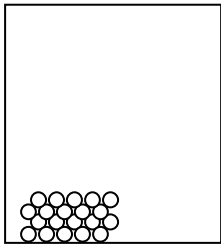
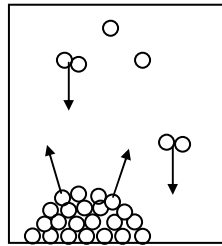


1.9. Zwischenmolekulare Kräfte

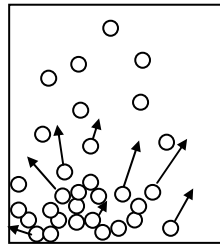
1.9.1. Schmelzen und Verdampfen von Stoffen



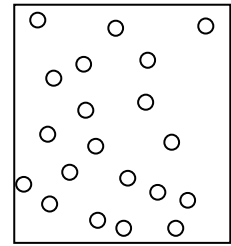
fester Zustand
geordnetes Kristallgitter
Teilchen schwingen um
Ruhelage



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 $\Delta EN = \underline{\hspace{2cm}}$ siedet bei 20 °C und HCl mit $\Delta EN = \underline{\hspace{2cm}}$ 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 $\Delta EN = \underline{\hspace{2cm}}$ siedet bei -10 °C. CO_2 mit $\Delta EN = \underline{\hspace{2cm}}$ sublimiert dagegen schon bei -79 °C. Außerdem wird SO_2 im elektrischen Feld abgelenkt, CO_2 dagegen nicht.



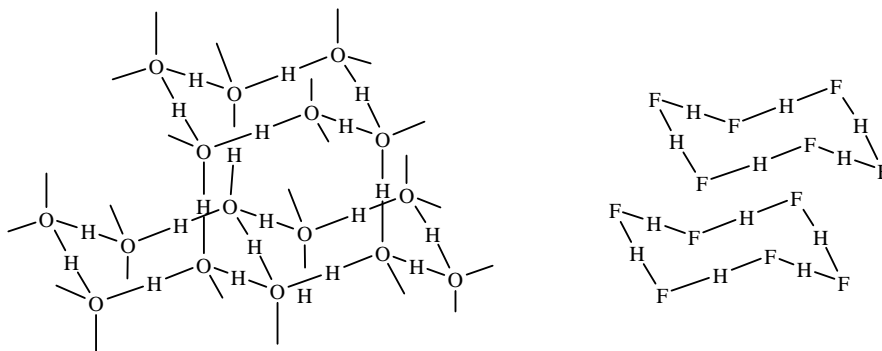
Erklärung:

- 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 $\Delta EN = \underline{\hspace{2cm}}$ siedet bei 100 °C, HF mit $\Delta EN = \underline{\hspace{2cm}}$ aber schon bei 20 °C.

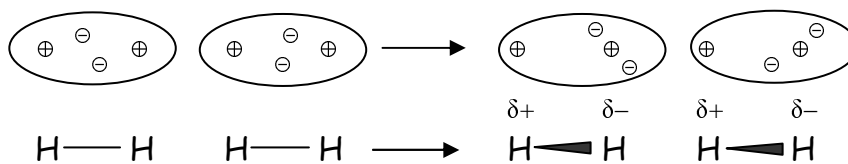


Erklärung:

- H_2O 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.
- 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: F_2 , Cl_2 , Br_2 , 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:

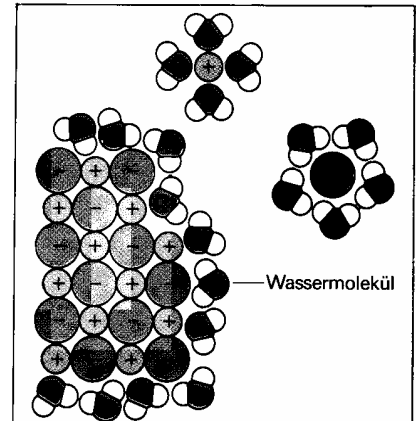
Salz A löst sich in Wasser B, wenn die _____ Wassermoleküle mit ihren positiven bzw. negativen Enden die geladenen Salzionen aus dem _____ herausbrechen und lösen können. Dabei wirken die folgenden Kräfte:

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** (_____)

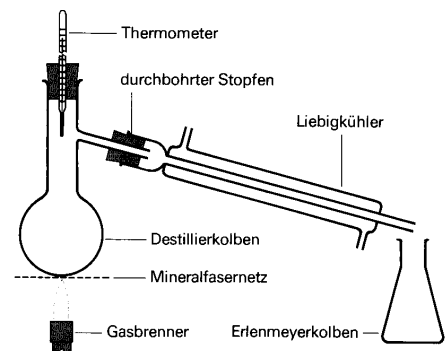
1.9.5. Destillation

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

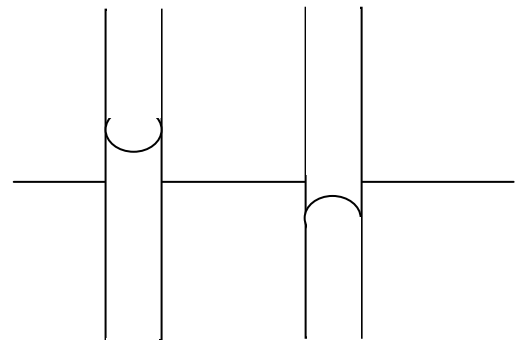


1.9.6. Extraktion

- 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.



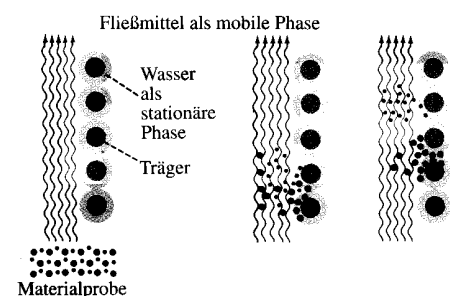
Glaskapillare Kunststoffkapillare

Erklärung:

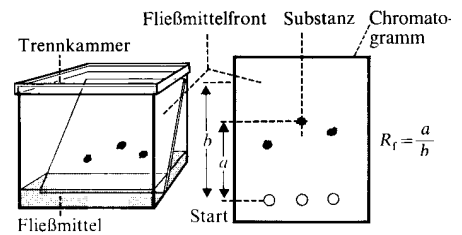
- **Polare Stoffe** wie _____ , _____ und _____ (Cellulose) **ziehen Wasser an**.
- **Unpolare Stoffe** wie _____ und _____ (Eiweiße) **stoßen Wasser ab**.

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.



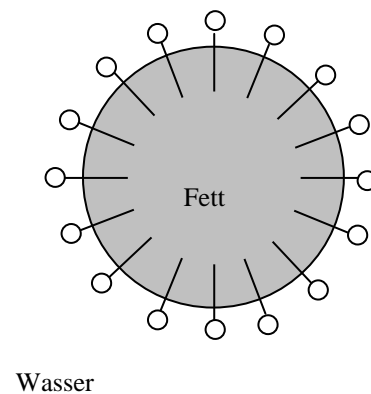
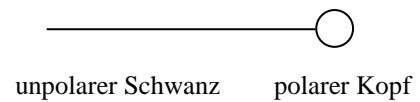
- Mobile und stationäre Phase unterscheiden sich in ihrer _____ und üben daher verschieden starke Anziehungskräfte auf die Komponenten des Gemisches aus. Je nach Polarität werden die Komponenten durch die stationäre Phase verschieden stark gebremst.



- Die relative Fließgeschwindigkeit der Komponenten im Verhältnis zum Fließmittel kann durch den **R_f-Wert** (retention factor) charakterisiert werden.

1.9.9. Tenside

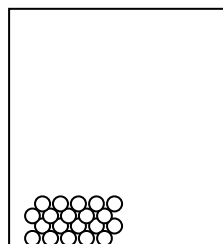
- **Waschmittel** enthalten große Moleküle (**Tenside**) mit einem polaren, _____philen Kopf und einem langen, unpolaren, _____philen Schwanz.
- Die Tensidmoleküle stecken mit dem _____ Schwanz im _____ und ragen mit den _____ Köpfen in das _____. Sie geben den Fetttropfen dadurch eine _____ Hülle. Die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



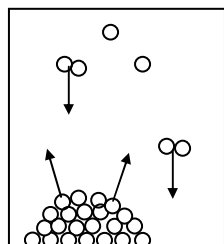
1.9. Zwischenmolekulare Kräfte

1.9.1. Schmelzen und Verdampfen von Stoffen

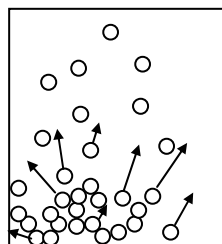
Diethylether ($Sp\ 35\ ^\circ C$) im RG mit warmem Leitungswasser zum Kochen bringen, Elemente I S. 22



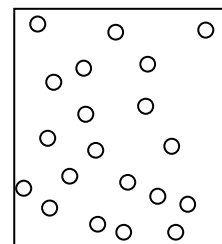
fester Zustand
geordnetes Kristallgitter
Teilchen schwingen um
Ruhelage



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.

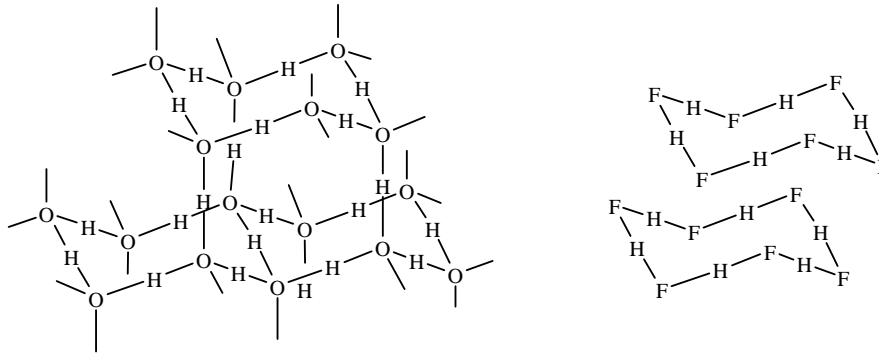


Erklärung:

- 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: H_2O mit $\Delta\text{EN} = 1,4$ siedet bei $100\text{ }^\circ\text{C}$, HF mit $\Delta\text{EN} = 1,9$ aber schon bei $20\text{ }^\circ\text{C}$.



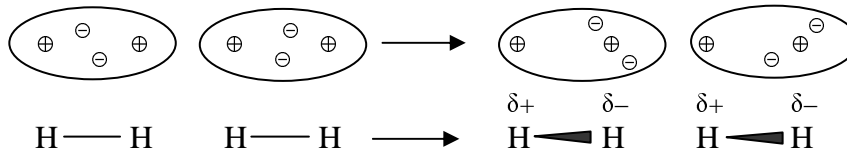
Erklärung:

- H_2O 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.
- HF kann dagegen nur **isolierte 6-Ringe** oder **Zick-Zack-Ketten** bilden, da pro F-Atom **nur ein H-Atom** zur Verfügung steht.
- 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: F_2 : $-188\text{ }^\circ\text{C}$, Cl_2 : $-34\text{ }^\circ\text{C}$, Br_2 : $59\text{ }^\circ\text{C}$ und 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 CuSO_4 in Benzin, 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:

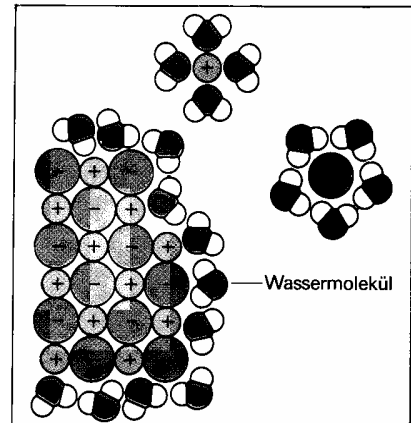
Salz A löst sich in Wasser B, wenn die **polaren Wassermoleküle** mit ihren positiven bzw. negativen Enden die **geladenen Salzionen** aus dem **Ionengitter** herausbrechen und lösen können. Dabei wirken die folgenden Kräfte:

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

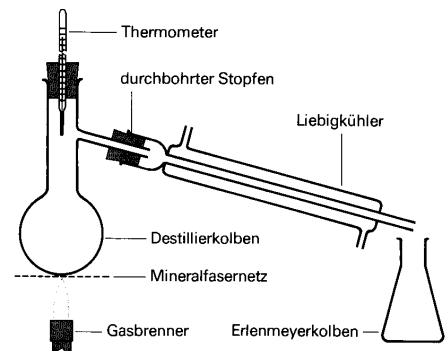
Destillation von Rotwein

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

Beispiel:

Wasser H_2O : 4 H-Brücken pro Molekül \Rightarrow Sp 100°C

Ethanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$: 2 H-Brücken pro Molekül \Rightarrow Sp 78°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.

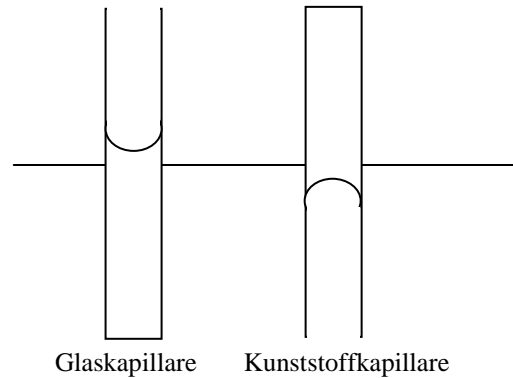
1.9.7. Kapillarwirkung

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:

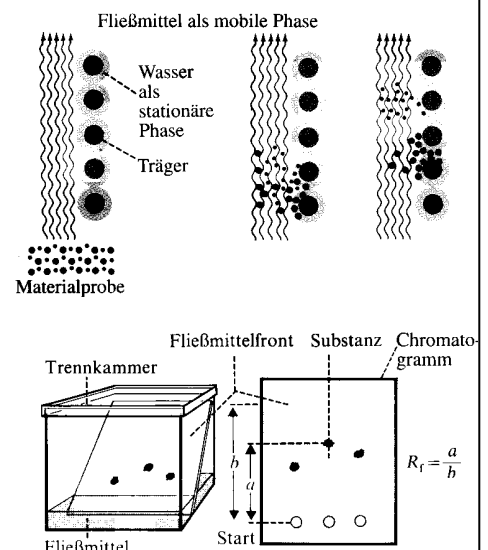
- **Polare Stoffe** wie Glas, Papier und Baumwolle (Cellulose) **ziehen Wasser an**.
- **Unpolare Stoffe** wie Kunststoffe und Wolle (Proteine) **stoßen Wasser ab**.



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_f-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**.

