



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

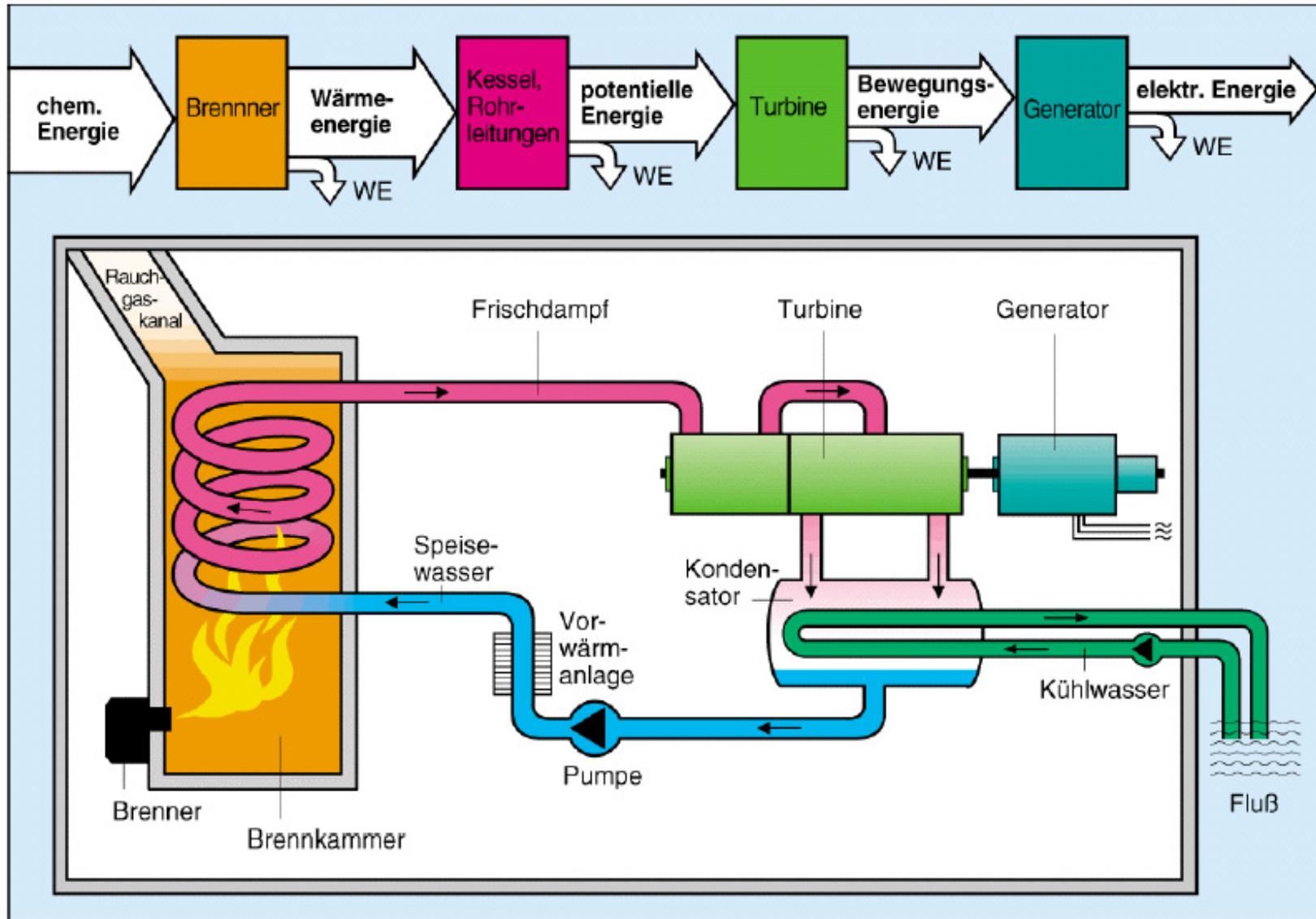
Institut für Energietechnik, Professur Kraftwerkstechnik

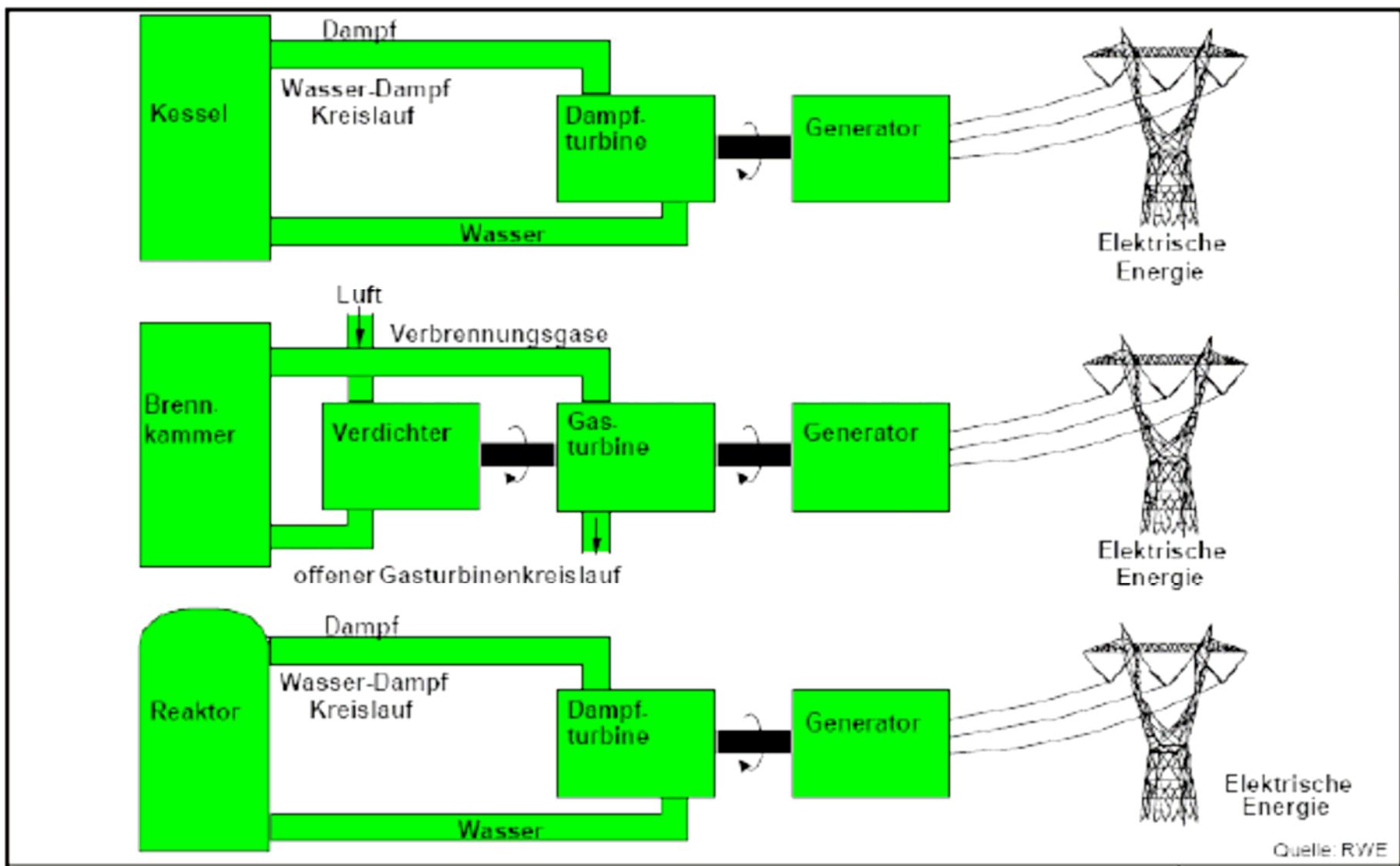
# Energietechnik

Dampfkraftprozess, Dampfkraftwerk

# - Grundlagen -

**Der Dampfkraftprozess ist ein thermischer Kreisprozess der die flüssig – gasförmig - Phasenumwandlung nutzt.**  
**Arbeitsmedium ist in aller Regel Wasser.**





# **Thermodynamischer Prozess:**

- **Änderung der Zustandseigenschaften eines Systems wie Temperatur, Druck, Volumen**
- **dabei ändern sich auch die innere Energie / die Enthalpie des Systems**
- **Wärme und Arbeit werden mit der Umgebung ausgetauscht**
- **die Betrachtung stützt sich auf Spezialfälle, bei denen eine der Größen Druck, Volumen, Temperatur oder Entropie konstant bleibt**

## **Kreisprozesse:**

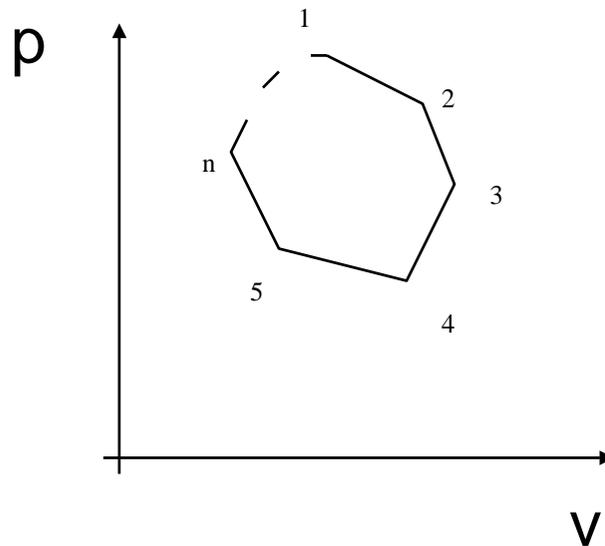
Bei einfachen Prozessen wird das Arbeitsmittel (AM) von einem Anfangs-(AZ) in einen Endzustand überführt. Um die Energieumwandlung - z.B. Gewinnung von Arbeit durch Wärmezufuhr - wiederholen zu können, muss der Anfangszustand wieder erreicht werden. Um die bei einem Energieumwandlungsprozess erzeugte Energie nutzen zu können muss das AM jeweils auf einem anderen Weg in den AZ gebracht werden, d.h. es ist eine zyklische Folge von Zustandsänderungen erforderlich.

- Umwandlung Wärme in mechanische Arbeit (Wärmekraftmaschine)
- Umwandlung mechanischer Arbeit in Wärme (Arbeitsmaschine, Kältemaschine)
- in einem geschlossenen System oder
- in mehreren hintereinander geschalteten offenen Systemen

Idealer Carnot Prozess (Vergleichsprozess, Prozess mit dem besten Wirkungsgrad)

Wirkungsgrad = gewünschtes Ergebnis / Aufwand

Für jede Zustandsänderung gilt:



$$q_{12} + w_{12} = u_2 - u_1$$

$$q_{23} + w_{23} = u_3 - u_2$$

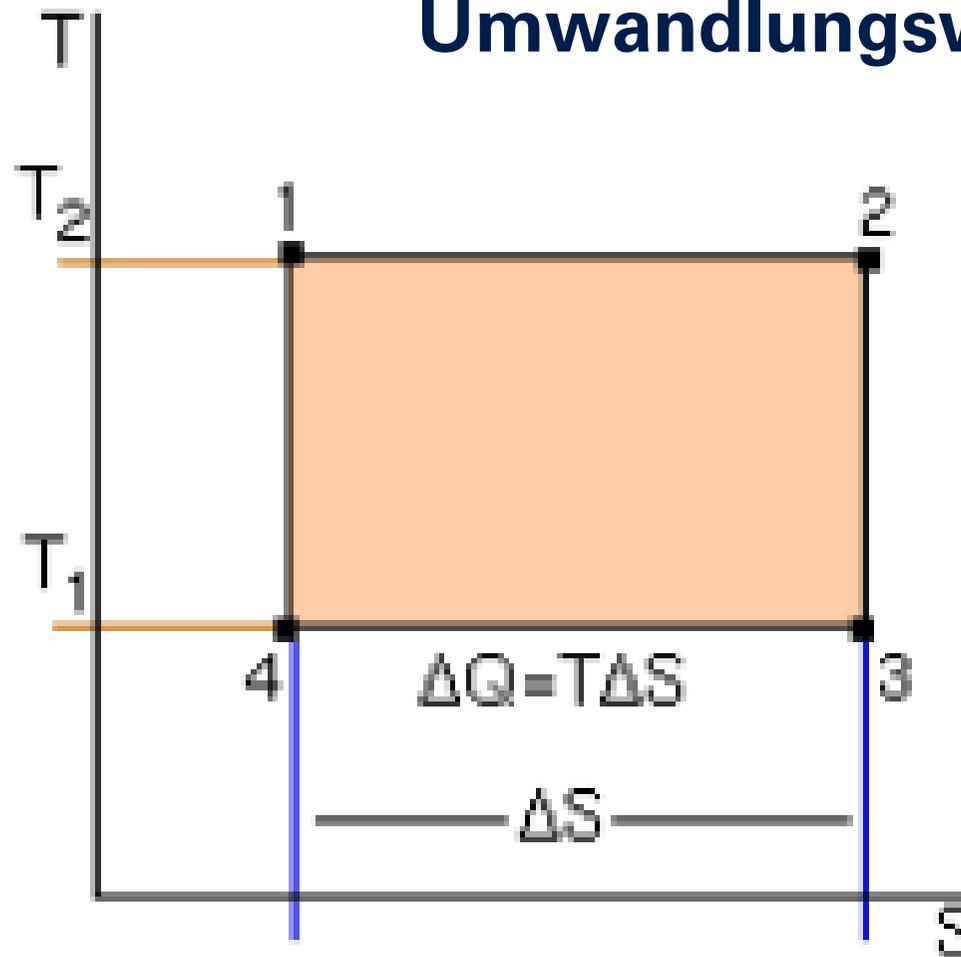
$$q_{34} + w_{34} = u_4 - u_3$$

$$q_{n,n+1} + w_{n,n+1} = u_{n+1} - u_n$$

$$u_1 = u_{n+1}$$

$$\sum_{i=1}^n q_{i,i+1} + \sum_{i=1}^n w_{i,i+1} = 0$$

**Der Carnot-Prozess dient als Vergleichsprozess. Er ist der Kreisprozess mit dem theoretisch maximalen Umwandlungswirkungsgrad.**



**Für die Umwandlung von Wärme in Arbeit wird das theoretisch erreichbare Maximum durch den Carnot-Wirkungsgrad angegeben. Ein höherer Wirkungsgrad ist für diese Umwandlung durch die minderwertigere Natur der Wärme nicht möglich. (2. Hauptsatz)**

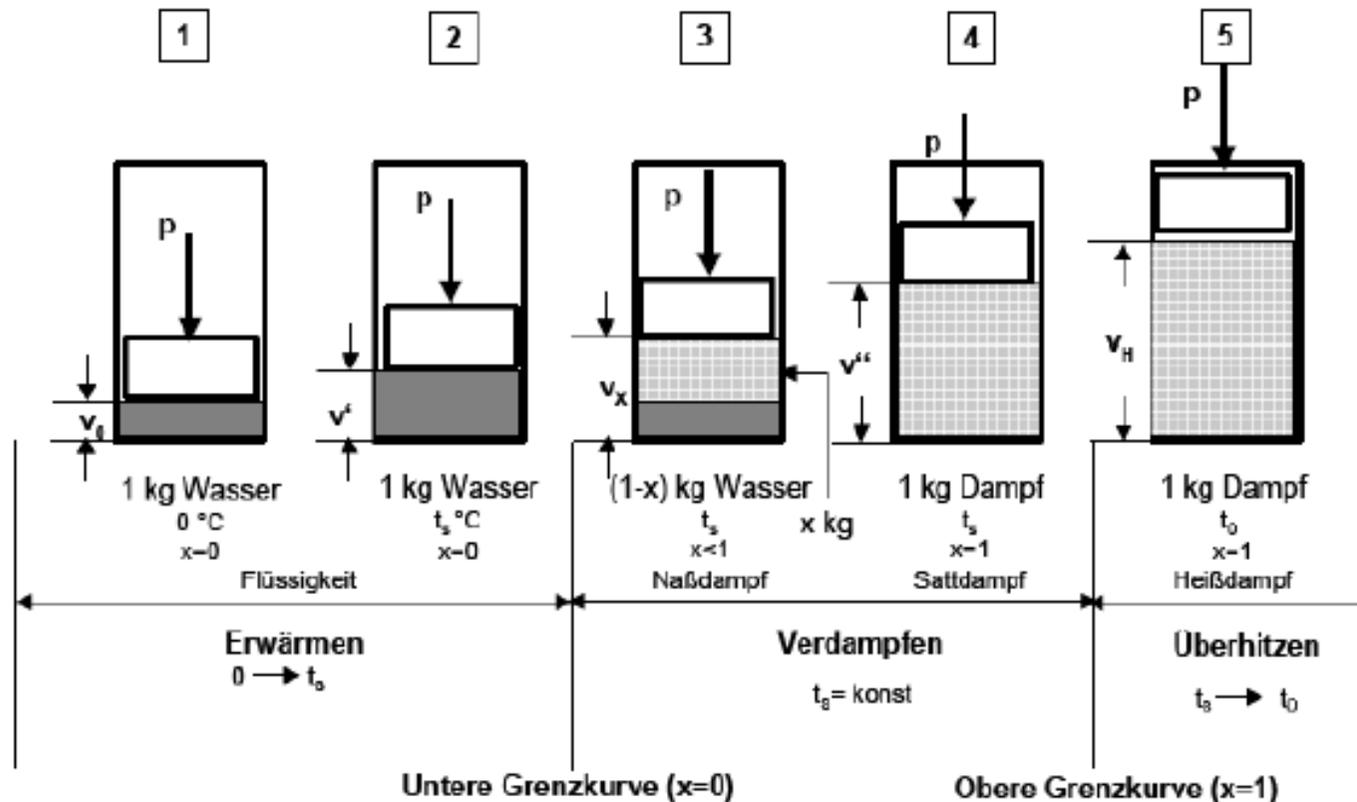
$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \left( \frac{T_2}{T_1} \right)$$

$$\eta_{\text{Prozess}} = \eta_{\text{Carnot}} * \eta_{\text{is}}$$

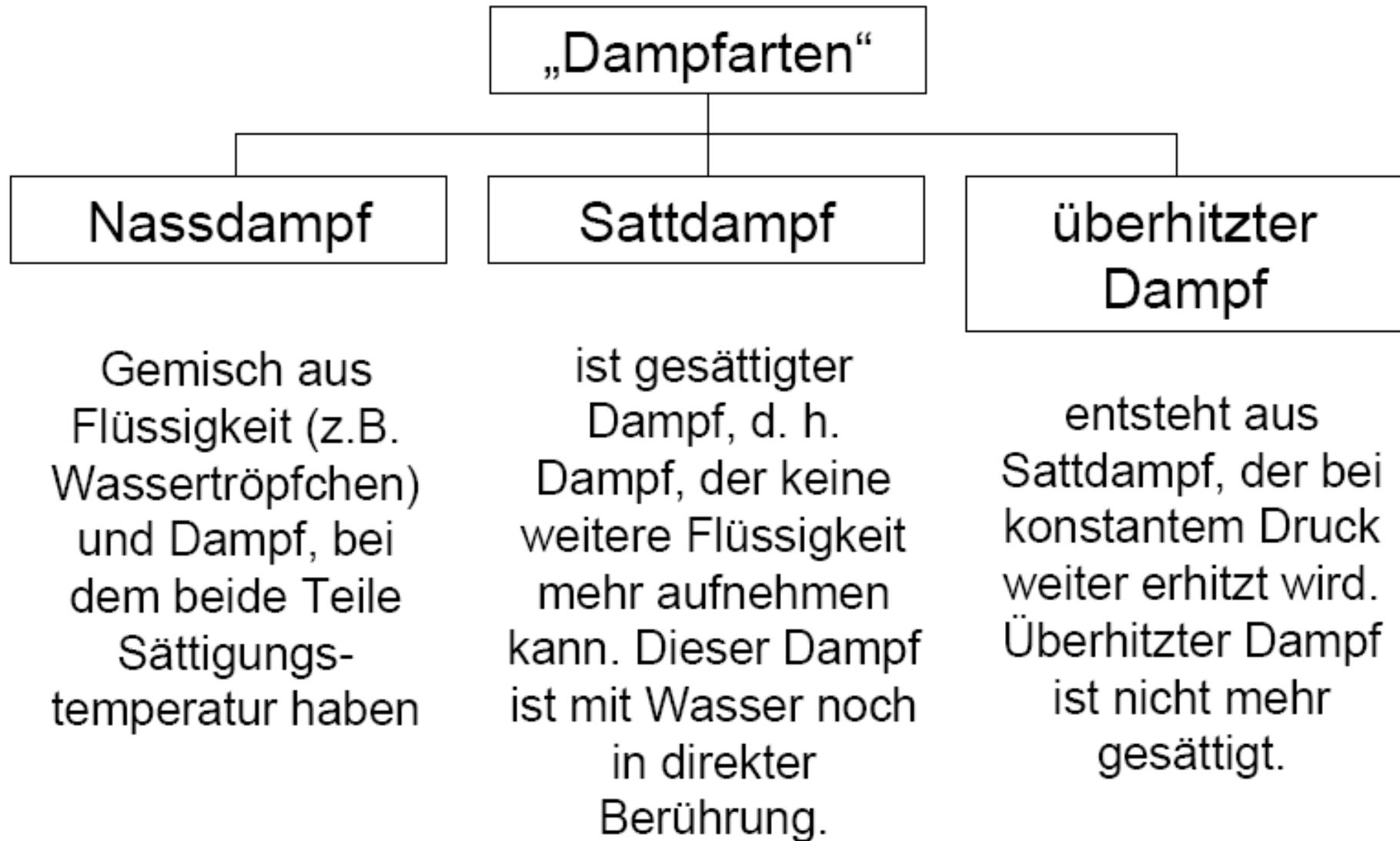
# - Der Verdampfungsvorgang -

# Verdampfung bei konstantem Druck

Die Dampferzeugung lässt sich in 3 Phasen unterteilen



$t_s$  – Siedetemperatur;  $t_0$  – Temperatur der überhitzten Heißdampfes



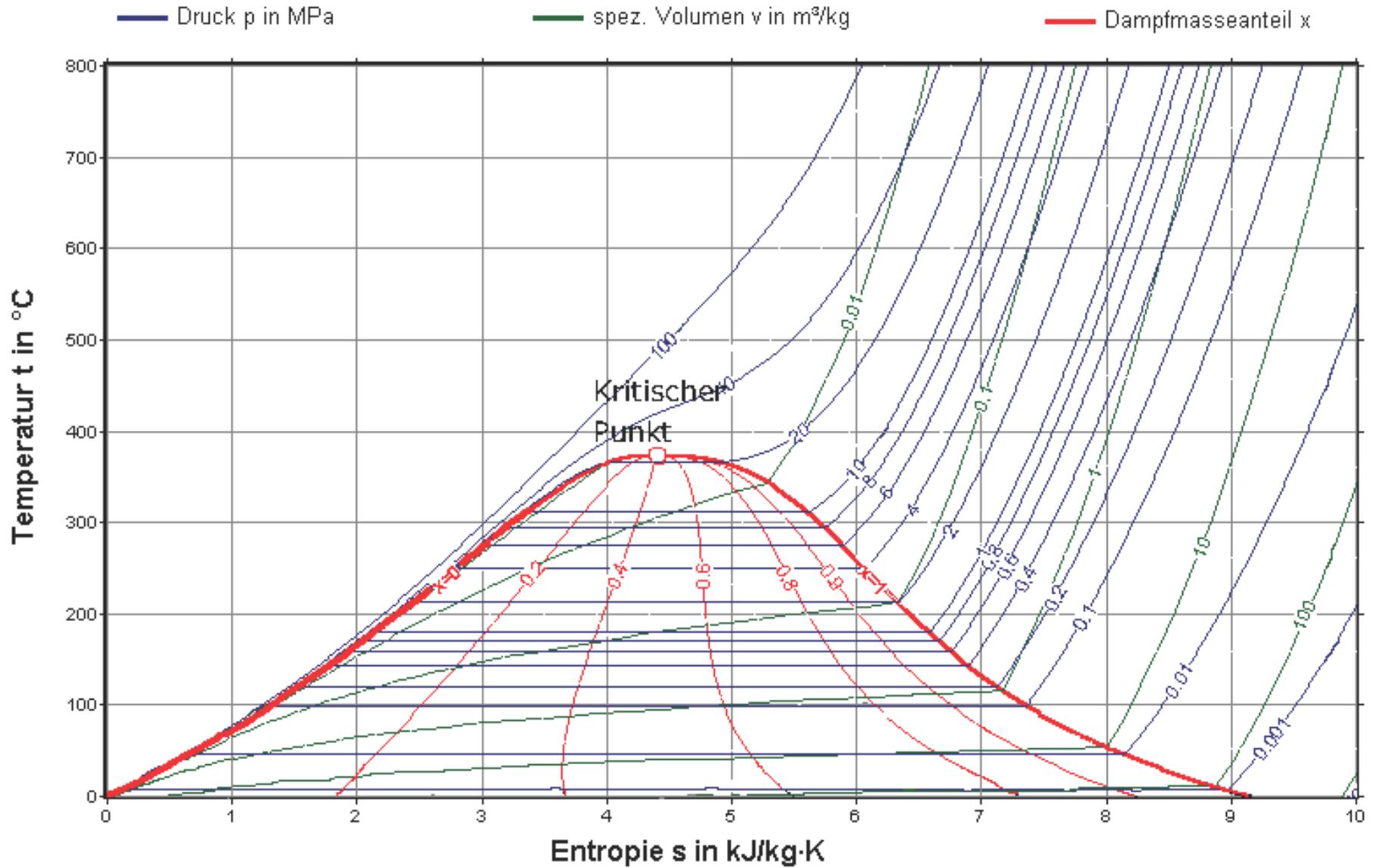
## Druckabhängigkeit der Dichte von Wasser und Dampf

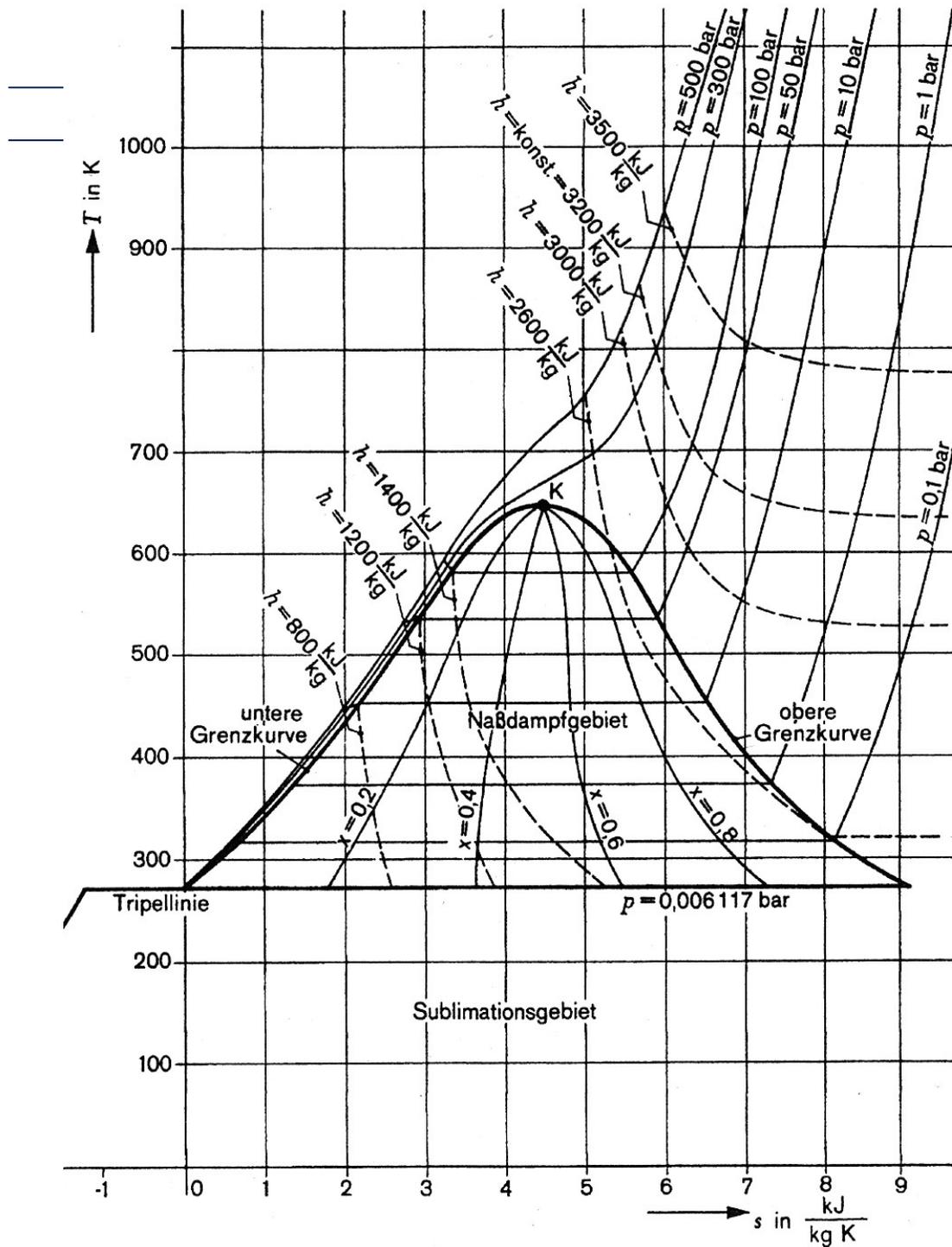
### Was heißt „Kritischer Punkt“ ?

Kesseldruck bar	Sättigungstemperatur °C	Dichte kg/m <sup>3</sup>		Dichteverhältnis
		Wasser	Sattdampf	
65	280	751	33	22,7 : 1
130	329	640	88,5	7,3 : 1
200	364	502	162	3,1 : 1

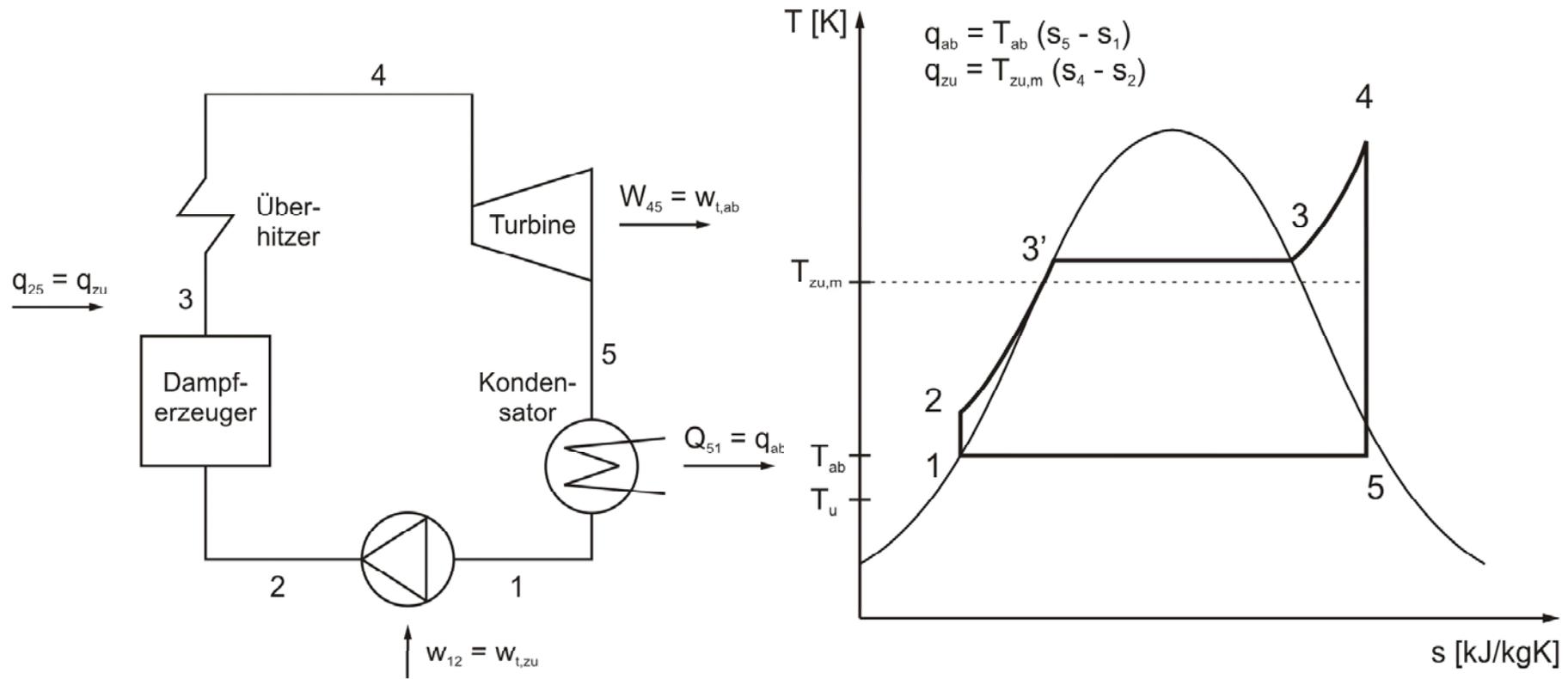


# - Der Clausius-Rankine-Prozess -





# Zustandsänderungen für Wasser / Dampf



*Clausius-Rankine-Prozess als Heissdampfprozess – Verfahrensschema und Darstellung im T-s-Diagramm*

### Kreislaufprozess:

- Das Arbeitsmittel Wasser (gasförmig bzw. flüssig) durchströmt das Anlagensystem im Uhrzeigersinn
- Speisewasserpumpe – Verdichtung des flüssigen Arbeitsmittels → Zuführung von technischer Arbeit
- Dampferzeuger – An das Arbeitsmittel wird bei hohem Druck Wärme übertragen (z.B. Verbrennung fossiler Brennstoffe)
- Mit den höchsten Werten von  $p$ ,  $T$  verlässt der Wasserdampf die Kesselheizflächen und tritt dann in die Turbine ein  
( $\Delta T, \Delta p$  in Leitungen  $\rightarrow 0$ )
- Turbine – Entspannung des Wasserdampfes auf niedrigen Druck → Abgabe technischer Arbeit
- Kondensator – Wärmeabgabe des Nassdampfes bis zur Kondensation an das Kühlmedium → flüssiges Arbeitsmittel

Annahmen:

- 1) Die Prozesse laufen nur in den Hauptaggregaten ab und sind ausnahmslos reversibel
- 2) Die Wärmeübertragung erfolgt bei konstantem Druck.
- 3) Die Turbine und die Speisewasserpumpe sind thermisch ideal isoliert.
- 4) Zustandsänderungen in den einzelnen Hauptaggregaten:

**Speisewasserpumpe: isentropische Kompression**

**Dampferzeuger: isobare Wärmezufuhr**

**Turbine: isentropische Entspannung**

**Kondensator: isobare Wärmeabfuhr**

Entsprechende dem Carnot-Wirkungsgrad sind für einen hohen Wirkungsgrad erforderlich:

- hohe Frischdampftemperaturen
- geringe Kondensatortemperaturen

Die Temperaturen sind allerdings an folgende Randbedingungen gebunden:

- **Wärmeabfuhr:** klimatische Verhältnisse
- **Wärmezufuhr:** Werkstoff

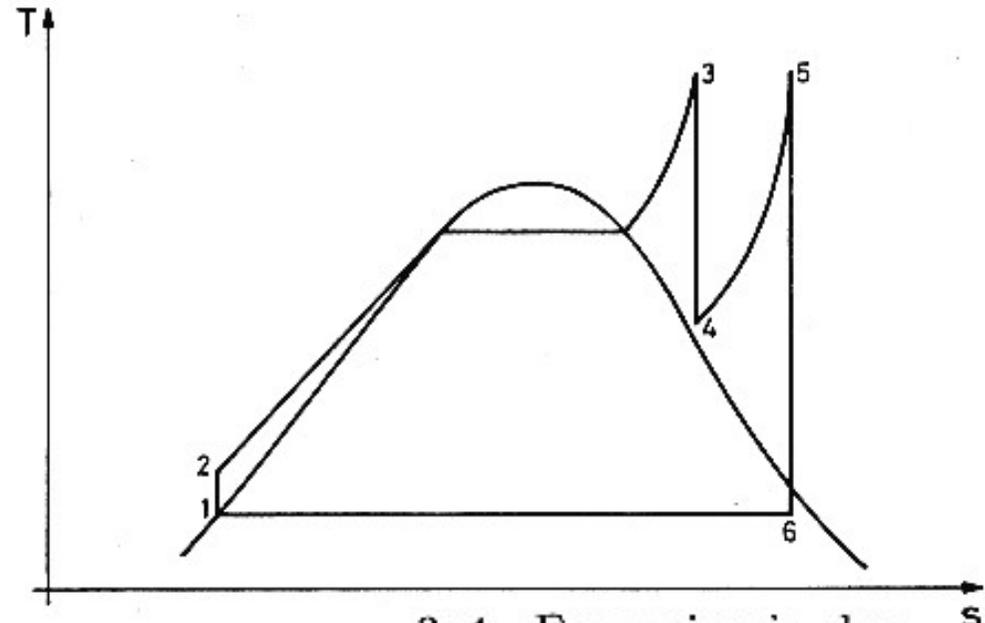
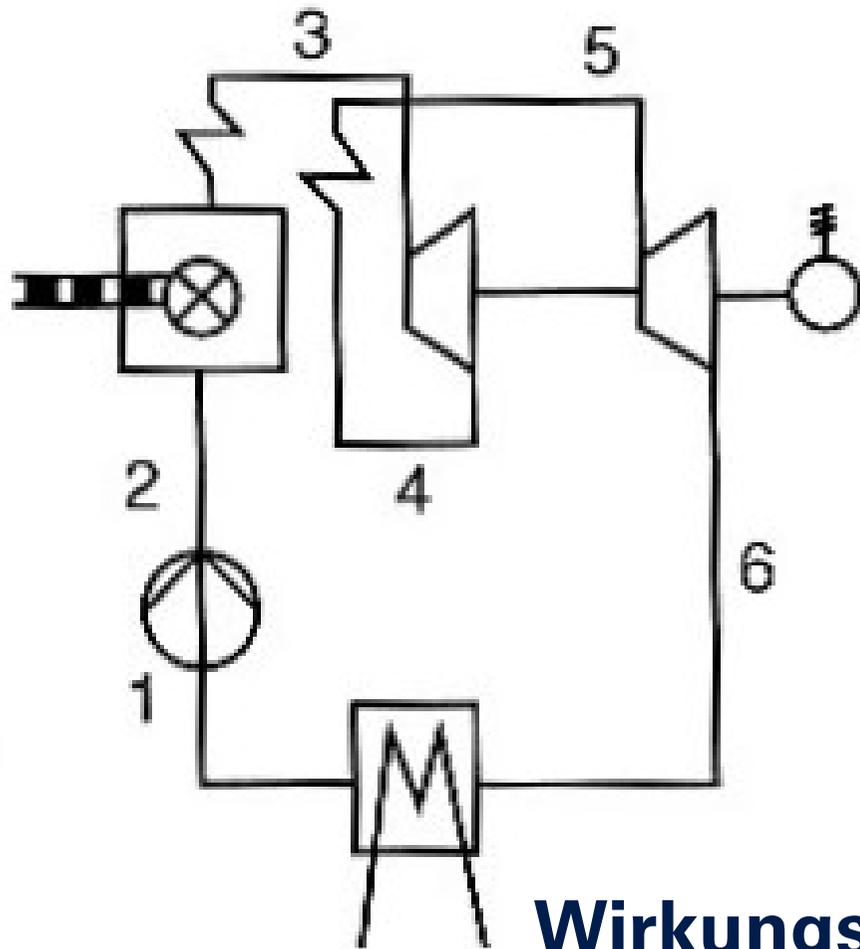
z.B. bei Drücken von 180 ... 240 bar:

- Unlegierte Stähle St 35.8, St 45.8 bis Wandtemperaturen von 450°C
- Legierte Stähle 15Mo3, 13Cr Mo4.4, 10CrMo9.10 bis 580°C
- Austenitische Stähle X10CrNiMo1613, X10CrNiNb1613 bis 700°C

Weiterhin kann der thermische Wirkungsgrad durch komplexere Prozesse gesteigert werden (Zwischenüberhizung, regenerative Speisewasservorwärmung)

# - Komplexere Prozesse -

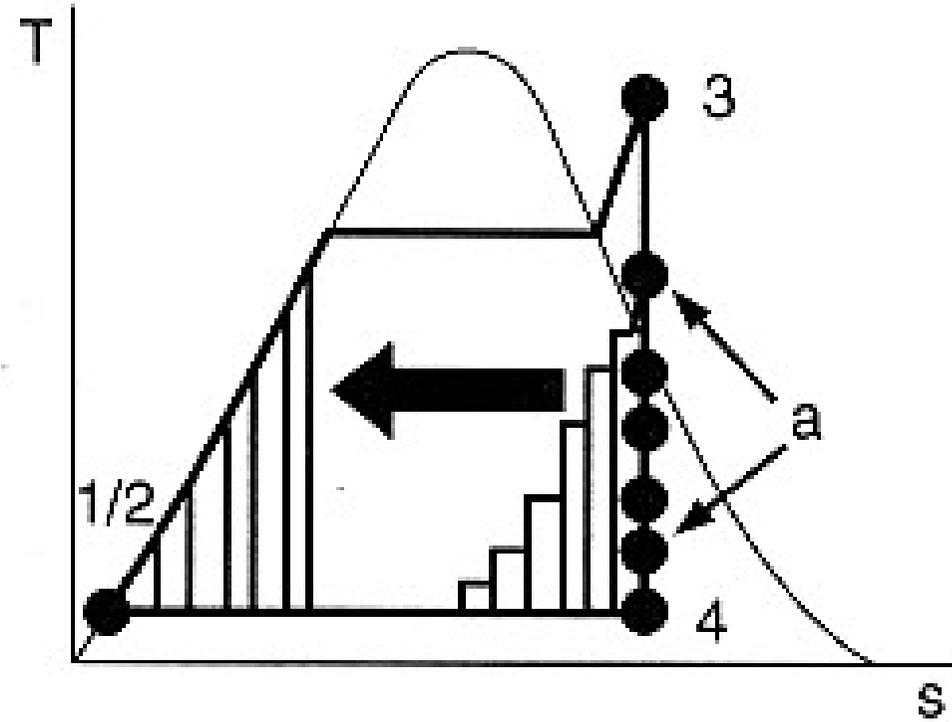
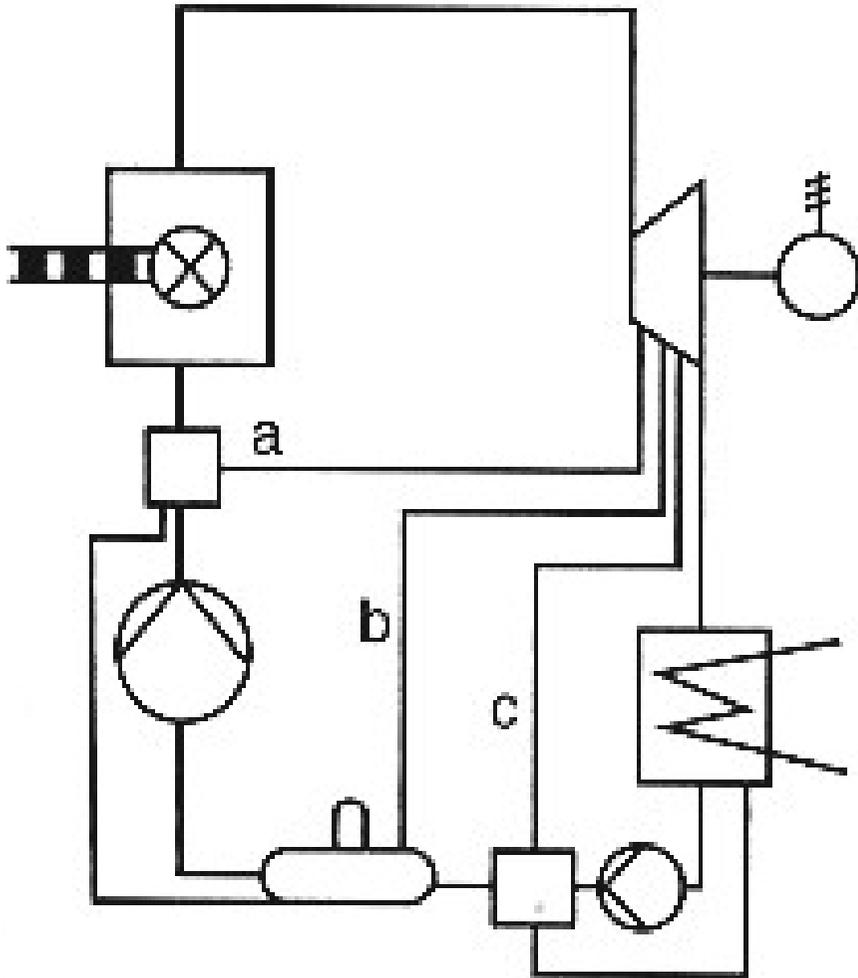
# Dampfkraftprozess mit einfacher Zwischenüberhitzung



- 3-4: Expansion in der Hochdruckturbine
- 4-5: Zwischenüberhitzung
- 5-6: Expansion in der Mittel- und Niederdruckturbine

**Wirkungsgrad steigt!**

# Regenerative Speisewasservorwärmung



**Wirkungsgrad steigt!**

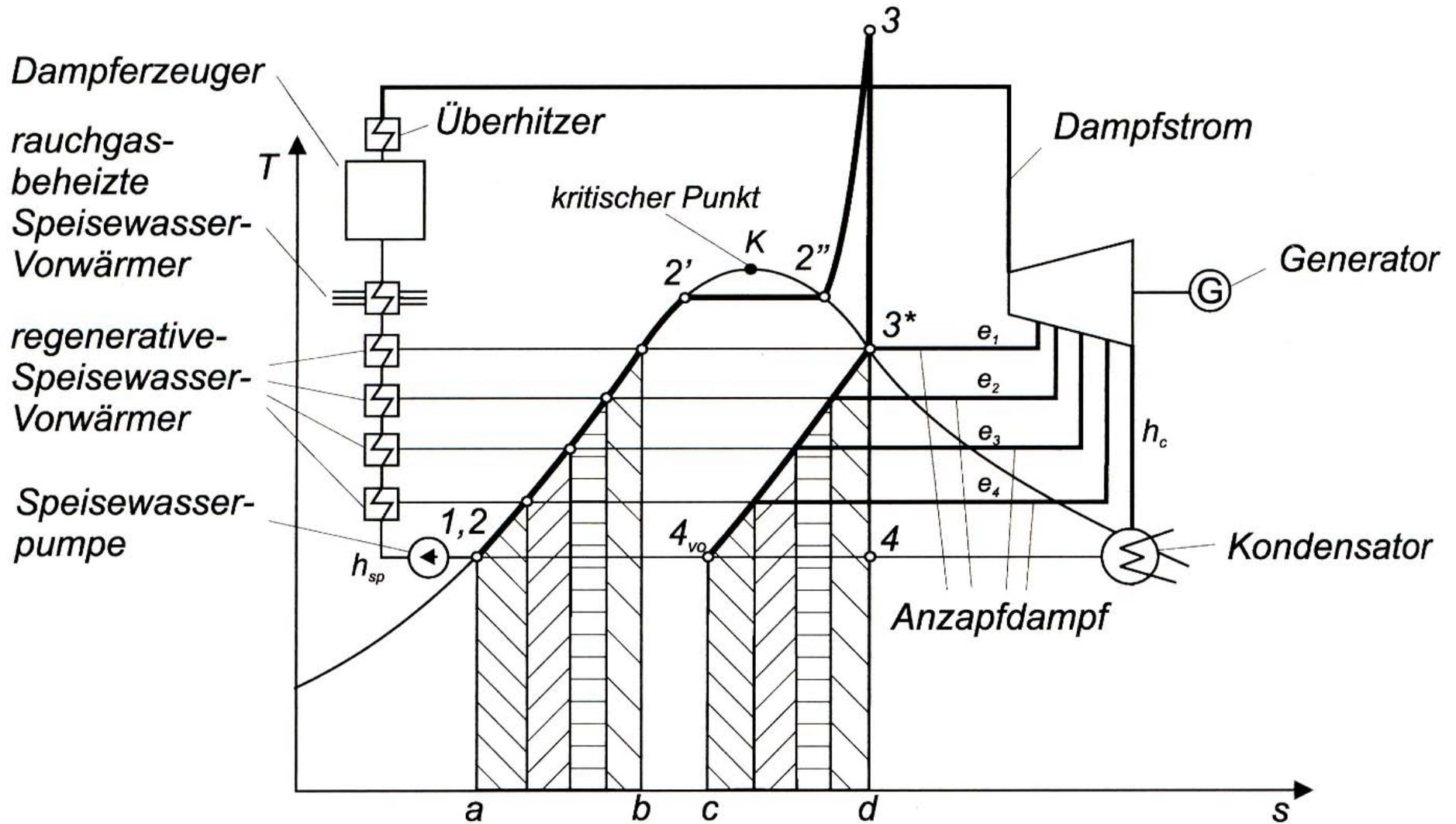
## **Regenerative Speisewasservorwärmung**

- Wärmeverschiebung erfolgt prozessintern
- äußere Wärmeübertragung findet damit im Bereich hoher Temperaturen statt
- dies führt zur Annäherung des Wirkungsgrades an den Carnotprozess (Carnotisierung)

Die Vorwärmung mit Abdampf, der nahezu Umgebungstemperatur besitzt, ist jedoch nicht möglich!

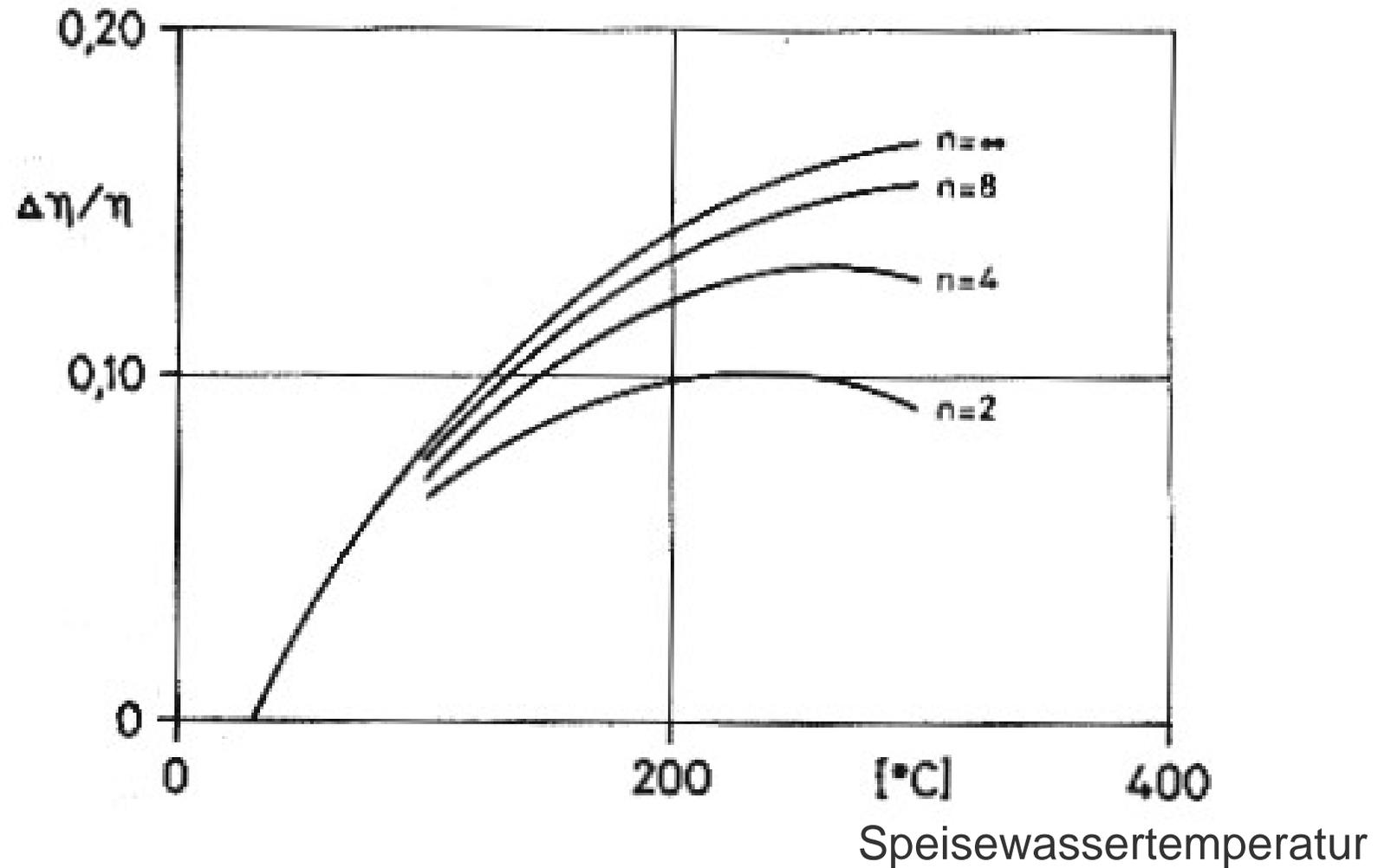
**Ausweg: Vorwärmung mit teilentspannten Anzapfdampf**

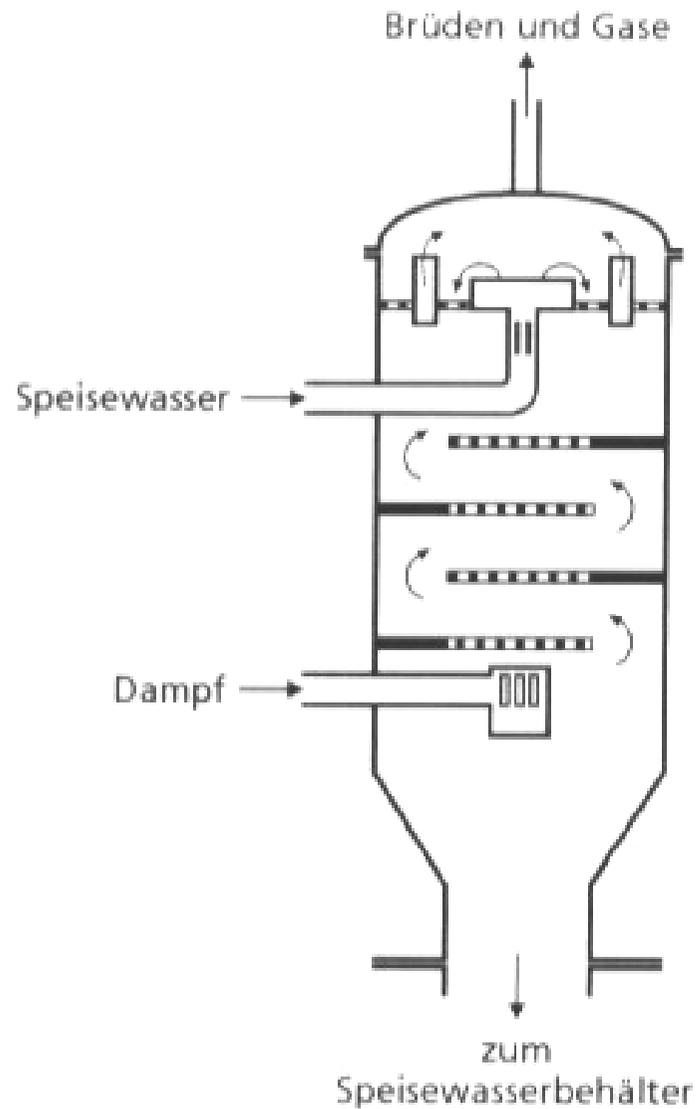
**In den einzelnen Vorwärmstufen sollen gleich große Wärmen übertragen werden!**



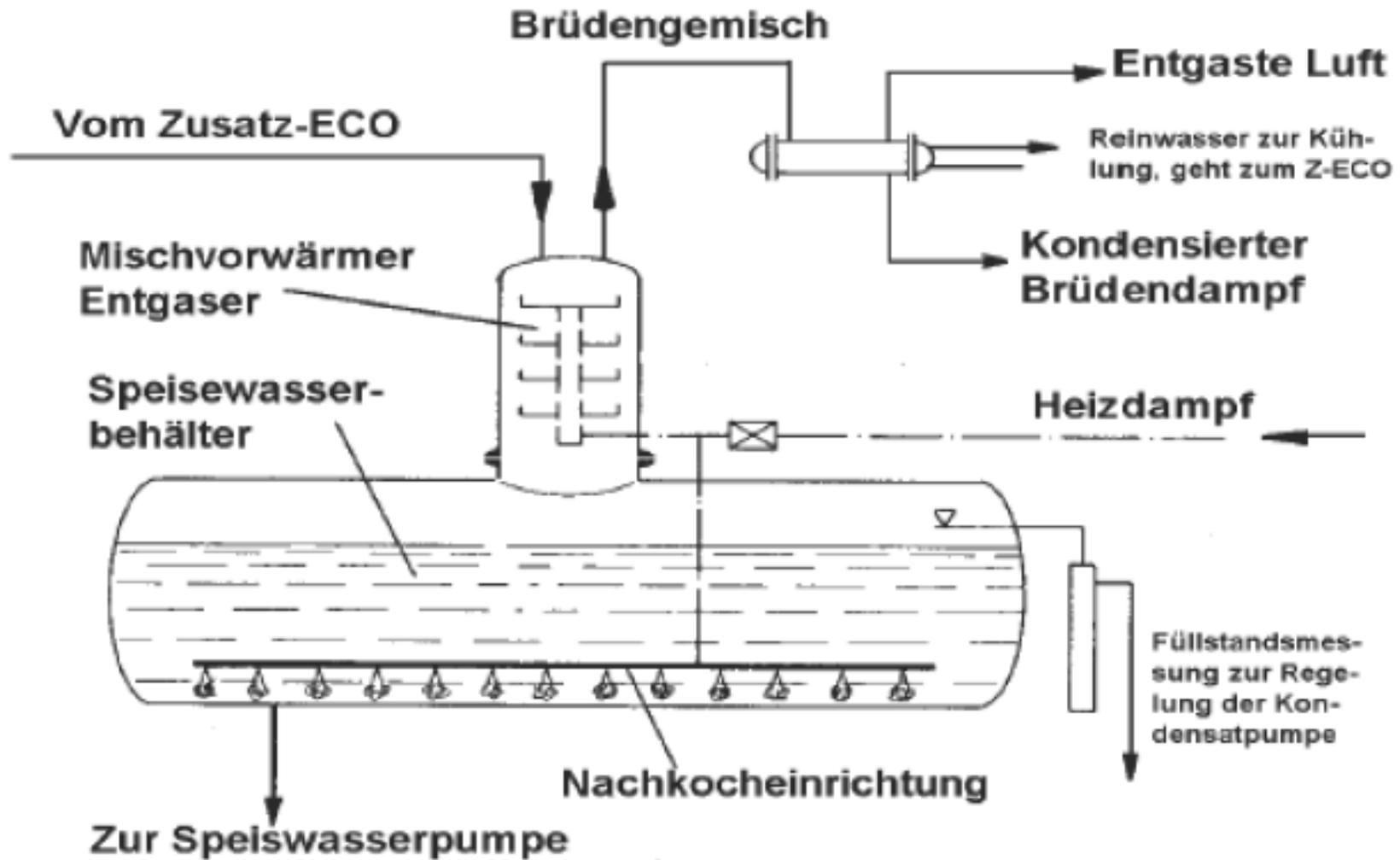
[ Rebhan, R. (Hrsg.): Energiehandbuch. Springer-Verlag Berlin Heidelberg]

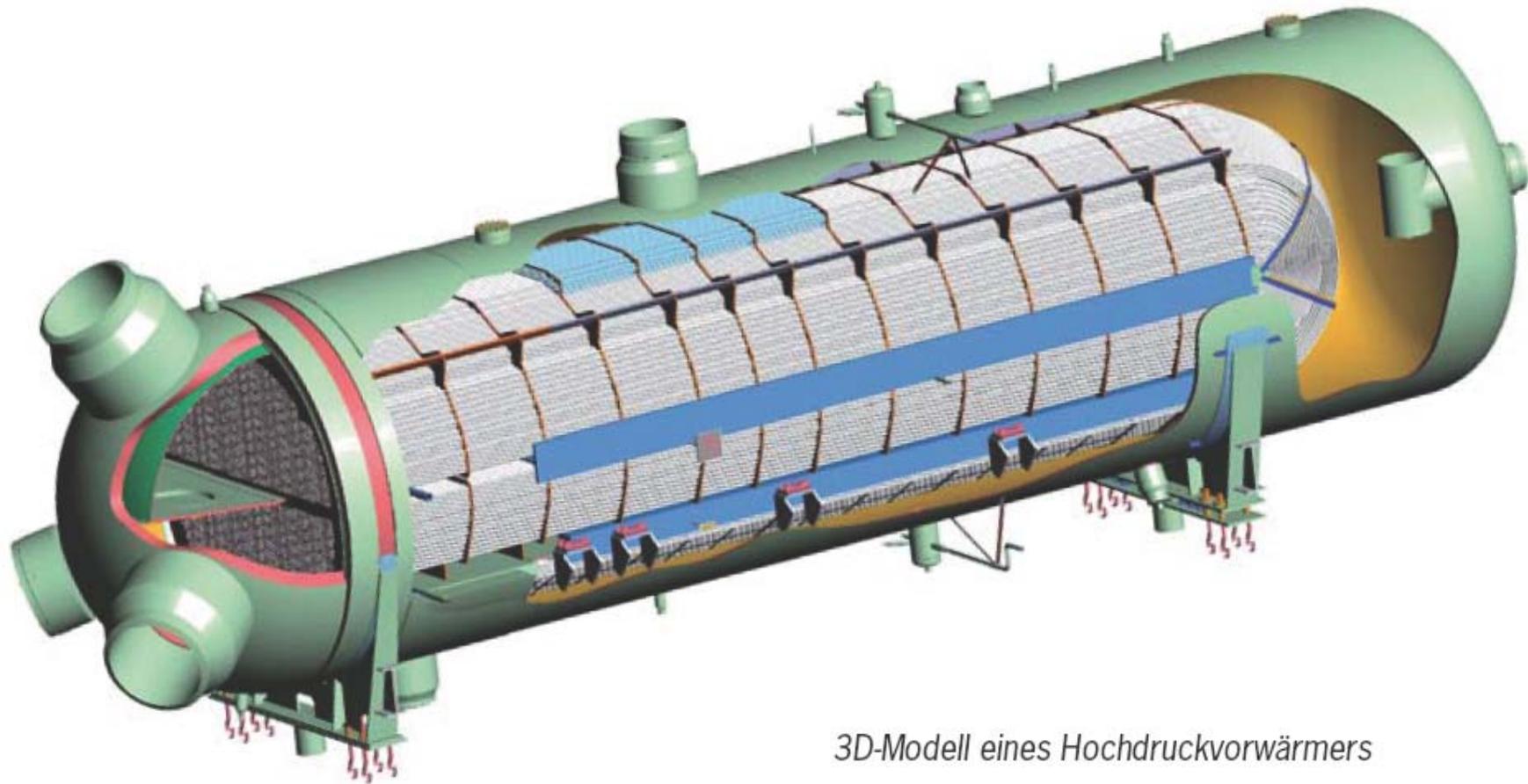
## Regenerative Speisewasservorwärmung - Anzahl





## Mischvorwärmer / Rieselentgaser





3D-Modell eines Hochdruckvorwärmers

[Balke-Dürr GmbH]



*Rohrbündel eines Duplex-Vorwärmers*

[Balke-Dürr GmbH]

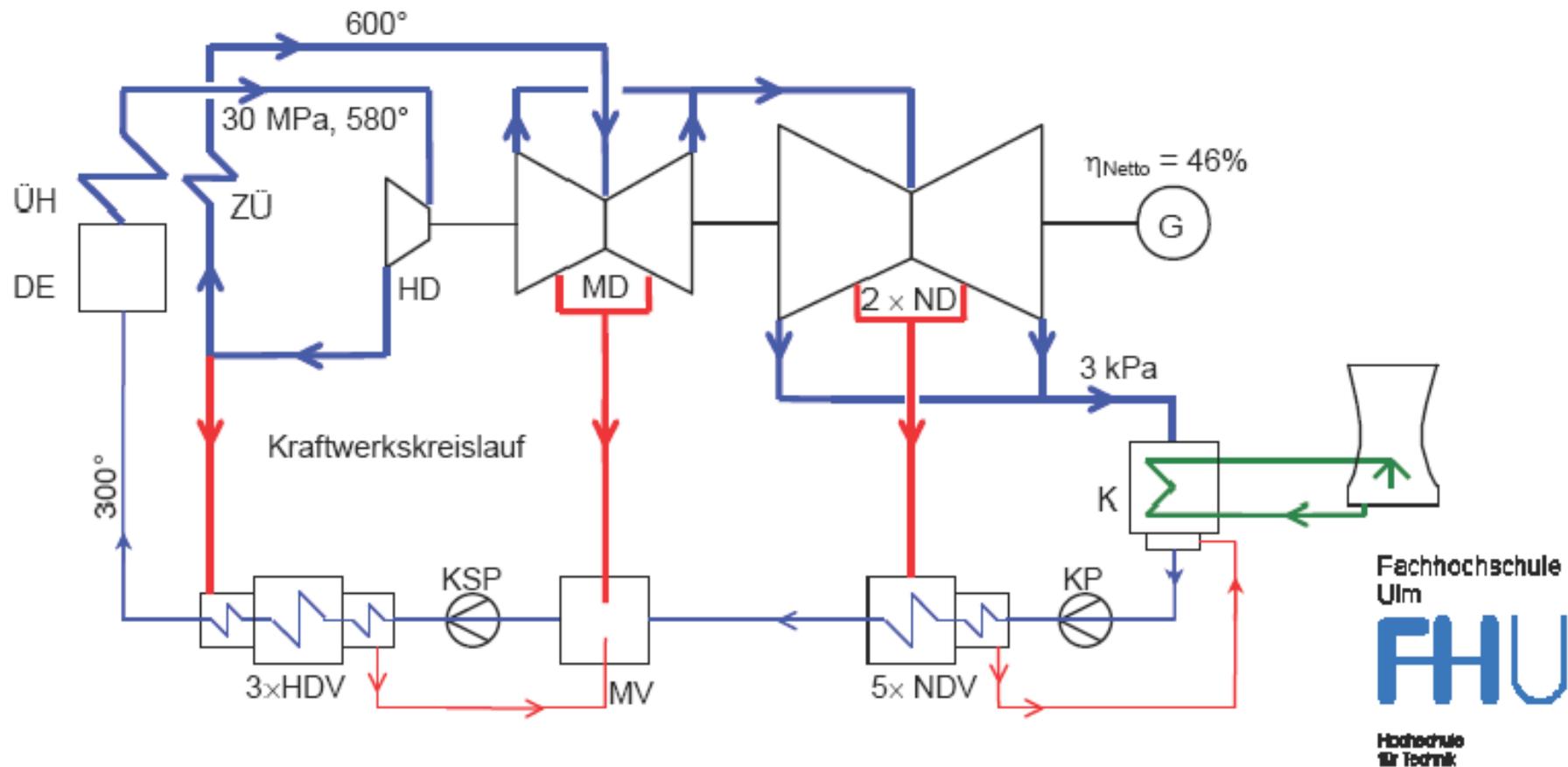


[Balke-Dürr GmbH]

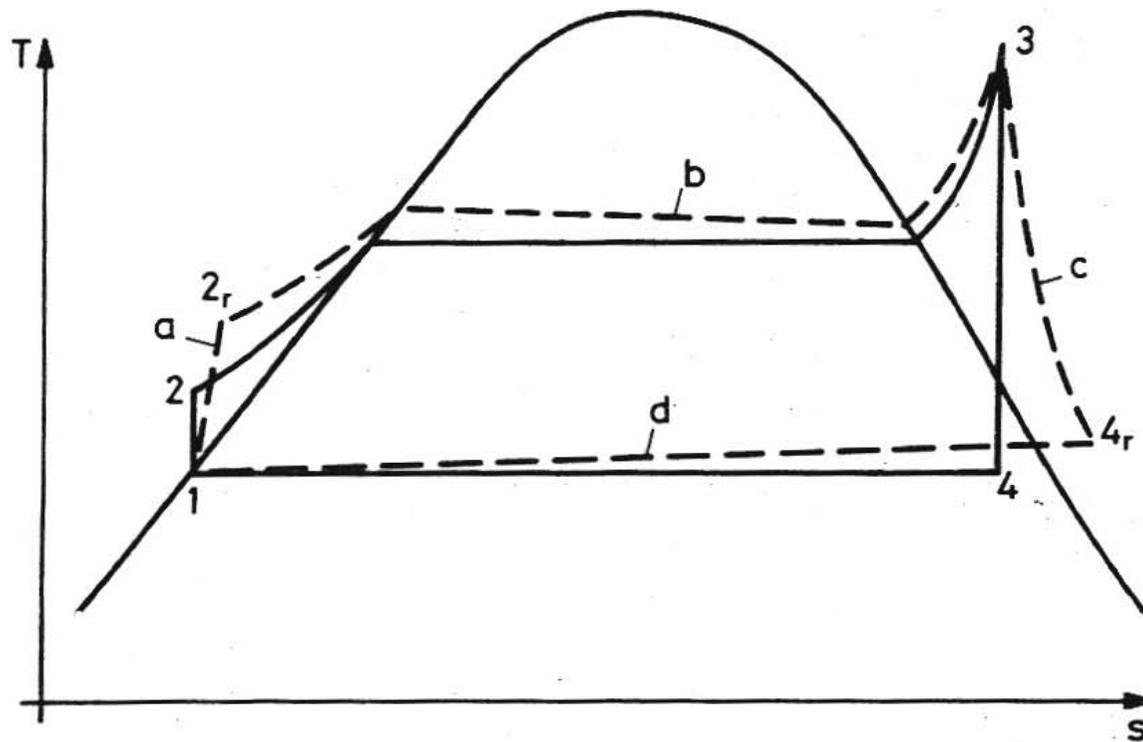
*Versand eines HD-Vorwärmers aus dem Werk in Nigel (Südafrika)*



## **Economizer (Rauchgasbeheizter Vorwärmer)**



# Realer Dampfkraftprozess (Clausius - Rankine)

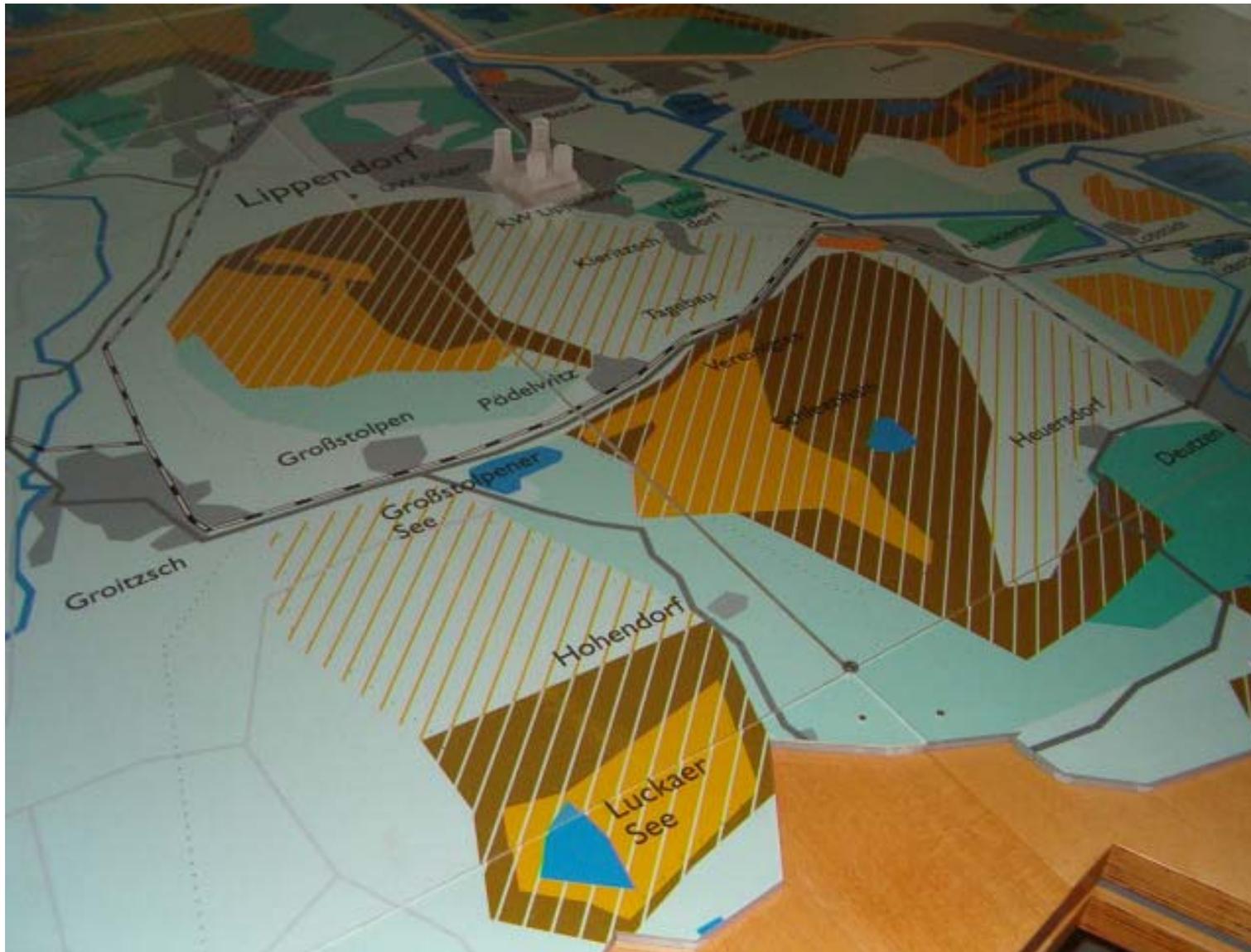


- a irreversible Verdichtung in der Speisepumpe
- b Druckabfall im Dampferzeuger
- c irreversible Expansion in der Turbine
- d Druckabfall im Kondensator
- Idealer Prozeß
- Realer Prozeß

## Prozesskette eines Kohle-Kraftwerkes mit Einzelwirkungsgraden



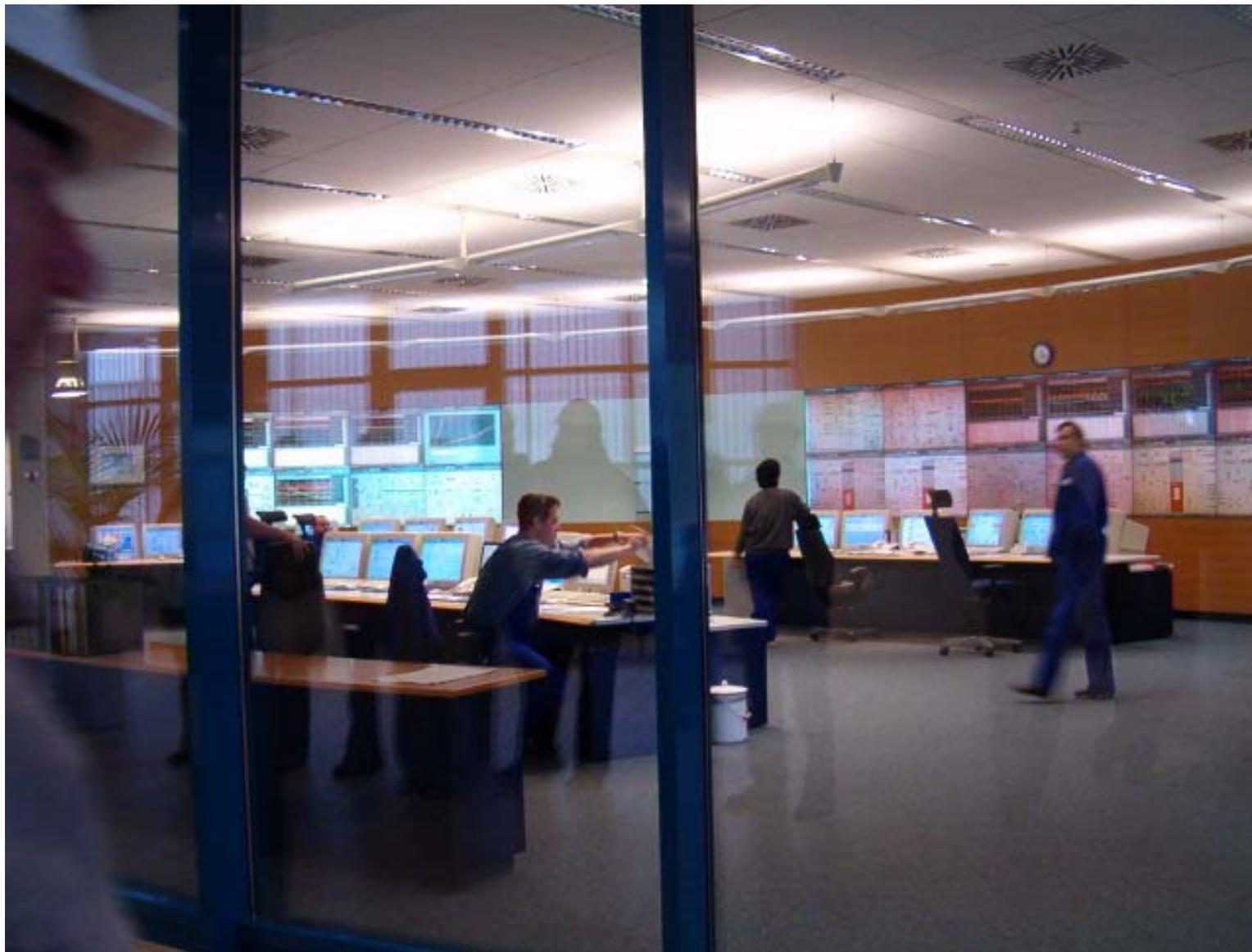






## Legende

- 1 Kommunikationszentrum
- 2 Hauptschaltgebäude
- 3 Umspannstation /Abspannfeld Block R
- 4 Maschinenhaus
- 5 Kesselhaus Block R
- 6 Elektrofilter Block R
- 7 Saugzuganlagen Block R
- 8 Rauchgasentschwefelung Block R
- 9 Kühlturm Block R
- 10 Heizölbehälter
- 11 Gipslagerhalle
- 12 Silogebäude
- 13 LAFARGE Gipskartonplattenwerk
- 14 Nebenschaltanlagegebäude
- 15 Wasseraufbereitung
- 16 Kohlezwischenbunker
- 17 Lager und Werkstatt
- 18 Ausbildungsstätte
- 19 Kantine
- 20 Klärschlamm-Annahme
- 21 Parkplätze





## Speisewasserpumpen

