

# Das Wirbelrohr:

## Grundlagen und neue energietechnische Anwendungen

J. U. Keller u. W. M.

Inst. Fluid- & Thermodynamik, Universität Siegen

57068 Siegen, Germany

E-mail: [keller@ift.maschinenbau.uni-siegen.de](mailto:keller@ift.maschinenbau.uni-siegen.de)

Einführung

Grundlagen (TK, CFD)

Anwendungen

A) Gastechnik (Zyklon)

B) Energietechnik

Zusammenfassung



## Willkommen am Lehrstuhl für Thermodynamik...

[Univ.-Prof. Dr.sc.techn. Jürgen U. Keller](#)

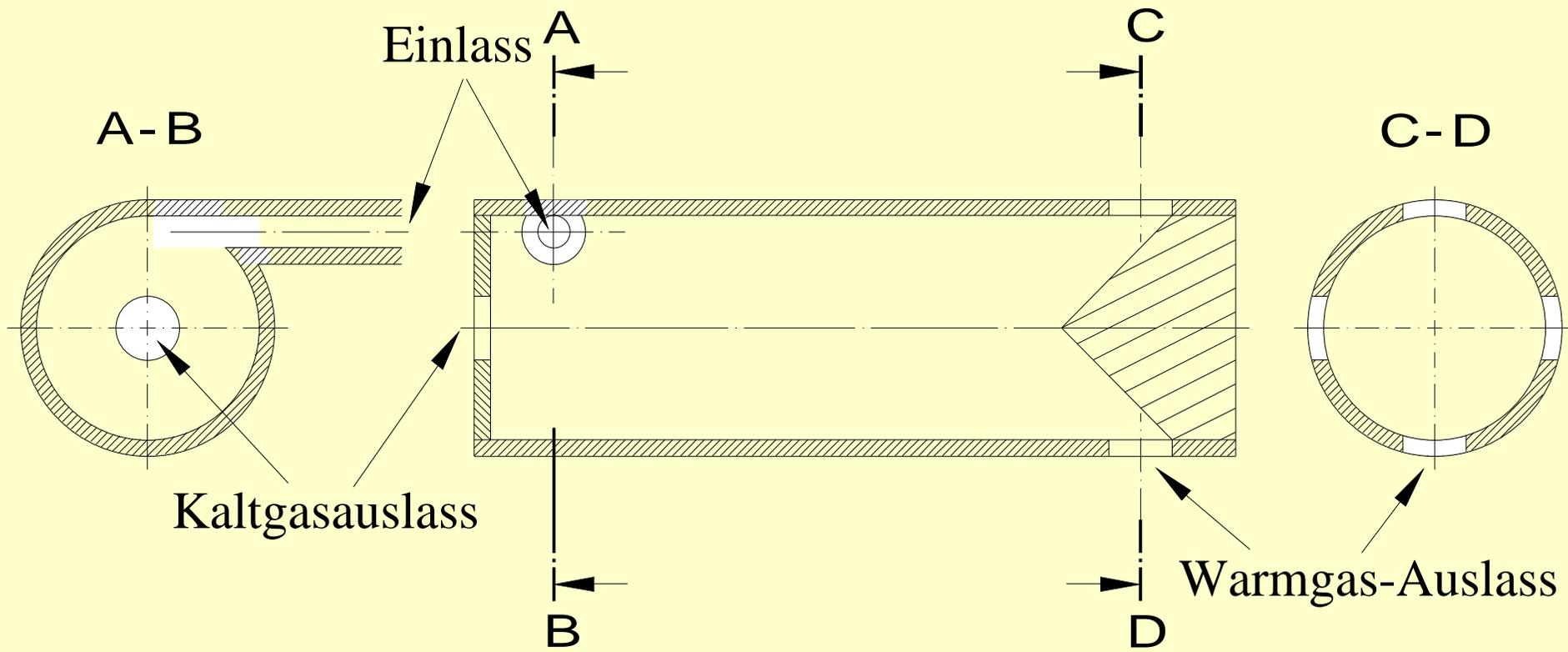
- Home
- Aktuelles
- Personen
- Forschung
- Ausstattung
- Lehre & Studium
- Schriften
- Kooperationen
- Sonstiges
- Besucher
- Site in English 

Fachbereich Maschinentechnik  
Institut für Fluid- und Thermodynamik  
Paul-Bonatz-Str. 9-11  
57068 Siegen  
Tel. +49 271 / 740 - 4651  
Fax +49 271 / 740 - 2360  
[eMail: keller@ift.maschinenbau.uni-siegen.de](mailto:keller@ift.maschinenbau.uni-siegen.de)



A. Lehnen, R. He, N. Iossifova, E. Schein, M. Seelbach, U. Schilk, W. Zimmermann, U. Göbel,  
Professor J. U. Keller (v. L., Stand 2001)

Die Seiten sind optimiert für eine Auflösung von 1024x768 Punkten! (Microsoft Internet Explorer 5.5)



**Vortex Tube of Ranque (1931) & Hilsch (1945).**

# Wirbelrohr nach Ranque und Hilsch

## Anwendungen in Kühltechnik

### 1) Kaltluftpistole

Schweiß- und Löttechnik

Getränkekühlung (LH)

Lacktechnik

Medizin

### 2) Kaltluftaggregate

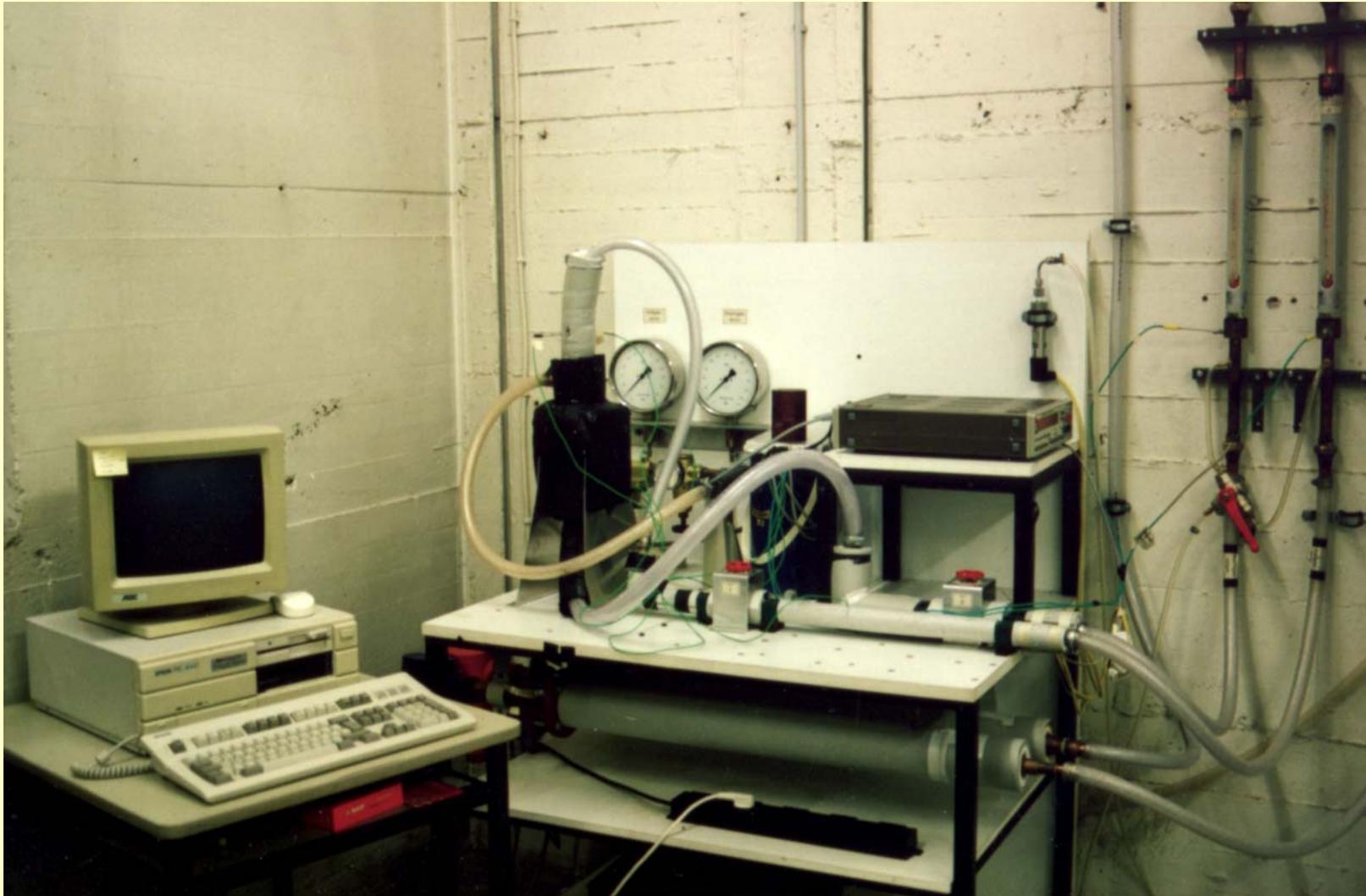
Personenkühlung

Bergbau, Rettungsinseln

Krankenkabinen

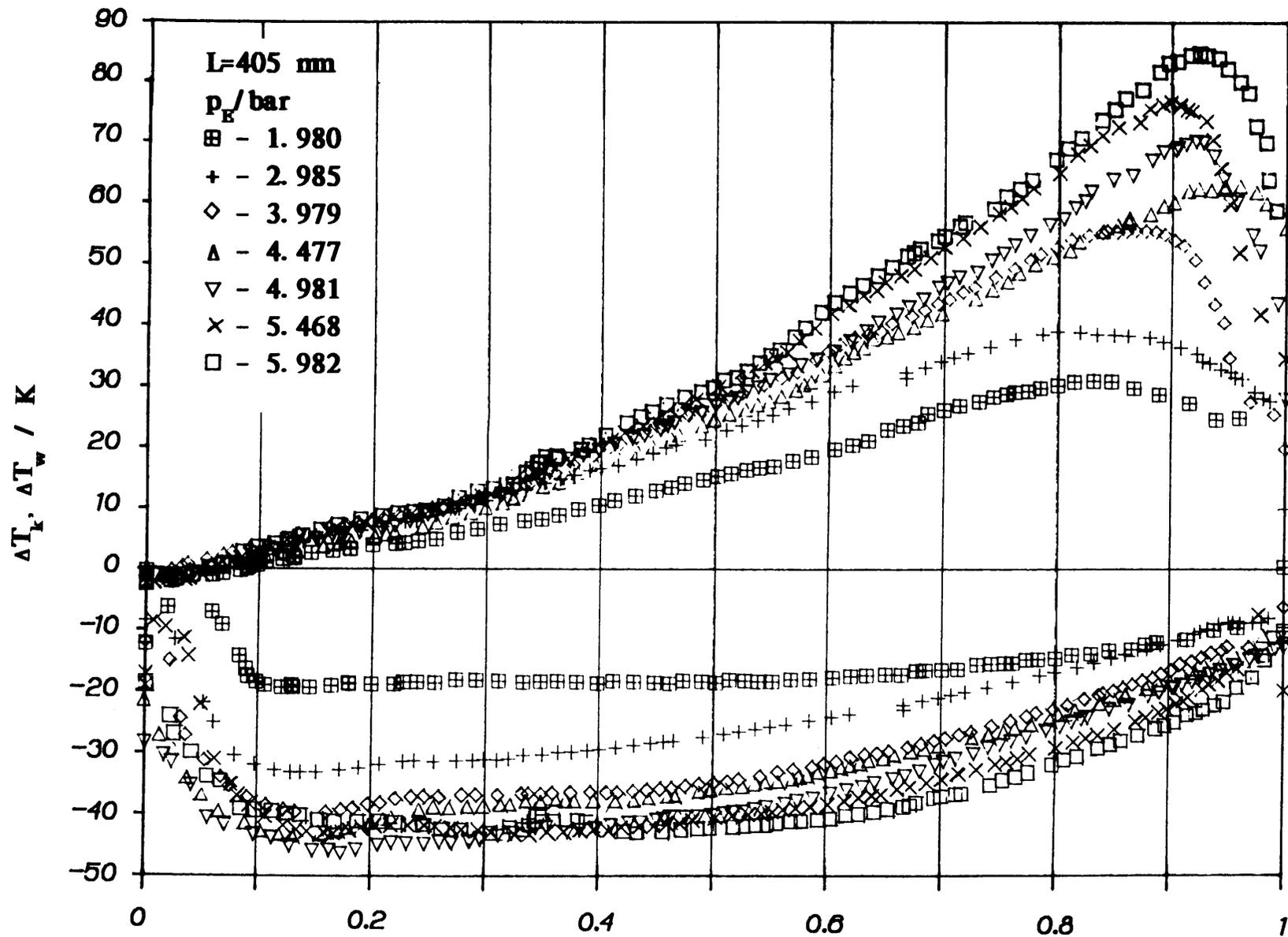
Kampfwagen, U-Boote

Weltraumlabor



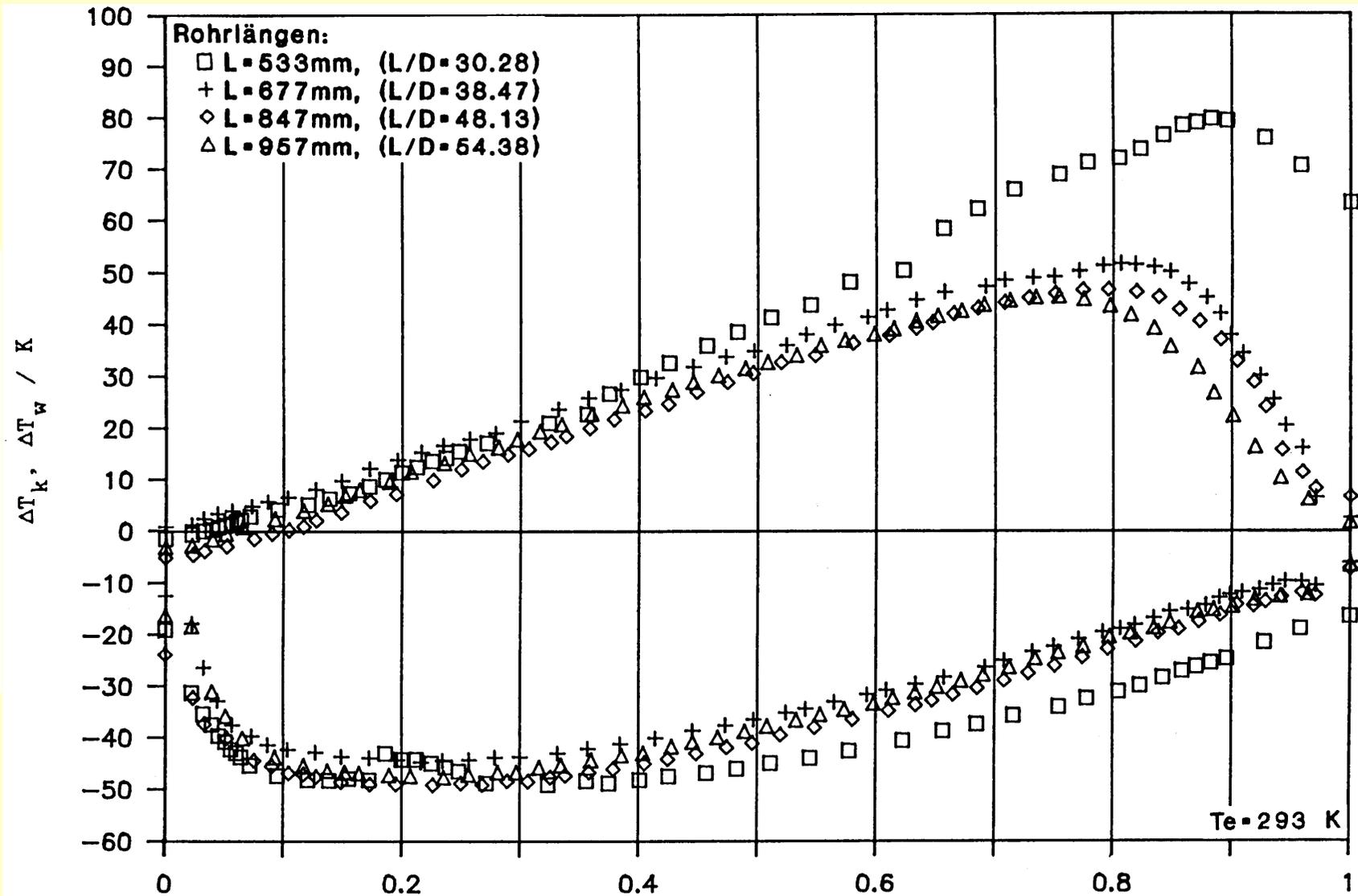
Experimental setup for expansion of compressed air in a vortex tube by Ranque & Hilsch.

# Temperaturdifferenzen



Massenbruch des Kaltluftstromes ( $y = \dot{m}_K / (\dot{m}_K + \dot{m}_W)$ )

# Temperaturdifferenzen

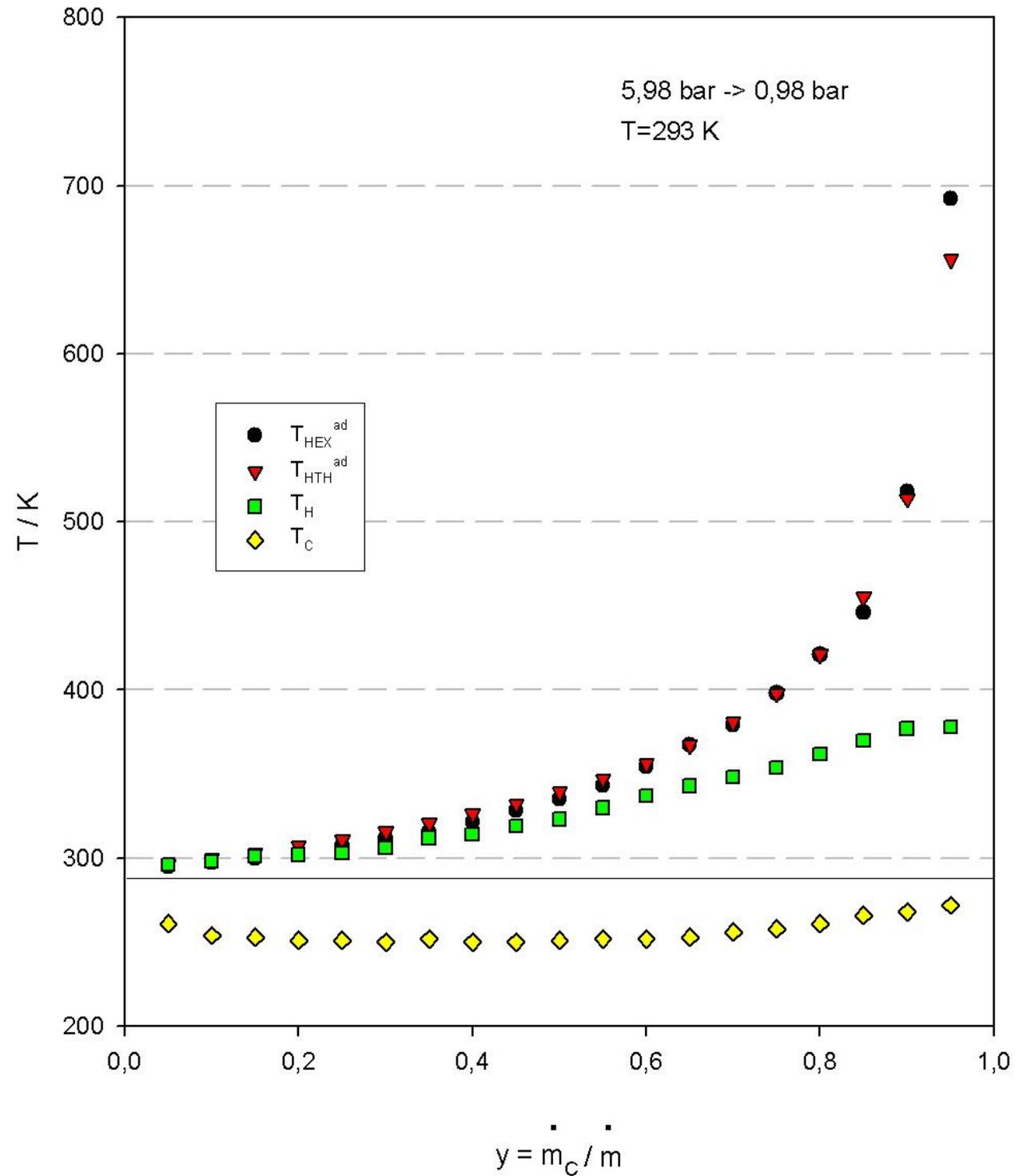


Massenbruch des Kaltluftstromes ( $y = \dot{m}_K / (\dot{m}_K + \dot{m}_W)$ )

# Adiabates Wirbelrohr

Expansion von Druckluft

Entropiemodell ( $T_H^{ad}$ )



## Vortex Tube Gas Expansion Process Thermodynamic Model

Mass balance

$$\dot{m}_0 = \dot{m}_C + \dot{m}_H \quad (1)$$

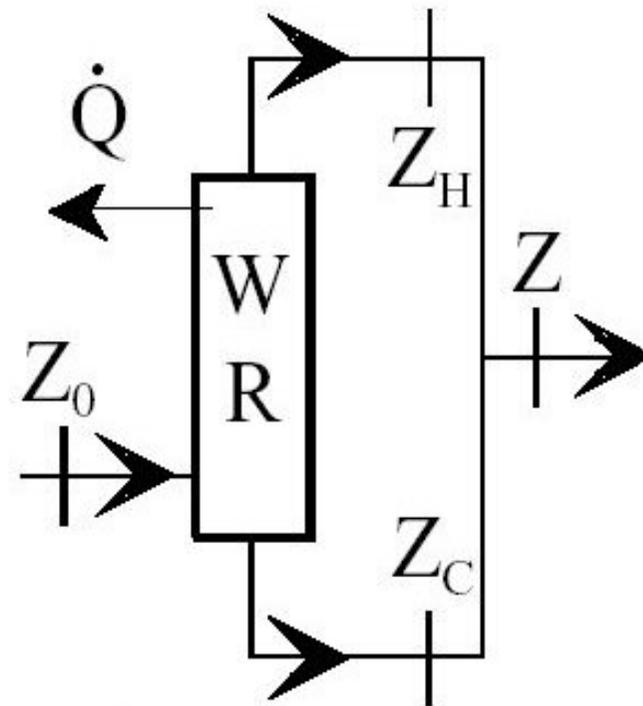
Mass flow

$$\dot{m}_i = A_i w_i \rho(p_i, T_i) \quad (1a)$$

Energy balance

$$\hat{h}_0 \dot{m}_0 = \hat{h}_C \dot{m}_C + \hat{h}_H \dot{m}_H + \dot{Q} \quad (2)$$

$$\hat{h} = h + w^2/2$$



## Entropy balance

$$s_0 \dot{m}_0 = s_C \dot{m}_C + s_H \dot{m}_H + \sigma \dot{m} \quad , \quad \sigma \geq 0 \quad (3)$$

$$\sigma = \sigma_{EV} - HRy \quad , \quad 0 \leq y = \dot{m}_C / \dot{m}_0 \leq 1 \quad (3a)$$

$$\sigma_{EV} = s - s_0 \geq 0$$

## Equations of state

$$h_i = h(T_i, p_i) \quad , \quad s_i = s(T_i, p_i) \quad , \quad i = 0, C, H \quad (4,5)$$

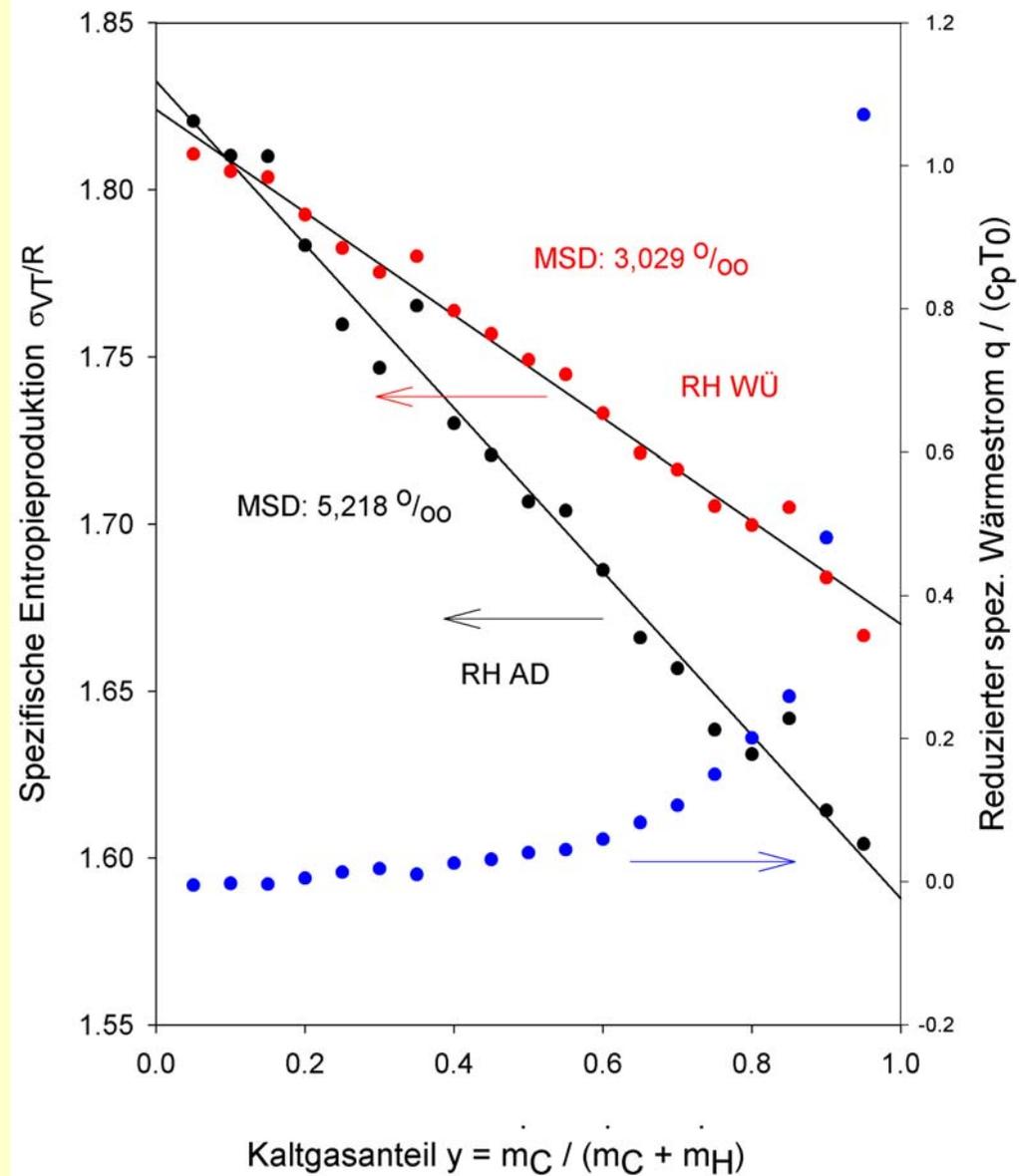
Known quantities :  $\dot{m}_0, \dot{m}_C, T_0, p_0, p_C = p_H = p^*$

Unknown quantities :  $T_C, T_H \dots (2, 3)$

EV : Expansion Valve

# Wirbelrohrprozeß

Entropieproduktion  
Wärmeabgabe



Experimental setup for expansion of steam in a vortex tube by Ranque & Hilsch.





IFT Dampfesselanlage und Wasserdampfwirbelrohr

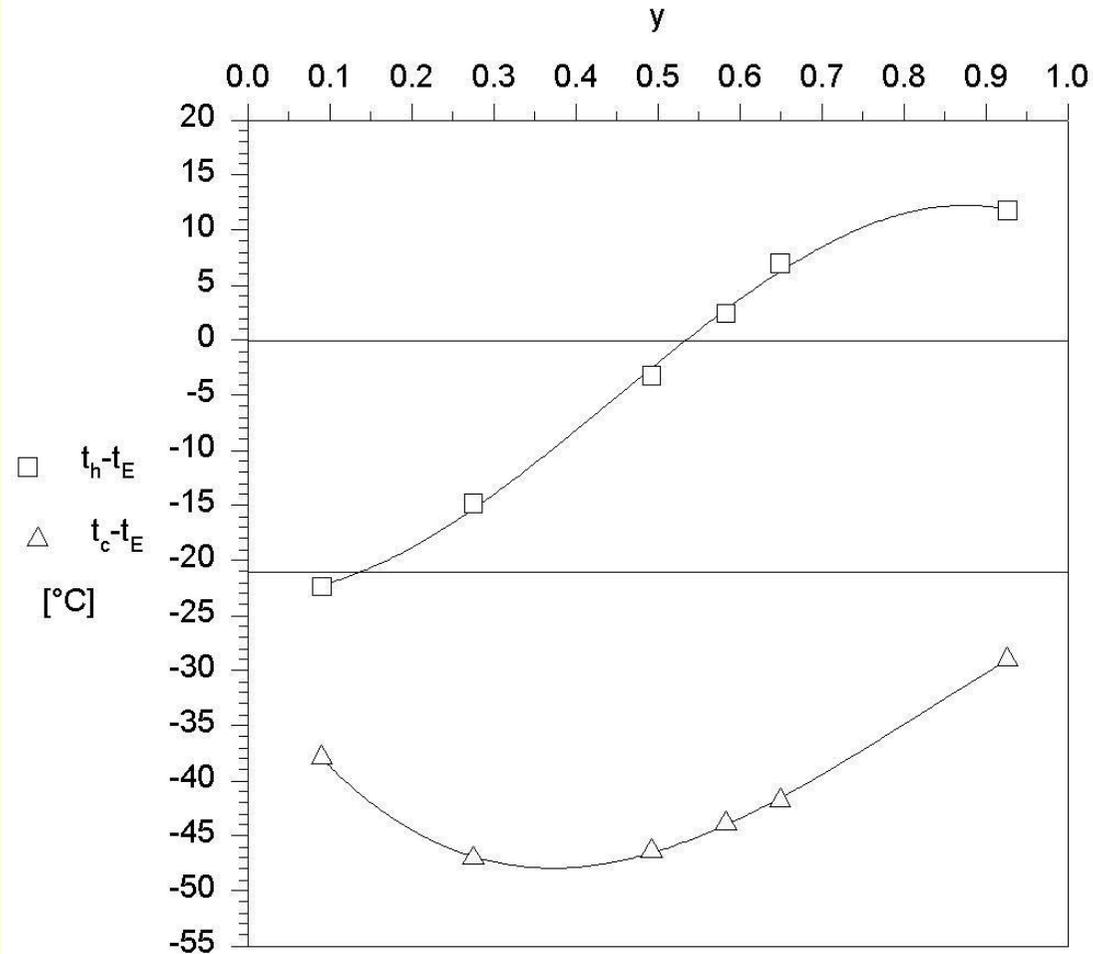
# 15. Messreihe

Eintrittsdruck 7 bar ( $t_s=165^\circ\text{C}$ )

Eintrittstemperatur ca.  $169^\circ\text{C}$

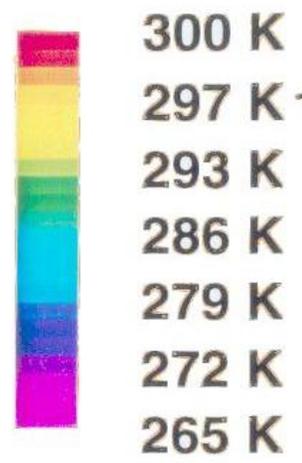
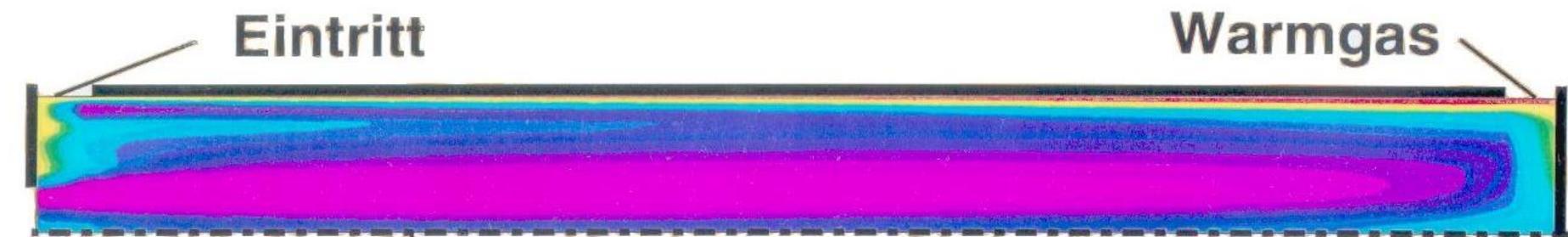
Überhitzung ca.  $4,5^\circ\text{C}$

Gesamtmassenstrom  $0,0034\text{ kg/s}$

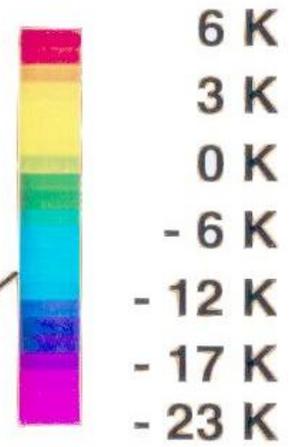
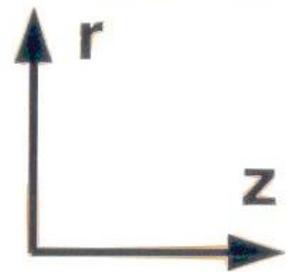


Anlage mit: Überhitzer, Düsenring Nr. 2

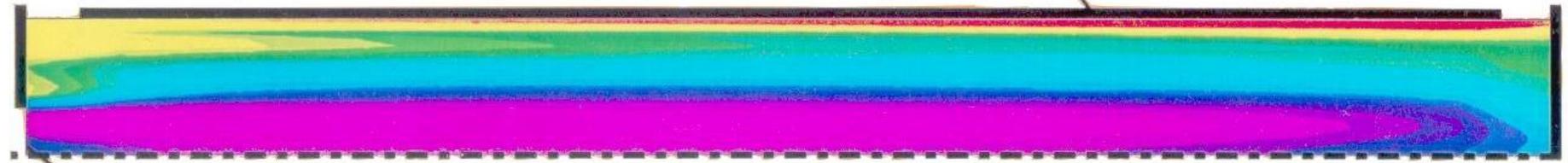
Experimentator: Matthias Wagener, 11/96



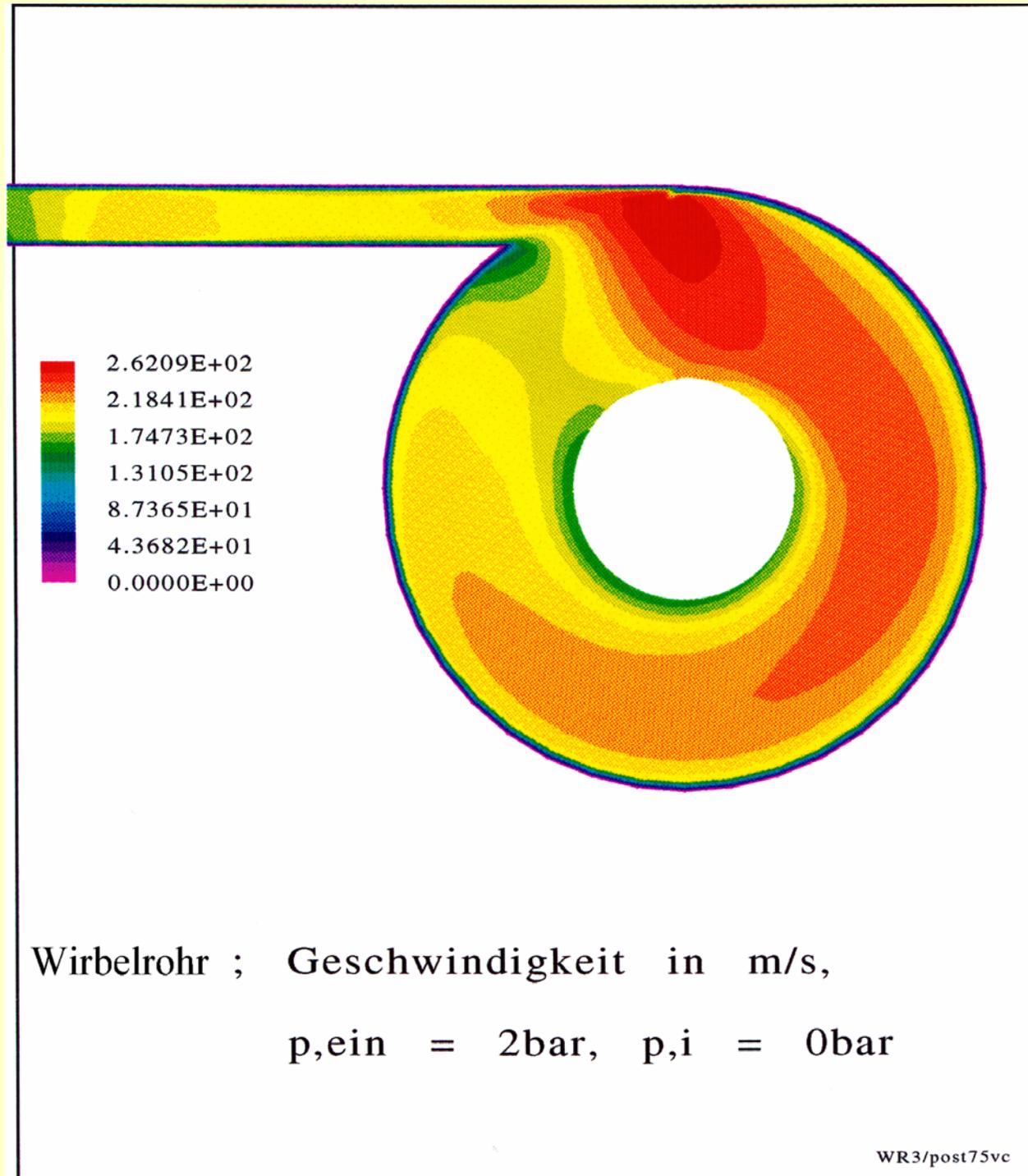
Temperatur

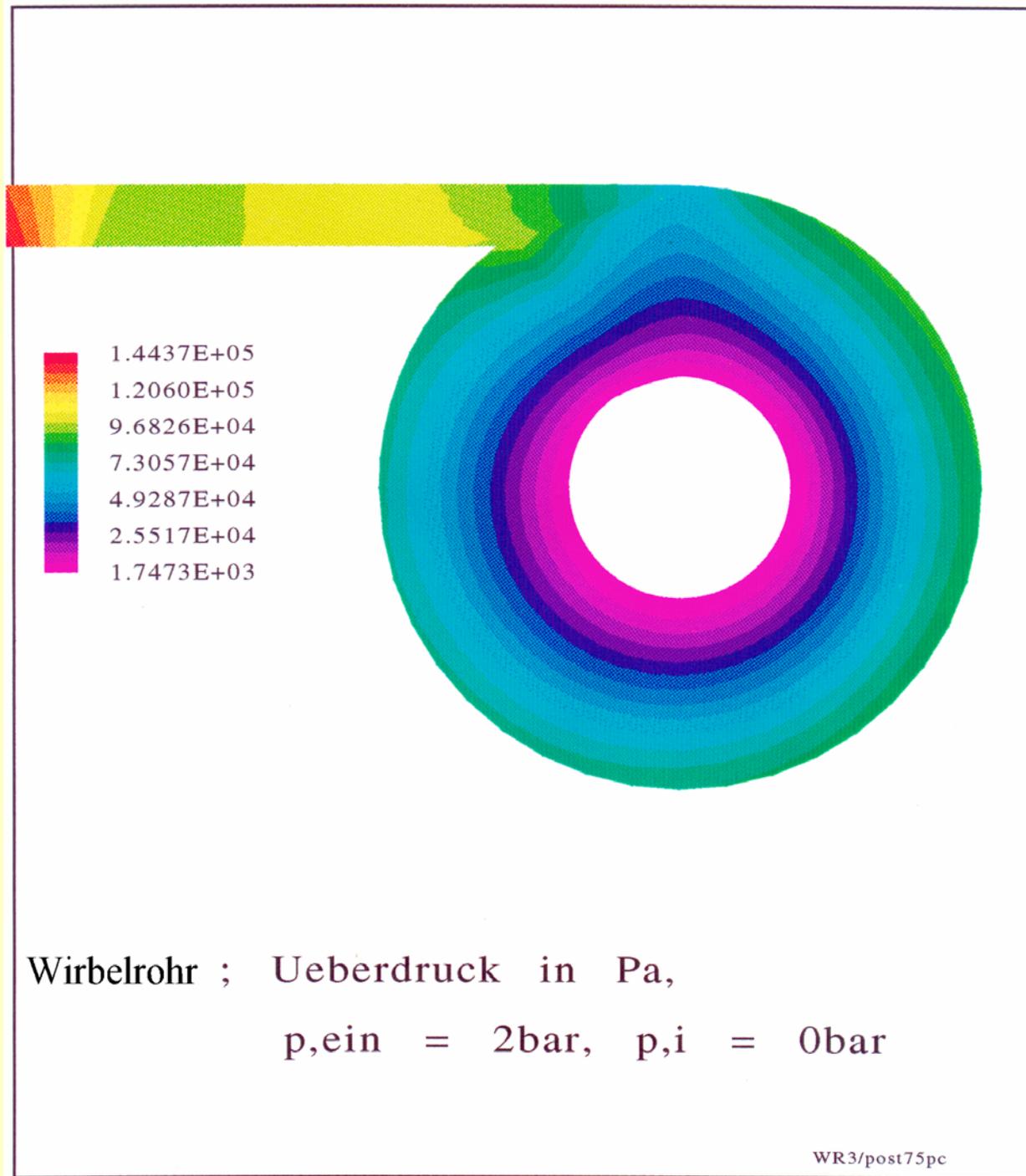


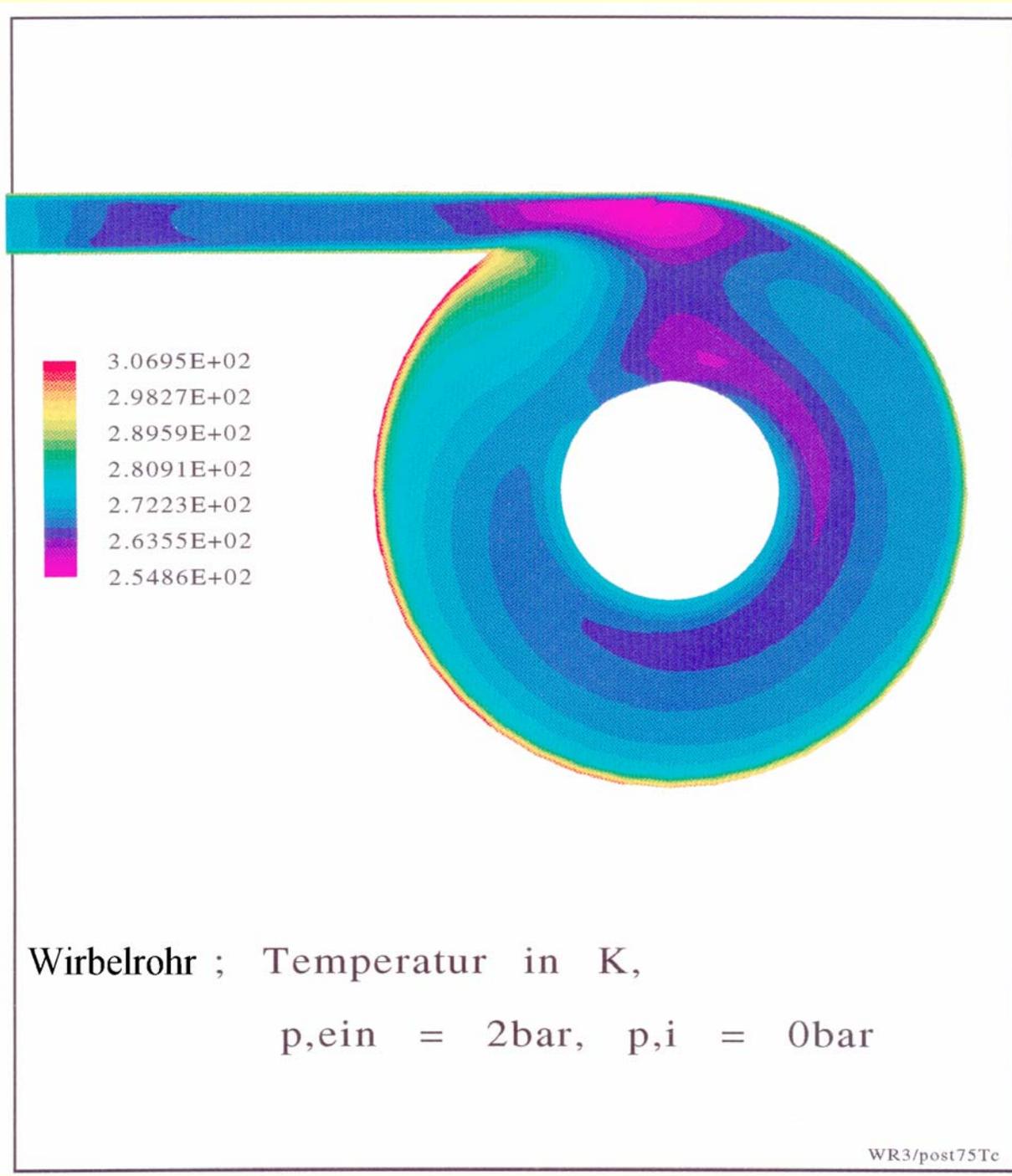
Totaltemperaturdifferenz



Kaltgas



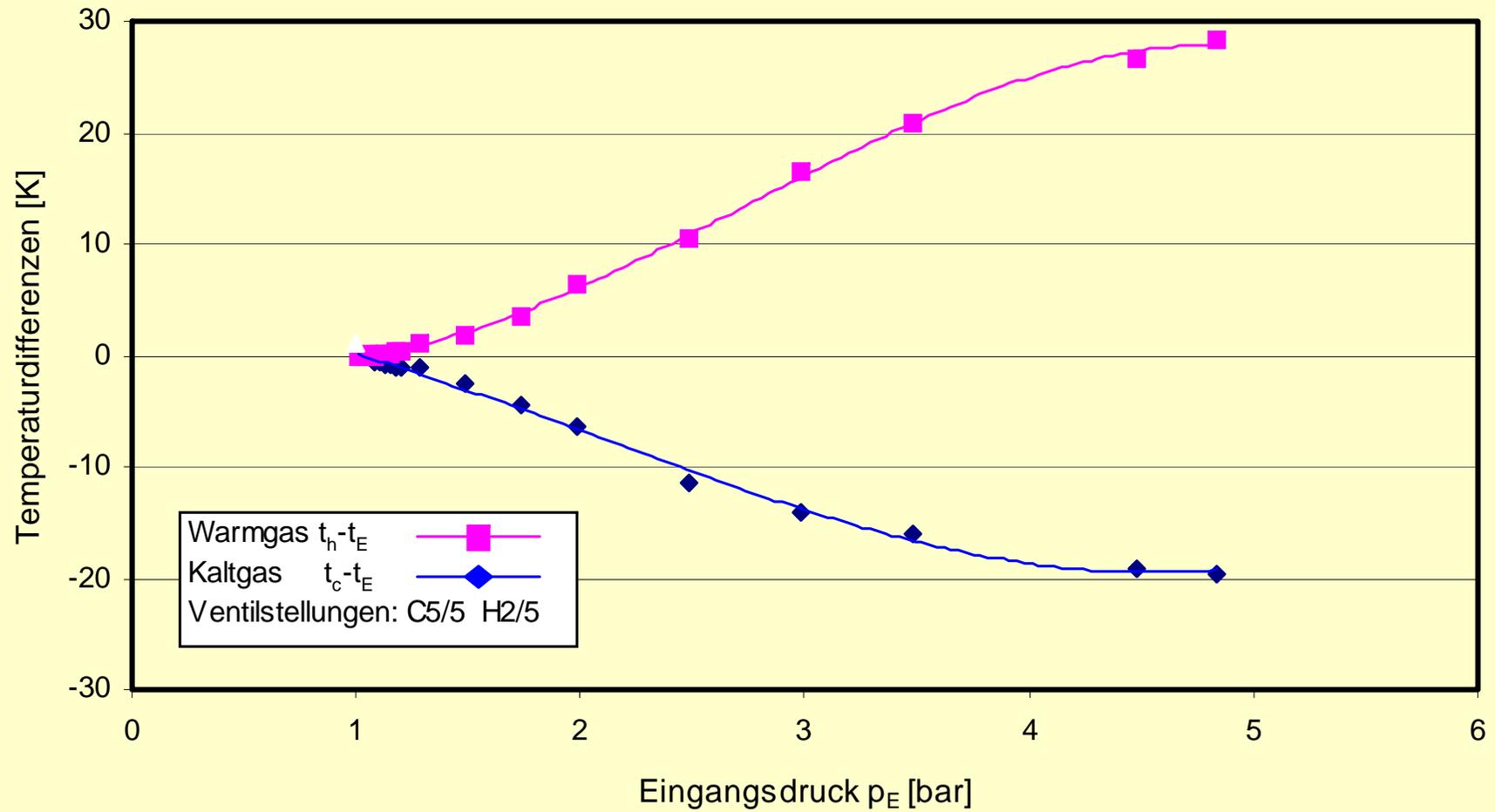




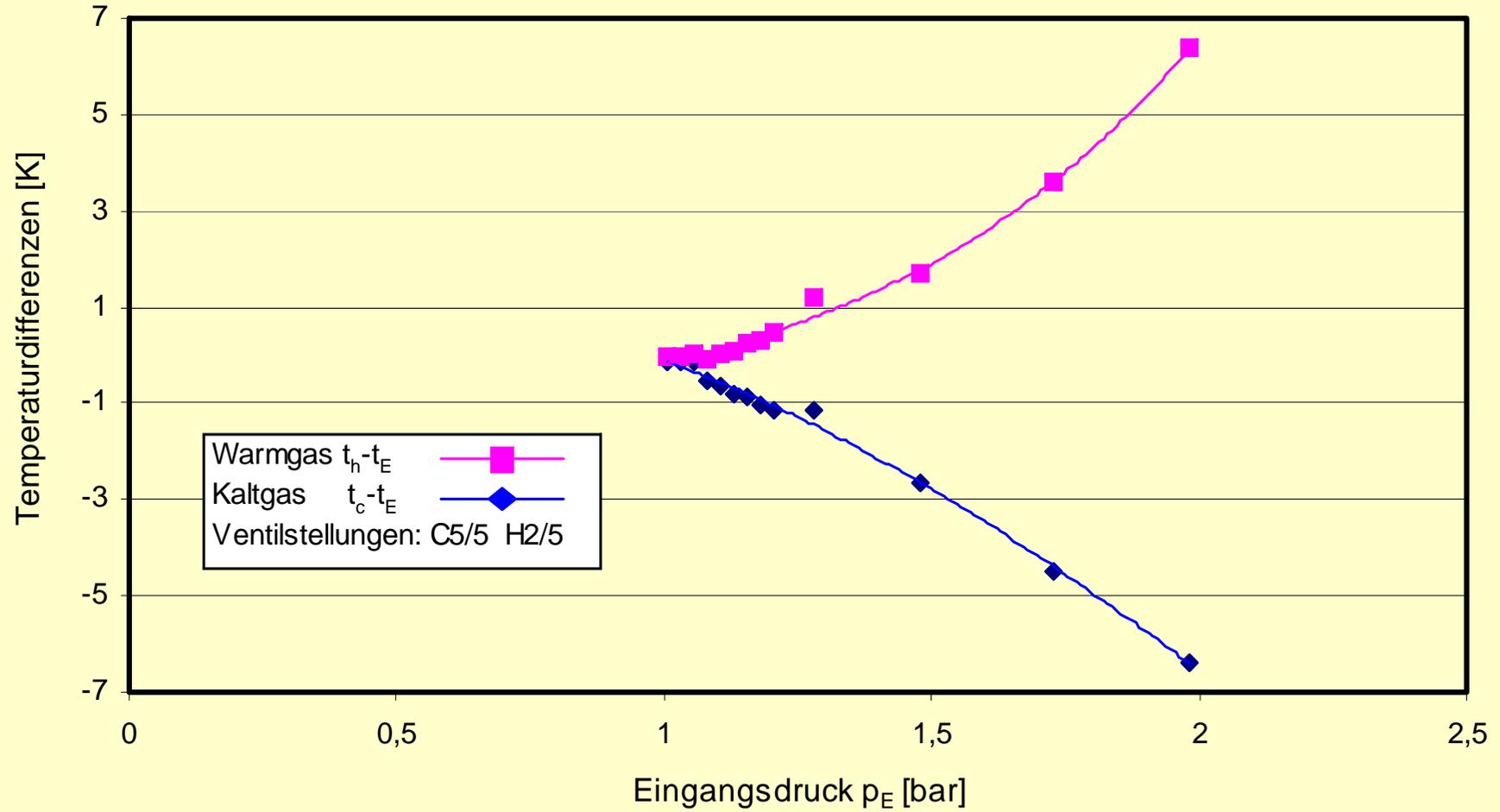
Wirbelrohr ; Temperatur in K,

$$p_{,ein} = 2\text{bar}, p_{,i} = 0\text{bar}$$

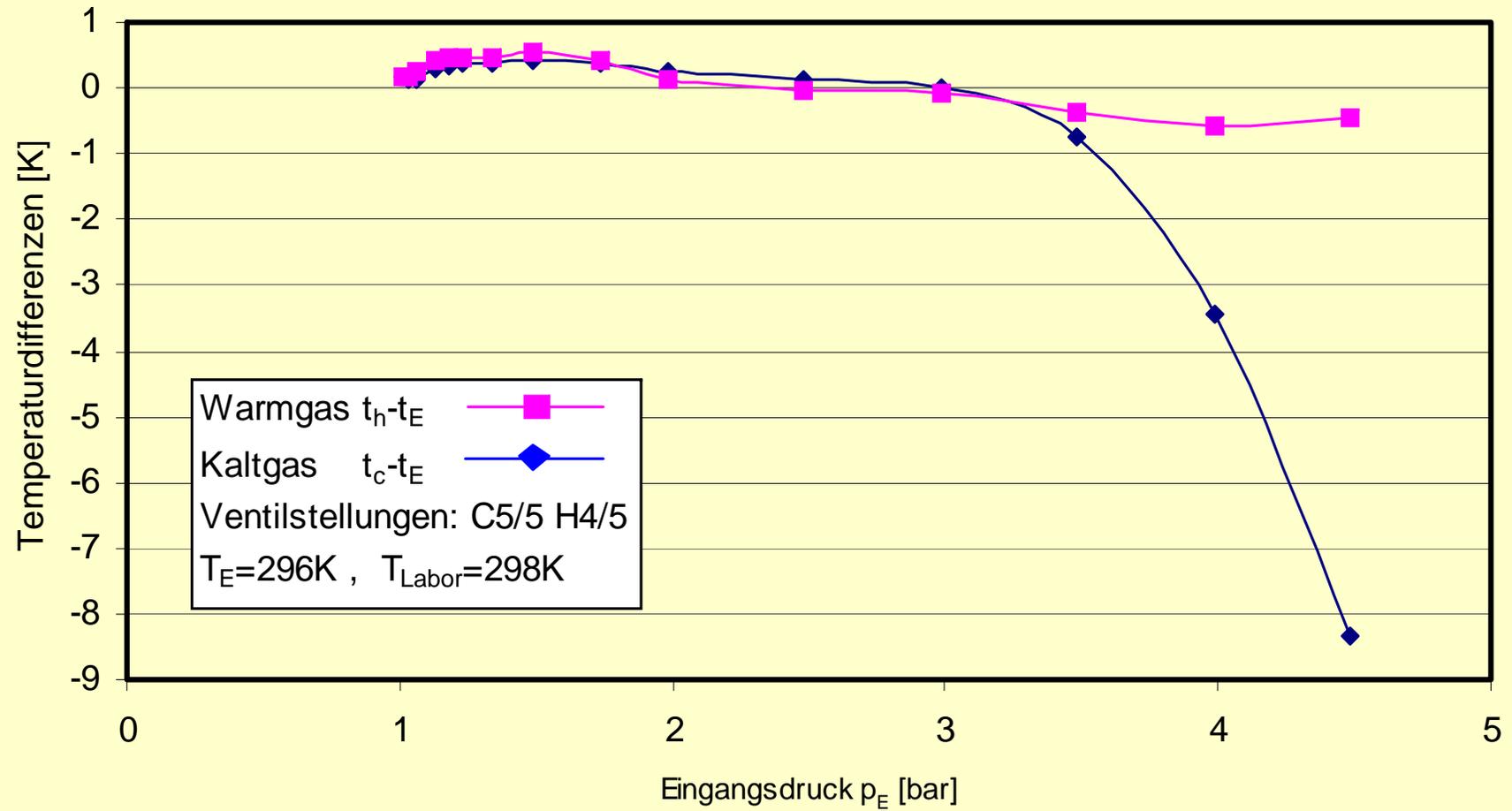
### Expansion von Druckluft im Wirbelrohr Temperaturen der Austrittsströme



# Expansion von Druckluft im Wirbelrohr Temperaturen der Austrittsströme



# Expansion von Druckluft im Wirbelrohr Temperaturen der Austrittsströme



## Wirbelrohr:

Energetische Anwendungen

### Kältetechnik

Claudé – Prozess

Thermodrossel



Wärmepumpen/

Dampfstrahlkälteprozess

Kältemaschinen

Absorptionsprozess

### Kraftwerkstechnik

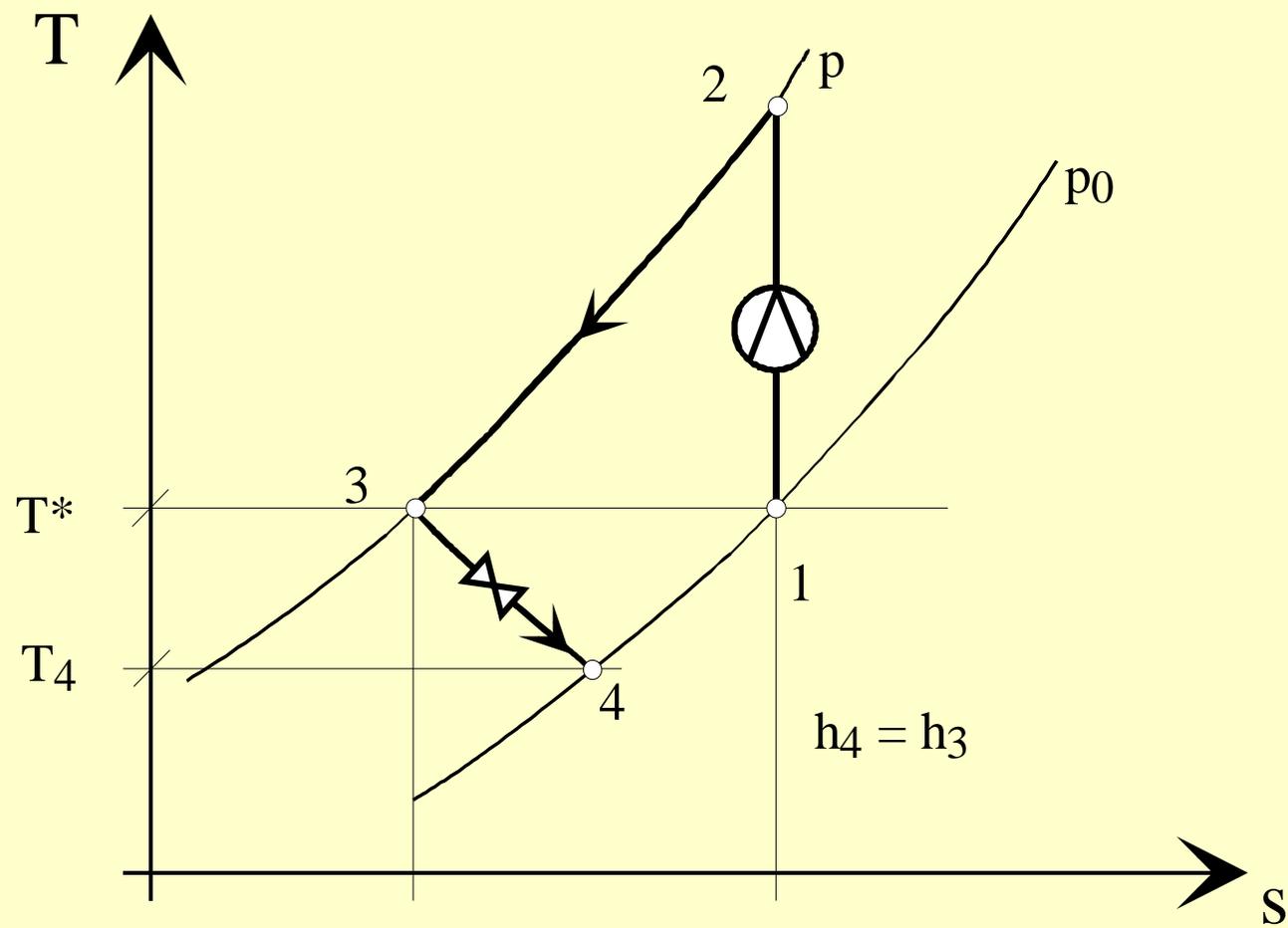
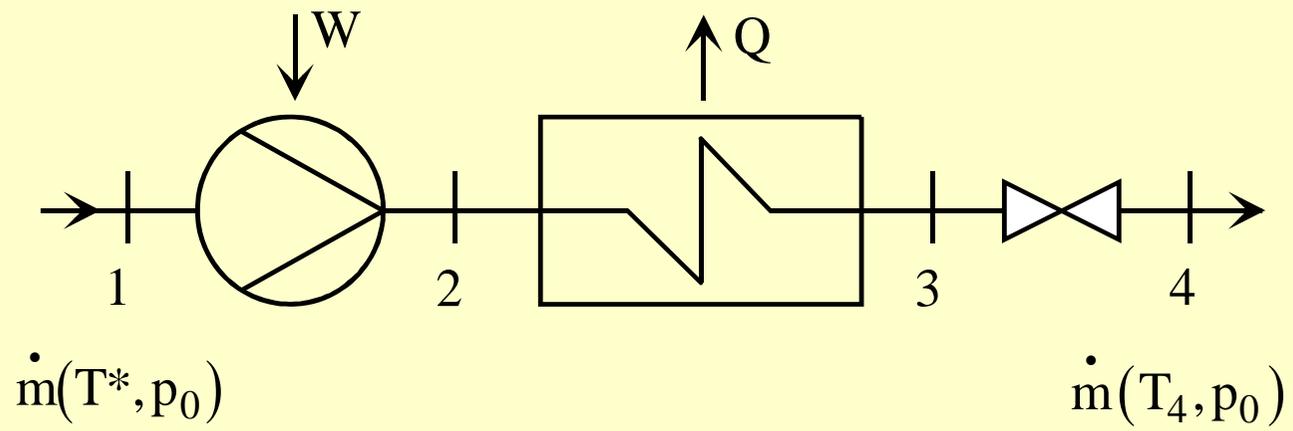
Clausius – Rankine – Prozess

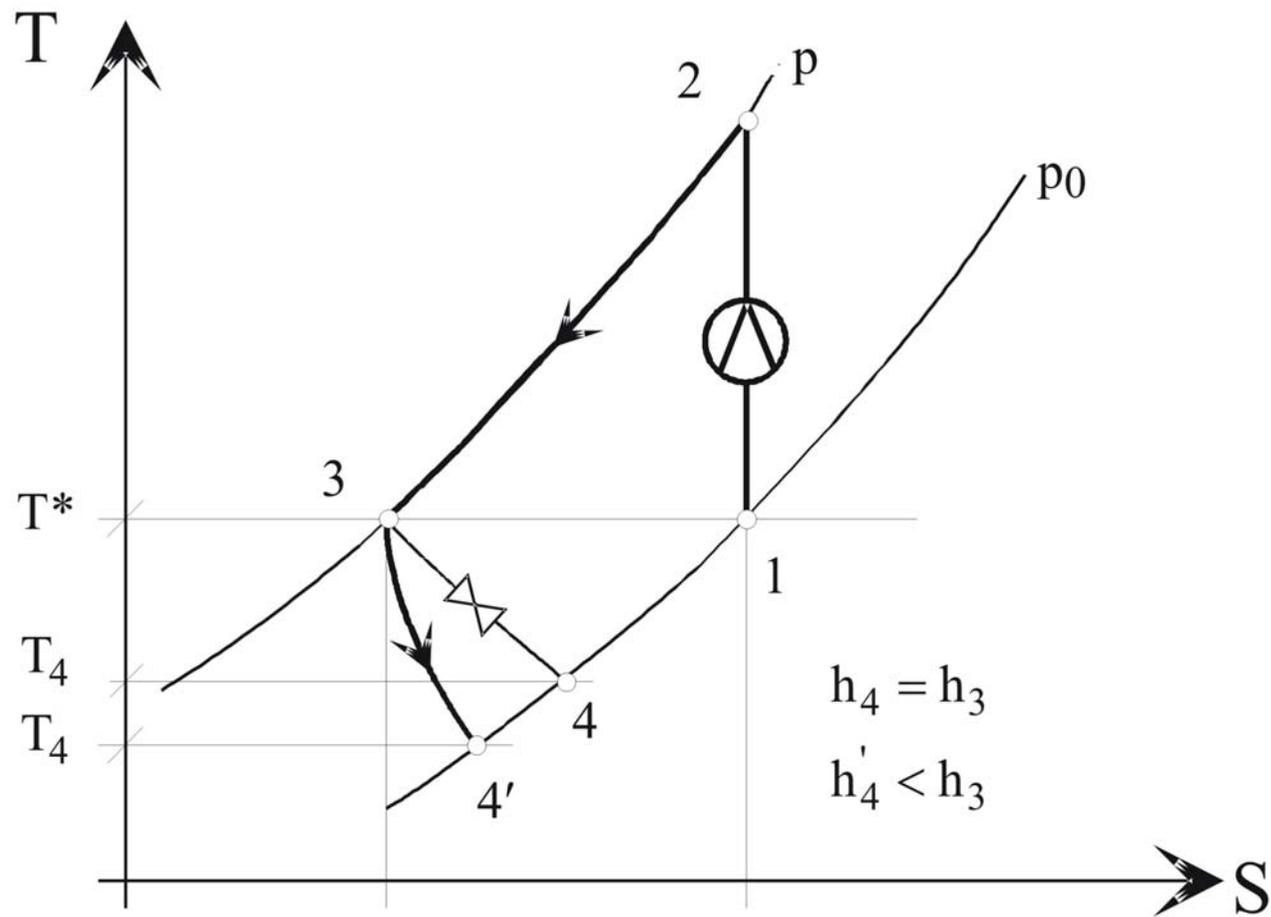
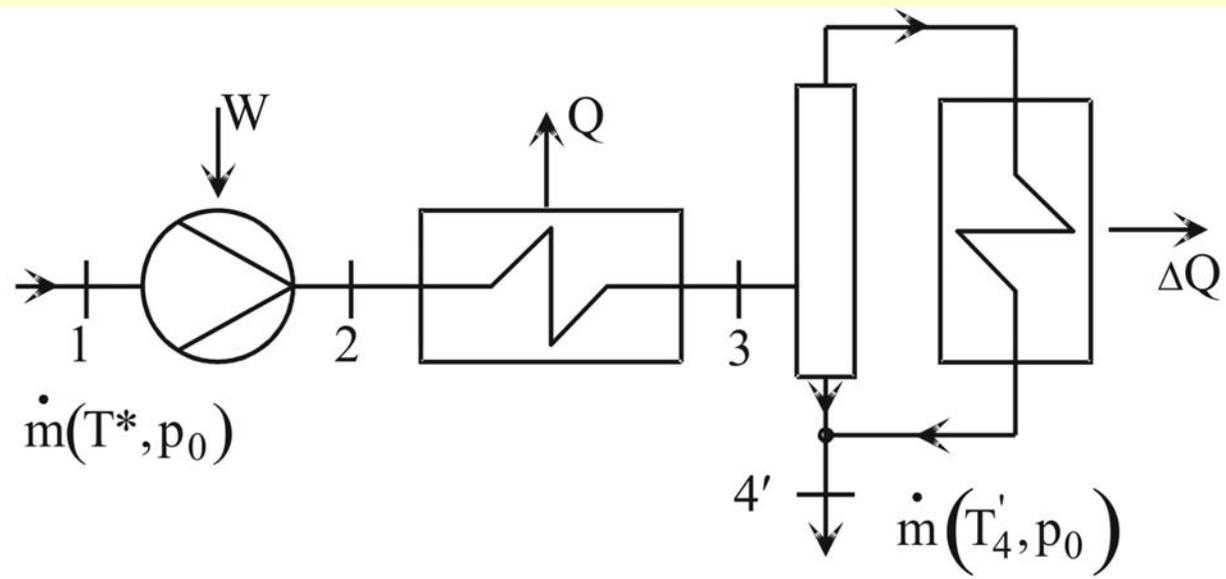
Wirbelrohrentspannung

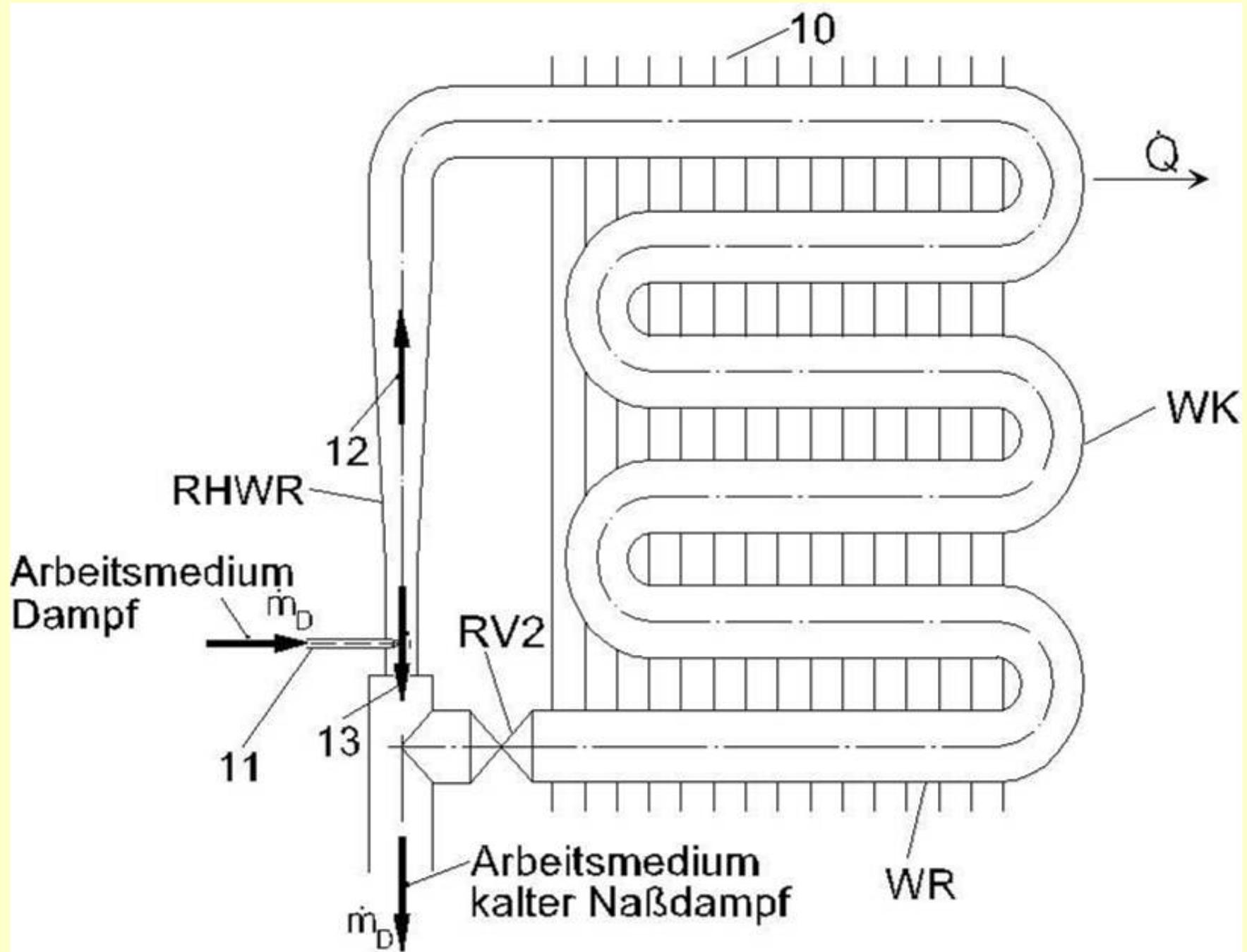
### Verfahrenstechnik

Skarstrom – Prozess (Luftzerlegung)

...





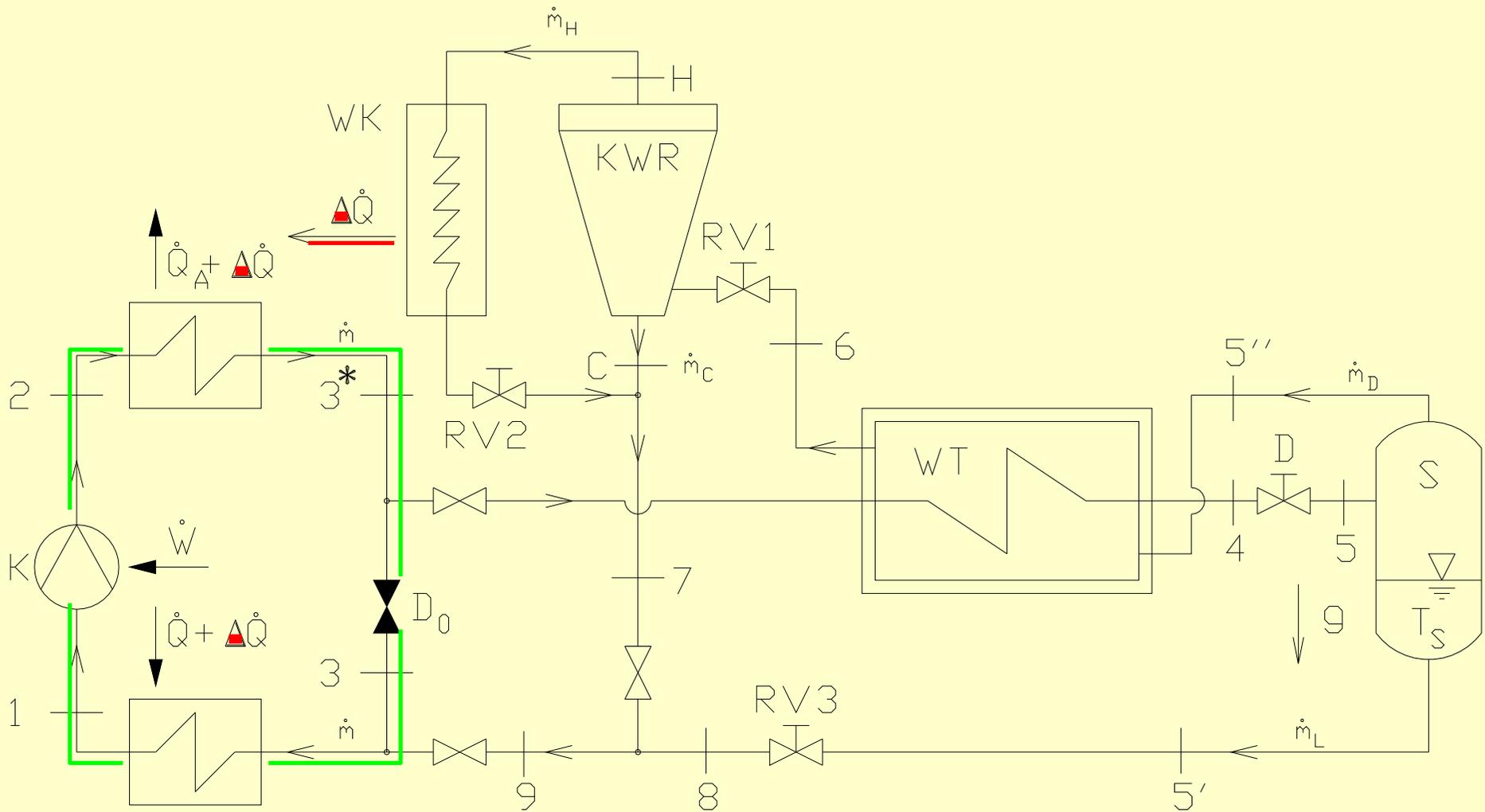


Figur 6

Kühlwirbelrohr (KWR)

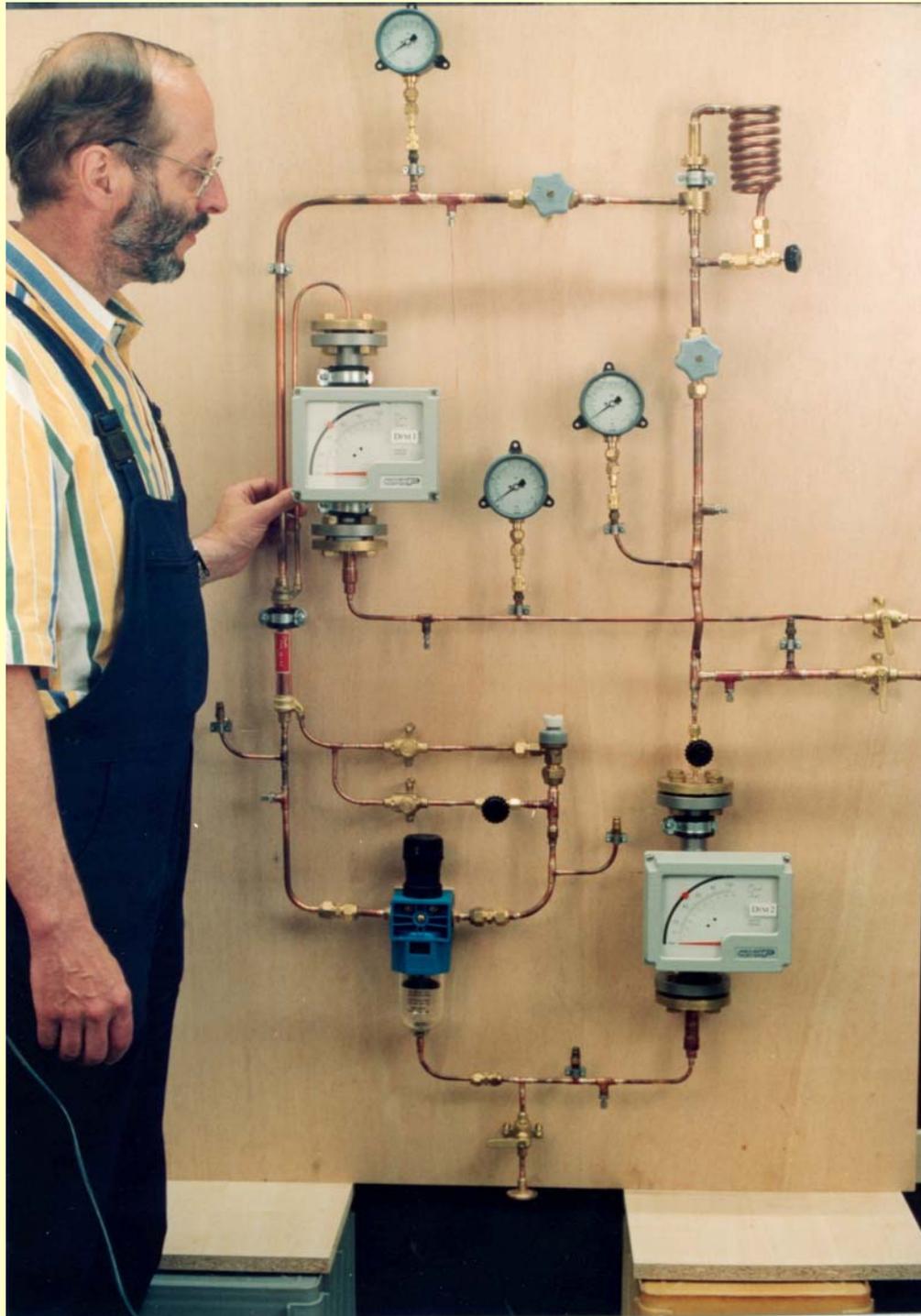
Vortex tube for non –  
adiabatic expansion of  
gases an vapours (IFT /  
USI, 1995).

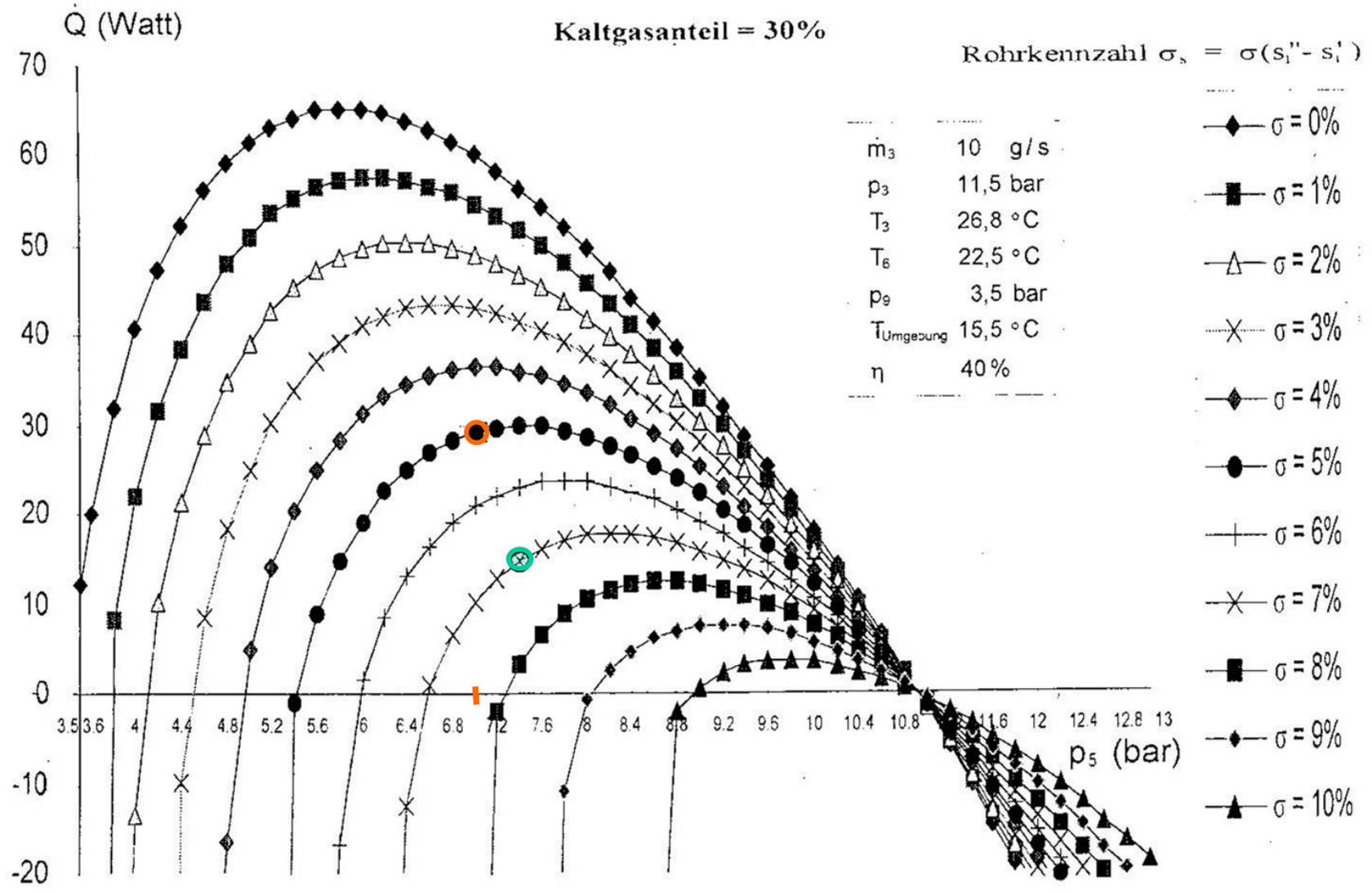




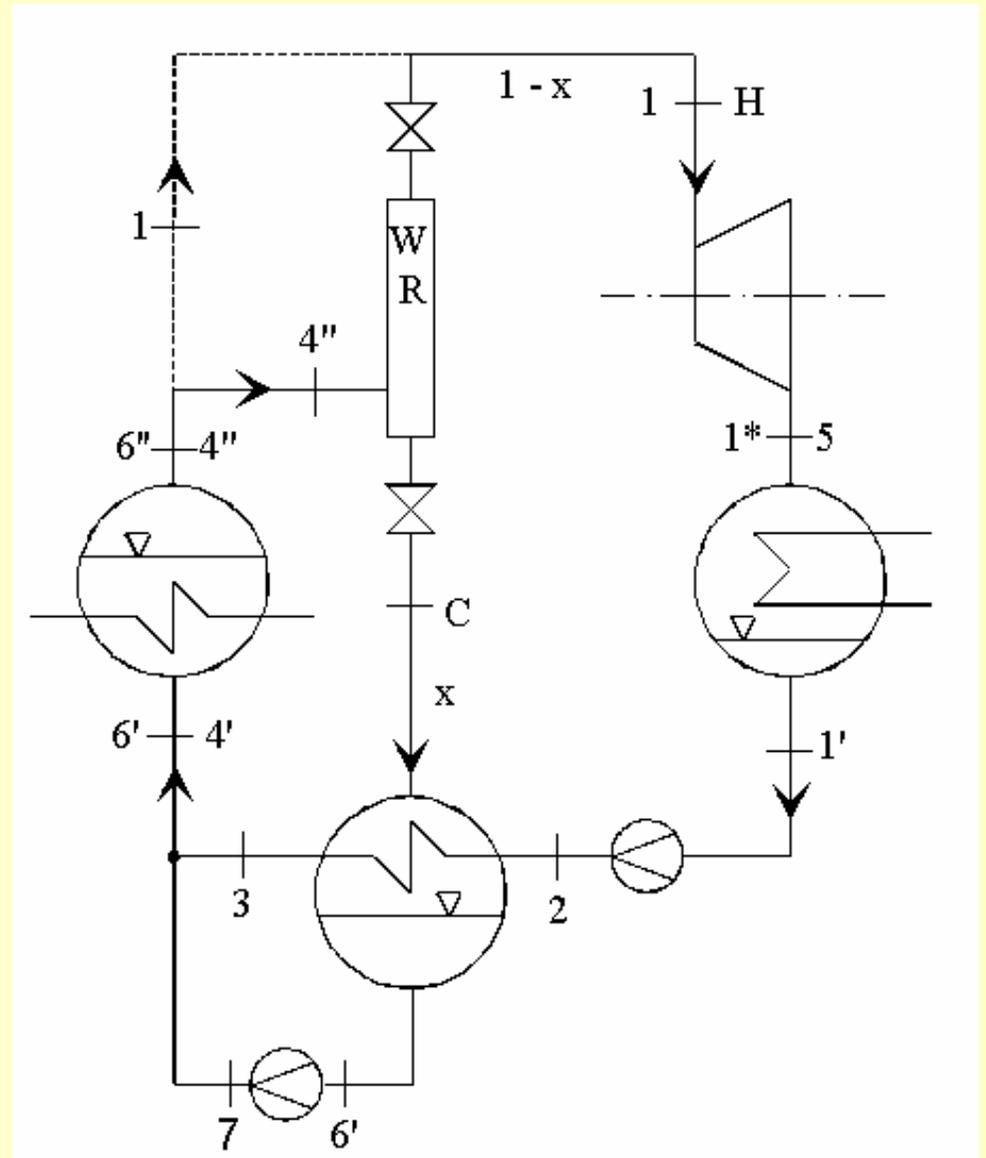
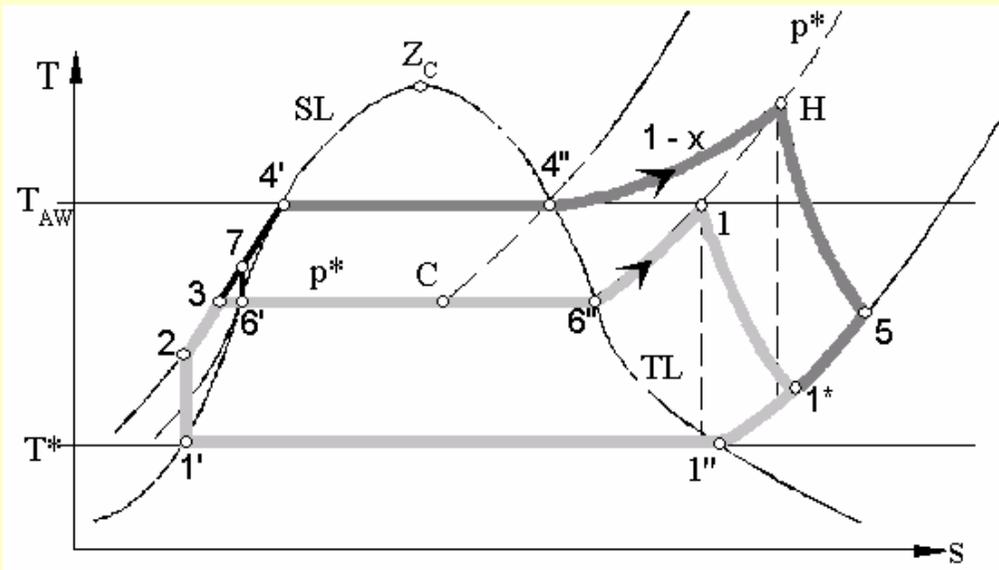
Kältemaschine / Wärmepumpe

Thermodrosselanlage

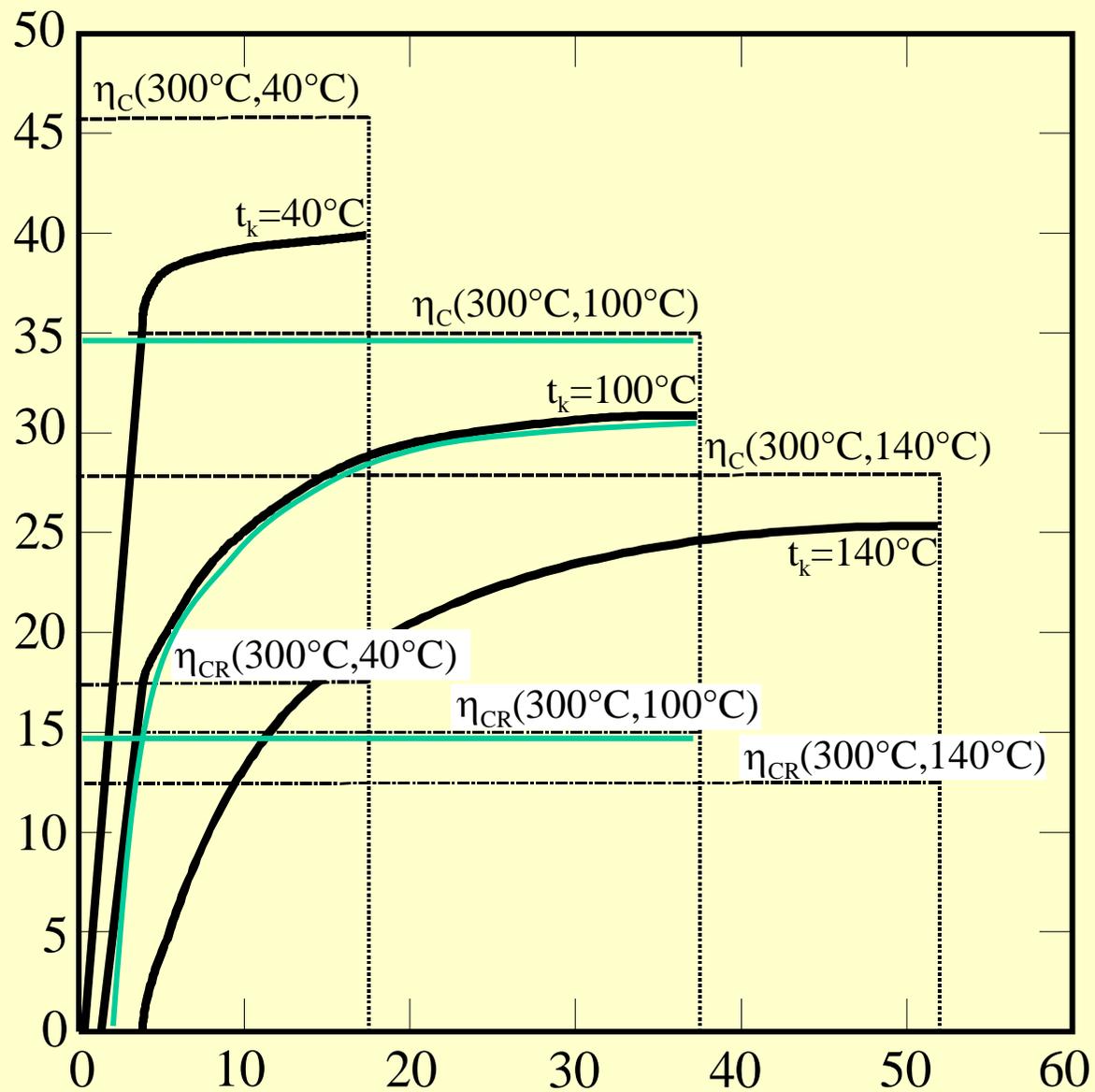




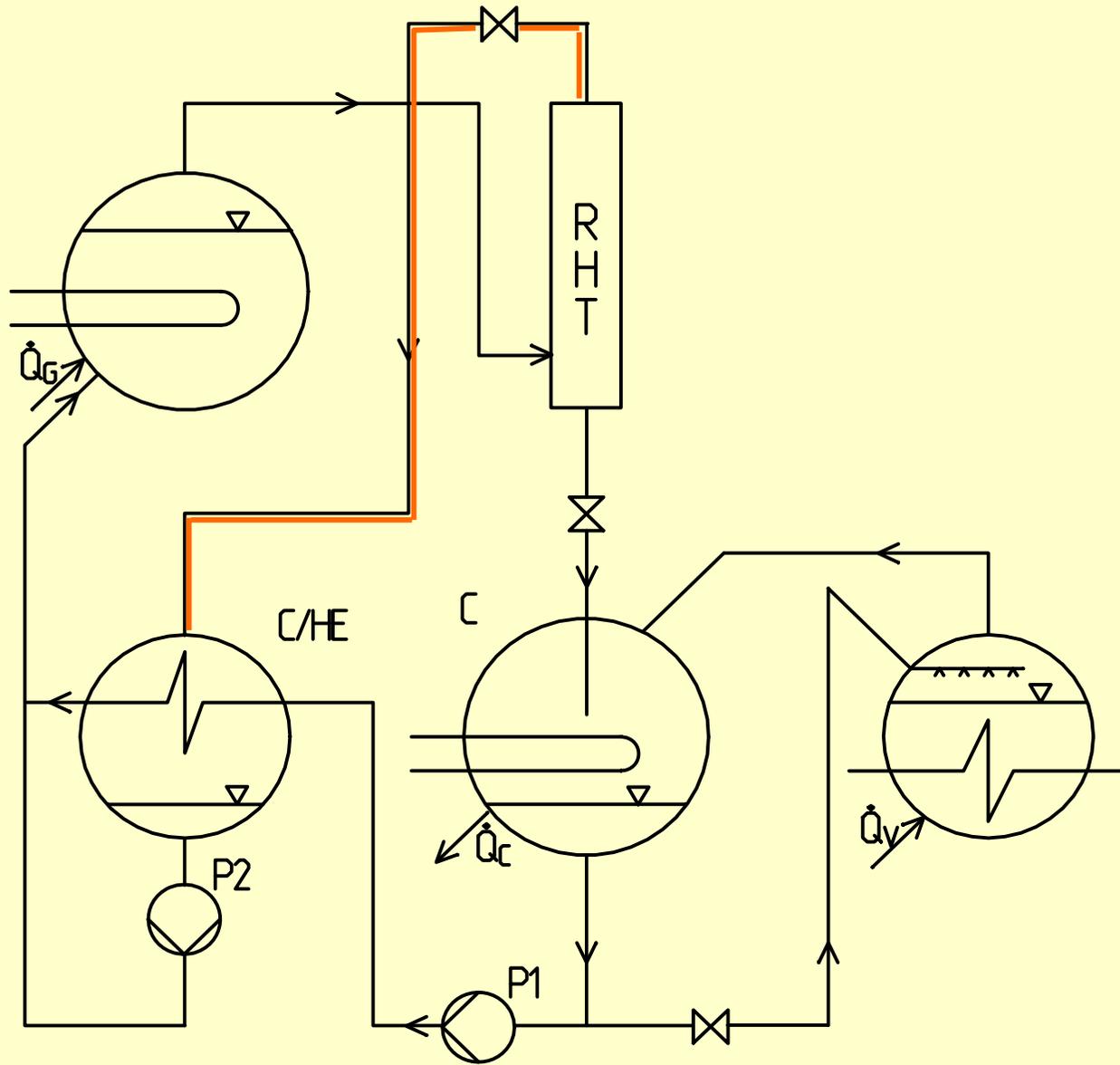
*Werte für den Druckverlust in der Leitung sind in der Tabelle angegeben*



$\eta / \%$



$p^* / \text{bar}$



Steam-Jet Refrigeration Process  
Vortex Tube Expansion

## **Wirbelrohr:**

Anwendung als Massenseparator (Zyklon)

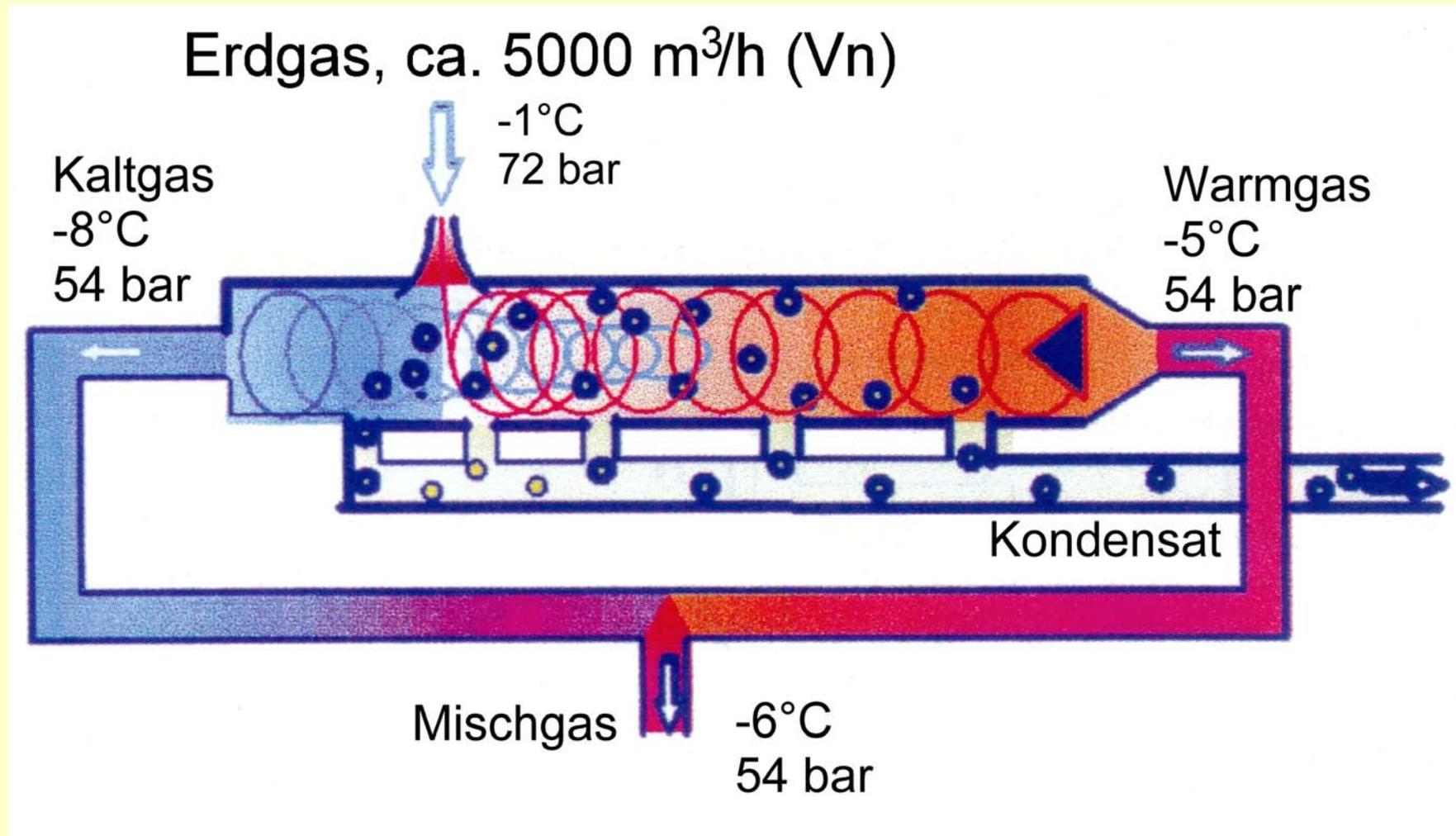
Isotopentrennung ( $U^{235}$ ,  $U^{238}$ )

Erdgastrocknung (Thyssengas, Filtan)

Aerosolseparation

Dieselabgasreinigung (VW)

Gasentstaubung (Holzverarbeitung etc.)



Wirbelrohr als Massenseparator (Zyklon) zur Erdgastrocknung.



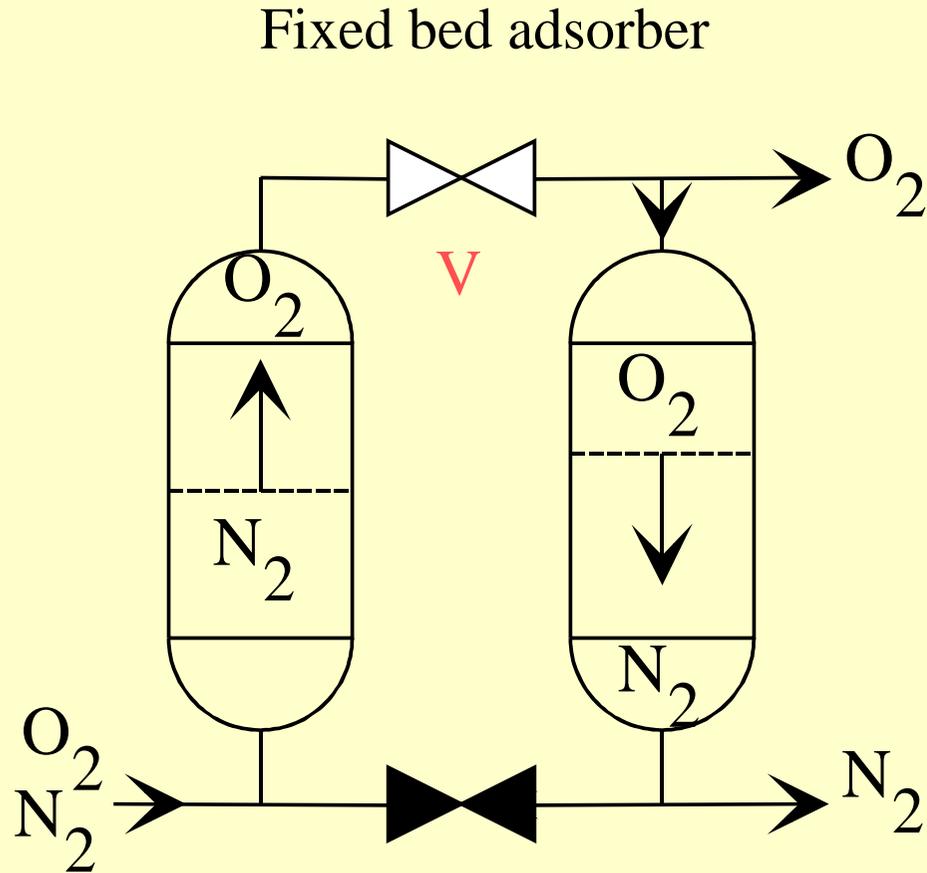
Wirbelrohranlage Erdgastrocknung, Thyssengas GmbH, 40.000 Nm<sup>3</sup>/h



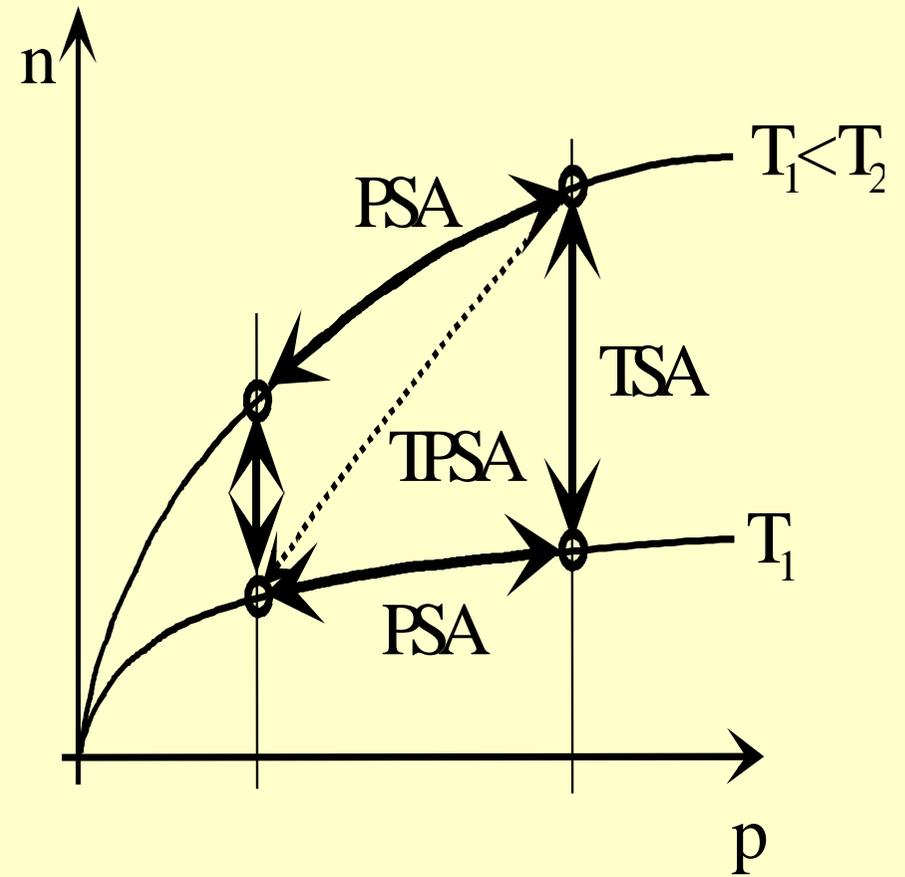
Wirbelrohranlage der Thyssengas GmbH.

# Engineering Adsorption Process

PSA: Pressure Swing Adsorption, 2 Bed System

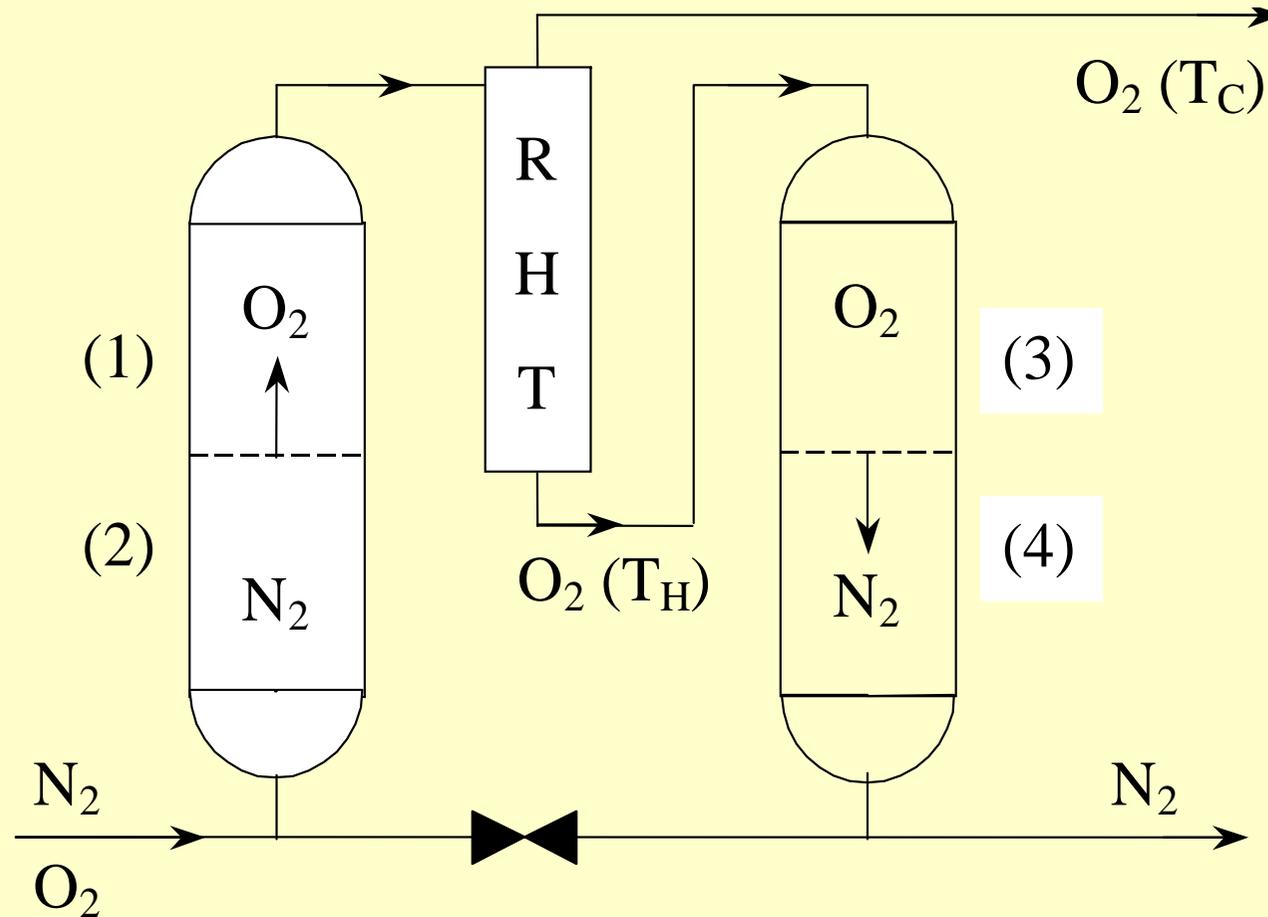


Adsorption (N<sub>2</sub>) Desorption (N<sub>2</sub>)



# Air Separation Process

Skarstrom Cycle, Vortex Tube Expansion PSA – VTE<sup>\*)</sup>



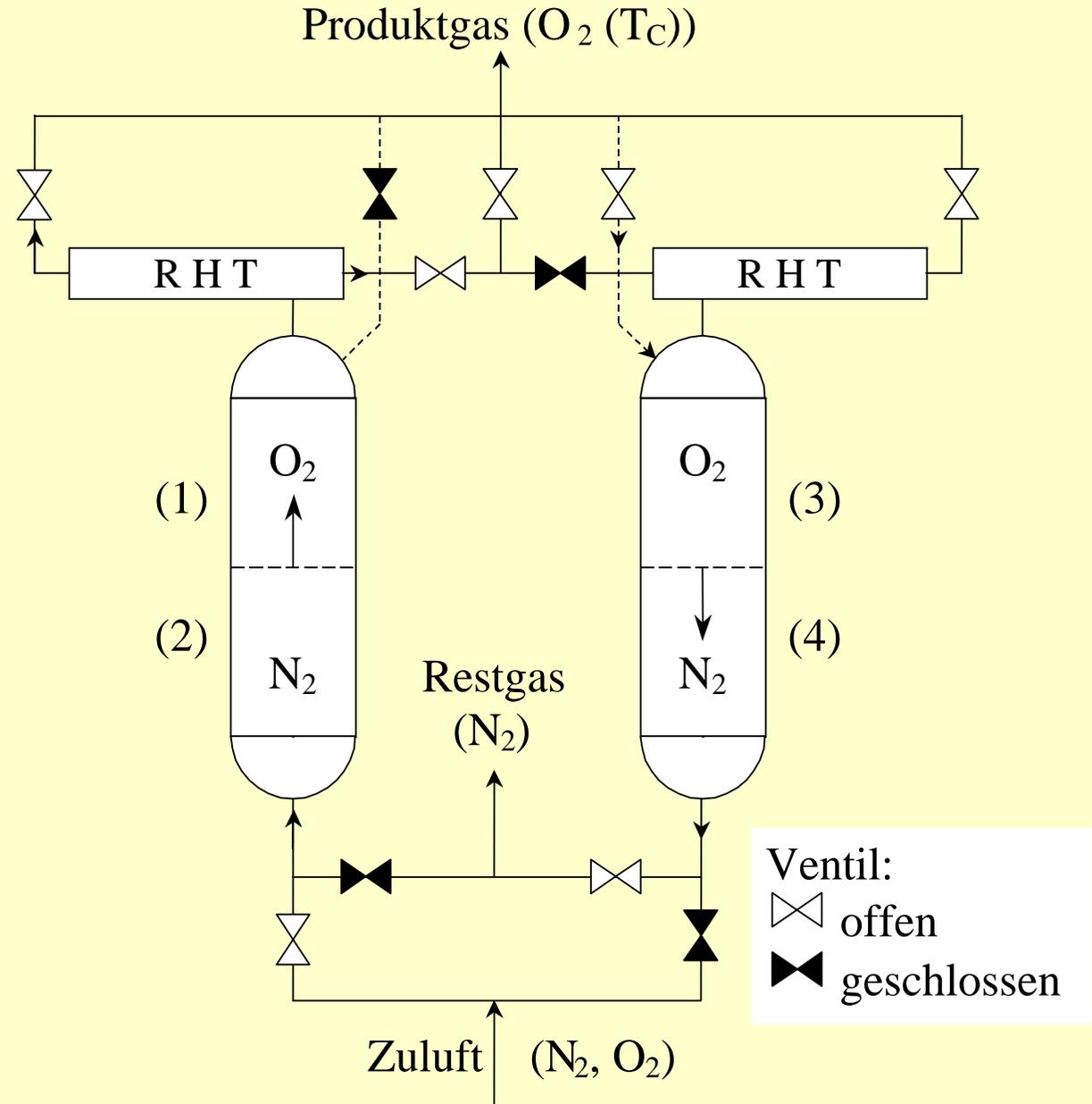
- 1) Pressurization
- 2) Adsorption
- 3) Blowdown
- 4) Purge with hot product gas

<sup>\*)</sup>Patent pending.

# Luftzerlegungsprozess

Skarstrom Prozess, Wirbelrohr

Wirbelrohrentspannung<sup>\*)</sup>



<sup>\*)</sup>Patent angemeldet.



# Wirbelrohr:

## Zusammenfassung

Entspannung von Gasen / Dämpfen im Wirbelrohr

Grundlagen?

→ Optimale Auslegung von Wirbelrohren?

Heute

Nischenprodukte (Kaltluft)

Zukunft

Zahlreiche Anwendungen

Energie- und Verfahrenstechnik

Erhöhung Wirkungsgrade / Leistungszahlen

Problem

Entwicklungsarbeit!

Investitionskosten!