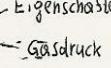
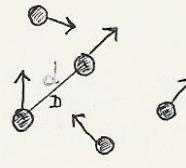


1. Gase 



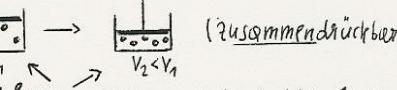
(korrekt)  
Während

- Begriff GAS: Ein Gas ist ein Stoss im gasförmigen Aggregatzustand. Da der Abstand der Moleküle voneinander relativ groß ist (ca. 10 mal so groß wie in einer Flüssigkeit - Druck abhängt) sind die anziehenden Molekularkräfte vernachlässigbar  $\Rightarrow$  Gasmoleküle frei beweglich. Oberhalb des Siedepunktes ( $p$  abhängig!) ist jeder Stoss gasförmig.
- Wie bemerkst man Gase?  $\Rightarrow$  Wind, Schall, Geruch .... (Nicht-gedes Gas bemerkst man: z.B. Gärgas  $CO_2$ , Brennbarkeit, ...)

- Beispiele für Gase: 

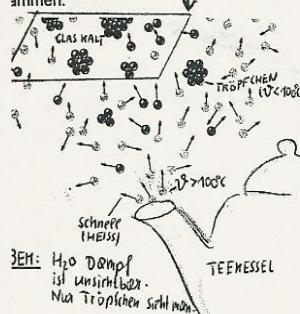
GAS	$\vartheta_{\text{siedep.}}$ (1bar!)	Anm	<u>Luftschiff <math>H_2</math> gefüllt</u>
$H_2$	20K = -253°C	Wichtigstes Gas im All (90% $H_2$ !); Zeppelin, Hindenburg; „leichtes“ Gas	
He	4K = -268°C	2. Wichtigstes Gas im All (ca. 9% He), He-Ballons	
$\{N_2$	77K = -196°C	<u>Luft</u> : 78% $N_2$ , 21% $O_2$ , $\approx 1\%$ Ar, Spuren: $CO_2$ , $CO$ , ...	
$O_2$	50K = -183°C		
$H_2O$	373K = 100°C	Wasser ( $\frac{2}{3}$ der Erdoberfläche), <u><math>H_2O</math> Dampf</u> für Dampfturbinen	
C. Graphit	3800°C	Höchste Verdampfungstemperatur	

Heizgase:  $CH_4$  (METHAN),  $C_3H_8$  (PROPAN),  $C_2H_2$  (ACETYLEN) (schweißen)

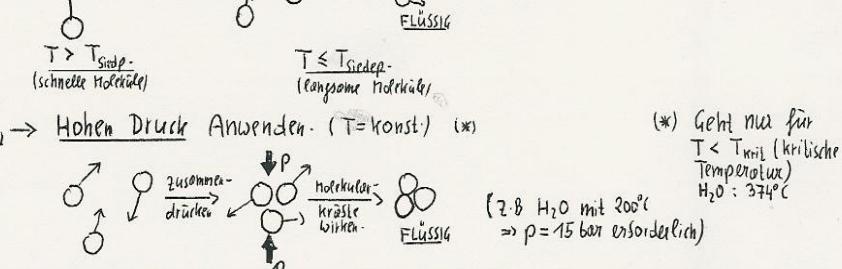
- Eigenschaften von Gassen:
  - Kompressibel 
  - Kein bestimmtes Volumen (FL & FK haben best. V:  $\frac{1}{18}$  Wein, Stein)
  - Keine bestimmte Form (FK z.B. Stein haben best. Form)  
(Ein Gas ergänzt jeden ihm zur Verfügung stehenden Raum gleichmäßig)

- Verflüssig. von Gassen: a.  $\rightarrow$  Abkühlen unter den Siedepunkt: (z.B.  $H_2O$  Dampf unter 100°C, bei  $p=1\text{bar}$ , abkühlen  $\Rightarrow$  Kondensation)

ur Kondensation des Wasserdampfes: ampteilchen mit geringer Geschwindigkeit „hängen“ sich zu Wassertröpfchen zusammen.



b.  $\rightarrow$  Hohen Druck Anwenden. ( $T = \text{konst.}$ )  $\rightarrow$

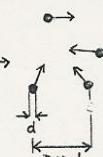


Zur Verflüssigung eines Gases kommt es erst wenn die Moleküle langsam genug (kühl genug!) oder hoch genug (hoher Druck) sind. Erst dann können die Molekularkräfte die Moleküle zu Tropfen zusammenziehen.

- MODELL DES IDEALEN GASES

$\rightarrow$  MOLEküLE PUNKTFÖRMIG (d.h. ihr Durchmesser  $\ll$  als ihr Abstand/D  $\Rightarrow$  Molekularkräfte vernachlässigbar)  
 $\rightarrow$  STOSSE SIND VOLLKOMMEN ELASTISCH (Plummi! Keine E-Verluste bei Stößen)

(Wichtiges Modell für Herleitung von Gasgesetzen)

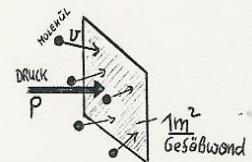
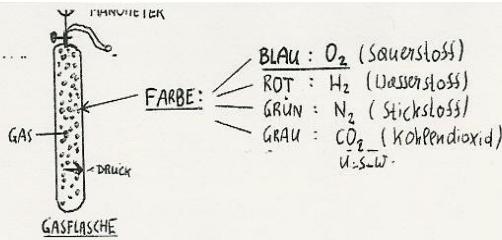


- REALES GAS: Ein reales (= wirkliches) Gas kommt diesem Modell umso näher je:

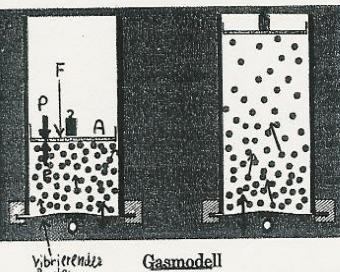
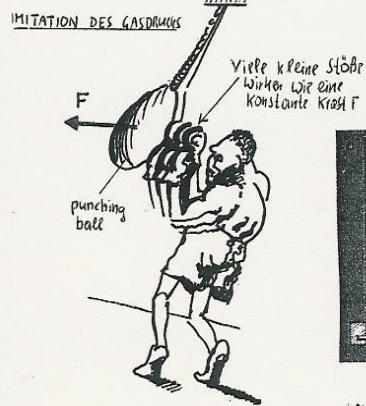
$\rightarrow$  heißer es ist (d.h. je höher die Temp. über dem Siedep. liegt)  
 $\rightarrow$  geringer der Druck (und somit die Teilchendichte) ist. ( $\Rightarrow$  großer Abstand) } vernachlässigbar!

z.B.  $H_2O$  Dampf mit 102°C ist nicht sehr ideal, solches mit 200°C schon (bei  $p=1\text{bar}$ ,  $\vartheta_{\text{siedep.}} = 100^\circ\text{C}$ , z.B. Lust bei Zimmtemp. 21°C ist ideal bei  $p=1\text{bar}$ . Bei 1000bar hingegen ist  $p_{\text{real}} \approx p_{\text{ideal}} \approx 1\frac{1}{2}$ , d.h. die Moleküle liegen aneinander an  $\Rightarrow$  nicht ideales Gas)

• Farbkennung von Gasflaschen:



• Wovon hängt der Gasdruck ab?

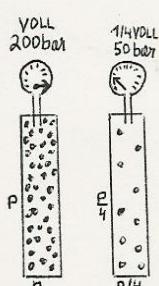
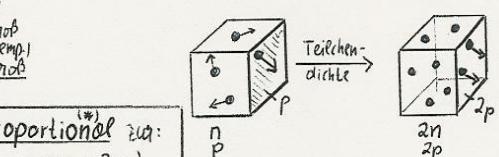
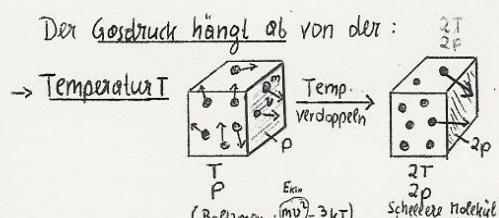


LANGSAME VIBRATION  
 $\Rightarrow$   $V$  Teilchen klein ( $\hat{=}$  kleine Temp.)  
 $\Rightarrow$  Druck  $p$  klein

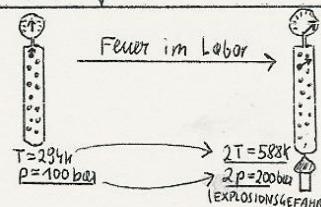
RASCH VIBRATION  
 $\Rightarrow$   $V$  Teilchen groß ( $\hat{=}$  große Temp.)  
 $\Rightarrow$  Druck  $p$  groß

$\Rightarrow$  Der Gasdruck  $p$  ist direkt proportional (\*):

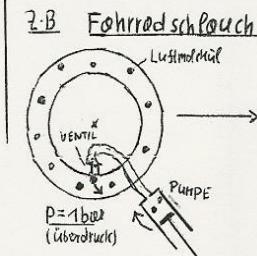
- Temperatur  $T$  (d.h.  $T \mapsto 2T \Rightarrow p \mapsto 2p$ )
- Teilchendichte  $n = \frac{N}{V}$  (d.h.  $n \mapsto 2n \Rightarrow p \mapsto 2p$ )



z.B.  $O_2$ -Flasche



z.B. Der Druck in einer Gasflasche sinkt umso mehr, je mehr Gas entnommen wird.



INHANG MATHEMATIK WH - DIREKT & INDIREKT PROPORTIONALE GRÖSSEN  $x, y$ :

a)  $y$  ist zu  $x$  direkt proportional (\*):

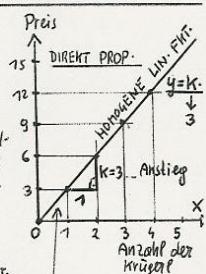
z.B.  $x$  ... Anzahl der Krügerl Bier  
 $y$  ... zu bezahlender Preis  
 $1 \text{ Krügerl} \hat{=} 3 \text{ €} = k$

$x$	$y$
2	$2 \cdot 3 = 6$
3	$3 \cdot 3 = 9$
4	$4 \cdot 3 = 12$
5	$5 \cdot 3 = 15$
$\vdots$	$\vdots$
$x$	$x \cdot k = y$

$$\text{es gilt: } \frac{y}{x} = \frac{6}{2} = \frac{9}{3} = \frac{12}{4} = \frac{15}{5} = \frac{y}{x} = k$$

$$\text{d.h. } y = kx$$

HOMOGENE LINEARE FKT. KONST.



$\Rightarrow$   $y$  heißt zu  $x$  direkt proportional, falls  $y = k$  (konst.) ist, also  $y = kx$  (homogene lineare Fkt.)  
doppeltes  $x \Rightarrow$  doppeltes  $y$ , 3 faches  $x \Rightarrow$  3 faches  $y$  u.s.w.

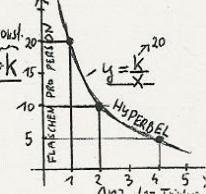
b)  $y$  ist zu  $x$  indirekt proportional:

z.B. Geg: 1 Kiste Bier (20 Flaschen)  
 $x$  ... Anzahl trinkender Personen  
 $y$  ... Anzahl der Flaschen, die aus ihr entfallen

$x$	$y$
2	$20 \cdot \frac{1}{2} = 10$
4	$20 \cdot \frac{1}{4} = 5$
$\vdots$	$\vdots$
$x$	$y = \frac{20}{x}$

es gilt:

$$xy = 20 \cdot \frac{y}{x} = 3x \cdot \frac{y}{3} = k$$



$\Rightarrow$   $y$  heißt zu  $x$  indirekt proportional, falls  $xy = k$  (konst.) ist, also  $y = \frac{k}{x}$  (Hyperbel)  
doppeltes  $x \Rightarrow$  halbes  $y$ , 3 faches  $x \rightarrow$  ein Drittel  $y$  u.s.w.

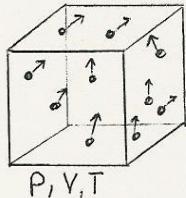
### 3. Die Zustandsgleichung idealer Gase

- WH  $1 \text{ MOL} = 6 \cdot 10^{23}$  Teilchen (Moleküle, Atome)  
↓  
LO SCHMIDT ZAHL  $1 \text{ kmol} = 6 \cdot 10^{26}$  Teilchen  
K I L O M O L

$$\begin{aligned}
 \underline{\underline{2 \cdot B \cdot 2}} \quad 1 \text{ mol H} &= 6 \cdot 10^{23} \text{ H-Atome} (\hat{=} 1 \text{ g}) \\
 2 \text{ mol H} &= 12 \cdot 10^{23} \text{ H-Atome} (\hat{=} 2 \text{ g}) \\
 1 \text{ kmol H} &= 6 \cdot 10^{26} \text{ H-Atome} (\hat{=} 1000 \text{ g} = 1 \text{ kg}) \\
 \underline{\underline{1 \text{ mol}}} \quad \underline{\underline{H_2}} &= 6 \cdot 10^{23} \text{ H}_2\text{-Moleküle} (\hat{=} 2 \text{ g})
 \end{aligned}$$

γ... „Νῦ“ (griech. n)

- ## • ZUSTANDSGRÖSSEN



Geg:  $V$  Mole eines idealen Gases:

Die Größen  $p$  (Druck)  
 $V$  (Volumen)  
 $T$  (Temperatur) } heißen zustandsgrößen  
des Gases, da sie seinen Zustand beschreiben.

- Zustandsgleichung idealer Gase:

(Herleitung: Buch!)  
DANIEL BERNOULLI 1738  
Schweizer Mathem.

$$pV = \nu \cdot R \cdot T$$

!  $p$  in  $\text{bar}$   $V$  in  $\text{m}^3$   $\nu$  in  $\text{mol}$   $T$  in  $\text{K}$  !

UNIVERSELLE GASKONSTANTE  $R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$

Temperatur  $T = \vartheta + 273$

$p = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

BEM • Aus 2 der Größen  $p, v, T$  löst sich damit die 3. Größe ausrechnen. ( $\gamma$  bekannt)

• Wichtige Gleichung in der CHEMIE

- Rechenbeispiel

Geg: O<sub>2</sub>-Flasche  $V = 20\text{ l}$   
 $t = 20^\circ\text{C}$   
 $P = 700\text{ hPa}$

Ges: 0,1 Mole O<sub>2</sub> Fleschh. 1 cm<sup>3</sup> p = 200 bar

b) Druckanstieg bei Verdopplung der Temperatur

$$9_4 \quad pV = V \cdot RT \quad | : RT$$

$$V = \frac{pV}{RT} = \frac{200 \cdot 10^5}{8,314 \cdot 293K} = 200 \frac{m^3}{mol} = 200 \frac{dm^3}{mol} = 200 \frac{dm^3}{mol} = 200 \frac{m^3}{mol}$$

$$p = 200 \text{ bar} = 200 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

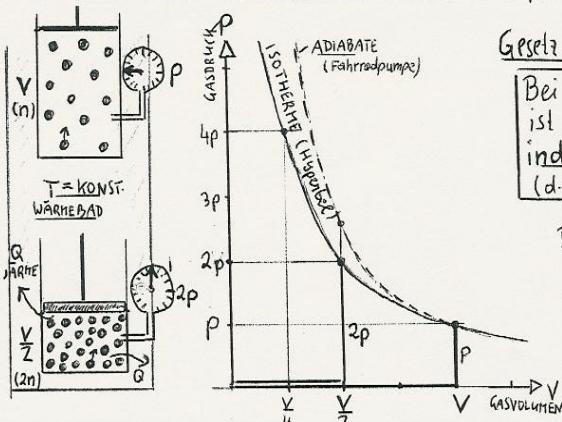
$$R = 8,314 \frac{J}{K \cdot mol}$$

$$T = 20 + 273 = 293K$$

$$b_1 \quad pV = \nu \cdot RT \quad | :V \\ p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{164 \cdot 8,314 \cdot 586}{0,02} = 400 \cdot 10^5 \text{ Pa} = \underline{\underline{400 \text{ bar}}} \\ \text{(doppelter Druck, wie zu erwartet)}$$

## 4. Zustandsänderungen, GASGESETZE (5)

Q<sub>1</sub> ISOTHERME ZUSTANDSÄNDERUNG ( $T = \text{const.}$ ;  $p, V$  variabel)  $\xleftarrow{\text{ISOS} \dots \text{gleich (G)}}$   $\xleftarrow{\text{thermos} \dots \text{Wärme (G)}}$

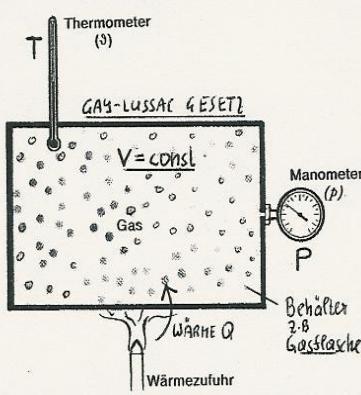


## Gesetz von Boyle & Mariotte

Bei konst. Temp. (Wärmebod, sehr langsame Änderung) ist der Gesdruck  $p$  zum Gesvolumen indirekt proportional d.h.  $pV = \text{const}$  =  $2p \cdot \frac{V}{2} = 3p \cdot \frac{V}{3} \dots$  (d.h. Halbes Gesvolumen  $\Rightarrow$  Doppelter Gesdruck)

BEIM: Das Gegenstück von isothermer Zustandsänderung heißt ADIABATISCHE ZUSTANDSÄNDERUNG, d.h. das Gefäß wird (100%) Wärme isoliert.  
⇒ Beim Zusammendrücken erhält sich nicht nur die Teilchendichten, sondern auch die Temperatur (Fahrradpumpe wird heiß), ⇒  $p$  steigt stark. Schnelle Zustandsänderung (Benzinmotor, Radpumpe) sind adiabatisch.

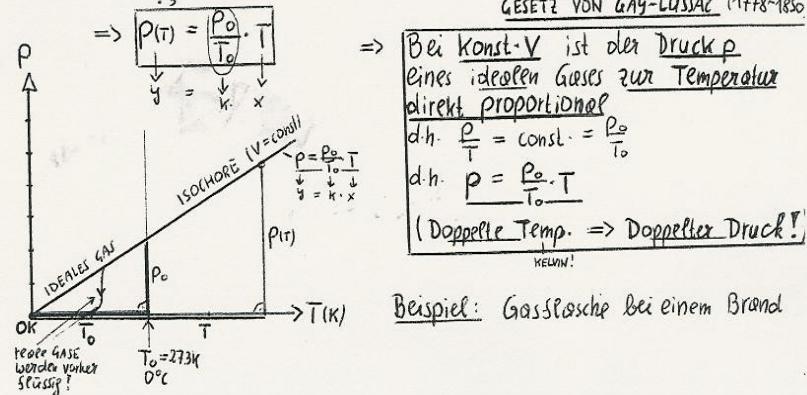
b) isochore Zustandsänderung ( $V = \text{const}$ ;  $p, T$  variabel) (GAY-LUSSAC)



Versuchsanordnung, die den Gasdruck in Abhängigkeit von der Gastemperatur zu messen gestattet.

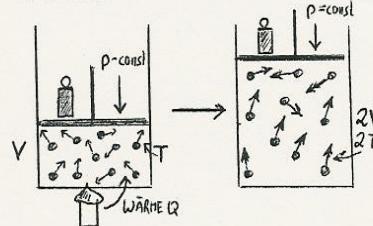
$$\frac{P}{T} = \frac{2P}{2T} = \frac{3P}{3T} = \text{const.} = \frac{P_0}{T_0} = \frac{P(273K)}{273K}$$

15. Jz. Physik  
1778-1850

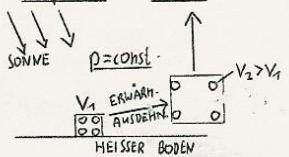


c) isobare Zustandsänderung ( $p = \text{const.}$ ;  $V, T$  variabel) (CHARLES)

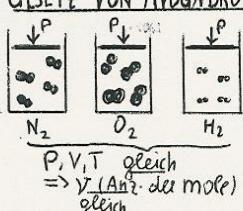
1803 - GLEICH  
BAROM - SCHÜLER



Beispiel 1 THERMIK



d) GESETZ VON AVOGADRO

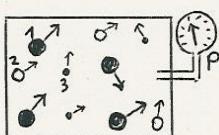


2 ideale Gase, die gleichen Druck  $p$ , gleiches Volumen  $V$  und gleiche Temperatur  $T$  haben (d.h. alle 3 Zustandsgr. gleich bestehen aus gleich vielen Teilchen (d.h. Mole))

BEM:  $\frac{pV}{RT} = \frac{N}{M} = \text{const.}$   $\Rightarrow V$  eindeutig bestimmt.

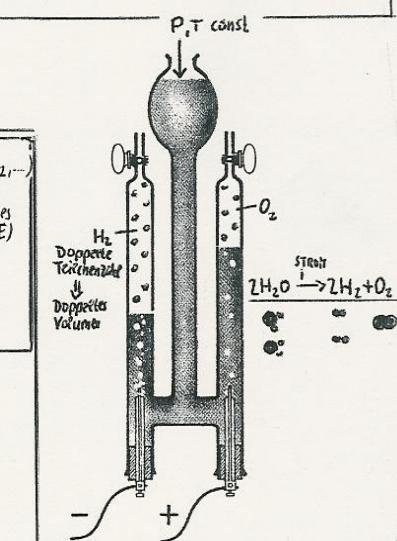
e) Gesetz von DALTON:

(1766-1844)



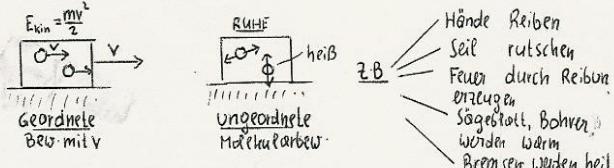
Befinden sich verschiedene Gase (z.B.  $N_2, O_2, CO_2, \dots$ ) in einem Raum, dann ist der Gesamtdruck  $P_{\text{ges}}$  gleich der Summe der Teildrücke (PARTIALDRÜCKE)  $P_1, P_2, P_3, \dots$  der Gase 1, 2, 3, ...

$$P_{\text{ges}} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$



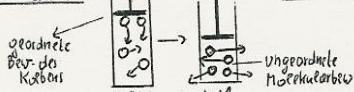
1. HAUPTSÄTZE DER WÄRMELEHRE  
(Eight version)

- Entstehung von Wärme: - Durch Reibung



- chemische Vorgänge: z.B. Verbrennungen (Oxidation) = Reaktion mit Oz  
Holz, Papier, Benzin, ... brennen  $\Rightarrow$  FEVER
- z.B. Nahrungsmittel werden im Körper oxidiert  
= „langsamtes Verbrennen“  $\Rightarrow$  Körpertemp. konst

- Kompression von Gasen: z.B. Fahrradpumpe erwärmt sich



- Elektrischer Strom z.B. im ME DRAHT stoßen + ME Ionen  $\Rightarrow$  WÄRME  
z.B. Touchsieder, E-Heizung, Glühbirne, Bügeleisen, ...

- Kernspaltung: Bei der Kernspaltung werden schwere Kerne durch Neutronen in leichtere Kerne gespalten. Welche mit großer  $v$  ( $E_{kin} = mv^2/2$  groß) wegfliegen und die Umgebung erwärmen (stößt!). z.B. Atomkraftwerk, Atom bombe (Hiroshima, Nagasaki)

- Kernfusion:  $4H \rightarrow He$

Verschmelzung leichter zu schweren Kerne  $\Rightarrow$  viel Wärme wird frei  
z.B. Sonne, Sterne, H-Bombe

- Radioaktiver Zersöll: Radioaktive Atomkerne sind instabil und zerfallen unter Aussendung schneller Teilchen ( $e^- = \beta^-$ ,  $\alpha = \text{He Kern}$ )  $\Rightarrow$  Beim Zusammenstoß mit Atomen entsteht wieder ungeordnete Molekularbew. = Wärme  
z.B. Erdwärme, Isotopenbatterien der Raumfahrt, ...

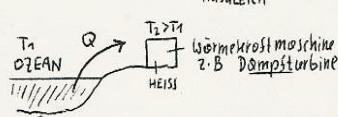
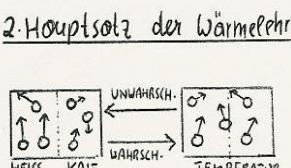
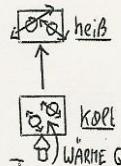


Der Rauchpilz der Bombe von Nagasaki.  
8.8.1945 (P.W.)

Thermodynamik

- 1. Hauptsatz der Wärmelehre:

Was ist Wärme  $Q$ ?  
Wärme ist eine Energiesform



- 2. Hauptsatz der Wärmelehre:

Von wo, wohin geht Wärme?  
Wärme geht freiwillig nur  
Vom heißeren zum kälteren Körper

$T_1$  HEISS  $\xrightarrow{\text{WÄRME EINBAHN}}$  KALT ( $T_2 < T_1$ )  
heißer Suppe  $\longrightarrow$  kalte Umgebung  
Umgebung  $\longrightarrow$  Whisky Cola on the rocks

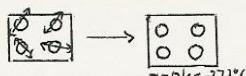
BEM: Die Umkehrung ist physik. nicht unmöglich aber extrem unwahrscheinlich

BEM: Es gibt auch kein sog. PERPETUUM MOBILE 2. Art = Maschine, die den Weltmeeren (kühler Körper) ständig Wärme entzieht und dadurch arbeitet. (Widerspruch zum 2. Hpts.)

tiesste mögl. Temp.

Kann ein Körper aus den absoluten Nullpunkt abgekühlt werden?  
Man kann keinen Körper auf den absoluten Nullpunkt abkühlen,  
(sondern sich an diesen nur asymptotisch annähern)

BEM: Zum abkühlen eines Körpers braucht man ja einen noch kälteren Körper (2. Hs)

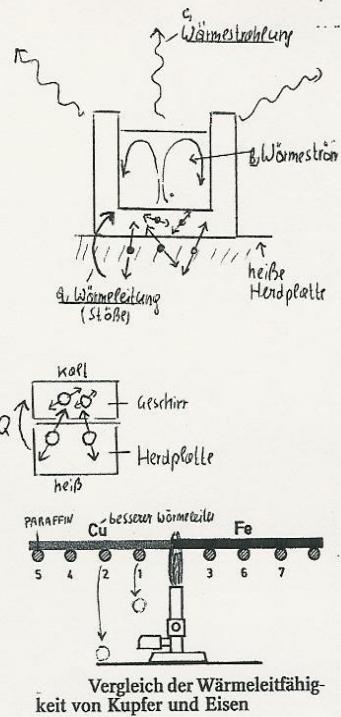


## 2. Arten der Wärmeübertragung

Wie gelangt Wärme von einem Körper auf einen anderen Körper?  
Es gibt 3 Arten der Wärmeübertragung

- Wärmeleitung
- Wärmestromung (Konvektion)
- Wärmestrahlung

215

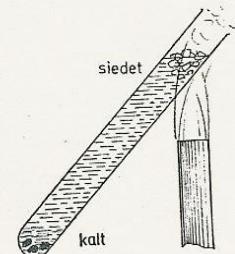


### a. WÄRMELEITUNG

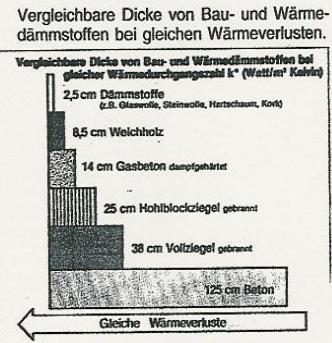
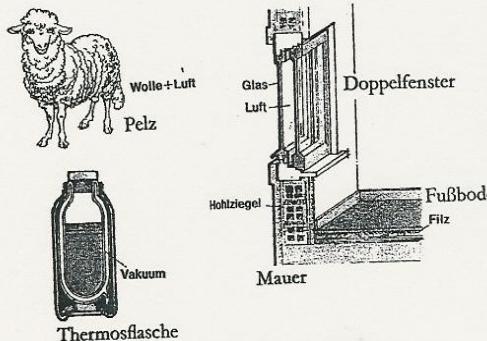
Prinzip:

Energietransport durch Stoße der Moleküle (ungeordnete Molekularbewegung), ohne Stofftransport

- Beispiele:
- Metalle sind gute Wärmeleiter, leiten aber unterschiedlich gut:
    - Metalle bei Zimmert. sieden sich kalt an
    - Spannsteile besser nicht aus Metall
    - Metalle dienen zur Wärmeableitung (Kühlrippen eines Motors)
  - Flüssigkeiten & Gase (z.B. Luft) sind schlechte Wärmeleiter.



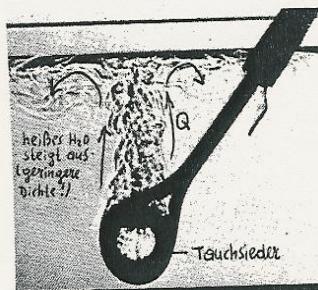
Wasser ist ein schlechter Wärmeleiter



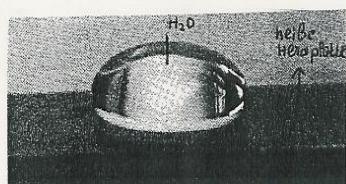
### b. WÄRMESTROMUNG (KONVEKTION)

Wärmeenergie wird durch bewegte (heisse) Stoffmenge transportiert

z.B. Heisse Luft steigt in der Sauna nach oben.



- Thermik
- Gegenstrom
- Heisser Zigarettenrauch steigt auf
- Luftströmung (Wetter)



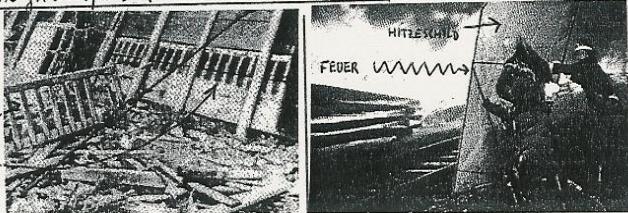
Demonstration des Leidenfrostphänomens (Dampfroster = schlechter Wärmeleiter, verhindert rasches Verdampfen)

### c. WÄRMESTRAHLUNG:

Jeder Körper strahlt bei jeder Temperatur  $\geq 0K$  Infrarotstrahlung (IR) = Wärmestrahlung ab.  
⇒ Wärmeenergiestrahlung Q

z.B. Sonne, Kochherzen, Feuer, warme Hände, IR-Lampen, ... man spürt diese Strahlung

Durch extreme Wärmestrahlung bei der Atombombenexplosion über Hiroshima 1945 wurden die Umrisse eines Zaunes in einer Holzwand eingearbeitet.



- **Heizwert:** Bei der Verbrennung (=Oxidation = Reaktion mit dem Luftsauerstoff:  $C + O_2 \rightarrow CO_2$  + Energie) von gleichen Mengen (in kg) verschiedener Brennstoffe (Kohle, Öl, Gas, ...) wird unterschiedlich viel Wärmeenergie frei.



Des: Der HEIZWERT eines Brennstoffs ist diejenige Energie, die beim Verbrennen von  $m=1\text{kg}$  (bei Gasen:  $1\text{m}^3$ ) frei wird.

$$\begin{aligned} 1\text{kWh: } & 1 \text{ Kilowattstunde ist eine in der Elektrizitätsfahrt übliche Energieeinheit} & 1\text{kWh} &= 1,9 \text{ ATS} = 14 \text{ c} \\ & 1\text{kWh} = 1000\text{W} \cdot 3600\text{s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{J} = 3,6 \text{ MJ} & 1\text{kWh} &= 3,6 \text{ MJ} \\ 1\text{kcal: } & 1 \text{ KILOKALORIE} = \text{diejenige Energie um } 1\text{ Liter H}_2\text{O um } 1^\circ\text{C} \text{ (genauer: } 14,5^\circ\text{C} \rightarrow 15,5^\circ\text{C}) & \text{TAGSTROM} \\ & 1\text{kcal} = \text{veraltete Einheit} & 1\text{NACHTSTROM} \\ & & 1\text{kcal} &= 4,2 \text{ kJ} = 4200 \text{J} \end{aligned}$$

Heizwert einiger fester und flüssiger Brennstoffe in MJ/kg (gerundet):	
Benzin	40-46
Petroleum	41-44
Heizöl	41-42
Anthrazit	31-35
Koks	28-30
Steinkohle	21-33
Spiritus	25-30
Braunkohle	19-22
Holz, trocken	12-18
Heizwert einiger gasförmiger Brennstoffe in MJ/m³:	
Wasserstoff	ca. 11
Propangas	ca. 50
Erdgas	33-54

$$\begin{aligned} \text{kWh/kg} \\ \approx 12 \text{ kWh/kg} \end{aligned}$$

Welcher Brennstoff ist preiswerter? (d.h. welcher liefert je 1€ mehr Wärmeenergie?)

HOLZ (Jahr 2002)

$$\begin{aligned} 1\text{kg Holz: } 33\text{c} &= 4,5 \text{ ATS} \xrightarrow{\text{meist}} 1\text{kg Öl: } 70\text{c} \approx 3,4 \text{ ATS} \\ \text{Heizwert: } 15\text{MJ/kg} & \xrightarrow{\text{meist}} \text{Heizwert: } 42\text{MJ} \\ 1\text{€ Liefert: } \approx 4,5\text{MJ} & 1\text{€ Liefert: } 60\text{MJ} \end{aligned}$$

⇒ Öl ist preiswerter. Man erhält je 1€ ca. 1 Drittel (33%) mehr Energie.

$$\begin{aligned} \approx 8 \text{ kWh/kg} \\ \approx 6 \text{ kWh/kg} \\ \approx 4 \text{ kWh/kg} \\ \uparrow \\ \text{ca. Tagesenergiebedarf eines Menschen} \end{aligned}$$

- **Nährwert:** Des: Der Heizwert von Nahrungsmitteln (Langsame Oxidation = „Verbrennung im Körper => Energie“) heißt NÄHRWERT des Nahrungsmittels. (bezogen auf 1kg, 100g, 1g, Stückzahl ...)



Nahrungsmittel werden im Körper verbrannt (oxidiert)

BEM: Nährwerte werden in Kalorientabellen (apt) bzw. Wertetabellen (neu) angegeben.

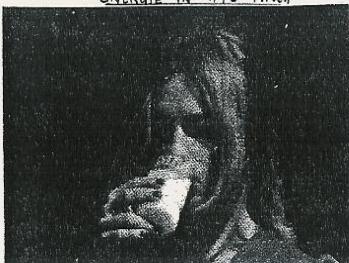
$$\begin{aligned} \text{BEM: Energieumsatz eines Erwachsenen} &= \text{Grundumsatz} + \text{Zusatzumsatz} \\ \text{ca. } \xrightarrow{\text{(tägl.)}} \frac{3 \text{ kWh/d}}{10 \text{ kg/d}} (\approx 5 \text{ ATS}) &= \frac{1,5 \text{ kWh}}{50\%} + \frac{1,5 \text{ kWh}}{50\%} \end{aligned}$$

BEM: Der Tagesenergiebedarf eines Menschen von  $3\text{kWh}$  ( $10\text{MJ}$ ,  $2500\text{kcal}$ ) entspricht dem Heizwert von 1kg Holz und würde als elektr. Energie ca.  $5\text{ATS} \approx 36\text{c}$  (pro Kilo:  $150\text{ATS} = 11\text{€}$ ) kosten. Trotzdem sind die Nahrungskosten/Tag viel höher als  $5\text{ATS} = 36\text{c}$ . Nur mit Schmalz ( $\frac{1}{4}\text{kg}$ ) läßt sich der Tagesenergiebedarf um diesen Preis decken.

Tagesenergiebedarf in:

$$\begin{aligned} \text{Bier} & 1\text{ Krügerl} = 5,5\text{L} \\ \text{Milch} & 3\text{ Liter} \\ \text{Vollkornbrot} & 1\text{ kg} \\ \text{Butter} & 30\text{ dopp} (> \frac{1}{4}\text{ kg}) \\ \text{Schmalz} & \frac{1}{4}\text{ kg} \end{aligned}$$

ENERGIE IN 1/4 L Milch



ENERGIE um 1000 Höhenmeter zu überwinden

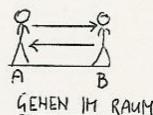
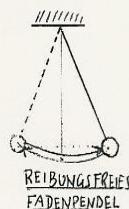
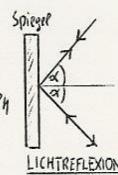


Nahrungsmittel	kJ	kWh
100 g Speck	3 550	0,99
100 g Frankfurter	1 050	0,29
100 g Rindfleisch	500	0,14
100 g Schellfisch	350	0,10
1 Hähnchen	300	0,09
100 g Vollkornbrot	950	0,26
100 g Butter	3 150	0,87
100 g Fettkäse	1 675	0,47
100 g Zucker	1 675	0,47
1 Apfel	300	0,09
100 g Reis	1 550	0,43
100 g Kartoffel	300	0,09
100 g Champignons	100	0,03
100 g Spinat	75	0,02
1 l Vollmilch	3 750	1,04
100 g Schokolade	2 300	0,64
100 g Bonbons	1 675	0,47
1 Eis mit Schlag	1 675	0,47
1 Flasche Bier	950	0,26
1 Glas Weißwein	300	0,09
(Gerundete Werte)		

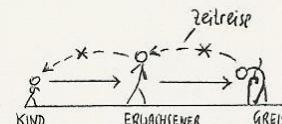
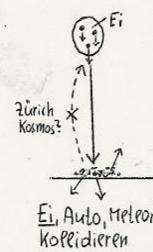
## 4. Zustandsgröße Entropie

4/5

- Reversible Vorgänge = Umkehrbare Vorgänge, d.h. Vorgänge die in beide Richtungen laufen können



- Irreversible Vorgänge = Nicht umkehrbare Vorgänge, d.h. Vorgänge die nur in 1 Richtung laufen können.



„GEHEN IN DER ZEIT“ (nur 1 Richt.)  
„ZEITREISE“ unmöglich



Rudolf Clausius (1822–1888)  
war Professor für Physik an den Universitäten von Zürich, Würzburg und Bonn.

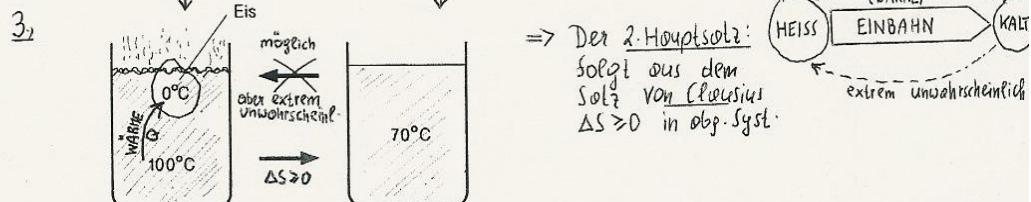
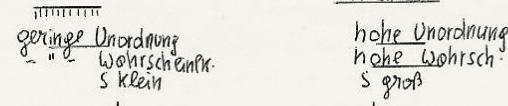
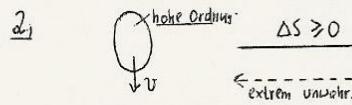
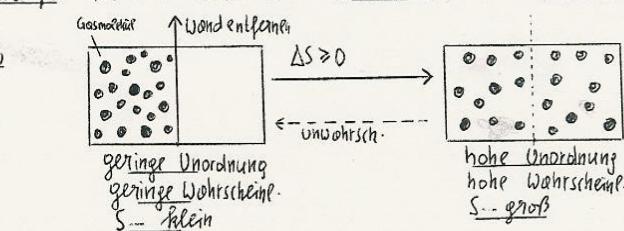
• Entropiebegriff: 1854 führte Rudolf Clausius die sog. Entropie S ein. Die Entropie ist ein Maß für die Unordnung eines Systems. Große Entropie  $\hat{=}$  Große Unordnung. Kleine Entropie  $\hat{=}$  Hohe Ordnung. Da Unordnung Wahrscheinlicher als Ordnung ist, ist die Entropie auch ein Maß für die Wahrscheinlichkeit (P. probability) dass ein System einen bestimmten Zustand einnimmt. Def:  $S = k \cdot \ln P$   $\ln P$  = natür. Logarithmus der Wahrscheinlichkeit

ENTROPIE BOLTZMANNKONSTANTE  $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

• CLAUSIUS-SATZ: Die Energie der Welt (jedes abgesch. Syst.) ist konstant, die ENTROPIE S der Welt (jedes abgesch. Syst.) strebt einem Maximum zu, d.h. sie wächst:  $\Delta S = S_{\text{später}} - S_{\text{Vorher}} \geq 0$  (Bei reversiblen Prozessen ist  $S = \text{const}$  d.h.  $\Delta S = 0$ )

- BEM: Die Entropie ist eine Größe zum Beschreiben der Verlauffrichtung von Prozessen:

- BEISPIELE

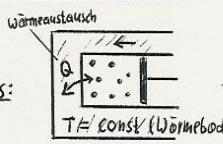


- 4, Unordnung in Zimmern, Läden .... u.s.w. wächst stets. (ohne aktives Eingreifen)
- 5, Abnutzung von Gegenständen, Aberg (Füllen, Gelenkte, Hörze ...) von Menschen. ( $\Delta S > 0$ )
- 6, Zukunft des Alls: Hohe Ordnung derzeit  $\Delta S > 0 \rightarrow$  Einheitl. Temp. von ca. 3 K (Hohe Unordnung)

## 5.) WÄRMEKRAFTMASCHINEN

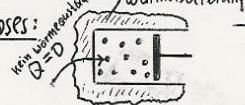
515

- Isotherme Zustandsänderung eines Gases:



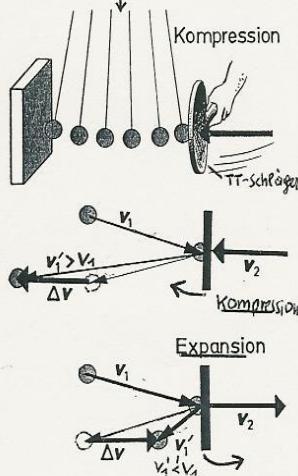
→ Zustandshd. bei  $T = \text{const} \Rightarrow PV = \text{const}$   
Nur bei unendl. länge. Vorgängen (Wärmeaustausch mit einem Reservoir d.h. Wärmebe-

- Adiabatische Zustandsänderung eines Gases:

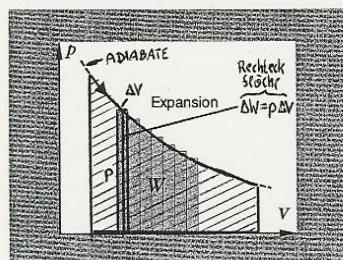
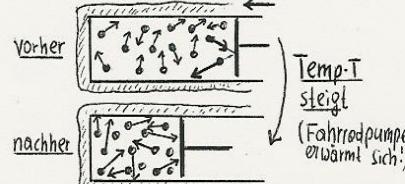


→ Zustandsänderung mit Wärmeisolierung  
d.h. ohne Wärmeaustausch mit der Umgebung  
Praktisch alle schnellen Vorgänge (Motoren)

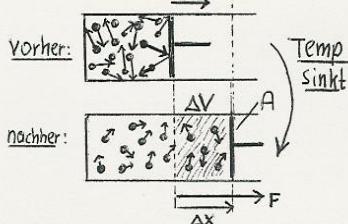
„Tischlernschlagereffekt“



### ADIABATISCHE KOMPRESSION:



### ADIABATISCHE EXPANSION:



Gas verrichtet beim Expandieren  
 $W = F \cdot s = p \cdot A \cdot \Delta x = p \Delta V$   
 $W = p \cdot \Delta V$  und kühlt dabei ab  
(z.B. DÄMPFMASCHINE)

Die vom Gas insgesamt verrichtete Arbeit  $W$   
können wir uns aus vielen kleinen Rechtecken  
zusammengesetzt denken.  $W$  ist also durch  
die Fläche unter der Kurve gegeben.

- Begriff Wärmekraftmaschine und ihr Wirkungsgrad:

Eine Wärmekraftmaschine ist eine Maschine, in der ein heißes Gas (Arbeitsgas:  $H_2O$ -Dampf, Benzin-Luftgemisch, ....) Arbeit  $W$  verrichtet indem es unter Abkühlung expandiert. Sie verwandelt (mit Verlusten) Wärmeprojekt  $Q$  in Arbeit  $W$ .

Wirkungsgrad  $\eta$ :

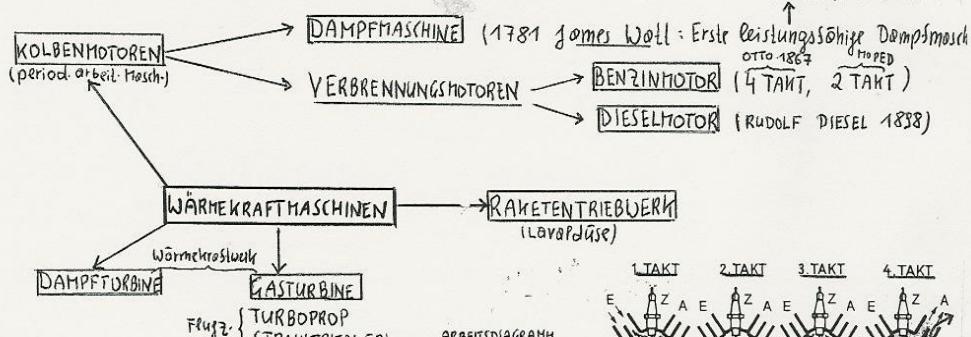
$$\eta = \frac{W}{Q} \cdot 100$$

z.B. Dampfmaschine  $\eta = 15\%$   
( $Q = 100\text{J} \Rightarrow W = 15\text{J}$  ABWÄRME = 85%)

industrielle Revolution

↑

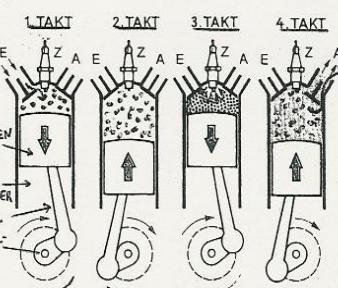
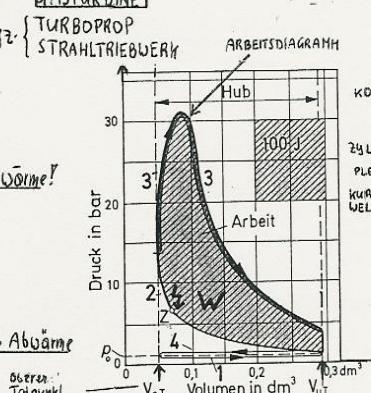
- Übersicht:



- Wirkungsgrad Tabelle:

Maschine | Wirkungsgrad (max. ca.)

Dampfmaschine	15% $\Rightarrow$ 85% Abwärme!
Dampfturbine	35%
Gästurbine	38%
4-Takt-Ottomotor	33%
2-Takt	20%
Dieselmotor	38%
Raketentriebwerk	50% $\Rightarrow$ „NUR“ 50% Abwärme



Die vier Takte eines Ottomotors.

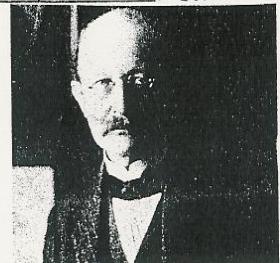
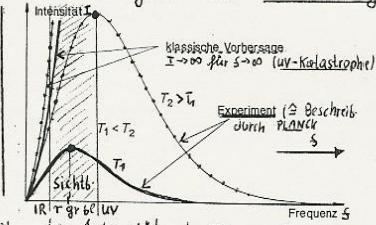
E ... Einlassventil  
A ... Auslassventil  
Z ... Zündkerze

1) Geschichte & Überblick

Die 2 bedeutendsten Theorien des 20. Jahrhunderts waren die Relativitätstheorie von A. Einstein (1905: SRT & 1915 ART), sowie die Quantentheorie, die 1900 von Max PLANCK mit der Lichtquantenhypothese (Licht besteht aus Energieportionen = Lichtquanten = Photonen) begründet wurde. Max Planck verwendete die Photonen nur als Rechentrick zur mathematischen Beschreibung der Temperaturstrahlung, glaubte aber nicht selber an deren reale Existenz. Erst Einstein mußte ihnen reale Existenz zuweisen und konnte damit 1905 den sog. Photoelektrischen Effekt (Herauslösungen von  $e^-$  aus einer Zn-Platte mit UV-Strahlung) erklären. (Nobelpreis 1921). Um 1900 war man überzeugt, daß es in der Physik nichts Wesentliches zu erforschen gäbe, weil alles Wichtige bereits entdeckt sei. (\*)



A.A. Michelson schrieb 1903: Die wichtigsten Grundgesetze und Grundtatsachen der Physik sind alle schon entdeckt ... Unsere künftigen Entdeckungen müssen wir in den 6. Dezimalstellen suchen.



Licht absorbiert von Photonen der Energie  $E = h\nu$

Max PLANCK (1858-1947) erhielt 1918 für das von ihm gefundene Strahlungsgesetz den Nobelpreis. Als einer der ersten erkannte er die Bedeutung der Relativitätstheorie.

Max Planck konnte die Abhängigkeit der Intensität der Temperaturstrahlung von der Frequenz  $s$ , in Übereinstimmung mit dem Experiment, mathematisch beschreiben. Dazu nahm er an, daß Licht aus Photonen (Energieportionen) der Größe  $E = h\nu$  besteht. (Gemäß klass. Physik wäre die Strahlungsintensität  $I$  dir. prop. zu  $\nu^2$  d.h. für  $\nu \rightarrow \infty \Rightarrow I \rightarrow \infty$  = Ultraviolettkatastrophe)

• Quantentheorie:

quantum = Menge, Portion (L)

Bestimmte phys. Größen können nicht beliebige Werte ( $\in \mathbb{R}$ ) annehmen, sind also nicht stufenlos (= kontinuierlich) veränderlich → vgl. Lautstärke einer HiFi Anlage) Sondern können nur bestimme Werte annehmen, sind also nur in Stufen (d.h. in Sprüngen) veränderlich. (vgl. Stufen einer Handpfeife).

Die Werte sind quantisiert = portioniert ⇒ Nomos Quantentheorie

z.B. Energie der  $e^-$  im Atom ist quantisiert

z.B. Strahlungsenergie von Licht:  $E = \frac{c}{\lambda} \cdot E_{\text{Photon}} = \frac{c}{\lambda} \cdot h\nu$

• Pioniere der QT: RT = Eine mon show von A. Einstein

QT: Begründet von M. Planck. Entwickelt von bedeutenden theoretischen Physikern wie A. Einstein (1905 Fotopunkt) E. Schrödinger (Schrödinger-Gleichung  $E\Psi = h\nu$ , Wohlwahrscheinlichkeitswellen, ...) W. Heisenberg (Unschärferelationen, ...) Compton, De Broglie, Fermi, ... u.s.w.

• Aussagen der QT im Überblick: (einzig)

Teilchenschwarm

Welle

Teilchen

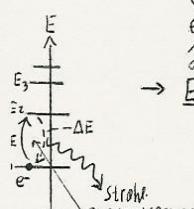
zusätzl. ges. Verhältnisse (Wohlwahrscheinlichkeitswerte)

→ Welle-Teilchen Dualismus (Licht verhält sich bei manchen Exp. als Welle, bei anderen als Teilchense)

→ Materiawellen (Wohlwahrscheinlichkeitswellen): Mikroteilchen wie z.B.  $e^-$ ,  $p$ ,  $n$ , Atome, ... verhalten sich wie Wellen d.h. sie können wie diese an Streuungen gebeugt werden o. interferieren.

Mikroteilchen verhalten sich zufällig wie ein Würfel. (Problem für Einstein mit der QT: „GOTT WÜRFE NICHT“)

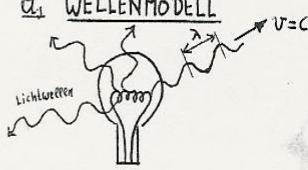
→ HEISENBERGSche UNSÄHRERELATIONEN ( $\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$ ,  $\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$ ) Ort  $x$  und Impuls  $p = mv$  einerseits und Energie  $E$  und Zeit  $t$  der Messung anderseits eines Teilchens ( $e^-$ ,  $p$ , ...). Können nicht gleichzeitig mit beliebiger Genauigkeit gemessen werden. Je genauer die eine Größe gemessen wird, desto ungenauer wird die Messung der anderen Größe.



→ Energiequantisierung: Ein gebundenes Teilchen (z.B.  $e^-$  im Atom,  $p$  im Atomkern, ...) kann nur bestimme Energie  $E_1, E_2, E_3, ...$  (Energieeigenwerte) annehmen. Seine Energie ist nur in Sprüngen (Stufen) veränderbar = QUANTENSPRÜNGE.

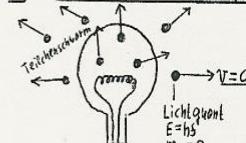
## • Modelle des Lichtes

### a) WELLENMODELL

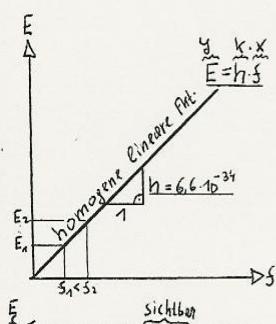


Alle Vorgänge der Lichtausbreitung (d.h. Reflexion, Brechung, Beugung, Interferenz, Streuung) lassen sich mit dem Wellenmodell beschreiben. Wie bei jeder Welle gilt zw.  $c, \lambda, s$  der zush.:  $C = \lambda \cdot s$  (Frequenz)  $\lambda$  ist indir. prop. zu  $s$  (d.h.  $s \rightarrow 2s \Rightarrow \lambda \rightarrow \frac{\lambda}{2}$ )

### b) TEILCHENMODELL (QUANTENMODELL):



Vorgänge, bei denen Licht in Wechselwirkung mit Materie tritt, d.h. Vorgänge der Lichtabsorption (Verschwinden v. Licht) und Lichtemission (Aussendung), können nur mit dem sog. Teilchenmodell (Licht als Teilchenschwarm) beschrieben, d.h. erklärt, werden



Es zeigt sich, daß die Energie in elektromagnetischer Strahlung (= Licht) in Form winziger Energiepakete (= Lichtquanten = Photonen) der Größe  $E = h \cdot s$  (PLANCK BEZIEHUNG) vorliegt.

MAX PLANCK 1900  
Planck'sches Wirkungsquantum  $h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$  (absolute Naturkonstante wie  $c_{\text{vmax}}$ )

Die Energie eines Photonen ist zur Frequenz  $s$  direkt proportional ( $s \rightarrow 2s \Rightarrow E \rightarrow 2E$ ) Kurzwellige Strahlung (d.h.  $\lambda$  klein  $\hat{=}$   $s$  groß) besteht aus E-reichen Photonen und ist daher gefährlich. Die Gefährlichkeit der elektrom. Strahlung nimmt daher von UV bis  $\gamma$ -Strahlung zu.

• Photonenmasse  $m$ : Aufgrund der Einstein Formel  $E = mc^2$  haben Photonen eine Masse  $m = \frac{E}{c^2} = \frac{hs}{c^2} \neq 0$  (ihre Ruhmasse  $m_0 = 0$ , da sie sich mit  $c$  bewegen!)

• Photonenimpuls  $p$ : Da Photonen haben  $(m = \frac{hs}{c^2})$  und sich bewegen ( $v = c$ ), können sie andere Teilchen stoßen (vgl. Billardkugeln) d.h. sie haben einen Impuls:

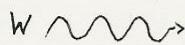
$$p = mv = \frac{hs}{c^2} \cdot c = \frac{hs}{c} = \frac{h}{\frac{c}{s}} = \frac{h}{\lambda} \quad \text{d.h.} \quad p = \frac{h}{\lambda}$$

Der Photonenimpuls  $p$  ist indir. prop. zur Wellenlänge ( $\lambda \rightarrow 2\lambda \Rightarrow p \rightarrow \frac{p}{2}$ )

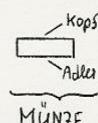
$\Rightarrow$  Licht kann daher beim Auftreffen auf Materie Druck ausüben = LICHTDRUCK.

- Anw:
- Photonentriebwerk der Zukunft = Antrieb durch Rückstoß via  $\gamma$ -Quanten erzeugt durch Positivierung von Materie & Antimaterie. (STARTREK!)
  - Kometenschweife zeigen von der Sonne weg und entstehen durch Sonnenvind ( $p, e, \alpha, \dots$ ) und Lichtdruck oder Sonneinstrahlung. Vom Kometen verdampfende Materie wird dadurch weggeschleudert

### • Welle - Teilchen Dualismus:



Vgl.



LICHT

Die Tatsache daß sich Licht (elektrom. Wellen) nicht allein durch 1 einziges Modell, sondern je nach Versuch einmal durch das WELLENMODELL und ein anderes mal durch das TEILCHENMODELL beschreiben läßt, heißt W-T Dualismus (vgl.: Münze, Umspringbild)



Dualismus: welches ist das wahre Bild?



Dualismus: Das Bild stellt sowohl eine junge als auch eine alte Frau dar. (Umspringbild)

### 3. Photoelektrischer Effekt & Compton Effekt

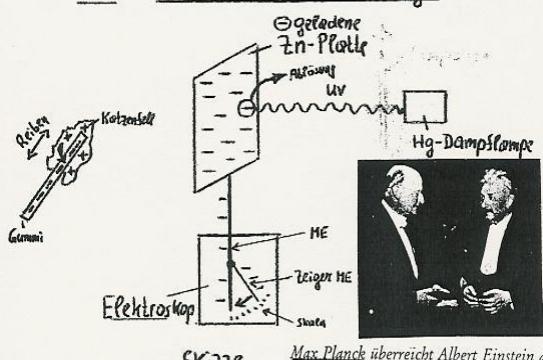
31

Der sog. (äußere) photoelektrische Effekt und der Compton Effekt sind Beispiele für 2 Effekte, die sich nur mit dem Quantenmodell (Teilchenmodell) des Lichtes erklären lassen. Für die klassische Physik waren beide Effekte unerklärbar.

#### a, Photoelektrischer Effekt (Photoelektr. Effekt)

(1905)

##### • V: Versuchsbeschreibung:



Max Planck überreicht Albert Einstein am 28. Juni 1929 die Max-Planck-Medaille.

• Tabelle: Ablösearbeit von  $e^-$  für verschiedene Metalle in Elektronenvolt eV (1eV =  $1,6 \cdot 10^{-19}$  J)

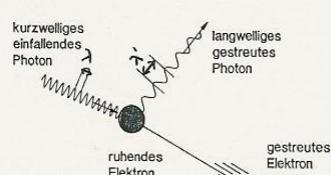
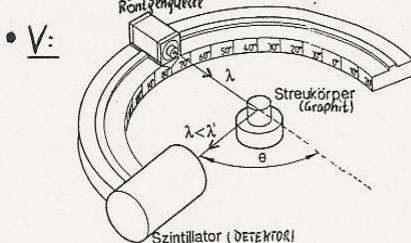
ME	Cs	No	Zn	Pl
Ablösearbeit	1,36eV	2,3eV	4,3eV	5,4eV

Sichtbares Licht  $380\text{nm} \leq \lambda \leq 750\text{nm}$  } 2-3eV  
 $3,3\text{eV}$        $1,7\text{eV}$  } Photonenenergie des sichtbaren Lichtes

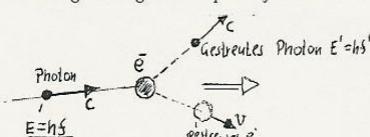
• Geschichte: Die Loslösung von ME-Elektronen durch Ur-Licht. Wer bereits von Heinrich Hertz 1887 entdeckt und von Hallwachs 1888 näher erforscht worden (⇒ Name: Hallwachseffekt). Die obige Erklärung mittels Photonen stammt von A. Einstein, wofür er 1921 den Nobelpreis erhielt. (nicht für die Relativitätstheorie!)

#### b, Compton Effekt („Photonenbillard“)

(1922)



Compton-Effekt: Energiereiche Photonen übertragen Energie und Impuls auf Elektronen.



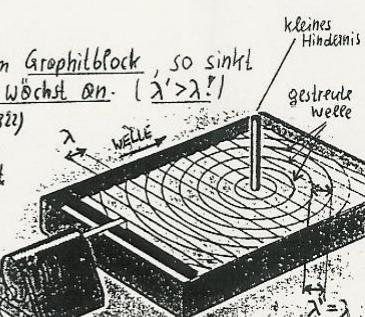
##### • Versuchsablauf & Beobachtung:

Streut man Röntgenstrahlung an einem Graphitblock, so sinkt ihre Frequenz d.h. ihre Wellenlänge wächst an. ( $\lambda' > \lambda$ !)

(Entdecker: Arthur Holly COMPTON 1922)

Die Röntgenstrahlung wird dabei an den Elektronen  $e^-$  des Graphits gestreut.

Die Vergröß. von  $\lambda$  aus  $\lambda' > \lambda$  bei der Streuung steht im Widerspruch zur klass. Physik. (es müßte  $\lambda' = \lambda$  sein)



##### • Deutung mittels Quantenmodell:

Gemäß Quantenmodell des Lichtes besteht die auf die  $e^-$  treffende Röntgenstrahlung aus Photonen der Energie  $E = hf$  und der Masse  $m = \frac{hf}{c^2} > 0$ .

Da die Photonen also Masse  $m$  & Geschw.  $v$  ( $v = c$ ) besitzen haben sie auch einen Impuls  $p = mv = \frac{hf}{c^2} \cdot c = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$  und können daher  $e^-$  wegstoßen.

Beim Stoß mit dem  $e^-$  des Graphits stoßen sie diese weg, übertragen also einen Teil ihres Impulses und ihrer Energie.

⇒ Energie d. gestreuten Photons  $E' < E$  des Stoß- $e^-$

$$E' < E$$

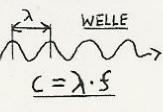
$$h \cdot f' < h \cdot f \quad | : h$$

$$f' < f \Rightarrow \lambda' > \lambda \quad (c = \lambda \cdot f)$$

d.h. die gestreute Welle hat kleinere Frequenz & größere Wellenlänge

## 4.1 Materiewellen, Teilchen-Welle Dualismus

415

• WH:  TEILCHEN-SCHWARM  
↔ o o o o ↔  
o o o o ↔  
P = h / λ } W-T Dualismus von Licht (=elektrom. Welle): Licht verhält sich bei manchen Versuchen als Welle, bei anderen als Teilchenschwarm.

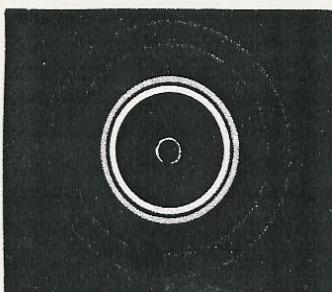
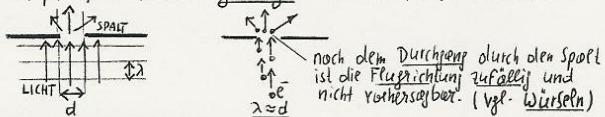
- Haben Mikroteilchen ( $p, e^-, \alpha$ , Atome, ...) auch Wellencharakter?



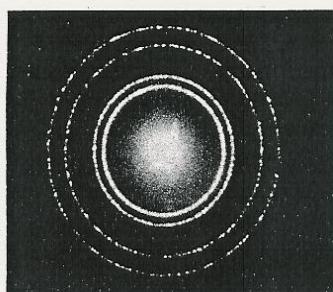
Louis Prince de Broglie (1892–1987) beschäftigte sich zunächst mit Philosophie. Unter dem Einfluss seines Bruders Maurice, der in Paris ein Privatlabor unterhielt, kam er zur Physik. Für seine Doktorarbeit erhielt er 1929 den Nobelpreis.

• 1923 stellte der französ. Physiker de Broglie in seiner Doktorarbeit die Hypothese auf, daß nicht nur Licht einen Wellencharakter hat ( $p = \frac{h}{\lambda} \Leftrightarrow \lambda = \frac{h}{p}$ ), sondern daß auch Klassische Teilchen ( $e^-, p, n$ , Atome, ...) einen Wellencharakter haben sollten, d.h. z.B. an kleinen Öffnungen gebroigt werden sollten. Die ihnen zugeordneten (abstrakten) Wellen heißen Materiewellen (= Wahrscheinlichkeitswellen, de Broglie Wellen). Der Zsh. zwischen dem Impuls  $p = mv$  eines Teilchens und der Wellenlänge  $\lambda$  der ihnen zugeordneten Welle ist der selbe wie bei Licht:  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$  de Broglie Beziehung

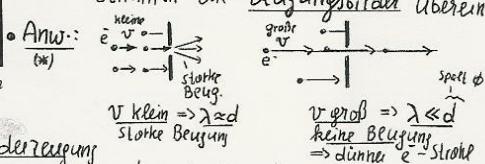
je größer  $v$  desto kleiner  $\lambda$  der Materiewellen. (\*)  
Beim Durchgang durch kleine Öffnungen ( $d \approx \lambda$ ) werden also  $e^-, p, n, \dots$  ebenso gebroigt wie Licht (Photonen):



Die Beugung von Röntgenstrahlen an einer Aluminiumfolie... ...gleicht der Beugung von Elektronen an derselben Folie.



• 1927: In diesem Jahr gelang den beiden amerikan. Phys. DAVISSON & GERMER der experimentelle Nachweis, daß  $e^-$  possender  $v$  genau so gebroigt werden (an einem Ni-Kristall), wie Röntgenstrahlen, d.h.  $e^-$  verhalten sich wie Wellen. Bei gleicher Wellenlänge  $\lambda_e = \lambda_{\text{Röntgen}}$  stimmen die Beugungsbilder überein.



Zur Erzielung eines dünnen Elektronenstrahls für die Bildherstellung beim Fernsehen müssen die  $e^-$  große v haben, da sie nur dann nicht an dem Spalt, der seine Dicke begrenzt soll, gebroigt werden.

## 5. Heisenbergsche Unschärferelationen & Atombau

1927



Werner Heisenberg: 1901 bis 1976, Nobelpreis 1932 (chinesische Tuschnielszeichnung, Photo Deutsches Museum München)

Ort  $x$  & Impuls  $p = mv$  eines Teilchens z.B.  $e^-, p, n, \dots$  einerseits und Energie  $E$  und Zeit  $t$  der Messung andererseits können nicht gleichzeitig beliebig genau gemessen werden. Je genauer man eine Größe z.B.  $\Delta x$  misst, desto ungenauer wird die Messung der anderen Größe  $\Delta p = mv$ . Ungewissheitssrelationen:

a) Orts-Impuls-Ungewissheitssrelation:  $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$  Ortsunschärfe = Ungenauigkeit über den Ort  
Impulsunschärfe = Ungenauigkeit über den Impuls  $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 10^{-34} \text{ Js} \pm 0$  REDUZIERTE PLANCKSCHEN WIRKUNGSKONSTANTE

d.h. das Produkt aus Ortsunschärfe & Impulsunschärfe hat einen Mindestwert von  $\hbar = 10^{-34} \text{ Js} \pm 0$

- $\Delta x = 0$  (Ort genau bekannt) und  $\Delta p = 0$  (Impuls genau bekannt) ist nicht möglich:  $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar \quad 0 \geq \hbar \text{ s.A.}$
- $\Delta x \rightarrow 0$ :  $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$  d.h. Ort x genau bekannt  $\Rightarrow$  Impuls p völlig unbek.
- $\Delta p \rightarrow 0$ :  $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$  d.h.  $\Delta x \rightarrow \infty$  (aus  $\Delta x = 0$ )  $\Delta p = 0$  (aus  $\Delta p \rightarrow 0$ )  $\Rightarrow$  Energie E genau bekannt  $\Rightarrow$  Zeit t genau bekannt.

b) Energie-Zeit-Ungewissheitssrelation:  $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$

## 5. Atombau

51

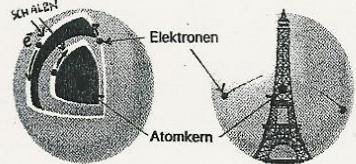
Alle Materie ist aus kleinsten Teilchen, sog. Atomen ausgebaut. (DEMOKRIT: Atomos = untelbar).

Diese bestehen aus einem Atomkern (Protonen + Neutronen) mit ca.  $10^{-15} \text{ m} \varnothing$  und einer Elektronenhülle (aus Elektronen  $e^-$ ) mit ca.  $10^{-10} \text{ m} = 10000000000 \text{ nm} \varnothing$  d.h. Kerndurchmesser  $\approx \frac{1}{100000} \text{ H\"ullendurchmesser}$ . Da  $m_p \approx m_n \approx 2000 m_e$  ist

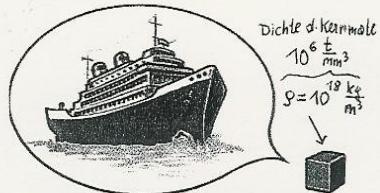
$\Rightarrow$  Fast die gesamte Masse eines Atoms ist im Kern konzentriert.

Atome besitzen gleich viele  $p$  (+) wie Elektronen  $e^-$  (-), sind also noch neutral. (Ist das nicht der Fall, heißen sie IONEN).

Im Periodensystem der chemischen Elemente sind die Atome nach wachsender Ordnungszahl  $z = p\text{-Zahl} = e^-$ -Zahl von  $z=1$  (H),  $z=2$  (He) bis ca.  $z=100$  geordnet d.h. es gibt ca. 100 verschiedene Atomsorten.



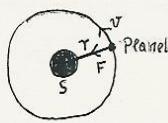
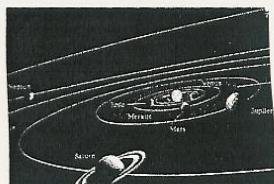
**Schalenmodell und Größenvergleich:**  
Wenn das ganze Atom als gigantische Kugel von über 300 m Durchmesser gedacht wird, so daß der Eiffelturm darin Platz hätte, dann säße im Zentrum der erbengroße Kern, und außen, gegen den Rand der Kugel zu, würden stecknadelkopfgroße Elektronen um ihn herumflitzen.



- **Atommodelle:** Ein Modell ist ein Abbildung der Wirklichkeit, welches diese Möglichst gut beschreiben soll. Das bekannteste (unter mehreren) Atommodell ist das von Ernest Rutherford (1871-1937) entwickelte und von Niels Bohr (1885-1962) modifizierte Atommodell, welches das Atom mit einem Miniplaneten System vergleicht.

### Vergleich:

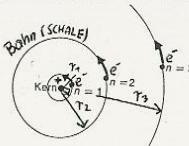
#### Planetensystem



- Zentrum: Sonne (99,8% Gesamtmasse)
- Gravitationskraft hält Planeten aus der Bahn
- Ø Sonnensystem (bis zu Pluto)  $\approx 10^4 \varnothing$  d. Sonne
- Für einen Planeten sind beliebige Bahnradien  $r$  erlaubt.

### Unterschied:

#### Bohrsches Atommodell



Niels Bohr (Nobelpreis 1922)

### 3 Kritikpunkte am Bohr-Modell:

(1) Moleküle der Luft ( $\text{N}_2, \text{O}_2, \text{CO}_2, \dots$  → bestehen aus Atomen) stößen Milliarden mal je s mit rd.  $500 \text{ m/s}$  Geschw. zusammen. Ein Miniplaneten System (Atom) müßte zusätzl. werden, d.h. die  $e^-$  (= Protonen) müßten abgerüttelt werden.

(2) Ein auf einer Kurve (Kreis) sich bewegendes  $e^-$  müßte gemäß dem Prinzip: Beschleunigte Ladungen strömen, elektrom. Strahlung abgeben (bei geladen Teilchen z.B.  $e^-$  in Kreisbewegungen wird dies beobachtet) und durch den Energieverlust in den Kern stürzen. Dies wird aber nicht beobachtet.

(3) Ein mit konstanter  $v$  (d.h.  $p = mv$  genau bekannt) auf einer bestimmten Bahn bewegtes  $e^-$  widerspricht der Heisenbergschen Unschärferelation  $\frac{\Delta x \cdot \Delta p}{\hbar} \geq \hbar = 10^{-34} \text{ J s}$  d.h.  $0 > 10^{-34} \text{ J s}$  (es wären Ortsunscharf  $\Delta x = 0$  und Impulsunscharfe  $\Delta p = 0$ )

### Quantenmechanisches Atommodell = Orbitalmodell (Schrödinger, Heisenberg, ....)

→ Von den  $e^-$  kennt man keine Bahn, sondern nur Raumgebiete exakter Ausenthaltswahrscheinlichkeit, sog. ORBITALE (Berechnung mittels Schrödinger-Gleichung)

$E \psi = h \nabla^2 \psi$   
Erwin SCHRÖDINGER (1887-1961) arbeitete bis 1921 in Wien. Danach war er in Zürich tätig, wo er seine grundlegenden Arbeiten zur Wellemechanik schrieb, für die er 1933 den Nobelpreis erhielt. Als Nachfolger von Max Planck kam er 1927 nach Berlin, von 1936 bis 1938 war er in Graz tätig, danach in Irland. 1956 kehrte er nach Wien zurück.

