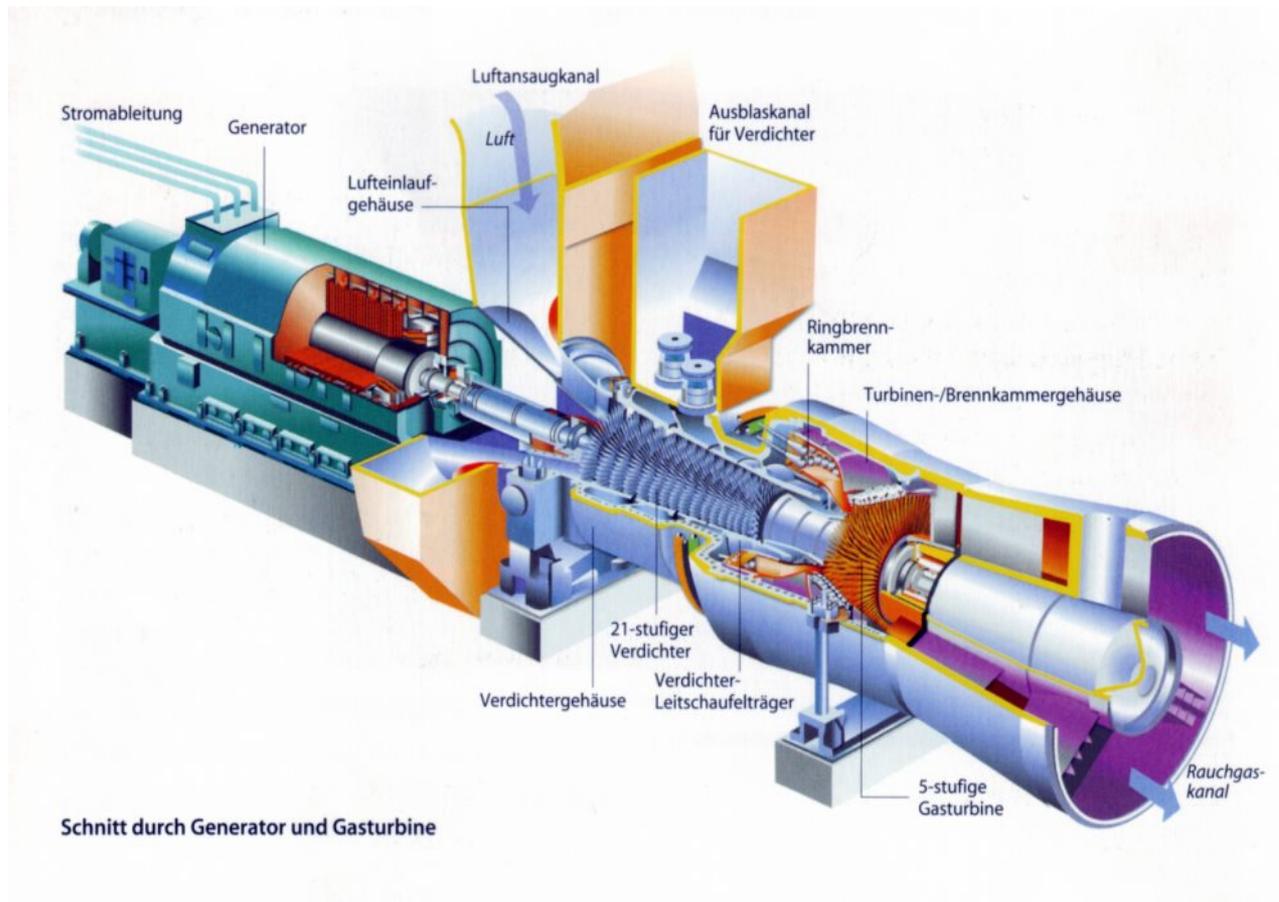
MTU (ca. 7.500 MA; ca. 2,6 Mrd.€ Umsatz)

Rolls Royce Deutschland (ca. 3.000 MA)



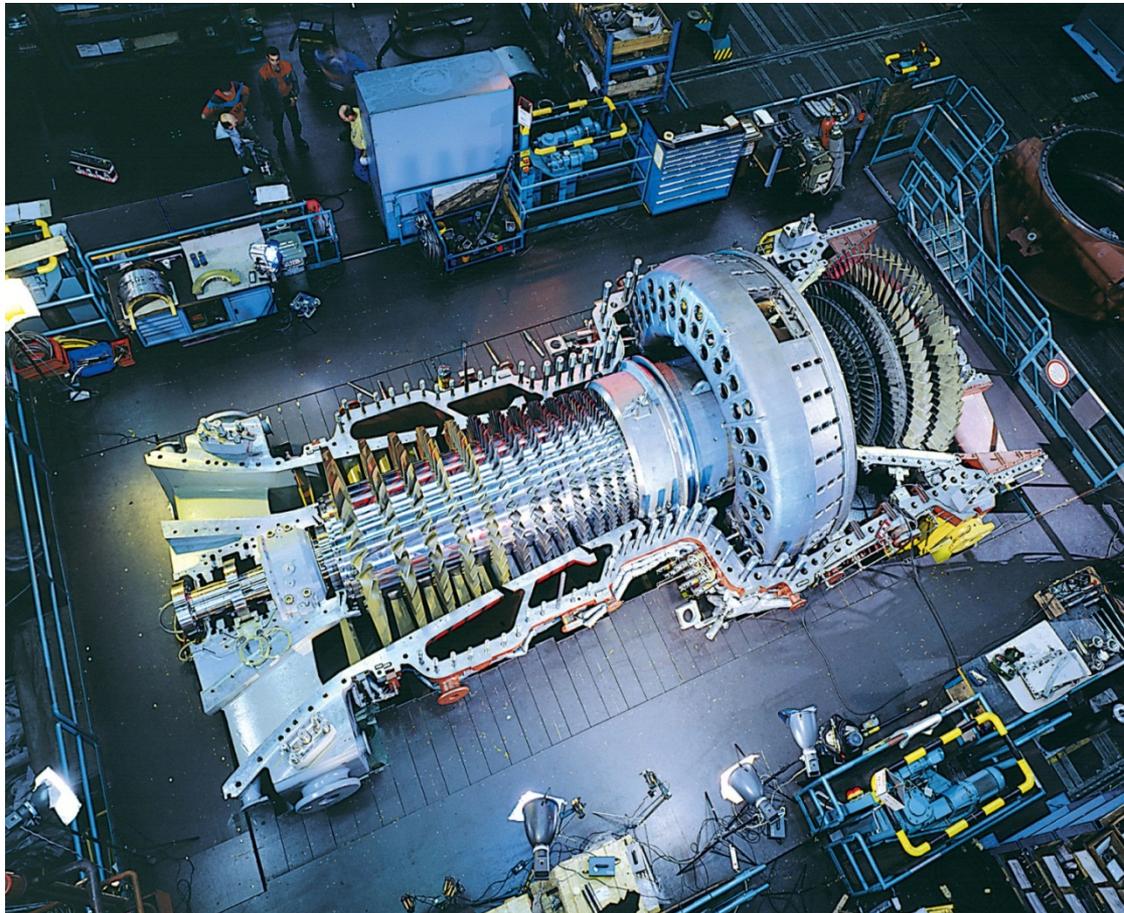
- als Antrieb, z.B. von Pumpen
- zur Schuberzeugung in Flugtriebwerken
- zur Stromerzeugung (Antrieb eines Generators)

Prinzipieller Aufbau einer Gasturbine



Quelle: www.hagelstein-consult.de

Beispiele für thermische Strömungsmaschinen: Alstom- Gasturb.



Quelle: www.dlr.de

- Turbine – Erzeugung der mechanischen Leistung
- Verdichter --- Druckerhöhung der angesaugten Luft vor der Turbine
- Brennkammer --- Temperaturerhöhung des resultierenden Verbrennungsgases

oder

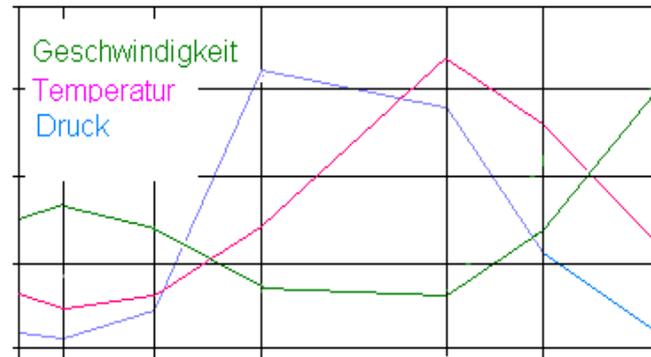
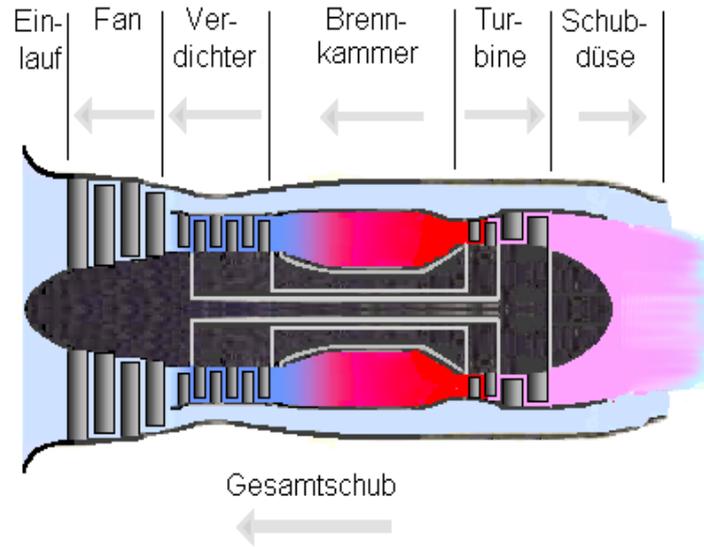
- Erhitzer

Beispiele für thermische Strömungsmaschinen: Flugtriebwerk



<http://de.wikipedia.org/wiki/Mantelstromtriebwerk>

Prinzipieller Aufbau eines Flugtriebwerks



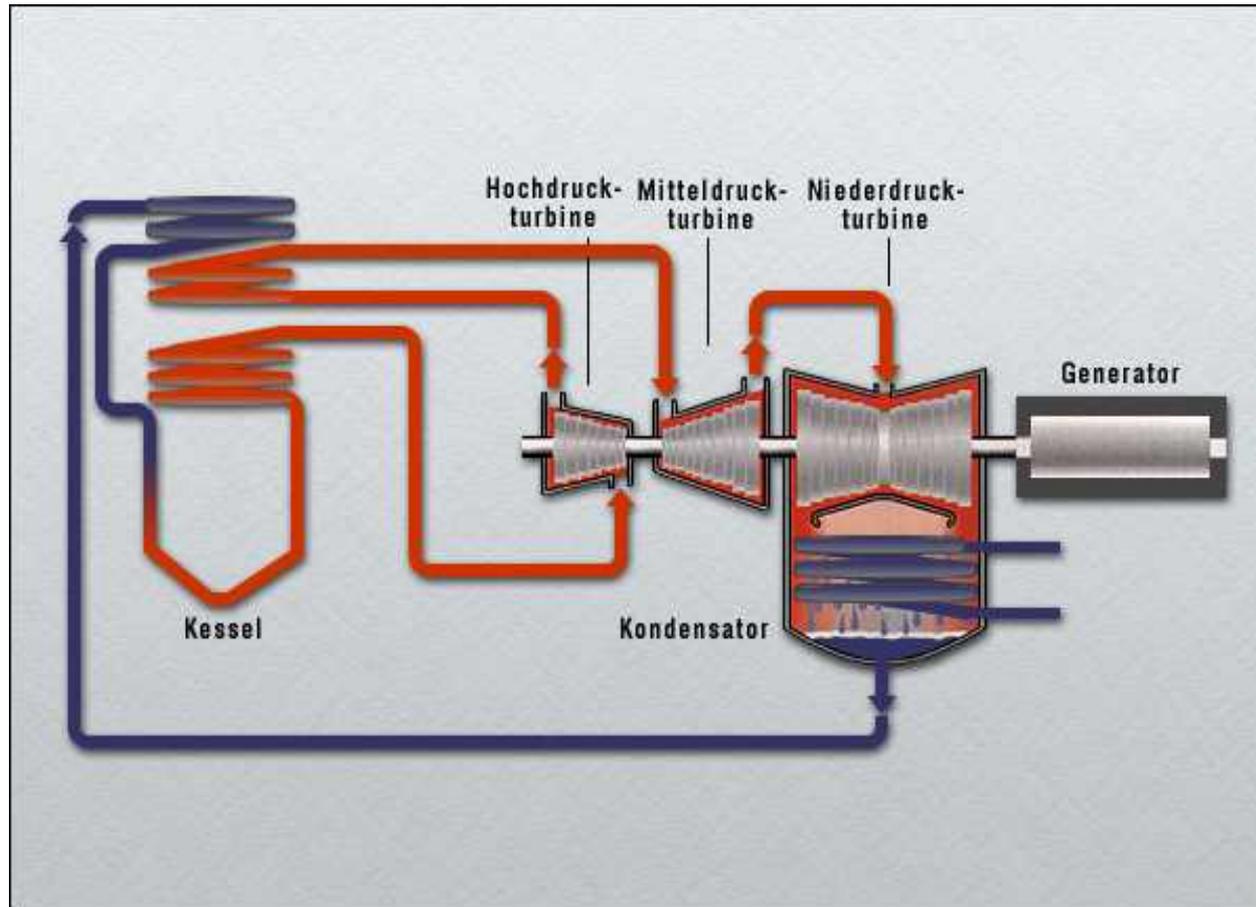
Quelle: Wikipedia

Beispiele für thermische Strömungsmaschinen: Dampfturbine



www.wikipedia.org

Prinzipieller Aufbau einer Dampfturbinenanlage



Quelle: www.bdew.de



- thermodynamische Grundlagen (Zustands- und Prozessgrößen, Zustandsänderungen, Schaltschema und Vergleichsprozess für Gasturbinen)
- strömungstechnische Grundlagen

- Zustandsgrößen
- Zustandsänderungen
- Kreisprozesse



Zustandsgrößen beschreiben den Zustand eines Systems mit den von der Gestalt des Systems unabhängigen Parametern.

u.a.:

- mengenunabhängige (intensive) Zustandsgrößen (Druck, spezif. Volumen bzw. Dichte, Temperatur)
- mengenabhängige (extensive) Zustandsgrößen (Masse, Volumen)
- kalorische bzw. energetische Zustandsgrößen (spezifische Enthalpie, spezifische innere Energie, spezifische Entropie)

Für den Gleichgewichtszustand jeder Phase eines Einstoffsystems gilt:

$$f(p, v, T) = 0$$

- $p = p(v, T)$; $v = v(p, T)$; $T = T(p, v)$

- Zustandsänderungen

- Zustandsänderungen

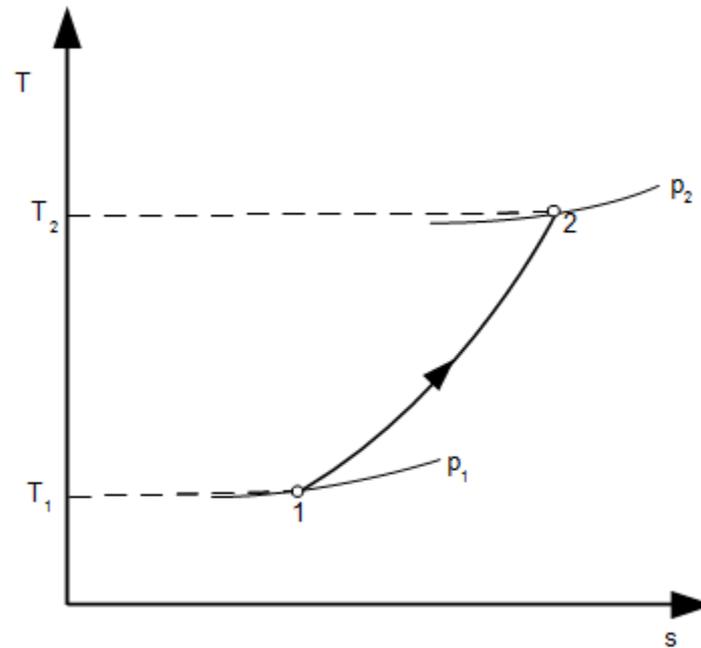
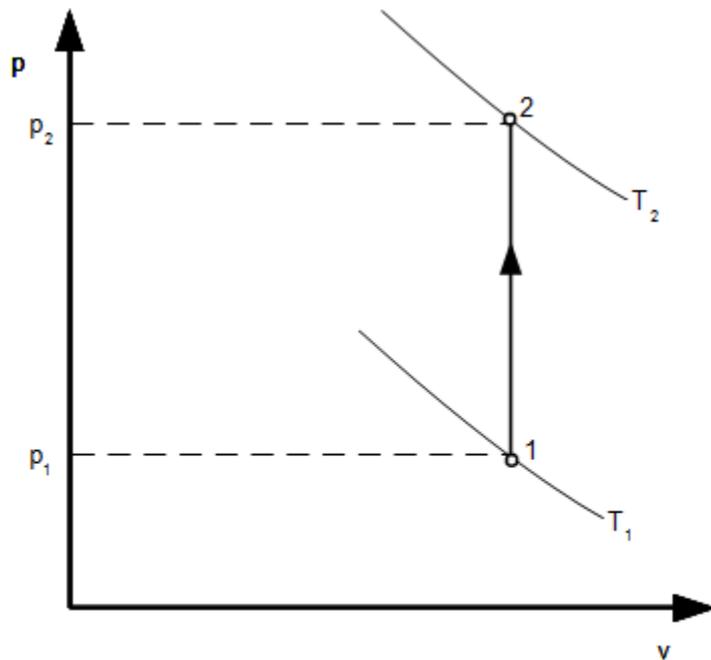
Veränderung des Systemzustandes durch Zufuhr mechanischer oder thermischer Energie.

Reversible Prozesse: Nach dem Prozess können das System und seine Umgebung wieder in den Ausgangszustand überführt werden.

Irreversible Prozesse: alle anderen Prozesse

Zustandsänderungen

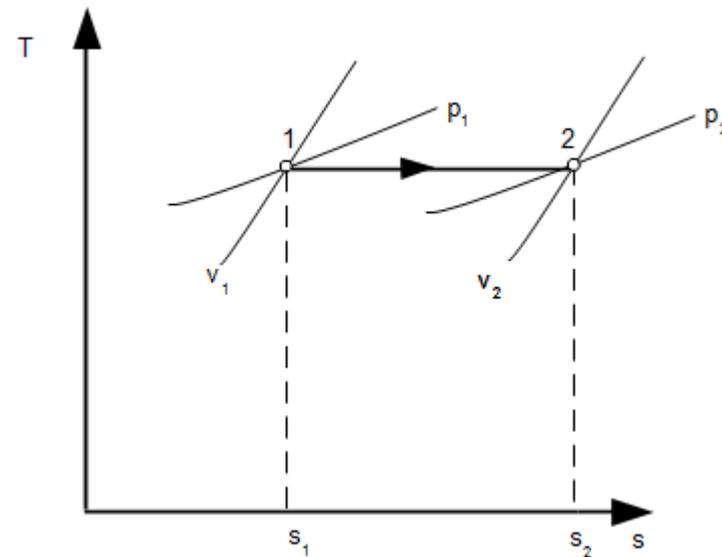
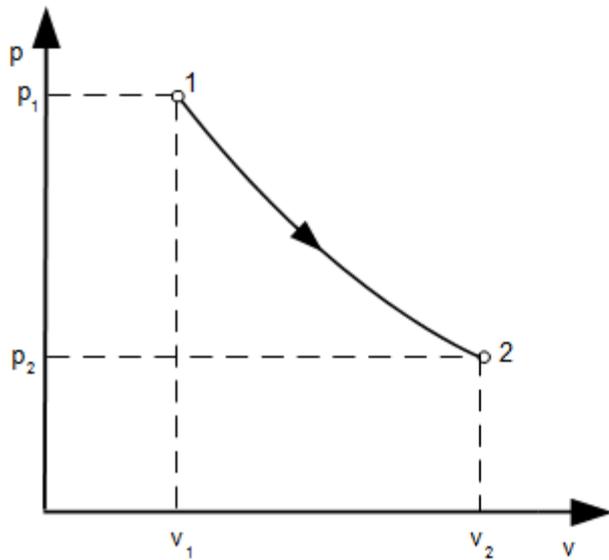
isochor, z.B. in geschlossenen Behältern mit starren Wänden



Isochore Zustandsänderung eines idealen Gases $v = \text{const.}$

Zustandsänderungen

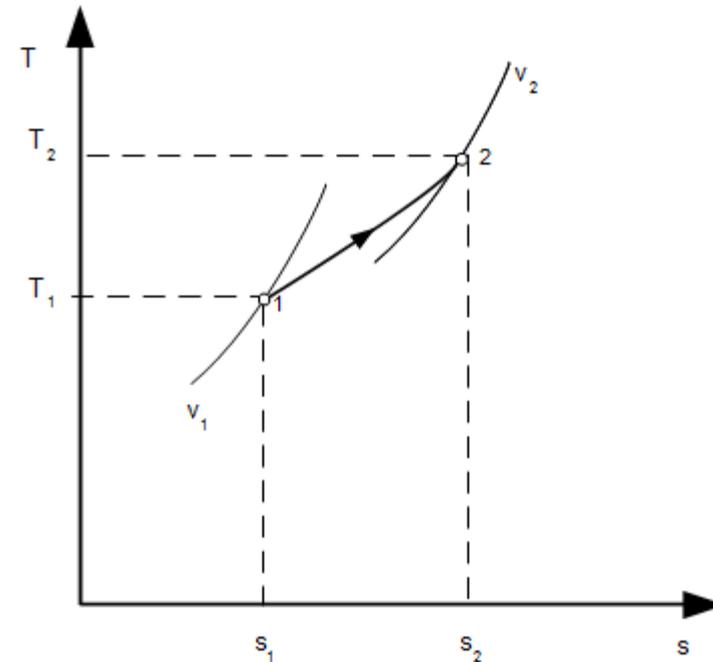
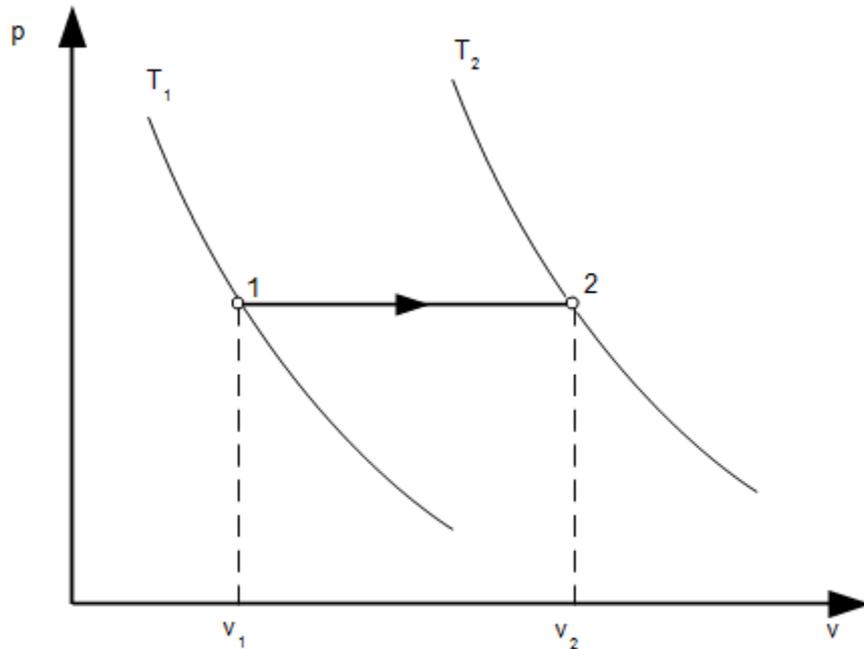
isotherm, Nutzung als Vergleichsprozess



Isotherme Zustandsänderung eines idealen Gases $T = \text{Const.}$

Zustandsänderungen

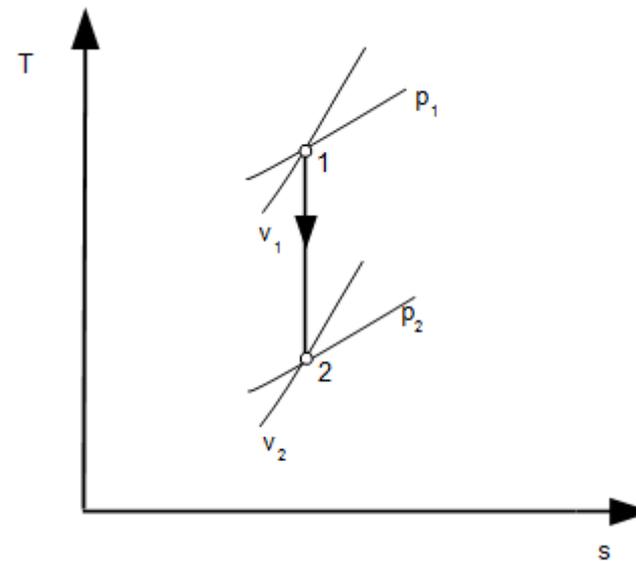
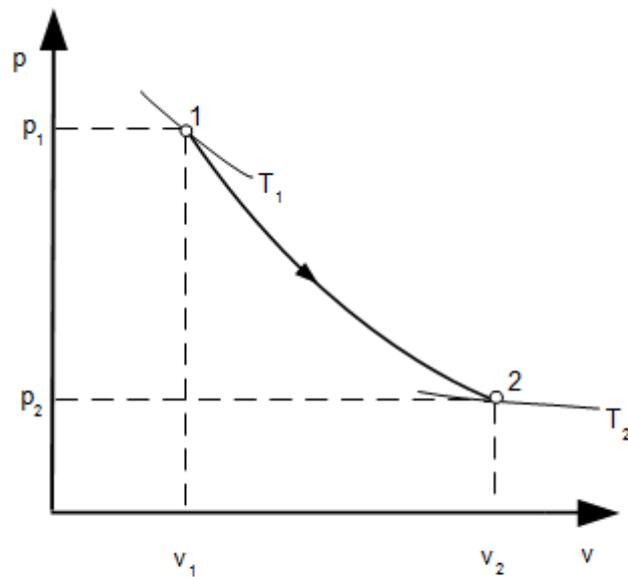
Isobare, z.B. in Wärmeübertragern oder Rohrleitungen bei Vernachlässigung der Reibung



Isobare Zustandsänderung eines idealen Gases $p = \text{const.}$

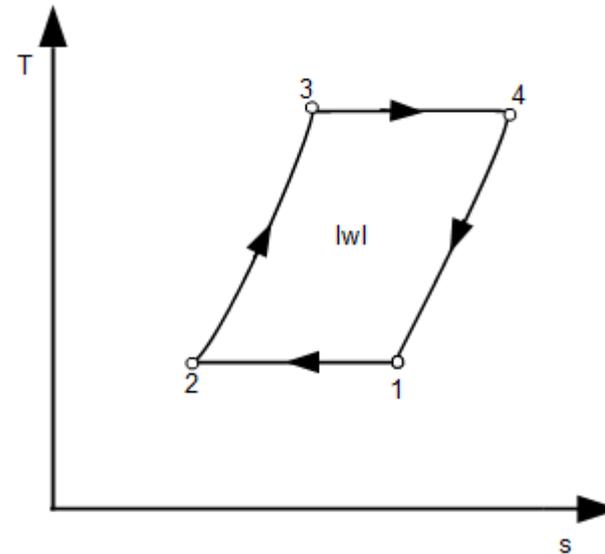
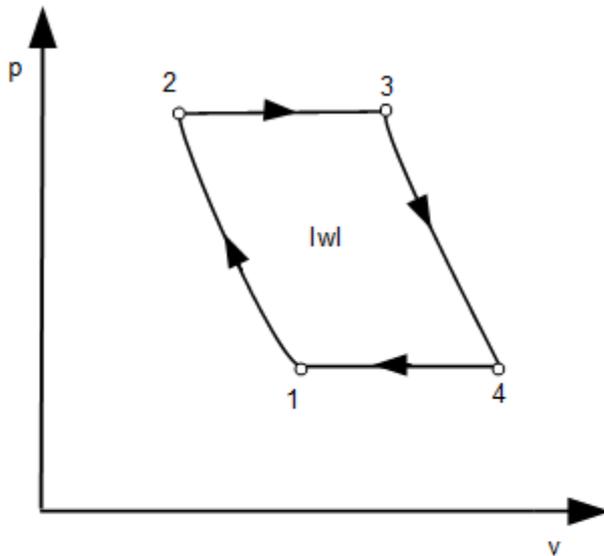
Zustandsänderungen

isentrop, z.B. Expansion in Strömungsmaschinen



Isentrope Zustandsänderung eines idealen Gases $s = \text{const.}$

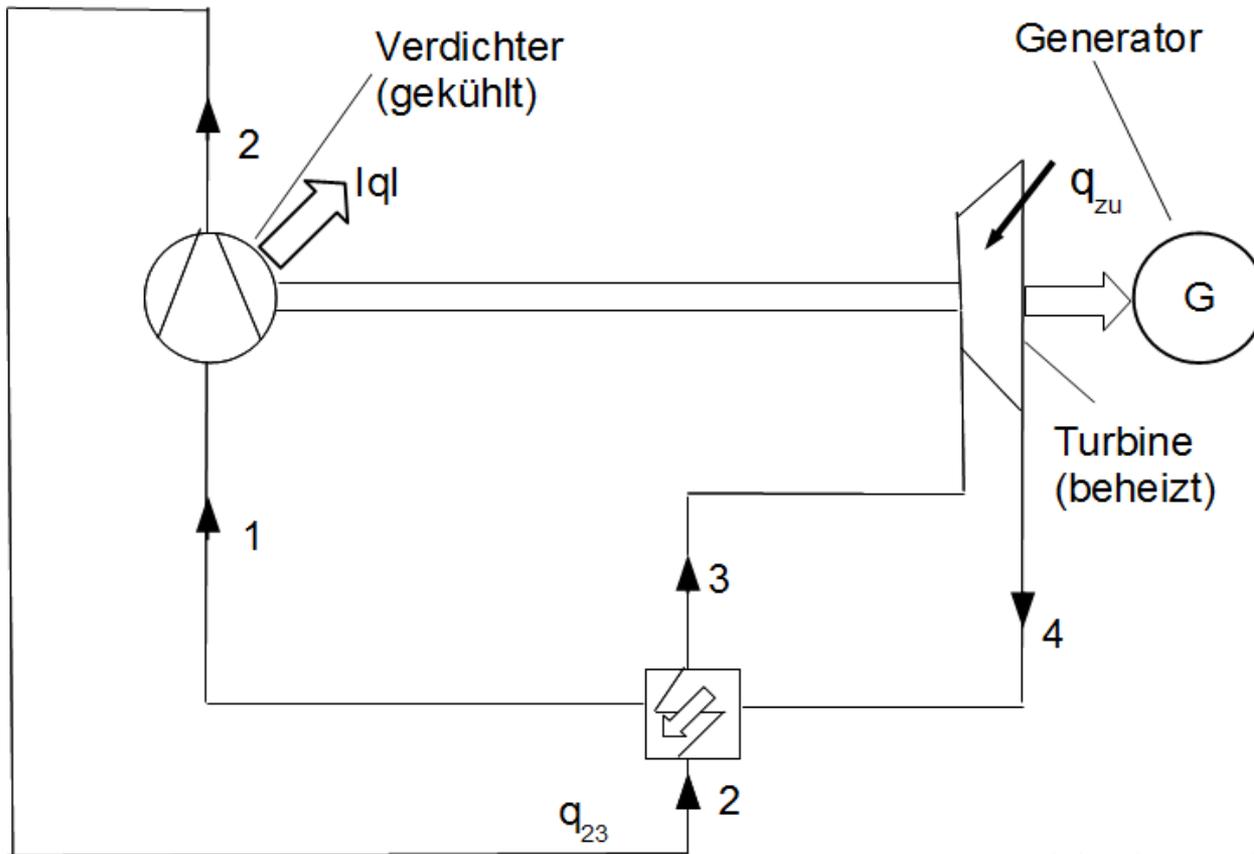
- Kreisprozesse – Vergleichsprozesse für Gasturbinenanlagen
 - alle Teilprozesse reversibel
 - nur Bilanzierung der wesentlichen Energieumwandlungen (z.B. Vernachlässigung der Vorgänge in den Rohrleitungen)



- 1-2 isotherme Kompression mit gleichzeitiger Wärmeabfuhr
- 2-3 isobare regenerative Wärmezufuhr
- 3-4 isotherme Expansion mit gleichzeitiger Wärmezufuhr
- 4-1 isobare regenerative Wärmeabfuhr

Die Wärme für die isobare Aufheizung (2-3) wird durch die isobare Abkühlung (4-1) bereitgestellt.

Regeneration – Wiederverwendung der abgegebenen Wärme eines Teilprozesses in einem anderen Teilprozess.



- 1-2 isotherme Kompression im Verdichter
- 2-3 isobare Wärmezufuhr im Wärmeübertrager
- 3-4 isotherme Expansion in der Turbine
- 4-1 isobare Wärmeabfuhr im Wärmeübertrager

Geschlossene Gasturbinenanlage, die nach dem
Ackeret – Keller – Prozess arbeitet

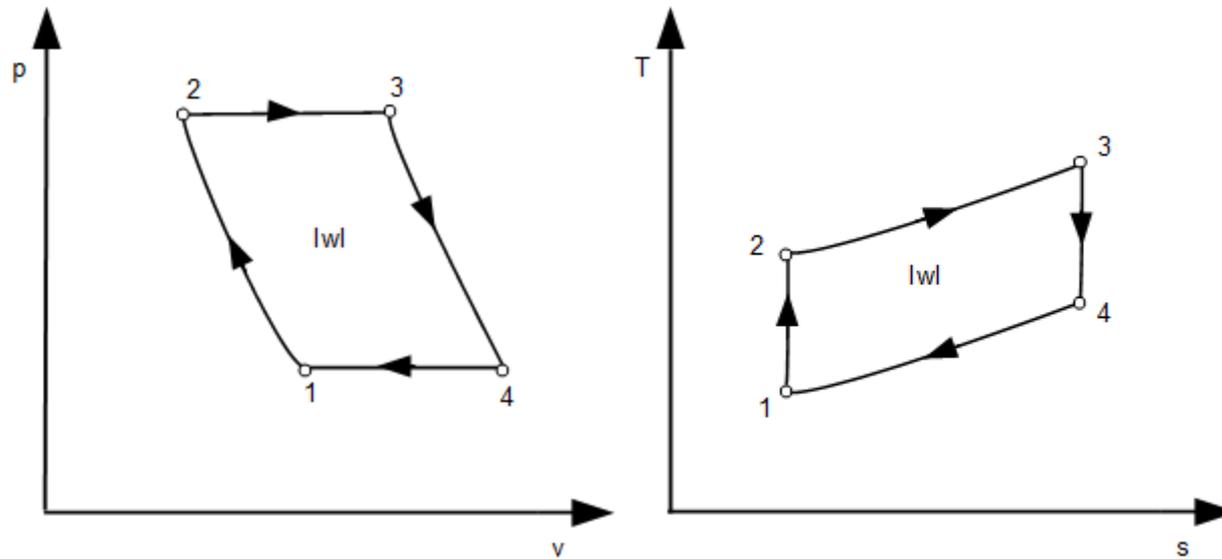
- Problem:

technische Realisierung der isothermen Zustandsänderung

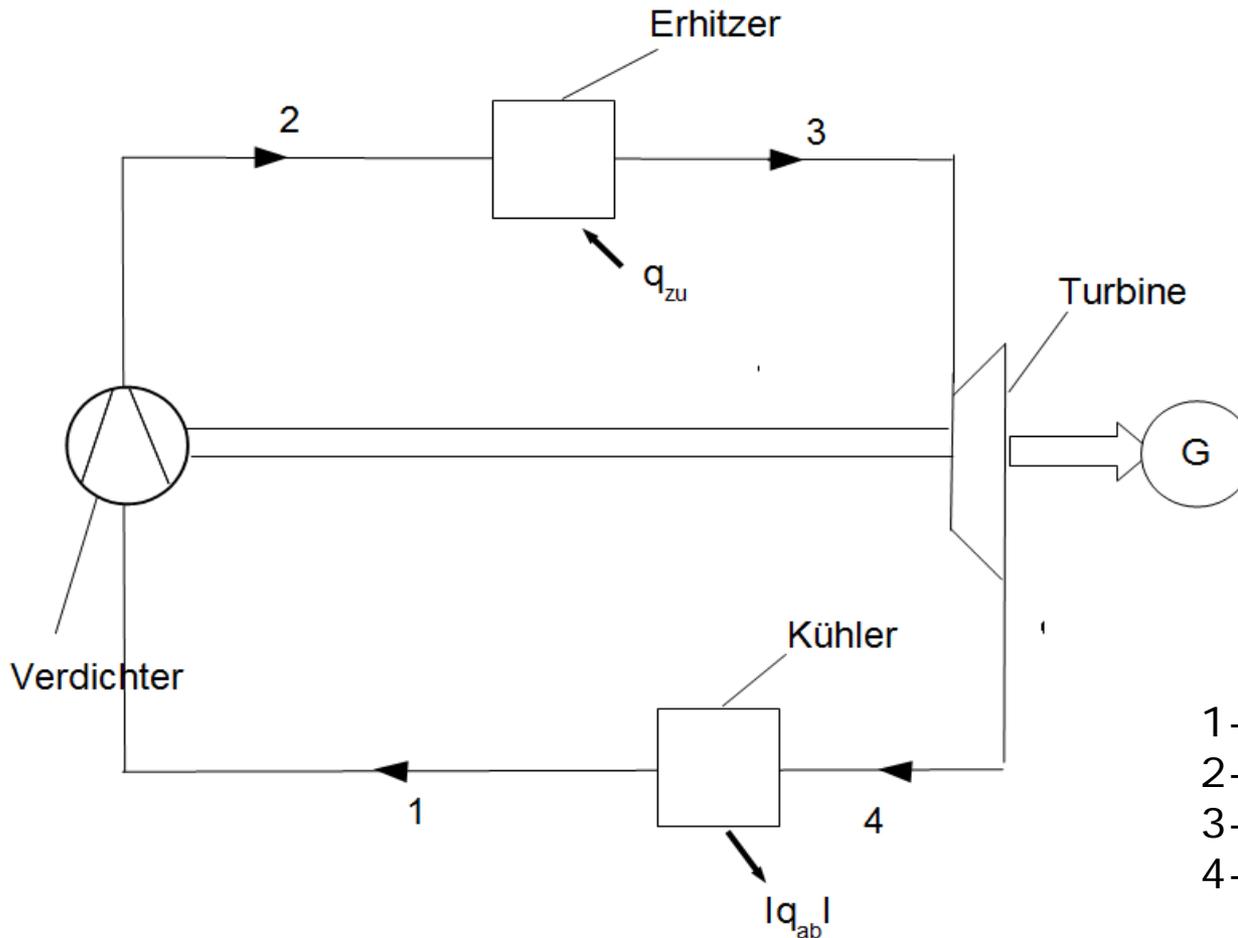
- Maßnahme:

Ersatz der isothermen Zustandsänderung durch mehrstufige isentrope Zustandsänderungen.

Joule-Prozess



- 1-2 isentrope Kompression
- 2-3 isobare Wärmezufuhr
- 3-4 isentrope Expansion
- 4-1 isobare Wärmezufuhr



- 1-2 isentrope Kompression
- 2-3 isobare Wärmezufuhr
- 3-4 isentrope Expansion
- 4-1 isobare Wärmeabfuhr

Schaltschema einer geschlossenen Gasturbinenanlage,
die nach dem Joule - Prozess arbeitet

Geschlossener Gasturbinenprozess Vorteile gegenüber einem offenen Prozess

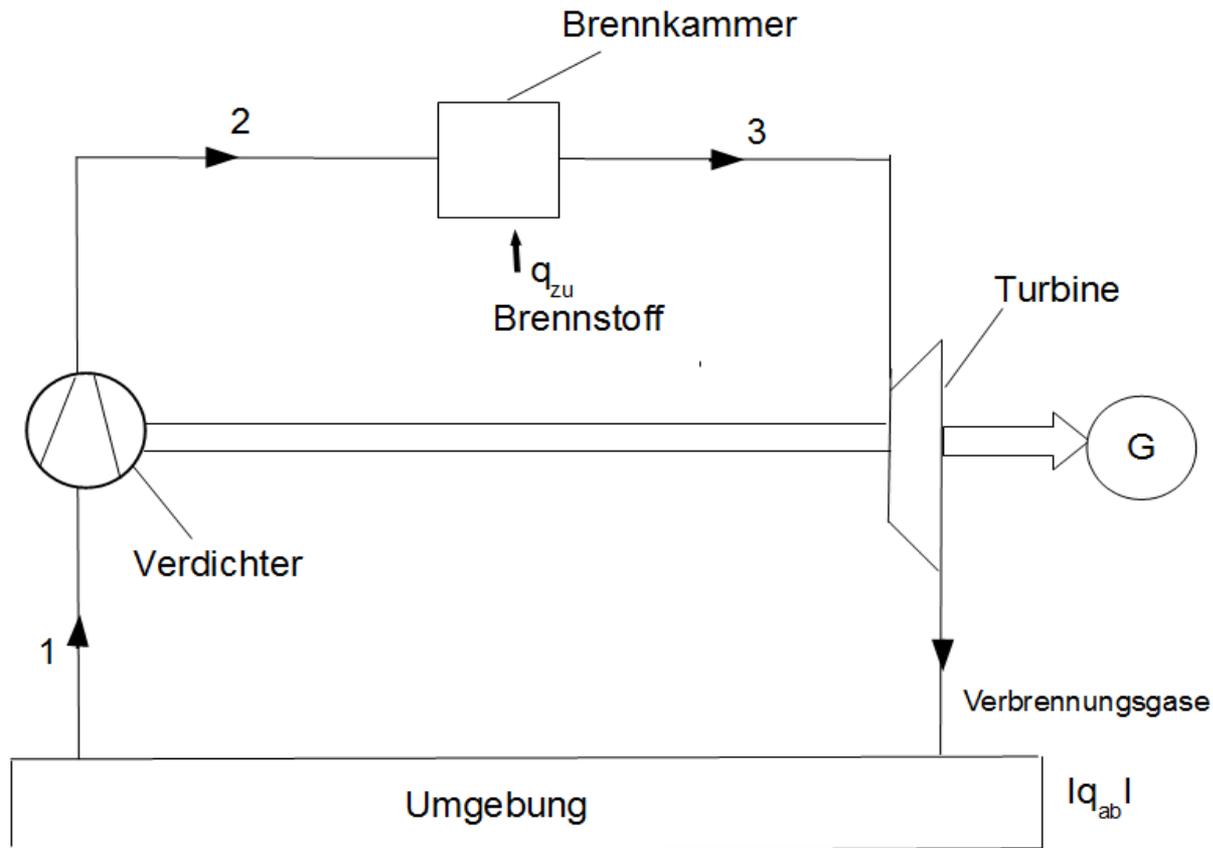


- gute Regelbarkeit
- „sauberes“ Gas – positiver Einfluss auf die Haltbarkeit der Turbinenschaufeln

Aber Kühler notwendig!



- Verwendung von Umgebungsluft
- Abgabe der Wärme des Abgases an die Umgebung



Schaltschema einer offenen Gasturbinenanlage,
die nach dem Joule – Prozess arbeitet

- ein Teil der im Kühler abzuführenden Wärme (isobare ZÄ 4-1) wird zur Vorwärmung des Gases nach dem Verdichter genutzt