

HAUPTSÄTZE DER  
THERMODYNAMIK

J. BLÜHLER  
NOV. 1988

# HAUPTSÄTZE DER THERMODYNAMIK

J. BLÜMLEIN  
10/88

## 1. EINLEITUNG

KLASSISCHE  
PHYSIK

MECHANIK

OPTIK

MECHANIK d. KONTINUA, HYDRODYNAMIK

ELEKTRODYNAMIK

THERMODYNAMIK

→ DYNAMIK KONTINUIERLICHER SYSTEME  
IN "WÄRME" ZUSTÄNDEN (KONTIN. ZUSTÄNDEN)

SYSTEM ?

WÄRME ?

ZUSTAND ?

KONTINUITÄT ? ....

GRUNDBEGRIFFE, RELATIONEN

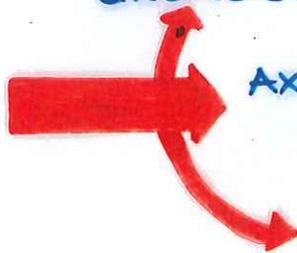
BSP.

AXIOMATISCHES SYSTEM

THERMODYNAMIK

↓ FORMALISMUS

THEORIE



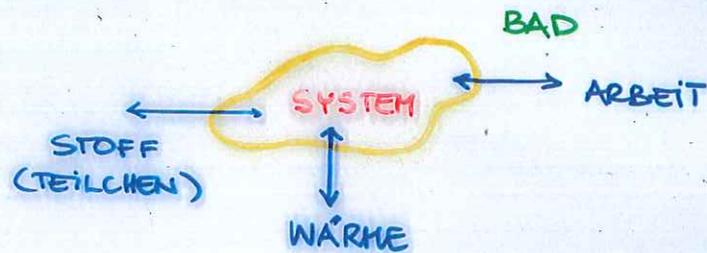
KERN DER THERMODYNAMIK (AXIOMATISCHE BASIS)

↓  
HAUPTSÄTZE

- DIE HAUPTSÄTZE DER THERMODYNAMIK SIND AXIOME.
- SIE FASSEN ERFAHRUNGSTATSACHEN ZUSAMMEN, DIE NICHT "BEWEISBAR" SIND, D.H. IM RAHMEN DER THERMODYNAMIK NICHT AUS ALLGEMEINEREN AUSSAGEN ABLEITBAR SIND.

## EINIGE GRUNDBEGRIFFE:

- **THERMODYNAMISCHES SYSTEM:** SYSTEM VON TEILCHEN ( $\sim 10^{23}$ ) IN EINER UMGEBUNG (BAD). EINE EIGENSCHAFT EINES T.S.'s IST DIE TEMPERATUR.



SYSTEM	ART DER WECHSELWIRKUNG (S↔B)	
OFFEN	STOFF JA	ENERGIE JA
GESCHLOSSEN	NEIN	JA
ADIABATISCH ISOLIERT		NEIN
ABGESCHLOSSEN	NEIN	NEIN

- **ZUSTAND**: SITUATION EINES T.S., DIE DURCH SOG. ZUSTANDSGRÖSSEN QUANTITATIV FESTGELEGT WIRD. ZUSTANDSGRÖSSEN, Z.B. U, F, S, ... HÄNGEN VON EINER ANZAHL UNABH. ZUSTANDSVARIABLEN AB.  
Bsp. (T, V) ; (p, T) ; (V, p) ; (U, V) ; ...

- **WÄRME**: <sup>THERMISCHE</sup> ENERGIEFORM IM FLUSS ZWISCHEN T.S.  
WÄRME IST KEINE ZUSTANDSGRÖSSE.

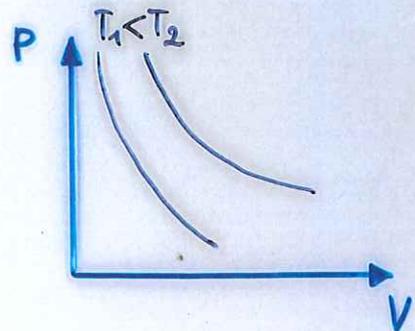
- **ARBEIT**: ENERGIEFORM (NICHTTHERMISCH); KEINE ZUSTANDSGRÖSSE, BSP.:  $dA = -p \delta V$

↑  
ABGABE DURCH EIN T.S.

- **TEMPERATURDEF. (PHYSIKALISCH)**:  
ZUSTANDSGLEICHUNG:

$$p = p(V, T)$$

$$l_{HE} = l_{HE}(T)$$



## BEDEUTUNG VON "NIEMALS"

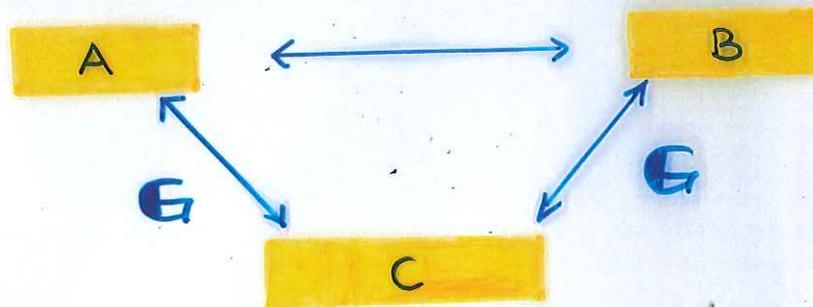
$10^{10}$  AFFEN (3x MEHR ALS DIE JETZT LEBENDE ERDBEVÖLKERUNG)  
SIND IN  $10^{18}$  sec (WELTALTER) BEI 10 ANSCHLÄGEN/<sub>sec</sub> AUF JE  
EINER SCHREIBMASCHINE MIT 44 ZEICHEN NICHT IN DER  
LAGE "HAMLET" ( $40^5$  ZEICHEN) ZUFÄLLIG ZU SCHREIBEN.

$$W = 10^{-164345}$$

DIES IST EIN BEISPIEL FÜR DIE GRÖSSENORDNUNG  
DER WAHRSCHEINLICHKEIT EINES "NIEMALS" AUPTRETEN-  
DEN PHÄNOMENS.

## 0. HAUPTSATZ: (FOWLER)

FÜR JEDES THERMODYNAMISCHE SYSTEM EXISTIERT EINE ZUSTANDSGRÖSSE, DIE TEMPERATUR GENANNT WIRD. IHRE GLEICHHEIT IST NOTWENDIGE VORAUSSETZUNG FÜR DAS THERMISCHE GLEICHGEWICHT ZWEIER SYSTEME ODER ZWEIER TEILE DES GLEICHEN SYSTEMS. SIE WIRD DURCH EINE ZAHL CHARAKTERISIERT UND IST EINE SKALARE GRÖSSE.



$$(T_A = T_C) \wedge (T_B = T_C) \rightarrow (T_A = T_B)$$

## 1. HAUPTSATZ

- JEDES THERMODYNAMISCHE SYSTEM BESITZT EINE EXTENSIVE GRÖSSE  $U$ , die innere Energie, DIE DURCH ZUFUHR VON WÄRME UND ARBEIT WÄCHST.

$$dU = \delta Q + \delta A$$

IN ABGESCHLOSSENEN SYSTEMEN GILT:

$$dU = 0, \quad U = \text{const.}$$

- ES IST UNMÖGLICH, EIN PERPETUUM MOBILE 1. ART ZU BAUEN.

ABGESCHLOSSENES SYSTEM :  $\delta Q = 0$   
 $\delta A = 0$

$$dU = dU_i + dU_A$$

$\uparrow$                        $\longleftarrow$                        $= \delta Q + \delta A$

# ENERGIEERHALTUNG

E. NOETHER: 1918

(DIFFERENTIELLE) INVARIANZ EINES SYSTEMS ( $v \ll c$ )

GEBEN TRANSLATION DER ZEIT  $\rightarrow$  ENERGIEERHALTUNG

AUSNAHMEN: ALLG. RELAT. SYSTEME

$\rightarrow$  UNTERSUCHUNG VON SYMMETRIEEIGENSCHAFTEN DER LAGRANGE-DICHTE.

## 2. HAUPTSATZ

- JEDES THERMODYNAMISCHE SYSTEM BESITZT EINE ZUSTANDSGRÖSSE, ENTROPIE GENANT. (PLANCK)

$$ds = \frac{\delta Q}{T}$$

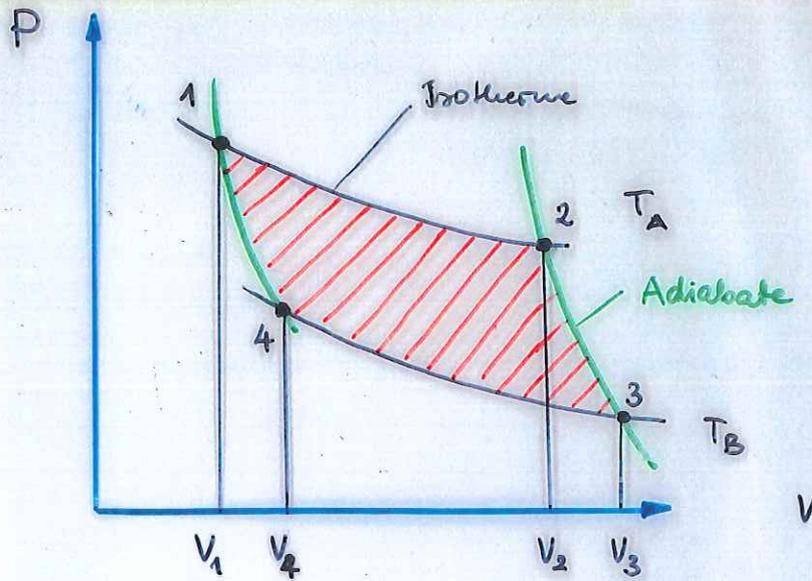
DIE ENTROPIE EINES NACH AUSSEN ADIABATISCH ABGESCHLOSSENEN SYSTEMS WÄCHST.

- WÄRME KANN NICHT VON SELBST AUS EINEM NIEDEREN ZUM HÖHEREN TEMPERATURNIVEAU ÜBERGEHEN. (CLAUSIUS)
- ES IST UNMÖGLICH, FORTLAUFEND ARBEIT ZU ERZEUGEN DURCH BLOSSE ABKÜHLUNG EINES EINZELNEN KÖRPERS UNTER DIE TEMPERATUR DES KÄLTESTEN TEILES SEINER UMGEBUNG. (KELVIN)
- ES IST UNMÖGLICH EIN P.M. 2. ART ZU KONSTRUIEREN. (OSTWALD)

P.M. 2. ART: PER. ARBEITENDE MASCHINE DIE WEITER NICHTS BEWIRKT ALS DIE HEBUNG EINER LAST UND DIE ABKÜHLUNG EINES WÄRMERESERVOIRS. (PLANCK)

# CARNOTSCHER KREISPROZESS

: IDEALES GAS



$$PV = RT$$

$$PV^\gamma = K$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \quad (\text{Adiab.})$$

$$\oint dA = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41}$$

$$A_{12} = - \int_{V_1}^{V_2} (dV) \cdot p = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} RT_A = -RT_A \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$A_{34} = +RT_B \ln \frac{V_3}{V_4}$$

$$A_{23} = - \int_{V_2}^{V_3} k \frac{dV}{V^\gamma} = -C_V (T_A - T_B)$$

$$A_{41} = -C_V (T_B - T_A)$$

$$\curvearrowright \oint dA = R (T_B - T_A) \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right); \quad \eta_c = \frac{\oint dA}{A_{12}} = 1 - \frac{T_B}{T_A}$$

$$\eta_c = \frac{\oint dA}{Q_1} = \frac{Q_1 + Q_{\text{adi}} + Q_2 - Q_{\text{adi}}}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$1 + \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0 \quad \rightarrow \quad \text{INFINITESIMALE PROZESSE}$$

$$\sum_n \frac{\delta Q_n}{T_n} = 0$$

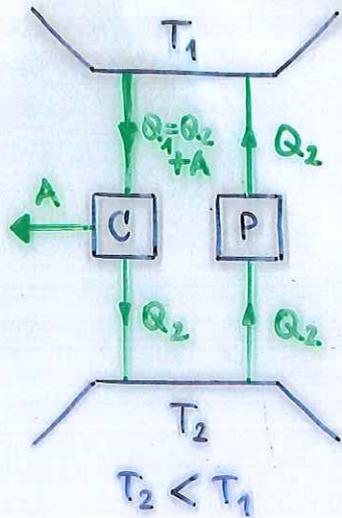


$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \oint ds = 0$$

NICHTEXISTENZ P.M. 2ART  $\leftrightarrow$  S  $\equiv$  ZUSTANDS-FUNKTION

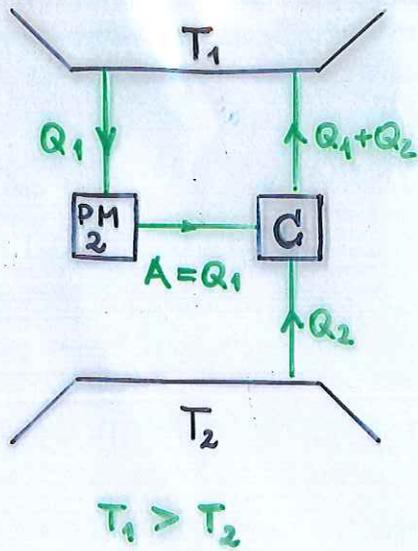
OSTWALD

PLANCK



KELVIN  $\leftrightarrow$  OSTWALD/  
PLANCK

PM 2.



$\neg$  (OSTWALD/PLANCK)

$\Leftrightarrow$

$\neg$  CLAUSIUS

$(\neg A \Rightarrow \neg B) \wedge (\neg B \Rightarrow \neg A)$

$A \Leftrightarrow B$

3. HAUPTSATZ: Neudtsches Wärmekurven

$\Delta S \rightarrow 0, T \rightarrow 0$  def.  $S(T=0) = S_0$ .

# ENTROPIE UND ZEITRICHTUNG

(QUANTEN THY.)

ZEITENTWICKLUNG PHYSIKALISCHER SYSTEME :

- ZUSTANDSOPERATOREN  $\hat{W}$
- OBSERVABLE  $A$

- MESSPROZESS  $\rightarrow$  "EFFEKT"
- REVERSIBLE EVOLUTION, UNITÄRE ROTATION



$$\forall A \quad S_i(W') \geq S_i(W), \quad \forall i$$

$W$  was vor  $W'$

Wachstum der Entropien  $\rightarrow$  Definition der Zeitrichtung.

## LITERATUR

### HAUPTSÄTZE :

- [1] A. SOMMERFELD, VORL. THEOR. PHYSIK, BAND 5, THERMODYNAMIK & STATISTIK, GEEST & PORTIG, LEIPZIG 1962
- [2] G. KLUGE, G. NEUGEBAUER, GRUNDLAGEN DER THERMODYNAMIK, DVW, BERLIN, 1976

### SYMMETRIEN & ERHALTUNGSSÄTZE :

- [3] E. SCHMUTZER, GRUNDPRINZIPIEN DER KLASSISCHEN MECHANIK UND DER KLASSISCHEN FELDTHEORIE, DVW, 1973

### ENTROPIE & ZEITRICHTUNG :

- [4] E. FICK, G. SAUERMAN, QUANTENSTATISTIK DYNAMISCHER SYSTEME, BAND 1, GEEST & PORTIG, LEIPZIG, 1983