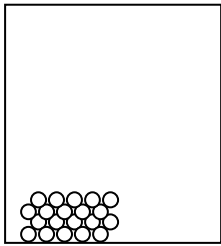
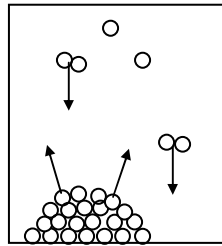


## 1.9. Zwischenmolekulare Kräfte

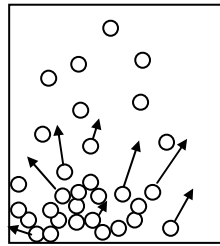
### 1.9.1. Schmelzen und Verdampfen von Stoffen



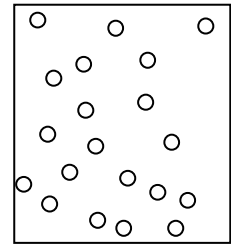
fester Zustand  
geordnetes Kristallgitter  
Teilchen schwingen um  
Ruhelage



flüssiger Zustand  
Teilchen sind im Tropfen  
frei beweglich (Diffusion)  
Verdunstung an der Ober-  
fläche, Kondensation in  
feuchter Luft



Verdampfen  
des gesamten Tropfens  
bei Siedetemperatur



gasförmiger Zustand  
Teilchen sind im gesamten  
Raum frei beweglich  
(Diffusion)

- Ein Stoff **schmilzt** bzw. **siedet**, wenn die in Form von \_\_\_\_\_ zugeführte \_\_\_\_\_ der Teilchen so groß wird, dass sie die **Anziehungskraft** zu den benachbarten Teilchen überwinden und sich aus dem Kristall bzw. der Flüssigkeit \_\_\_\_\_.
- **Metalle** und **Salze** werden durch starke \_\_\_\_\_ **Kräfte** zwischen entgegengesetzt \_\_\_\_\_ **Teilchen** (Ionen bzw. Elektronengas) zusammengehalten und haben daher \_\_\_\_\_ **Schmelz- und Siedepunkte**.
- **Nichtmetallverbindungen** bestehen dagegen aus nach außen hin **elektrisch neutralen** \_\_\_\_\_, die durch wesentlich schwächere **zwischenmolekulare Kräfte** zusammengehalten werden und daher viel \_\_\_\_\_ **Schmelz- und Siedepunkte** haben.

### 1.9.2. Dipol-Dipol-Kräfte

Zwischen Dipolmolekülen wirken **Dipol-Dipol-Kräfte**. Sie werden **H - \_\_\_\_\_** genannt, wenn Wasserstoff einer der Bindungspartner ist. Ihre Wirkung hängt von folgenden Faktoren ab:

#### 1. EN-Differenz

- Bei **zweiatomigen** Molekülen wachsen die Dipol-Dipol-Kräfte mit **steigender EN-** \_\_\_\_\_.

- **Beispiel:** HF mit  $\Delta EN = \underline{\hspace{1cm}}$  siedet bei 20 °C und HCl mit  $\Delta EN = \underline{\hspace{1cm}}$  siedet schon bei -85 °C.



## 2. Molekülsymmetrie

Bei **symmetrischen** Molekülen können sich die Elektronenverschiebungen in den einzelnen Bindungen in ihrer Wirkung nach außen hin aufheben.

**Beispiel:**  $SO_2$  mit  $\Delta EN = \underline{\hspace{1cm}}$  siedet bei -10 °C.  $CO_2$  mit  $\Delta EN = \underline{\hspace{1cm}}$  sublimiert dagegen schon bei -79 °C. Außerdem wird  $SO_2$  im elektrischen Feld abgelenkt,  $CO_2$  dagegen nicht.



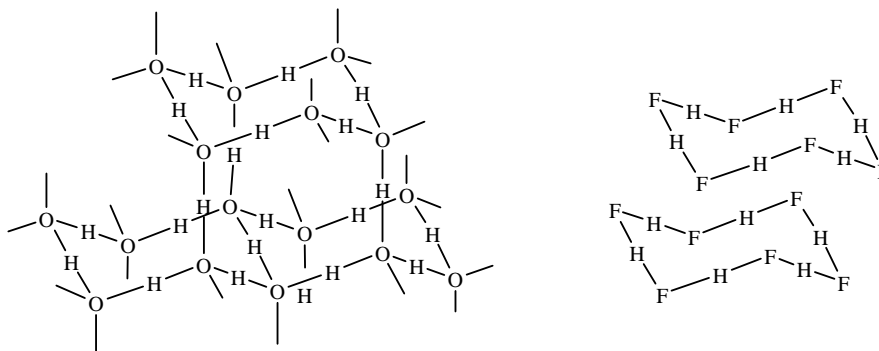
### Erklärung:

- Die                      Teilladungen der Sauerstoffatome in  $CO_2$  sitzen sich direkt gegenüber und heben sich in ihrer Wirkung auf, so dass das gesamte Molekül nach außen hin völlig unpolar wirkt.
- Nur an der Reaktion mit **Wasser** lässt sich erkennen, dass die beiden Bindungen in  $CO_2$  genauso polar sind wie die in  $SO_2$ . Beide Gase lösen sich bereitwillig und addieren Wasser:  
 $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$  (                    säure) und  $SO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2SO_3$  (                     Säure)

### Strukturformeln:

## 3. Anzahl der möglichen H-Brücken pro Molekül:

**Beispiel:**  $H_2O$  mit  $\Delta EN = \underline{\hspace{1cm}}$  siedet bei 100 °C, HF mit  $\Delta EN = \underline{\hspace{1cm}}$  aber schon bei 20 °C.

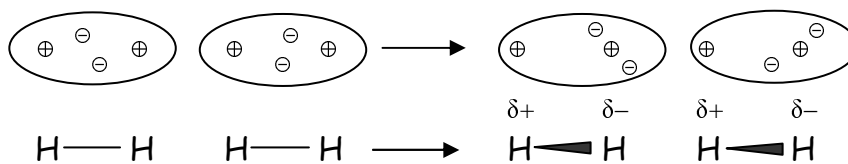


### Erklärung:

- $\text{H}_2\text{O}$  besitzt \_\_\_\_ negativ polarisierte Elektronenpaare und \_\_\_\_ positiv polarisierte H-Atome. Dadurch können sich im festen und flüssigen Zustand **dreidimensionale** \_\_\_\_ ausbilden, bei denen jedes O-Atom tetraedrisch von \_\_\_\_ H-Atomen umgeben ist. Diese sehr stabile Struktur findet sich auch in **Quarz** (Tridymit) und **Diamant**. **Eis** hat eine \_\_\_\_\_ **Dichte** als Wasser, da die **gewellten 6-Ringe Hohlräume** bilden. Eis \_\_\_\_\_ daher auf Wasser, wodurch die Entwicklung des organischen Lebens auf den Böden der Gewässer erst ermöglicht wurde.
- **HF** kann dagegen nur **isolierte** \_\_\_\_\_ oder **Zick-Zack-Ketten** bilden, da pro F-Atom nur \_\_\_\_ H-Atom zur Verfügung steht.
- **$\text{NH}_3$**  hat **drei H-Atome** und damit **eines zuviel**, um eine stabile tetraedrische Struktur bilden zu können. Es siedet schon bei  $-33\text{ }^\circ\text{C}$ .

### 1.9.3. Van-der-Waals-Kräfte

Auch zwischen \_\_\_\_\_ **Molekülen** wirken Kräfte, die durch die Anziehung zwischen der **Elektronenhülle** des einen und des **Atomrumpfes** des anderen Moleküles entstehen:



- Diese \_\_\_\_\_-**Kräfte** sind im Allgemeinen sehr viel kleiner als Dipol-Dipol-Kräfte, nehmen jedoch mit wachsender **Elektronenzahl** der Moleküle stark \_\_\_\_.
- **Beispiel:** Die Siedepunkte der Halogene:  $\text{F}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{I}_2$  nehmen nach unten hin \_\_\_\_\_

### 1.9.4. Lösungsvorgänge

Ein Stoff A löst sich in Stoff B, wenn die \_\_\_\_\_ A - B so groß sind, dass **viele** Teilchen B **ein** Teilchen A aus seinem Verband \_\_\_\_\_ können.

## Beispiel:

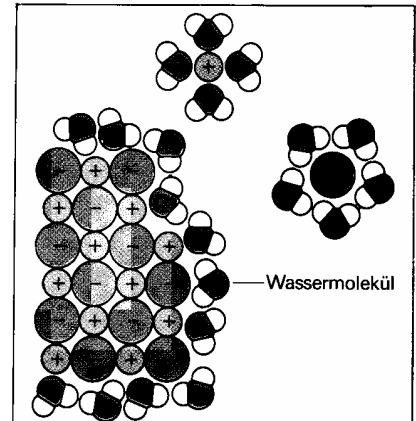
Salz A löst sich in Wasser B, wenn die \_\_\_\_\_ Wassermoleküle mit ihren positiven bzw. negativen Enden die geladenen Salzionen aus dem \_\_\_\_\_ herausbrechen und lösen können. Dabei wirken die folgenden Kräfte:

A - A: \_\_\_\_\_ Ion - Ion

A - B: \_\_\_\_\_ Anziehung Ion - Molekül

B - B: \_\_\_\_\_ Molekül - Molekül

Das Salz löst sich nur dann in Wasser, wenn die \_\_\_\_\_ A - B nicht zu klein ist gegenüber A - A und B - B.



In der Regel gilt: \_\_\_\_\_ löst sich in Polarem und \_\_\_\_\_ löst sich in Unpolarem:  
**Gleiches löst sich in Gleichem.**

- Polare Stoffe heißen auch **hydrophil** (wasserliebend) oder **lipophil** (fettfeindlich)
- Unpolare Stoffe heißen auch **lipophil** (\_\_\_\_\_) oder **hydrophob** (\_\_\_\_\_)

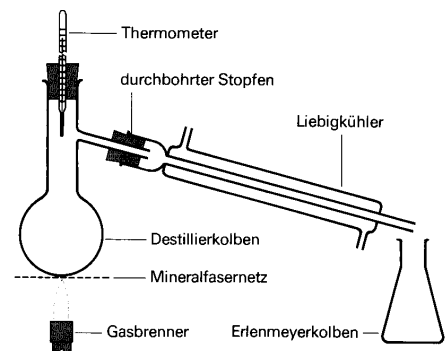
## 1.9.5. Destillation

Bei der **Destillation** werden Stoffe mit unterschiedlichen \_\_\_\_\_ durch \_\_\_\_\_ und anschließendes \_\_\_\_\_ voneinander getrennt

### Beispiel:

**Wasser**  $H_2O$ : 4 H-Brücken pro Molekül  $\Rightarrow$  Sp \_\_\_\_ °C

**Ethanol**  $C_2H_5OH$ : 2 H-Brücken pro Molekül  $\Rightarrow$  Sp \_\_\_\_ °C

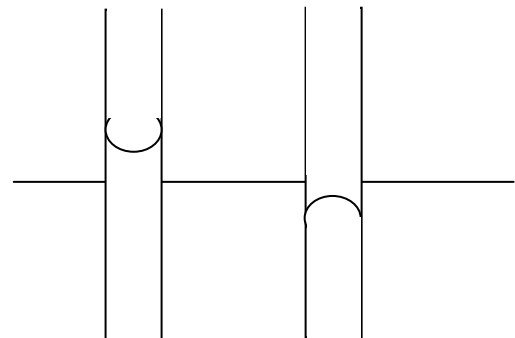


### 1.9.6. Extraktion

- Bei der Zubereitung von \_\_\_\_\_ oder \_\_\_\_\_ **extrahiert** man wasserlösliche Inhaltsstoffe wie z.B. Koffein mit heißem \_\_\_\_\_ aus getrockneten \_\_\_\_\_.
- Die \_\_\_\_\_-**Kräfte** zwischen Wassermolekülen und Koffeinmolekülen sind stärker als die Kräfte, die das Koffeinmolekül im Blatt fixiert haben.
- Bei der Extraktion von **Olivenöl** mit Benzin aus Oliven werden dagegen die \_\_\_\_\_-**Kräfte** zwischen den unpolaren Molekülen des Olivenöls und des Benzins genutzt. Das Benzin wird anschließend durch \_\_\_\_\_ wieder abgetrennt und zurück gewonnen.

### 1.9.7. Kapillarwirkung

- Wasser steigt in dünnen Glaskapillaren auf und wird von Filterpapier oder Baumwollpullovern leicht aufgesogen.
- In Kunststoffkapillaren steigt es dagegen nicht auf; Pullover aus Wolle oder Polyester saugen kein Wasser auf.



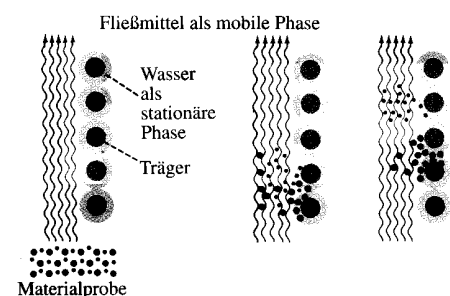
Glaskapillare      Kunststoffkapillare

#### Erklärung:

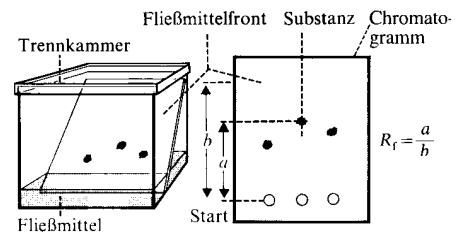
- **Polare Stoffe** wie \_\_\_\_\_ , \_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_ (Cellulose) **ziehen Wasser an**.
- **Unpolare Stoffe** wie \_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_ (Eiweiße) **stoßen Wasser ab**.

### 1.9.8. Chromatographie

- Bei der Chromatographie werden Stoffe mit unterschiedlicher **Polarität** getrennt.
- Das Stoffgemisch wird in einem **Fließmittel (mobile Phase)** gelöst, das durch \_\_\_\_\_**wirkung** an einer porösen **stationären Phase** aufsteigt.



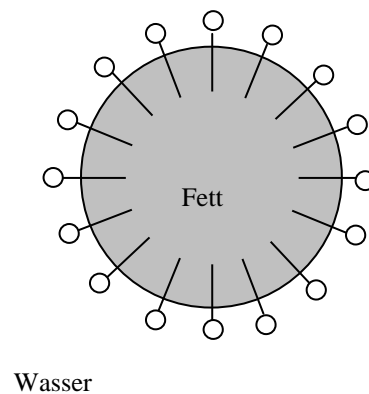
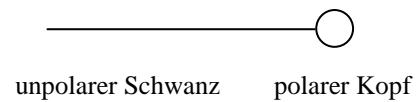
- Mobile und stationäre Phase unterscheiden sich in ihrer \_\_\_\_\_ und üben daher verschieden starke Anziehungskräfte auf die Komponenten des Gemisches aus. Je nach Polarität werden die Komponenten durch die stationäre Phase verschieden stark gebremst.



- Die relative Fließgeschwindigkeit der Komponenten im Verhältnis zum Fließmittel kann durch den **R<sub>f</sub>-Wert** (retention factor) charakterisiert werden.

### 1.9.9. Tenside

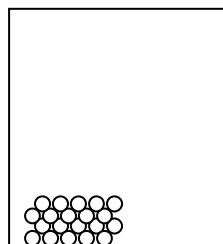
- **Waschmittel** enthalten große Moleküle (**Tenside**) mit einem polaren, \_\_\_\_\_philen Kopf und einem langen, unpolaren, \_\_\_\_\_philen Schwanz.
- Die Tensidmoleküle stecken mit dem \_\_\_\_\_ Schwanz im \_\_\_\_\_ und ragen mit den \_\_\_\_\_ Köpfen in das \_\_\_\_\_. Sie geben den Fetttropfen dadurch eine \_\_\_\_\_ Hülle. Die polaren Wassermoleküle können den Fetttropfen mit H-Brücken \_\_\_\_\_ und abtransportieren.



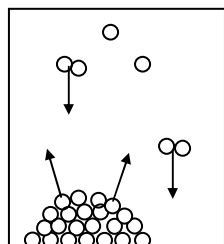
## 1.9. Zwischenmolekulare Kräfte

### 1.9.1. Schmelzen und Verdampfen von Stoffen

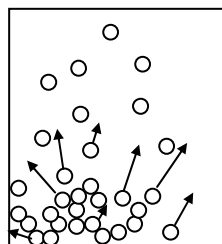
Diethylether ( $Sp\ 35\ ^\circ C$ ) im RG mit warmem Leitungswasser zum Kochen bringen, Elemente I S. 22



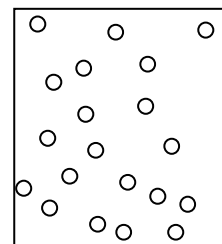
fester Zustand  
geordnetes Kristallgitter  
Teilchen schwingen um  
Ruhelage



flüssiger Zustand  
Teilchen sind im Tropfen  
frei beweglich (Diffusion)  
Verdunstung an der Ober-  
fläche, Kondensation in  
feuchter Luft



Verdampfen  
des gesamten Tropfens  
bei Siedetemperatur



gasförmiger Zustand  
Teilchen sind im gesamten  
Raum frei beweglich  
(Diffusion)

- Ein Stoff **schmilzt** bzw. **siedet**, wenn die in Form von **Wärme** zugeführte **Bewegungsenergie** der Teilchen so groß wird, dass sie die **Anziehungskraft** zu den benachbarten Teilchen überwinden und sich aus dem Kristall bzw. der Flüssigkeit **losreißen**.
- **Metalle** und **Salze** werden durch starke **elektrische Kräfte** zwischen entgegengesetzt **geladenen Teilchen** (Ionen bzw. Elektronengas) zusammengehalten und haben daher **hohe Schmelz- und Siedepunkte**.
- **Nichtmetallverbindungen** bestehen dagegen aus nach außen hin **elektrisch neutralen Molekülen**, die durch wesentlich schwächere **zwischenmolekulare Kräfte** zusammengehalten werden und daher viel **geringere Schmelz- und Siedepunkte** haben.

### 1.9.2. Dipol-Dipol-Kräfte Elemente I S. 178, Filme „Wasserstoffbrücken“ und „Aggregatzustände von Wasser“

Zwischen Dipolmolekülen wirken **Dipol-Dipol-Kräfte**. Sie werden **Wasserstoffbrücken** genannt, wenn Wasserstoff einer der Bindungspartner ist. Ihre Wirkung hängt von folgenden Faktoren ab:

#### 1. EN-Differenz

- Bei **zweiatomigen** Molekülen wachsen die Dipol-Dipol-Kräfte mit **steigender EN-Differenz**.
- **Beispiel:** HF mit  $\Delta EN = 1,9$  siedet bei  $20\ ^\circ C$  und HCl mit  $\Delta EN = 1,4$  siedet schon bei  $-85\ ^\circ C$ .



#### 2. Molekülsymmetrie Elemente I S. 177

Bei **mehratomigen** Molekülen können sich die Elektronenverschiebungen in den einzelnen Bindungen je nach **Molekülsymmetrie** in ihrer Wirkung nach außen hin aufheben.

**Beispiel:**  $SO_2$  mit  $\Delta EN = 1,0$  siedet bei  $-10\ ^\circ C$ .  $CO_2$  mit  $\Delta EN = 1,0$  sublimiert dagegen schon bei  $-79\ ^\circ C$ . Außerdem wird  $SO_2$  im elektrischen Feld abgelenkt,  $CO_2$  dagegen nicht.

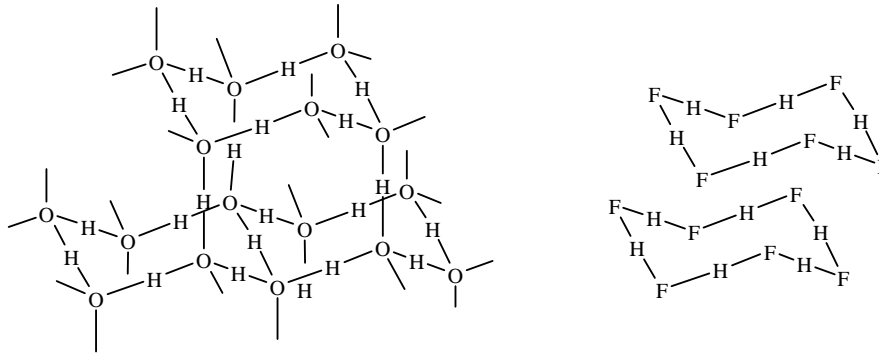


#### Erklärung:

- Die negativen Teilladungen der Sauerstoffatome in  $CO_2$  sitzen sich direkt gegenüber und heben sich in ihrer Wirkung auf, so dass das gesamte Molekül nach außen hin völlig unipolar wirkt.
- Nur an der Reaktion mit **Wasser** lässt sich erkennen, dass die beiden Bindungen in  $CO_2$  genauso polar sind wie die in  $SO_2$ . Beide Gase lösen sich bereitwillig und addieren Wasser:  $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$  und  $SO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2SO_3$ .

### 3. Anzahl der möglichen H-Brücken pro Molekül:

**Beispiel:**  $\text{H}_2\text{O}$  mit  $\Delta\text{EN} = 1,4$  siedet bei  $100\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{HF}$  mit  $\Delta\text{EN} = 1,9$  aber schon bei  $20\text{ }^\circ\text{C}$ .



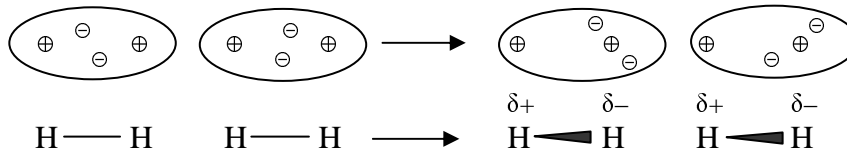
#### Erklärung:

- $\text{H}_2\text{O}$  besitzt zwei negativ polarisierte Elektronenpaare und zwei positiv polarisierte H-Atome. Dadurch können sich im festen und flüssigen Zustand **dreidimensionale Gitter** ausbilden, bei denen jedes O-Atom tetraedrisch von 4 H-Atomen umgeben ist. Diese sehr stabile Struktur findet sich auch in **Quarz** (Tridymit) und **Diamant**. **Eis** hat eine geringere Dichte als Wasser, da die **gewellten 6-Ringe Hohlräume** bilden. Eis schwimmt daher auf Wasser, wodurch die Entwicklung des organischen Lebens auf den Böden der Gewässer erst ermöglicht wurde.
- $\text{HF}$  kann dagegen nur **isolierte 6-Ringe** oder **Zick-Zack-Ketten** bilden, da pro F-Atom **nur ein H-Atom** zur Verfügung steht.
- $\text{NH}_3$  hat **drei H-Atome** und damit **eines zuviel**, um eine stabile tetraedrische Struktur bilden zu können.

Übungen: Aufgaben zu zwischenmolekularen Kräften Nr. 1

### 1.9.3. Van-der-Waals-Kräfte Elemente I S. 178 und S. 244, Film „Van-der-Waals-Kräfte“

Auch zwischen **unpolaren Molekülen** wirken Kräfte, die durch die Anziehung zwischen der **Elektronenhülle** des einen und des **Atomrumpfes** des anderen Moleküles entstehen.



- Diese **Van-der-Waals-Kräfte** sind im Allgemeinen sehr viel kleiner als Dipol-Dipol-Kräfte, nehmen jedoch mit wachsender **Elektronenzahl** der Moleküle stark zu.
- **Beispiel:** wachsende Siedepunkte der Halogene:  $\text{F}_2$ :  $-188\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{Cl}_2$ :  $-34\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{Br}_2$ :  $59\text{ }^\circ\text{C}$  und  $\text{I}_2$ :  $184\text{ }^\circ\text{C}$

Übungen: Aufgaben zu zwischenmolekularen Kräften Nr. 2 - 4

### 1.9.4. Lösungsvorgänge Elemente I S. 180 und 244 unten (Löslichkeit der Alkane), Film „Löslichkeit“

Iod und  $\text{CuSO}_4$  in Benzin,  $\text{CHCl}_3$  und Wasser geben und übereinander schichten

Ein Stoff A löst sich in Stoff B, wenn die Anziehungskräfte A - B so groß sind, dass **viele** Teilen B **ein** Teilchen A aus seinem Verband herausreißen können.

**Beispiel:**

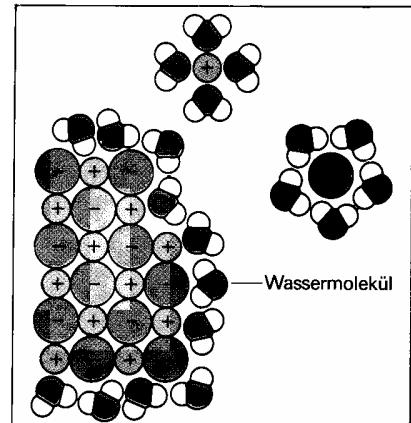
**Salz A löst sich in Wasser B**, wenn die **polaren Wassermoleküle** mit ihren positiven bzw. negativen Enden die **geladenen Salzionen** aus dem **Ionengitter** herausbrechen und lösen können. Dabei wirken die folgenden Kräfte:

A - A: Ionenbindung Ion - Ion

A - B: elektrische Anziehung Ion - Molekül

B - B: Dipol-Dipol-Kraft Molekül - Molekül

Das Salz löst sich nur dann in Wasser, wenn die Anziehung A - B nicht zu klein ist gegenüber A - A und B - B.



In der Regel gilt: Polares löst sich in Polarem und Unpolares löst sich in Unpolarem: **Gleiches löst sich in Gleichem.**

- **Polare** Stoffe heißen auch **hydrophil** (wasserliebend) oder **lipophob** (fettfeindlich)
- **Unpolare** Stoffe heißen auch **lipophil** (fettliebend) oder **hydrophob** (wasserfeindlich)

Übungen: Aufgaben zu zwischenmolekularen Kräften Nr. 5 - 7

### 1.9.5. Destillation Elemente I S. 48

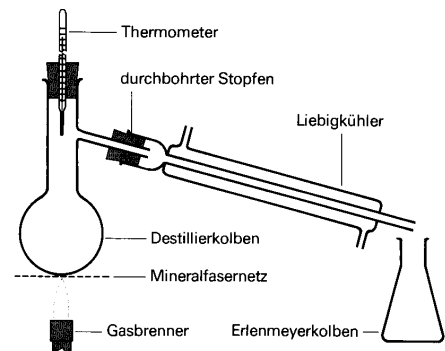
Destillation von Rotwein

Bei der **Destillation** werden Stoffe mit **unterschiedlichen Siedepunkte** durch **Verdampfen** und anschließendes **Kondensieren** voneinander getrennt

**Beispiel:**

**Wasser**  $\text{H}_2\text{O}$ : 4 H-Brücken pro Molekül  $\Rightarrow$  Sp  $100^\circ\text{C}$

**Ethanol**  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ : 2 H-Brücken pro Molekül  $\Rightarrow$  Sp  $78^\circ\text{C}$



### 1.9.6. Extraktion Elemente I S. 49

Teebeutel in kochendes Wasser geben

- Bei der Zubereitung von **Kaffee** oder **Tee extrahiert** man wasserlösliche Inhaltsstoffe wie z.B. Koffein mit heißem Wasser aus getrockneten Blättern.
- Die **Wasserstoffbrücken** zwischen Wassermolekülen und Koffeinmolekülen sind stärker als die Kräfte, die das Koffeinmolekül im Blatt fixiert haben.
- Bei der Extraktion von **Olivenöl** mit **Benzin** aus Oliven werden dagegen die **van-der-Waals-Kräfte** zwischen den unpolaren Molekülen des Olivenöls und des Benzins genutzt. Das Benzin wird anschließend durch **Destillation** wieder abgetrennt und zurück gewonnen.

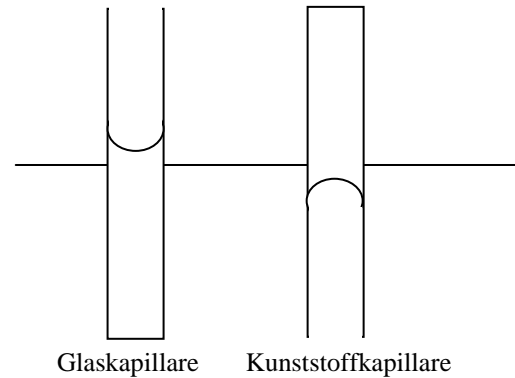
## 1.9.7. Kapillarwirkung

1. *Polyester-T-Shirt und Wischpapier in Wasser tauchen*
2. *Kunststoff-Trinkhalm und Glasröhre in Wasser tauchen*

- Wasser steigt in dünnen Glaskapillaren auf und wird von Filterpapier oder Baumwollpullovern leicht aufgesogen.
- In Kunststoffkapillaren steigt es dagegen nicht auf; Pullover aus Wolle oder Polyester saugen kein Wasser auf.

### Erklärung:

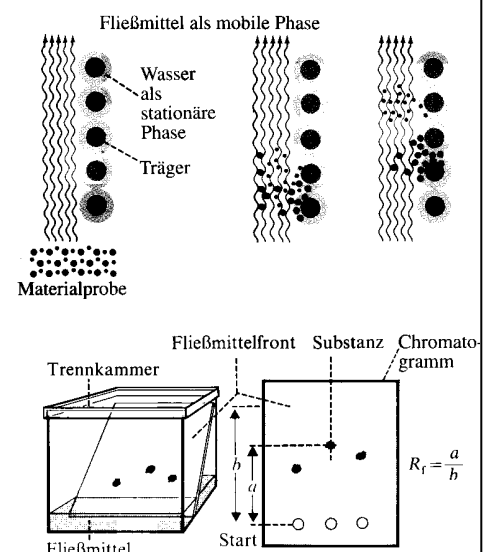
- **Polare Stoffe** wie Glas, Papier und Baumwolle (Cellulose) **ziehen Wasser an**.
- **Unpolare Stoffe** wie Kunststoffe und Wolle (Proteine) **stoßen Wasser ab**.



## 1.9.8. Chromatographie *Elemente I S. 49*

### Chromatographie von Filzschreiberfarben oder Indikatorfarbstoffen

- Bei der Chromatographie werden Stoffe mit unterschiedlicher **Polarität** getrennt.
- Das Stoffgemisch wird in einem **Fließmittel (mobile Phase)** gelöst, das durch **Kapillarwirkung** an einer porösen **stationären Phase** aufsteigt.
- Mobile und stationäre Phase unterscheiden sich in ihrer **Polarität** und üben daher verschieden starke Anziehungskräfte auf die Komponenten des Gemisches aus. Je nach Polarität werden die Komponenten durch die stationäre Phase verschieden stark gebremst.
- Die relative Geschwindigkeit der Komponenten im Verhältnis zum Fließmittel kann durch den **R<sub>f</sub>-Wert** (retention factor) charakterisiert werden.



## 1.9.9. Tenside

### Fett + Wasser + Waschmittel schütteln

- **Waschmittel** enthalten große Moleküle (**Tenside**) mit einem **polaren, hydrophilen Kopf** und einem langen, **unpolaren, lipophilen Schwanz**.
- Die Tensidmoleküle stecken mit dem **unpolaren Schwanz** im **Fett** und ragen mit den **polaren Köpfen** in das **Wasser**. Sie geben den Fetttropfen dadurch eine **polare Hülle**. Die polaren Wassermoleküle können den Fetttropfen mit H-Brücken **festhalten** und **abtransportieren**.

