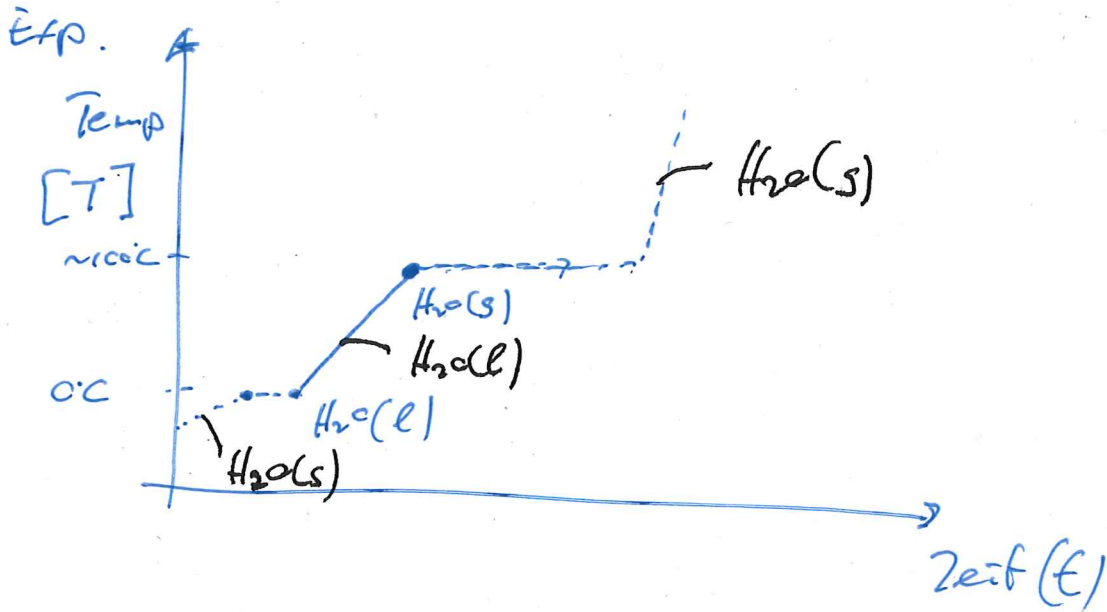
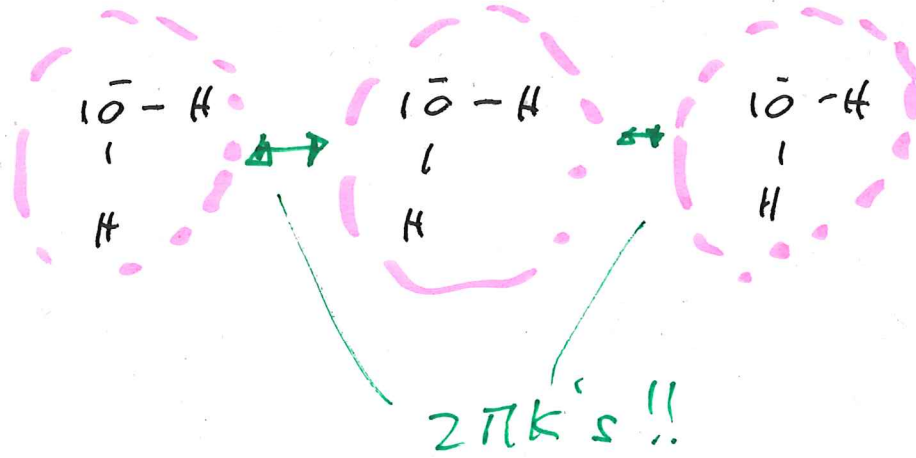
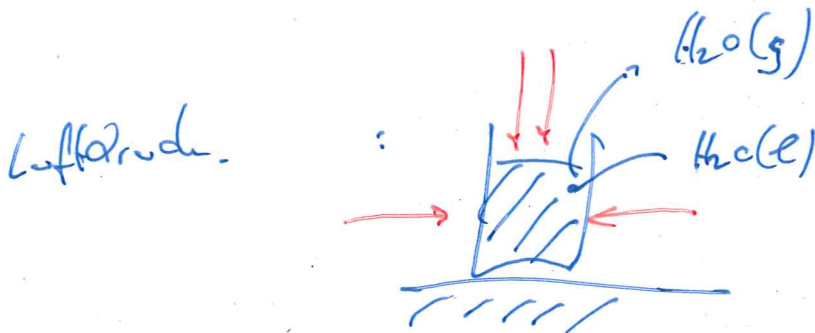


"ZMK"

zwischen -  
molekulare -  
Kräfte



Siedepunkt (H<sub>2</sub>O) = 100°C



Exp. gleiche Masse

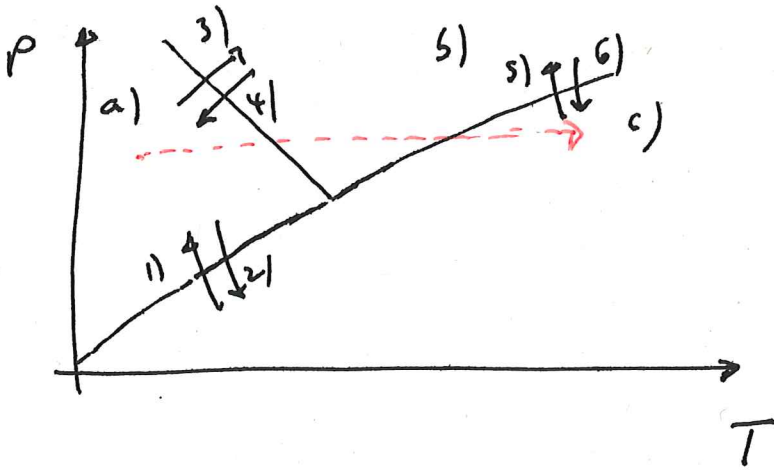
Eis + Wasser (siedend)

(0°C) (100°C)

Mischung ~ 10°C (!!!)

Exp. mit NaCl

Aggregatzustand (H<sub>2</sub>O)



a) fest

b) flüssig

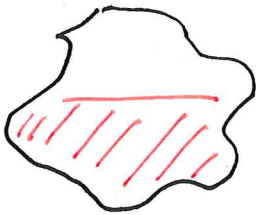
c) gasförmig

- 1)
- 2)
- 3) "gefrieren"
- 4) "erstarren"
- 5) "sieden"
- 6) "verdampfen"

1.1. Entscheidung fest / flüssig / gasförmig

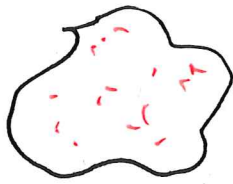
"welche Eigenschaft" ?

- Bruchstücke lassen sich nicht zusammenfügen
- Form nicht vordefiniert bei Flüssigkeiten + Gasen  
(Bsp. Wasser aus Glas ausleeren)



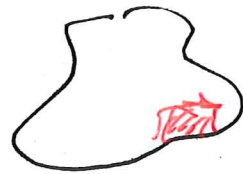
flüssig

ZITK -ittel



gasf.

ZITK klein



fest

ZITK groß

①

1.2. Größenordnung der Kräfte

• Bindungskräfte, z.B. C-H  
C-C

~  $300 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

• Kräfte zwischen den  
Molekülen

$E = \frac{3}{2} \cdot \frac{R}{N_A} \cdot T$

R: Gas konstante  
( $8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ )

$N_A$ : Avogadro  
( $6.022 \cdot 10^{23}$ )

T: Temp.



Energie in 1 Mol, 300K

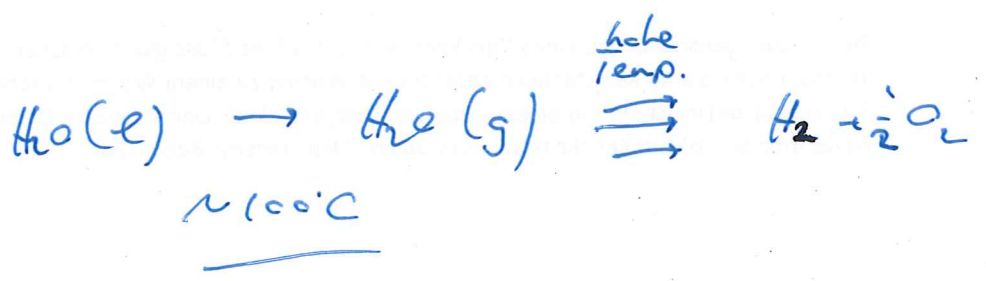
$E = \frac{3}{2} \cdot \frac{8.314}{6.022 \cdot 10^{23}} \cdot 300 \cdot 6.022 \cdot 10^{23}$

~ 3500 J

= 3741 J

≅  $3.7 \text{ kJ}$

z.B. Wasser erhitzen



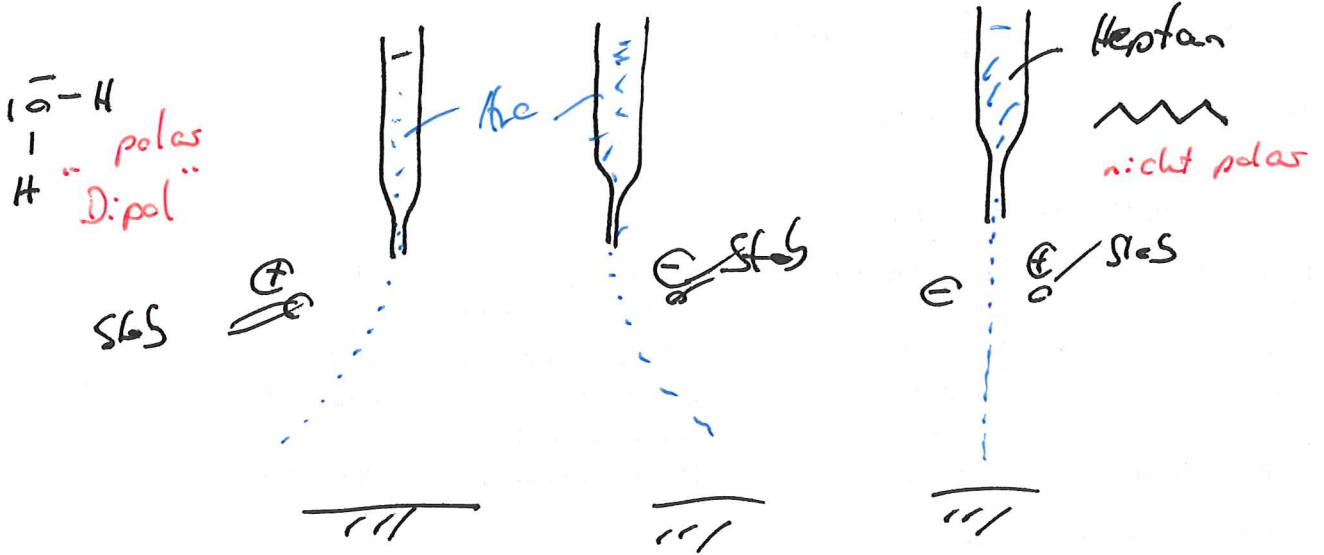
2

1.3.

Polar / nicht polar ?

1.4

Exp. Ableitung mit  $H_2O$

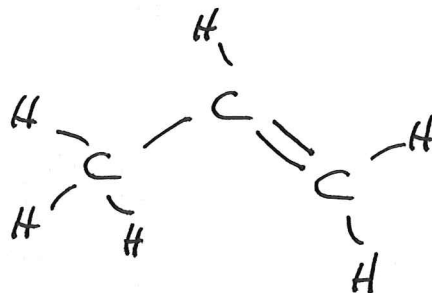
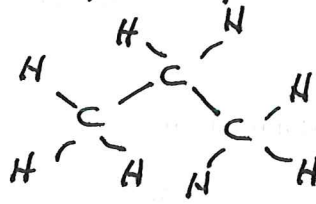


1.3.1.

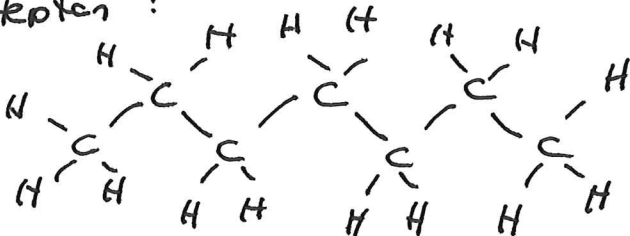
Skelettformelschreibweise

Idee:  $\text{C}, \text{H}$  - Bindungen werden nicht gezeichnet!  
 • jede Endpunkt / Knicke entspricht einem C

Leitformel:



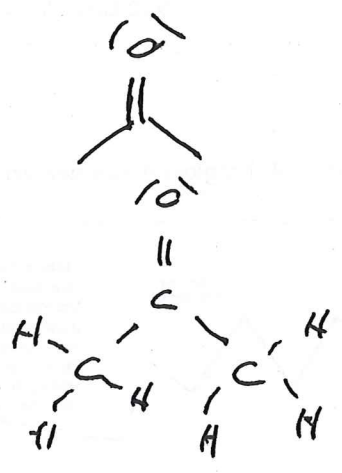
Heptan:



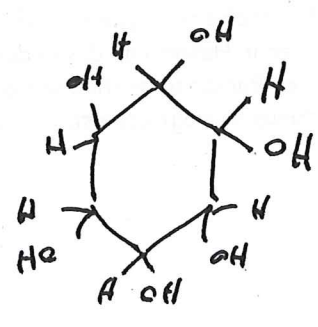
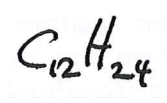
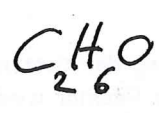
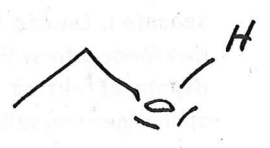
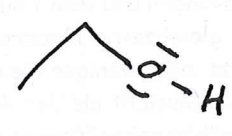
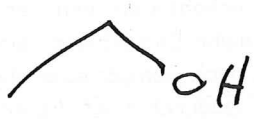
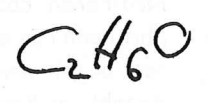
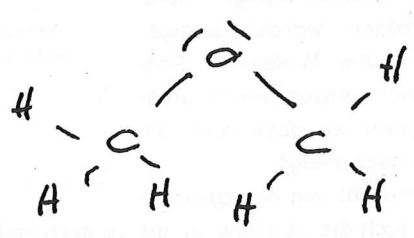
②

9.4

Bsp.



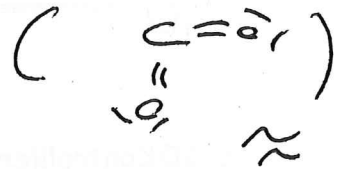
Summenformel ?



④

7.11

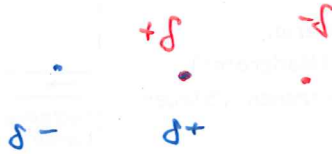
• CO<sub>2</sub>



$\angle \text{OCC} = 180^\circ$

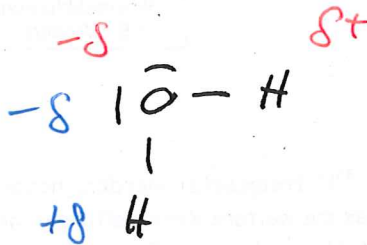
EN(O) = 3.4

EN(C) = 2.6



→ keine resultierende Kraft  
→ Molekül nicht polar

• H<sub>2</sub>O



$\angle \text{HOH} = 110^\circ$

EN(O) = 3.4

EN(H) = 2.2



—



→ keine resultierende Kraft

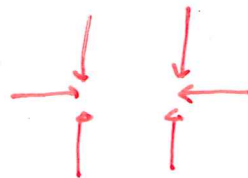
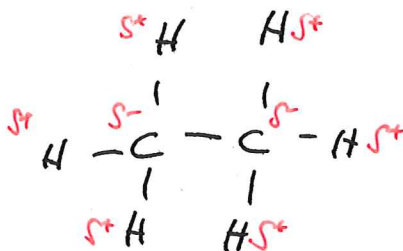
→ Molekül ist polar



$\angle \text{HOH} \neq 180^\circ$



?!:



nicht polar!

nicht polar

|| C-H-Bindungen → können für die Frage polar (nicht polar verschlüsselt) werden



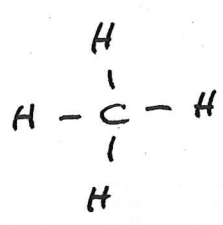




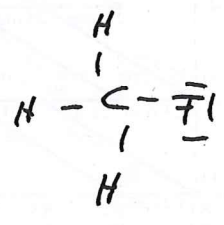
"Je mehr ZTK's vorhanden sind, desto größer sind diverse physikalische Eigenschaften"

(z.B. Siedepunkt, Schmelzpunkt, Zähflüssigkeit etc.)

welches Molekül hat den höheren Siedepunkt? (Sdp)

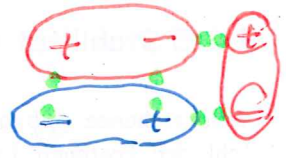


nicht polar



polar : permanenter Dipol

Dipol-Dipol-Wechselwirkung



~~Sdp(A) < Sdp(B)~~

Sdp(A) = Sdp(B)

Sdp(A) > Sdp(B)

Exp. : Sdp(A) = ~ -160°C  
 Sdp(B) ~ -80°C

Exp.



Aceton

Sdp. 58°C

poler

Dipol-Dipol-WW



Heptan

!! 98°C ?!

nicht poler

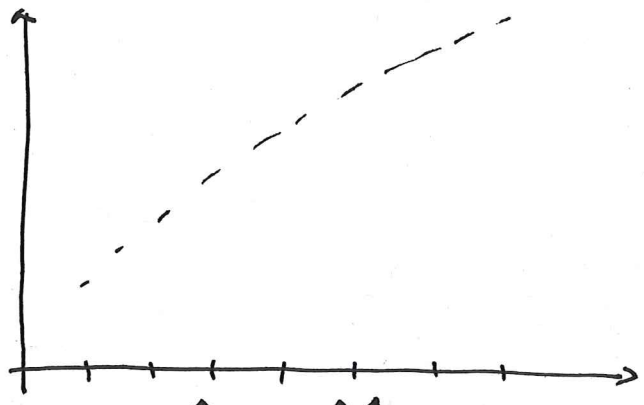
→ keine Dipol-Dipol-WW

→ Experiment in Widerspruch zur aktuellen Theorie ... :-)

→ eine weitere Zirkel muss her!

### 1.4. Van-der-Waals-Wechselwirkung (VdW)

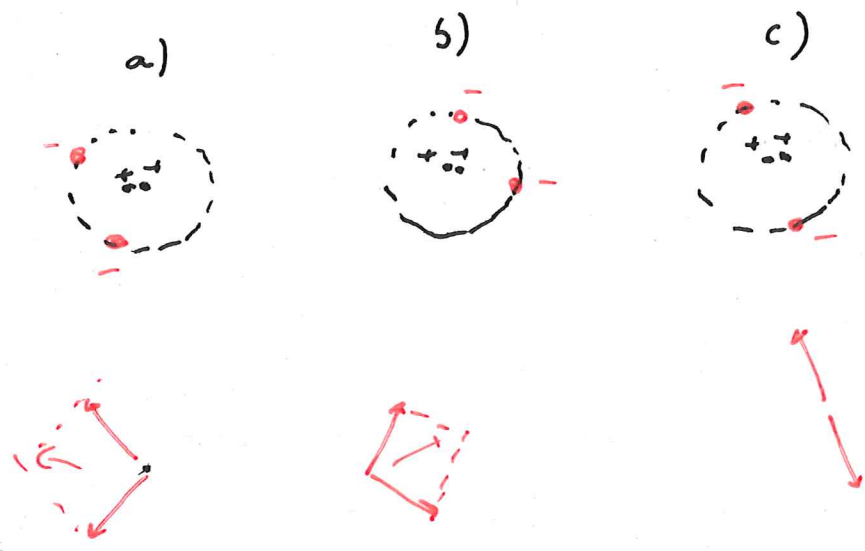
Smp



Anzahl C-Atome der Alkan-Kette

VdW.

He



häufig

Kräfte ~~aber~~ haben sich auf  
sellen

kurzfristig Dipole (nicht permanent!)

→ kann weitere (z.B.) He-Atome beeinflussen → induzierte Kräfte

keine  $e^-$  → keine VdW!

oder je mehr  $e^-$  desto mehr VdW!

Anzahl Ww vs. Anzahl Atome



2 Atome  $\rightarrow$  1 Ww.



3 "  $\rightarrow$  3 Ww. = 2+1



4  $\rightarrow$  6 Ww. = 3+2+1

⋮  
⋮  
⋮  
n

$$\frac{n \cdot (n-1)}{2} \approx n^2$$

(Treppen tre ... Moleküle ?

$\sim 0.1 \text{ g}$

1 mol = 18 g

$\frac{1}{180}$  mol = 0.1 g


$\rightarrow \sim 3.34 \cdot 10^{21}$  H<sub>2</sub>O - Moleküle

$\sim 10^{42}$  Ww !!

(H<sub>2</sub>O-Tropfen  
pro mol  $\sim 60$ !)

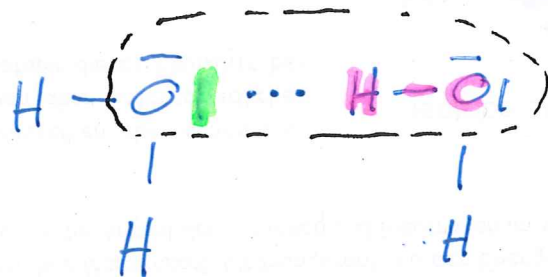
# 1.5 Wasserstoff - Brücken - Bindung

" FÖHN "

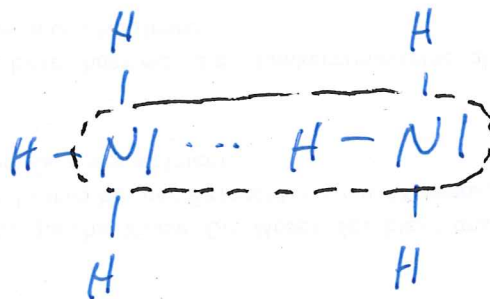
- **H**-Atom ... kovalent gebunden an eines der Atome
- **F|O|N** ... mit einem ...
- freien Elektronenpaar : 

linear ! ( $\pm 20^\circ$ )

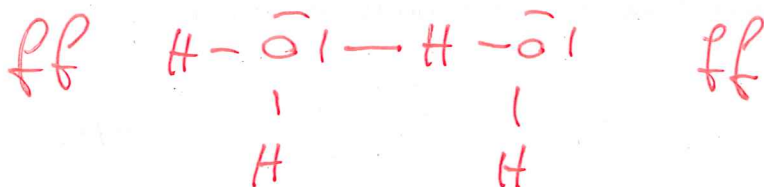
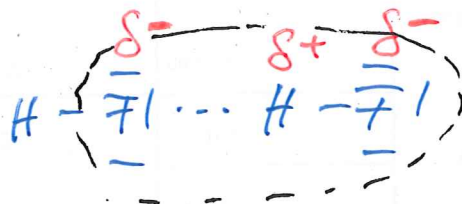
H<sub>2</sub>O / H<sub>2</sub>O

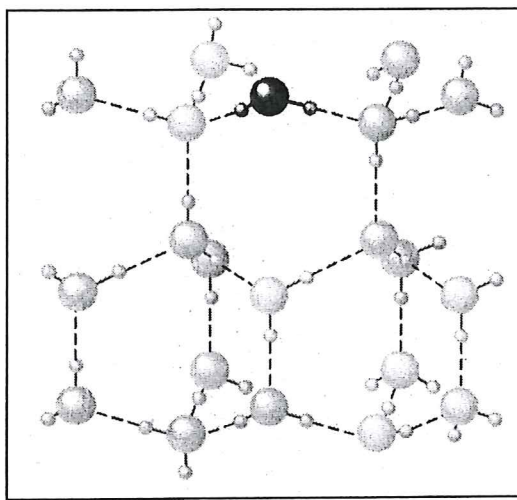
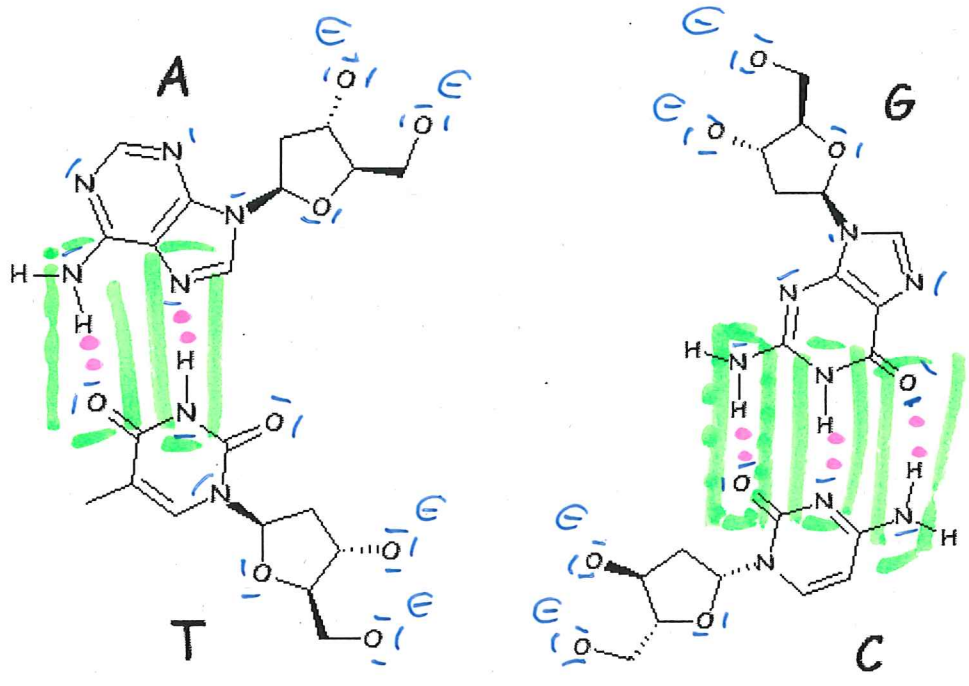


NH<sub>3</sub> / NH<sub>3</sub>

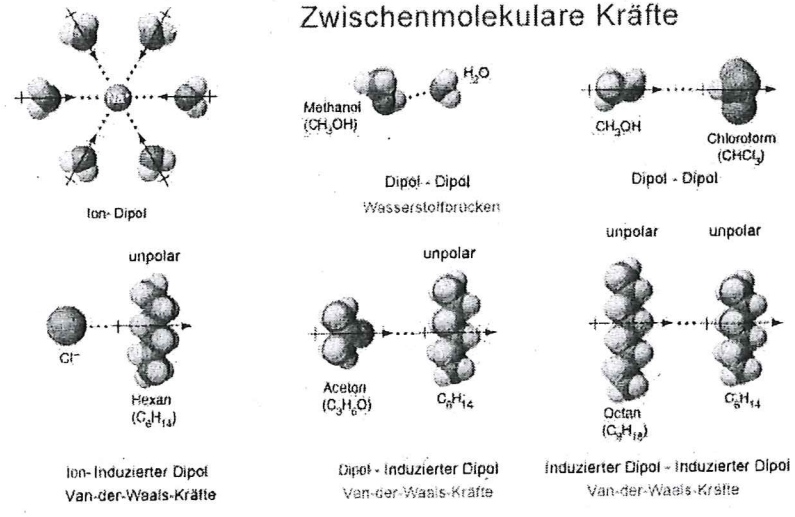


HF / HF



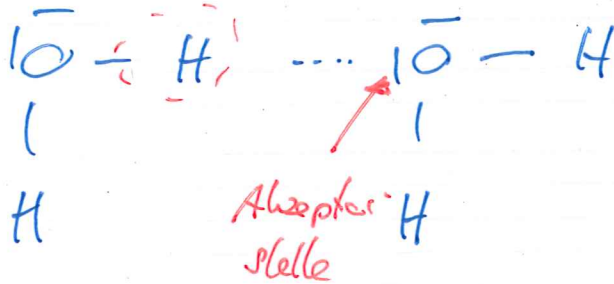


### Zwischenmolekulare Kräfte



# Wasserstoff-Brücken-Bindungen

Donorstelle

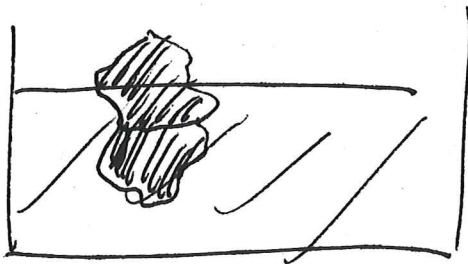


• flüssiges Wasser vs. festem Wasser (Eis)

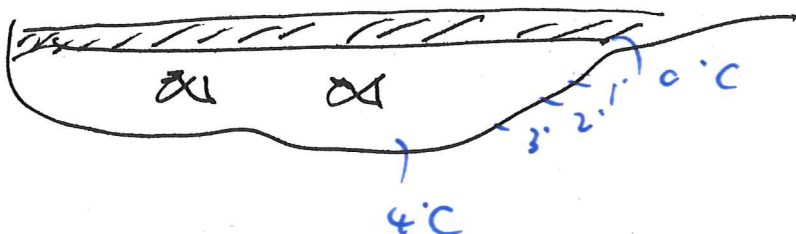
$$\text{Volumen (flüssig)} < \text{Volumen (fest)}$$

$$\text{Dichte} = \frac{m}{V}$$

→ Dichte (flüssig) > Dichte (fest)

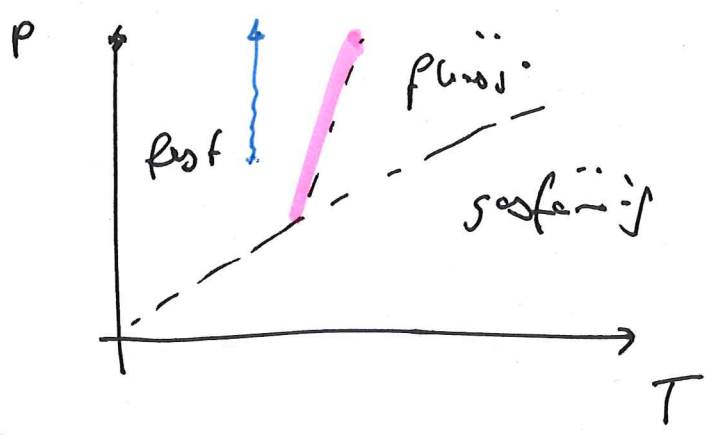


Exp.

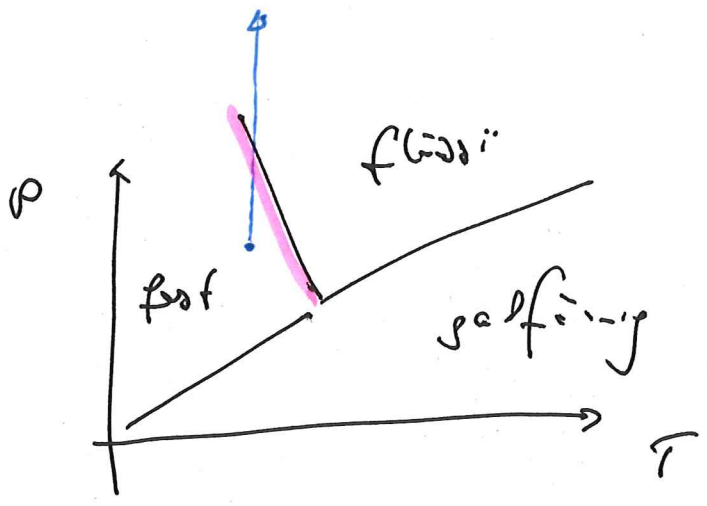




Anomalie / Anomalität des Wassers



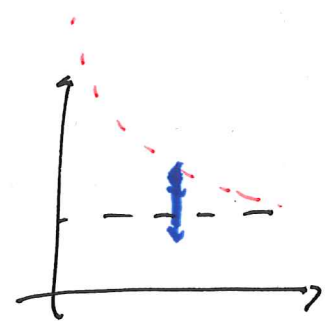
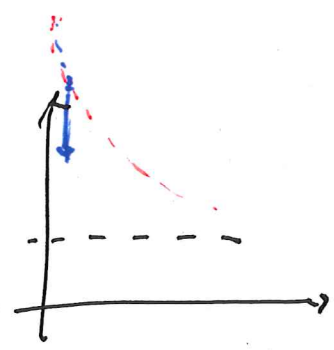
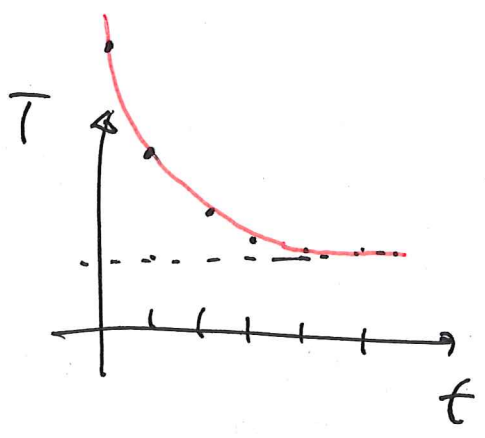
üblicher Stoff  
 → B.  $CO_2$ , Cu  
 Eisen



$H_2O$ !

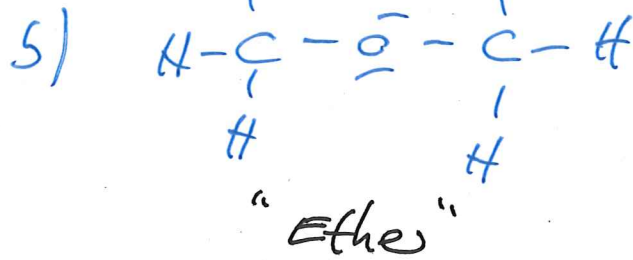
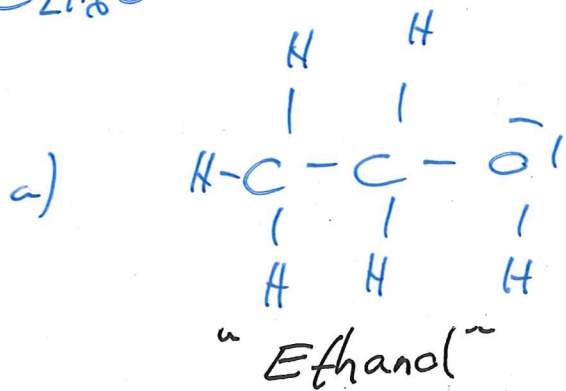
Schlittschuhfahren

Abkühlung Kaffee / Milch ? kalt



23.11

•  $C_2H_6O$

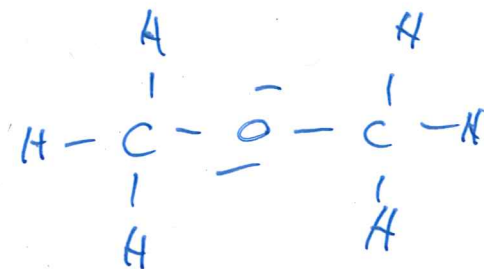
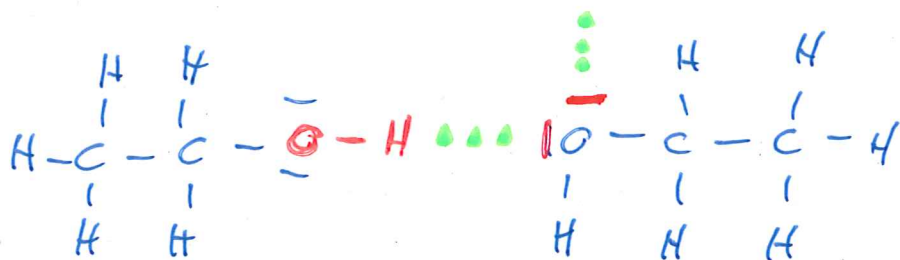
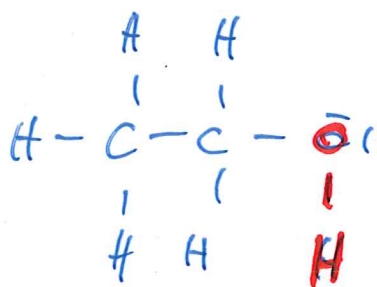


	a)	b)
VdW	26e <sup>-</sup>	26e <sup>-</sup>
Dipol-Dipol	ja	ja
H-Brücken	ja	nein

C: 6e<sup>-</sup>

H: 1e<sup>-</sup>

O: 8e<sup>-</sup>



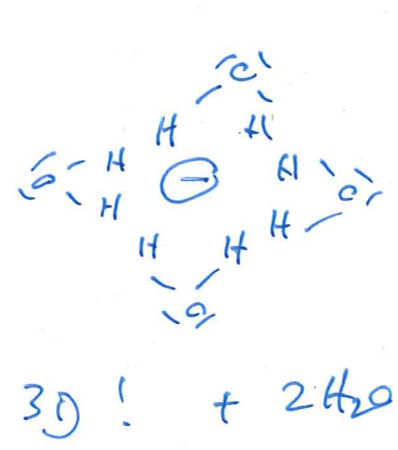
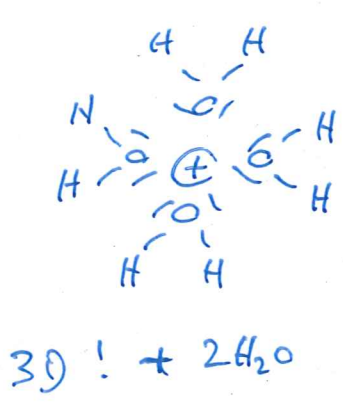
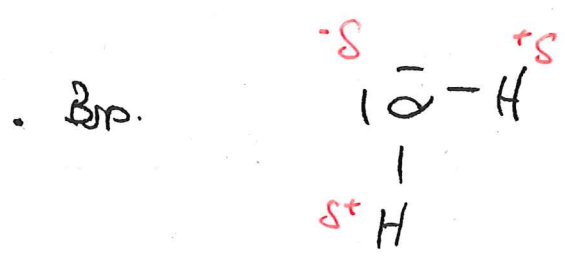
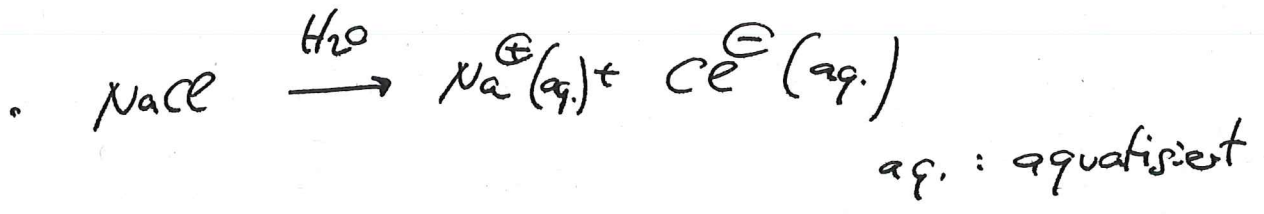
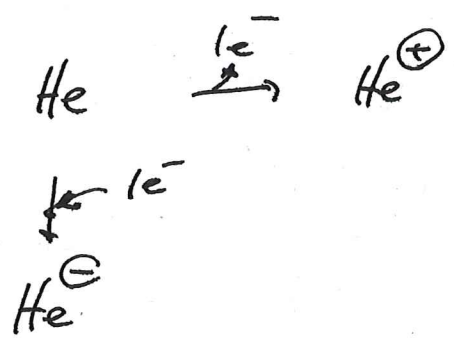
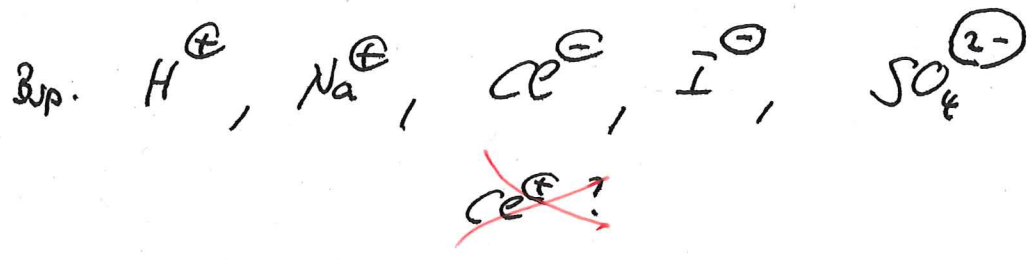
Sdp(a) > Sdp(b)

Exp. ~ 78°C      ~ 40°C

1.6. Ion - Dipol - Wechselwirkung

Ion ... geladenes Teilchen

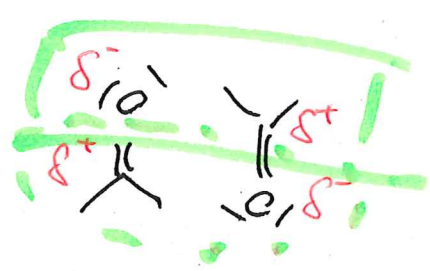
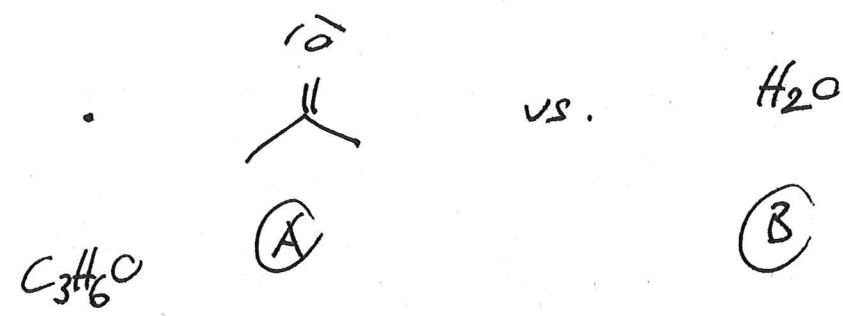
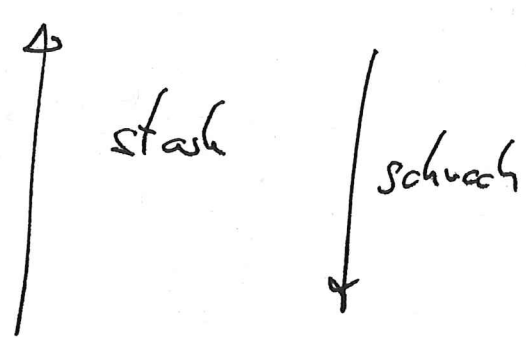
positiv geladen : Kation  
 negativ geladen : Anion



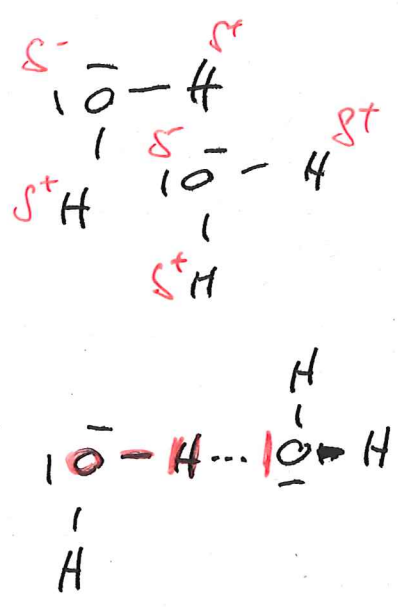
total  
 ca. 6 H2O  
 Sphäre  
 pro Ion

übliche Rangliste der ZPK's

- ① Ion-Dipol-Wu.
- ② H-Brücken
- ③ Dipol-Dipol
- ④ VdW



	A	B
Ion-Dipol	x	+
H-Brücken	x	✓
Dipol-Dipol	✓	✓
VdW	32e <sup>-</sup>	10e <sup>-</sup>



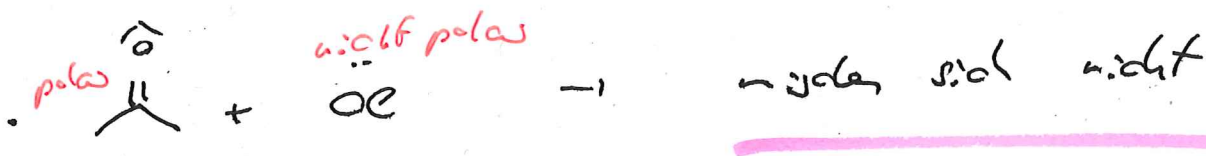
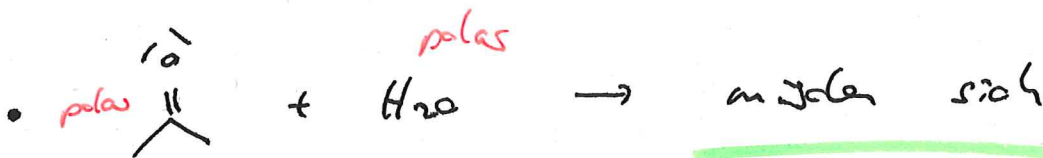
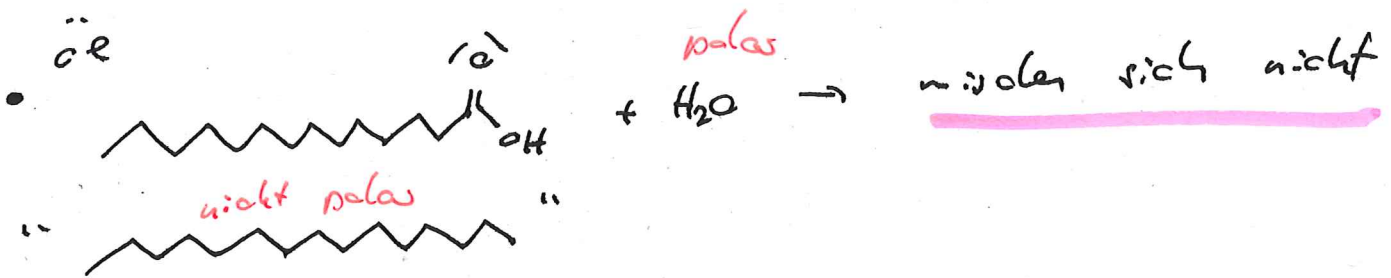
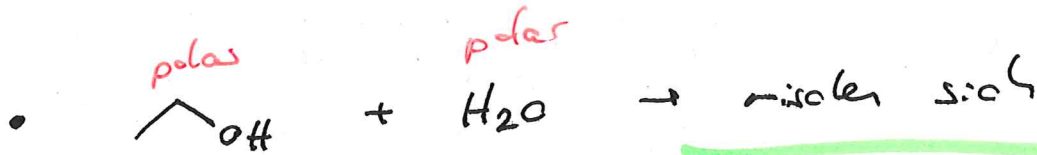
ZPK's(A) < ZPK's(B)

⇒ S<sub>dp</sub>(A) < S<sub>dp</sub>(B)

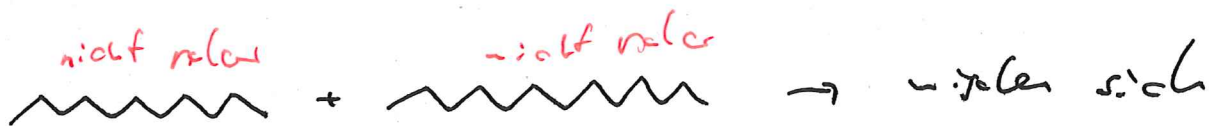
Erp. 56°C < 100°C

Weitere Anwendungsgebiete des Zirk's

"Mischbarkeit" → zwei Flüssigkeiten! → eine Phase, zwei Phasen



"Regel" Frage: ist das Molekül polar / nicht polar



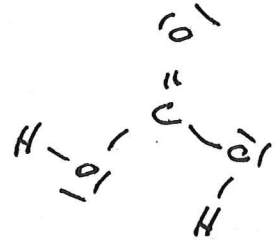
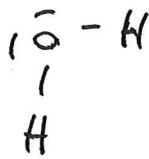
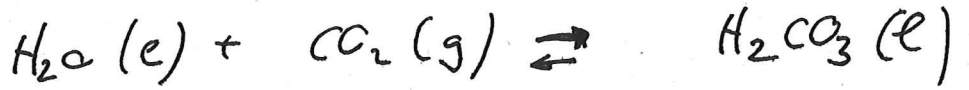
"Similia similibus solvuntur"

"Gleiches z. gleichem"

→ es löst sich  
"Mischung ja"

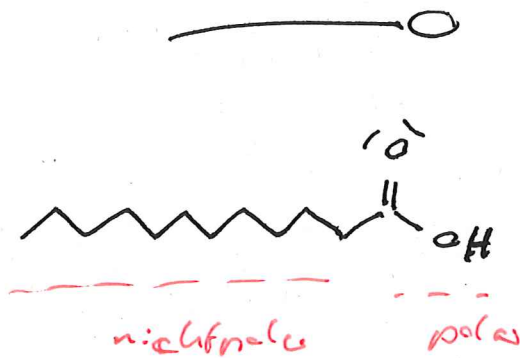
Mischungen ... → Physikalischer Vorgang!

Flüssigkeit?! NEIN!



Seife

chemisch ...

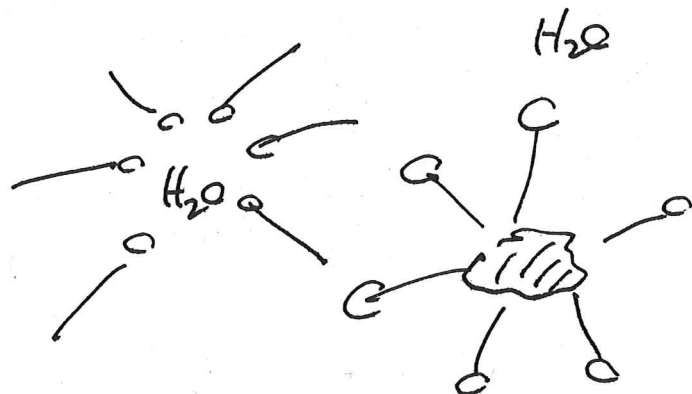
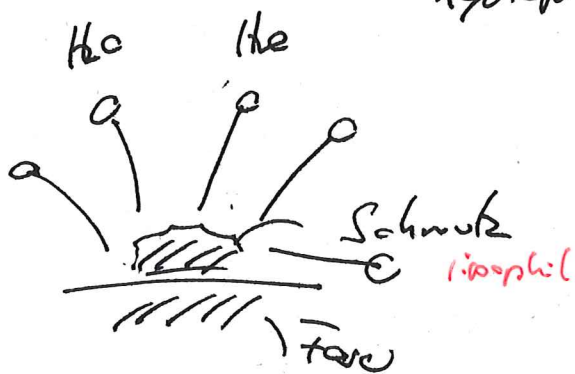


Pettlöslich

wasserlöslich

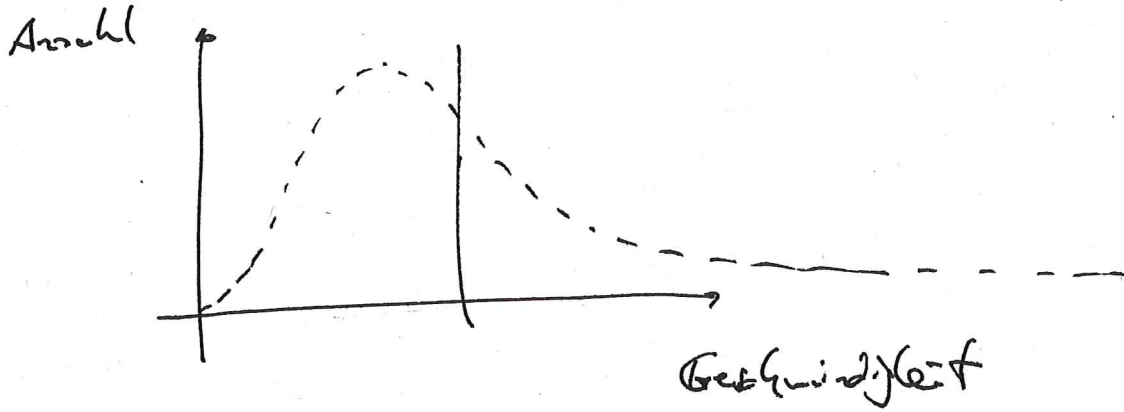
lipophil  
hydrophob

hydrophil  
lipophob



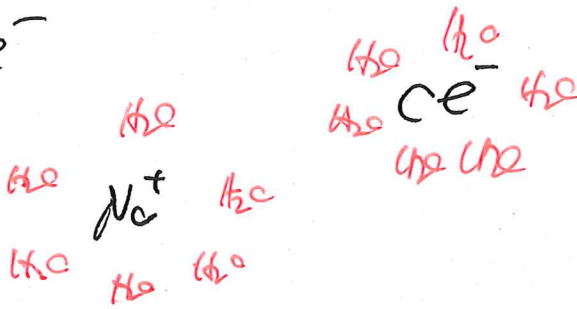
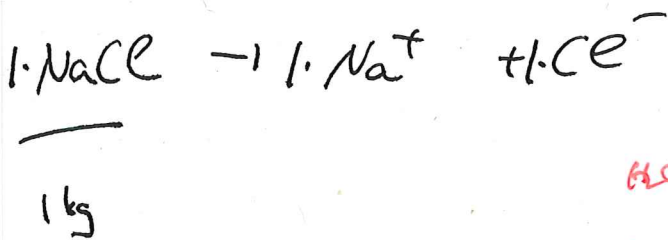


# Verteilung der Geschwindigkeiten eines Gases



wie viel Gramm Wasser werden benötigt,  
wenn 1 kg NaCl in Wasser gelöst werden.

Annahme: pro Ion 6 H<sub>2</sub>O-Moleküle



$$1 \text{ kg NaCl} \Rightarrow n = \frac{m}{M} = \frac{1000}{23+35.5} = 17 \text{ mol}$$

17 mol NaCl resp. 17 mol Na<sup>+</sup>

17 mol Cl<sup>-</sup>

$$\frac{34 \text{ mol Ionen} \cdot 6}{\text{H}_2\text{O-Moleküle}} \rightarrow 204 \text{ mol H}_2\text{O-Moleküle}$$

$$1 \text{ mol H}_2\text{O} = 18 \text{ g}$$

$$204 \text{ mol} \cdot 18 \text{ g} = \underline{\underline{3672 \text{ g}}}$$



2). Welches hat den größeren Siedepunkt?  
Wasserdampf / Helium?

H<sub>2</sub> (!)

	He	H <sub>2</sub>
H-Brücken	x	x
Dipol-Dipol	x	x
VdW	2e <sup>-</sup>	2e <sup>-</sup>

VdW = f(Anzahl e<sup>-</sup>, Größe)

$$d(\text{H}_2) > d(\text{He})$$

$$\rightarrow \text{VdW}(\text{H}_2) > \text{VdW}(\text{He})$$

$$\rightarrow \text{Sdp.}(\text{H}_2) > \text{Sdp.}(\text{He})$$

Viskosität ("Zähflüssigkeit")



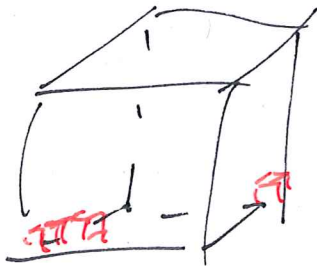
→ Tempabhängig!

---

• Platzanspruch in Flüssigkeiten (H<sub>2</sub>O)

Bsp. 1 mol H<sub>2</sub>O. Annahme: 

$18g = 18 \text{ cm}^3$



$1 \text{ H}_2\text{O}$   
 $\times$  total 1 mol =  $6.022 \cdot 10^{23}$

$$6.022 \cdot 10^{23} \cdot x^3 = 18 \text{ cm}^3 = 18 \cdot (10^{-2})^3 = 18 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

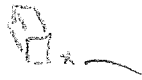
$$x = \underline{\underline{3 \cdot 10^{-10} \text{ m}}}$$

Exp.:  $0.0193 \text{ nm}^3 \rightarrow \underline{\underline{\gamma = 2.69 \cdot 10^{-10} \text{ m}}}$

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$V_{\text{GAS}} = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$(-d) \approx 0.8 \mu\text{g}$$



$$6.022 \cdot 10^{23} \cdot x^3 = (10^{-27})^3 = 10^{-81} \text{ m}^3$$

$$\rightarrow x^3 = 3.0 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$$

$$x = 3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Flüssigkeit

Quelle?

$$\begin{aligned} d(\text{H}_2\text{O}) &= 0.28 \text{ nm} \\ &= 0.28 \cdot 10^{-9} \text{ m} \\ &= 2.8 \cdot 10^{-10} \text{ m} \end{aligned}$$

Answers:

$$V = 0.0193 \text{ nm}^3$$

$$\rightarrow x = \underline{\underline{2.67 \cdot 10^{-10} \text{ m}}}$$

fast kein  
freie Raum!

Gas  $(-d) \approx 2.4 \ell$

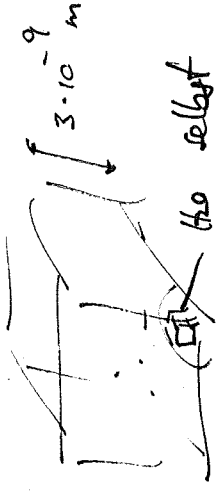
$$6.022 \cdot 10^{23} \cdot x^3 = 0.0224 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow x^3 = 3.71 \cdot 10^{-26} \text{ m}^3$$

$$x = 3 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

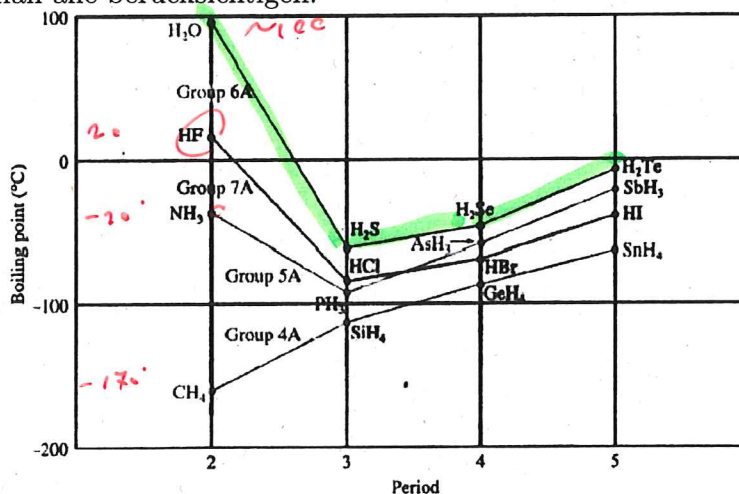
Flüssigkeit

pro Molekül -> 10<sup>-9</sup> m



10<sup>-9</sup> m selbst

1. Ordnen Sie die folgenden Stoffe nach steigenden Siedepunkten:  $\text{Br}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{I}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{Ne}$ . Anleitung: Fragen Sie sich zuerst, welche zwischenmolekularen Kräfte überhaupt existieren können. Suchen Sie nicht einfach im PSE die Siedepunkte heraus, das können Sie später zur Kontrolle machen. Schauen Sie nach offensichtlichen Regelmässigkeiten und gruppieren Sie die anderen Elemente dann logisch darum herum. Begründen Sie Ihre Wahl.
2. Hat Wasserstoff oder Helium den höheren Siedepunkt?
3. Hat Wasser oder Sauerstoff den höheren Siedepunkt? Begründen Sie.
4. Die folgende Grafik zeigt eine Reihe von Verbindungen mit Wasserstoff (Wasserstoffverbindungen). Da der Verlauf der Siedepunkte sich nicht nur durch eine zwischenmolekulare Kraft allein erklären lässt, muss man alle berücksichtigen.



- a) Erklären Sie den Sturz der Siedetemperatur von  $\text{H}_2\text{O}$  nach  $\text{H}_2\text{S}$  und den nachfolgenden leichten Anstieg über  $\text{H}_2\text{Se}$  nach  $\text{H}_2\text{Te}$  (Wasserstoffverbindungen der 6. Hauptgruppe).
- b) Warum fällt bei den Wasserstoffverbindungen der 4. Hauptgruppe von  $\text{CH}_4$  nach  $\text{SnH}_4$  das  $\text{CH}_4$  so aus dem Rahmen? Fällt es überhaupt aus dem Rahmen?
- c) Wie ist das sehr unregelmässige Sinken der Siedetemperaturen  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HF} \rightarrow \text{NH}_3 \rightarrow \text{CH}_4$  zu erklären? Welche Regelmässigkeit würden Sie erwarten, wenn bei allen Molekülen die gleichen zwischenmolekularen Kräfte wirksam wären?
- d) Wie schätzen Sie jetzt den Lebensstoff Wasser ein?

## Lösungen

1. Zu erklären ausschliesslich über van-der-Waals-Kräfte: sie sind abhängig von Anzahl der Elektronen und der Oberfläche des Teilchens (je mehr und je grösser, umso stärker die Kräfte). In der Reihe  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{I}_2$  nehmen Elektronenzahl und Grösse zu. Der nächste Kandidat in der Anzahl der Elektronen ist  $\text{N}_2$ , dann folgen Ne und  $\text{H}_2$ . Bei der Beurteilung von Ne und  $\text{H}_2$  könnte es zu einem Konflikt zwischen Anzahl der Elektronen und Grösse der Oberfläche kommen.

$\text{H}_2$	Ne	$\text{N}_2$	$\text{Cl}_2$	$\text{Br}_2$	$\text{I}_2$	
20.3	27.1	77.4	239.1	332.3	458.4	K
-253.9	-246.1	-195.8	-34.1	59.2	185.3	°C

2. Beide ( $\text{He}$ ,  $\text{H}_2$ ) haben die gleiche Anzahl Elektronen aber Wasserstoff hat die grössere Oberfläche, damit auch die erhöhte Fähigkeit Elektronen zu verschieben. Wasserstoff hat den höheren Siedepunkt. ( $\text{He}$  4.2 K,  $-269$  °C)
3. Wasser hat einen permanenten Dipol, Sauerstoff nicht. Daher muss Wasser einen höheren Siedepunkt haben als Sauerstoff. Wasser besitzt die Fähigkeit Wasserstoffbrücken zu bilden, daher muss der Siedepunkt weit oberhalb dem des Sauerstoffs liegen. Siedepunkte  $\text{H}_2\text{O}$  373.15 K, 100 °C,  $\text{O}_2$  90.2 K, -183 °C.
4. a) Die Fähigkeit zur Bildung von Wasserstoffbrücken hängt vom Unterschied der Elektronegativitäten ab (hohe Polarität der Bindung).  $\text{H}_2\text{S}$  bildet somit keine Wasserstoffbrücken mehr aus. Der Anstieg von  $\text{H}_2\text{S}$  zu  $\text{H}_2\text{Te}$  ist durch die stärkeren van-der-Waals-Kräfte zu erklären.

	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{H}_2\text{Se}$	$\text{H}_2\text{Te}$
Dipol-Kraft ( $\Delta$ )EN	1.24	0.38	0.35	0.1
Wasserstoffbrücken	ja	nein	nein	nein
van-der-Waals-Kräfte (e-Zahl)	10	18	36	54