

## 1.8. Die Elektronenpaarbindung

### 1.8.1. Die Elektronenpaarbindung

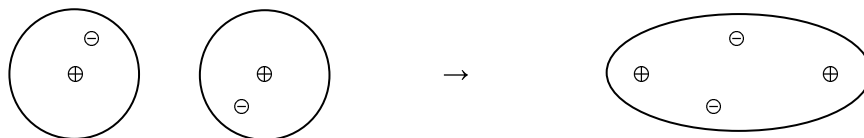
- Zwei Nichtmetallatome können die Edelgaskonfiguration durch \_\_\_\_\_ von je zwei Außenelektronen (\_\_\_\_\_) erreichen.
- Dabei können sowohl kleine Atomgruppen (\_\_\_\_\_) als auch ausgedehnte **Atomgitter** entstehen, die durch \_\_\_\_\_ Anziehung zwischen \_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_ zusammengehalten werden.
- Bindungen zwischen Nichtmetallen heißen **Elektronenpaarbindungen** oder \_\_\_\_\_.
- Im Gegensatz zur Metallbindung und zur Ionenbindung ist die Elektronenpaarbindung **gerichtet**. Die **Geometrie** der \_\_\_\_\_ und Atomgitter wird durch die **räumliche Orientierung** der Elektronenwolken (\_\_\_\_\_) bestimmt.

### 1.8.2. Beispiel Wasserstoff H<sub>2</sub>

#### Die Elektronenpaarbindung im Wasserstoffmolekül

Bei der (zufälligen) Annäherung zweier H-Atome überlagern sich die \_\_\_\_\_ besetzten **1s**-\_\_\_\_\_ und es bildet sich ein gemeinsames \_\_\_\_\_ besetztes  **$\sigma$** -\_\_\_\_\_. Das Molekül enthält **weniger** \_\_\_\_\_ **Energie** und ist daher \_\_\_\_\_ als die beiden einzelnen Wasserstoffatome

Orbitaldarstellung:



zwei halb besetzte 1s Atomorbitale → ein voll besetztes  $\sigma$  Molekülorbital

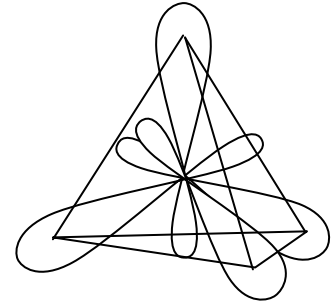
In \_\_\_\_\_formeln werden **einzelne Elektronen** in halbbesetzten Orbitalen als \_\_\_\_\_ und **Elektronenpaare** in vollbesetzten Orbitalen als \_\_\_\_\_ dargestellt. Die \_\_\_\_\_formel gibt dagegen nur die Zusammensetzung des Moleküls wieder:



### 1.8.3. Wasserstoffverbindungen von Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff und Fluor

• Der räumliche Aufbau von \_\_\_\_\_ und Atomgittern wird häufig durch aneinander gesetzte \_\_\_\_\_ bestimmt.

• Die Tetraeder werden aus 4 gleichen  $sp^3$ -Hybridorbitalen gebildet, die unter den Einfluss der Bindungspartner aus den \_\_\_- und \_\_\_-Orbitalen entstehen.



• Wegen der \_\_\_\_\_ Abstoßung verteilen sich die Außenelektronen **möglichst gleichmäßig** auf die vier Orbitale.

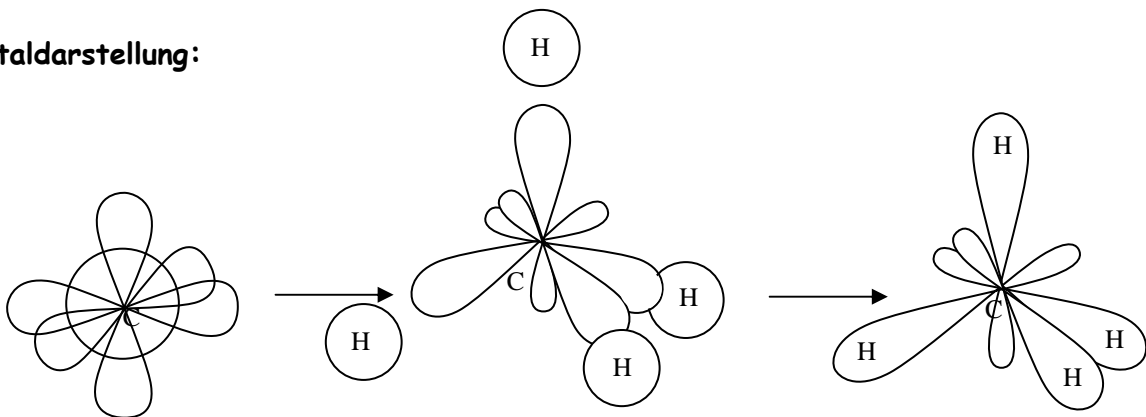
• Man stellt die Elektronenanordnung vereinfacht dar, indem man an jeder der vier Seiten des Elementsymbols einen \_\_\_\_\_ für ein vollbesetztes und einen \_\_\_\_\_ für ein halbbesetztes Orbital setzt.

IV	V	VI	VII	VIII
C				
	P			
		Se		
			I	
				Rn

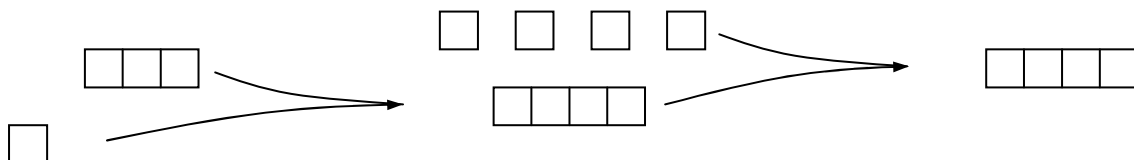
• Beispiel: Im Stickstoffatom N verteilen sich \_\_\_ Außenelektronen auf \_\_\_ Orbitale. Wegen der \_\_\_\_\_ Abstoßung erhält zunächst jedes Orbital ein Elektron; das fünfte kommt zu einem der anderen hinzu und man erhält \_\_\_ halb und \_\_\_ voll besetzte Orbitale:  $\cdot\bar{N}\cdot$

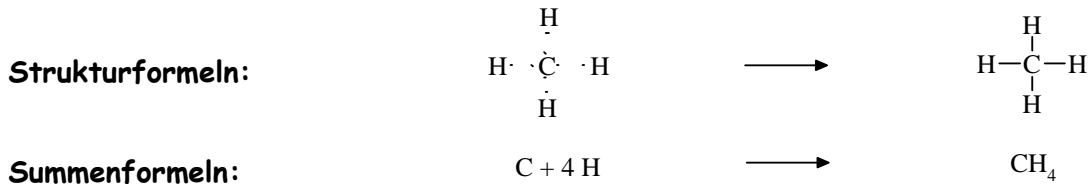
**Kohlenstofftetrawasserstoff  $CH_4$  (Methan)** ist ein farbloses ungiftiges **Gas** mit charakteristischem Geruch. Es ist der Hauptbestandteil des \_\_\_\_\_.

**Orbitaldarstellung:**



**Kästchendarstellung:** Beschrifte die Kästchen mit  $1s$ ,  $2s$ ,  $2p$ ,  $2sp^3$  und  $\sigma$ , setze die Außenelektronen als Pfeile ein und ordne sie farblich den oben gezeichneten Orbitalen zu:





**Stickstofftriwasserstoff**  $\text{NH}_3$  (\_\_\_\_\_ z.B. bei Herodot im 5 Jh v. Chr.: „Es gibt große Salzkumpen (von Ammoniumchlorid  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) auf den Hügeln von Lybien und die Ammoniter, die dort leben, verehren den Gott \_\_\_\_\_ in einem Tempel, der dem des Zeus in Theben gleicht.“) ist ein farbloses, tränen reizendes und \_\_\_\_\_ riechendes **Gas**. Es ist im Gegensatz zu Methan nicht \_\_\_\_\_ aber \_\_\_\_\_ **wasserlöslich**. Die wässrigen Lösungen heißen \_\_\_\_\_ (franz. **sel ammoniac**) und sind starke \_\_\_\_\_.

**Strukturformeln:**

**Summenformeln:**

\_\_\_\_\_  $\text{H}_2\text{O}$  (**Wasser**) ist eine farb- und geruchlose ungiftige **Flüssigkeit**. Es ist als \_\_\_\_\_- und **Transportmittel** für den gesamten Stoffwechsel unersetzlich. Tiere und Pflanzen bestehen zu \_\_\_\_\_ % aus **Salzwasser**. Da \_\_\_\_\_ auf Wasser schwimmt, können Tiere und Pflanzen auch in kalten Klimazonen unter dem Eis überleben. \_\_\_\_\_ wirkt ähnlich wie Schaumstoff als Wärmeisolierung und schützt Pflanzen und Tiere im Winter vor Trockenheit und Kälte.

**Strukturformeln:**

**Summenformeln:**

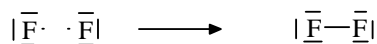
\_\_\_\_\_ **HF** ist ein farbloses und sehr giftiges **Gas**. Seine wässrige Lösung heißt **Flußsäure** und löst Glas.

**Strukturformeln:**

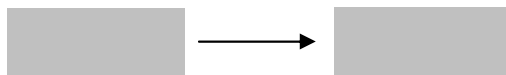
**Summenformeln:**

#### 1.8.4. Mehrfachbindungen

**Fluor**  $F_2$  (lat. **fluor** = fließen, da Fluoride wie z.B. Flußspat  $CaF_2$  zur Schmelzpunktniedrigung beim Schmelzen von Metallerzen zugesetzt wurden) ist ein extrem giftiges farbloses Gas. Es besteht aus **zweiatomigen Molekülen** mit einer **Einfachbindung**:



**Sauerstoff**  $O_2$  (**Oxygenium** von griech. οξύ γεννομαι = **Säurebildner**), ist ein sehr \_\_\_\_\_, farb- und \_\_\_\_\_loses Gas. Es ist selbst nicht \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ aber die Verbrennung. Sauerstoff besteht aus **zweiatomigen Molekülen** mit einer \_\_\_\_\_ **bindung**:

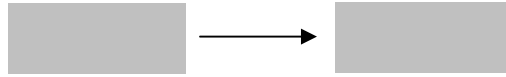


#### Eigenschaften und Bedeutung

- **Wasserlöslichkeit:** Nimmt mit **wachsender Temperatur** stark **ab**: In 1 l Wasser lösen sich bei 15 °C 1,5 mmol  $O_2$ , bei 25 °C aber nur noch 1,2 mmol  $O_2$ . Fische brauchen \_\_\_\_\_ Wasser!
- **Vorkommen:** Sauerstoff ist ein **Zellgift** und erst seit ca. 2 Milliarden Jahren in der Atmosphäre nachweisbar.
- **Photosynthese der Pflanzen**  $\_\_ H_2O + \_\_ CO_2 \rightarrow \_\_ C_6H_{12}O_6 + \_\_ O_2$  mit  $\Delta H = +2800$  kJ/mol seit ca. 2,5 Mill Jahren.
- **Atmungsprozeß der Tiere.**  $\_\_ C_6H_{12}O_6 + \_\_ O_2 \rightarrow \_\_ CO_2 + \_\_ H_2O$  mit  $\Delta H = \_\_\_\_\_\_$  kJ/Mol erst seit ca. 500 Mio Jahren.
- **Überlebensvorteil der Tiere:** Die bei der Atmung gewonnene Energie wird als \_\_\_\_\_ **Energie** (in Form von ATP) gespeichert und kann sowohl für den \_\_\_\_\_ **von Gewebe** (Fette und Eiweiße) genutzt werden als auch in \_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_-**energie** umgesetzt werden. Allerdings können Tiere nicht ohne Pflanzen leben, da nicht nur der Sauerstoff, sondern auch die notwendigen **Kohlenhydrate** aus dem Stoffwechsel der Pflanzen entstammen.
- **Herstellung:** Mit dem \_\_\_\_\_-**Verfahren** durch \_\_\_\_\_ flüssiger Luft.
- **Verwendung:** Als Atemgas, Bleichmittel und Oxidationsmittel für Stahlherstellung.

- **Nachweis:** mit der \_\_\_\_\_

**Stickstoff**  $N_2$  (**Nitrogenium** von  $\nu\tau\rho\nu\nu\ \gamma\epsilon\iota\nu\omicron\mu\alpha\iota$  = Salpeterbildner), ist ein sehr \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_- und \_\_\_\_\_loses Gas. Er besteht aus **zweiatomigen Molekülen** mit einer \_\_\_\_\_bindung:

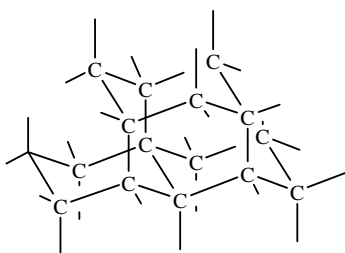


### Eigenschaften und Bedeutung

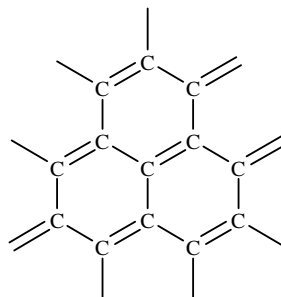
- **Wasserlöslichkeit:** Nimmt mit **wachsender Druck** stark zu. Er muss daher beim **Tauchen** durch \_\_\_\_\_ ersetzt werden, da er sonst bei erhöhten Drücken den \_\_\_\_\_ aus dem Blut verdrängen würde.
- **Vorkommen:** In der \_\_\_\_\_ und in Form von **Salpeter** Kaliumnitrat  $KNO_3$  und **Chilesalpeter** Natriumnitrat  $NaNO_3$  (lat. **sal** = Salz, griech. **petra** = Fels) sowie an der peruanische Pazifikküste als **Guano** = \_\_\_\_\_.
- **Herstellung:** Mit dem \_\_\_\_\_-Verfahren durch \_\_\_\_\_ flüssiger Luft.
- **Verwendung:** Als **Schutzgas** und **Kältemittel** sowie zur Herstellung von \_\_\_\_\_

### 1.8.5. Atommitter

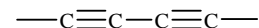
**Kohlenstoff C** (lat. **carbo** = **Kohle**) tritt in verschiedenen Modifikationen auf, die alle sehr reaktionsträge sind mit der Ausnahme der \_\_\_\_\_, die zu dem chemisch noch stabileren „**Kohlenstoffdioxid**“ führt.



Diamant



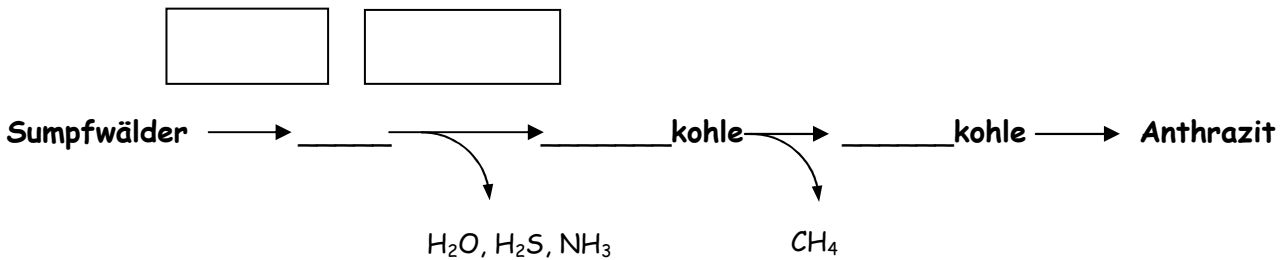
Graphit



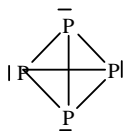
Chaoit

Modifikation	<b>Diamant</b> (griech. διαφανης = transparent, αδαμας = unbesiegbar)	<b>Graphit</b> (griech. γραφειν = schreiben)	<b>Chaoit</b>
Struktur			
Entstehung	bei hohen Drücken stabilste Form (Fundorte in alten Vulkanschloten)	bei Normalbedingungen stabilste Form (Fundorte in vielen Sedimenten als Kohle)	Bei hohen Drücken und Temperaturen stabilste Form (Fundorte in Meteoritenkratern)
Schmelzpunkt	1500 °C Umwandlung in Graphit	3000 °C	3500 °C ?
Farbe			weiß
Härte			?
Dichte			3,43 g/cm <sup>3</sup> (berechnet)
Leitfähigkeit			?

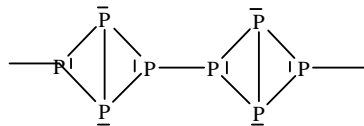
### Entstehung der Kohle



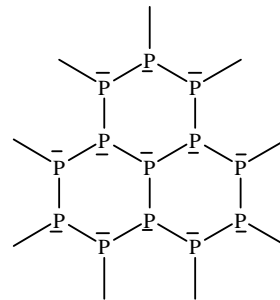
**Phosphor P** (lat. **phosphorus** = Lichtträger, da weißer Phosphor \_\_\_\_\_) ist ein in mehr als 10 verschiedenen \_\_\_\_\_ auftretender, flüchtiger Feststoff: Die wichtigsten sind:



weißer Phosphor



roter Phosphor

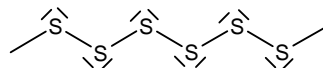
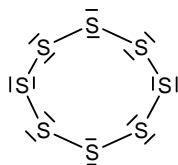


schwarzer Phosphor

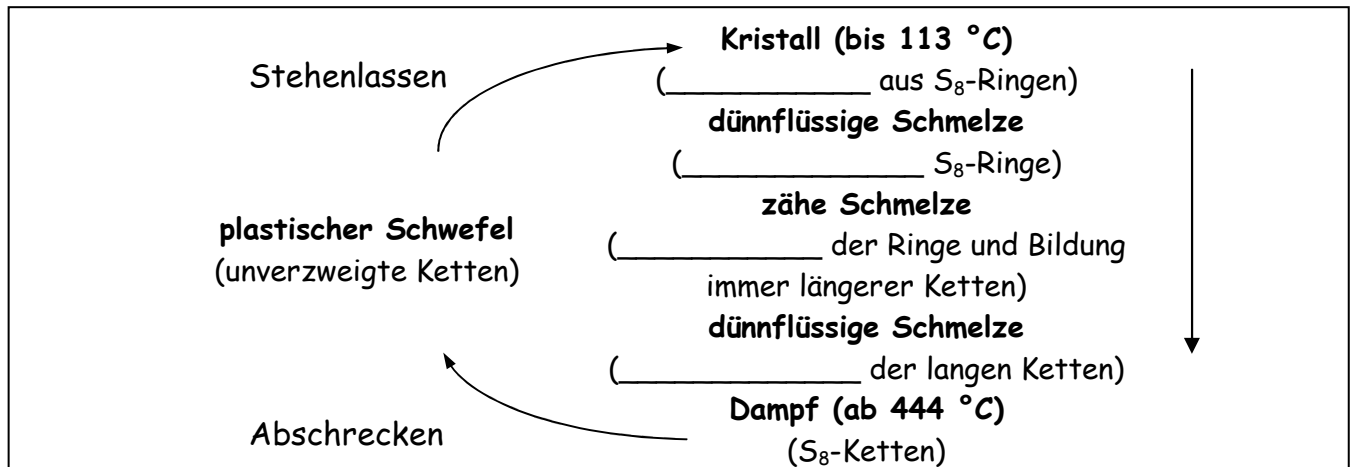
Modifikation	weißer Phosphor	roter Phosphor	schwarzer Phosphor
<b>Struktur</b>			
<b>Herstellung</b>	Kristallisieren aus der Schmelze	Erhitzen von weißem P unter Luftausschluß	Erhitzen von weißem P unter Luftausschluß und hohem Druck
<b>Dichte</b>	1,82 g/cm <sup>3</sup>	2,16 g/cm <sup>3</sup>	2,69 g/cm <sup>3</sup>
<b>Schmelzpunkt</b>	44 °C	550 °C → schwarzer P	610 °C
<b>Löslichkeit</b>	CS <sub>2</sub> (880g/100g !)	-	-
<b>Reaktivität</b>	selbstentzündlich, giftig	stabil	stabil

- **Vorkommen:** Calciumphosphat **Apatit** Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> auf der ganzen Erde in Mineralien, Pflanzen und Tieren.
- **Herstellung** Durch Reduktion von Apatit mit Reduktionsmittel **Koks** und Schlackebildner **Sand** im elektrischen Ofen bei 1500 °C:  $\_ \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \_ \text{SiO}_2 + \_ \text{C} \rightarrow \_ \text{CaSiO}_3 + \_ \text{CO} + \_ \text{P}_4$
- **Bedeutung:** Phosphat PO<sub>3</sub><sup>4-</sup> (700g/1g) ist in **Milch, Fleisch** und **Hülsenfrüchten** enthalten und ist als Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> am Aufbau von \_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_ beteiligt; Phosphatgruppen dienen im Stoffwechsel aller Lebewesen als Speicher für \_\_\_\_\_ Energie.

**Schwefel S** (lat. sulfur) ist ein \_\_\_\_\_, flüchtiger, reaktiver aber relativ ungiftiger **Feststoff**. Aufgrund des großen Umfanges kann S **keine stabilen** \_\_\_\_\_ **bindungen** wie der kleinere \_\_\_\_\_ ausbilden und bildet stattdessen **gewellte S<sub>8</sub>**-\_\_\_\_\_ oder \_\_\_\_\_:



Beim langsamen Erwärmen von Schwefel wird er erst **dünflüssig**, dann **zähflüssig** und dann wieder **dünflüssig**. Bei der Umwandlung von Ketten und Ringen ineinander entstehen nämlich wechselweise **kleine** \_\_\_\_\_ **bewegliche** ( $\Rightarrow$  \_\_\_\_\_ **flüssige** Schmelze) als auch **große** \_\_\_\_\_ **bewegliche** Moleküle ( $\Rightarrow$  \_\_\_\_\_ **flüssige** Schmelze)

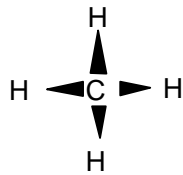


- **Löslichkeit**: \_\_\_\_\_ in Wasser, kaum \_\_\_\_\_ in Benzin (0,25 g/100 g) aber gut löslich in Schwefelkohlenstoff CS<sub>2</sub> (35 g/100 g).
- **Vorkommen**: Als Abbauprodukt anaerober \_\_\_\_\_ oberhalb von Gips- und Öllagerstätten. Im menschlichen Körper als wichtiger Bestandteil der \_\_\_\_\_. (Geruch von faulen Eiern!)
- **Bedeutung**: Herstellung von \_\_\_\_\_säure und **Vulkanisierung** (Härtung) von \_\_\_\_\_ bei der Herstellung von \_\_\_\_\_.

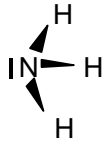
### 1.8.6. polare Elektronenpaarbindungen

Sind an einer Elektronenpaarbindung Atome mit **unterschiedlichen** \_\_\_\_\_ beteiligt, so ist der bevorzugte Aufenthaltsort der Bindungselektronen zum \_\_\_\_\_ Atom hin verschoben und die Elektronenpaarbindung erhält einen \_\_\_\_\_ **Charakter**.

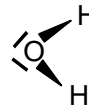




Methan  
EN-Differenz: 0,4  
kein Dipol!



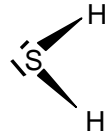
Ammoniak  
EN-Differenz: 0,9



Wasser  
EN-Differenz: 1,4



Fluorwasserstoff  
EN-Differenz: 1,9



Schwefelwasserstoff  
EN-Differenz: 0,4



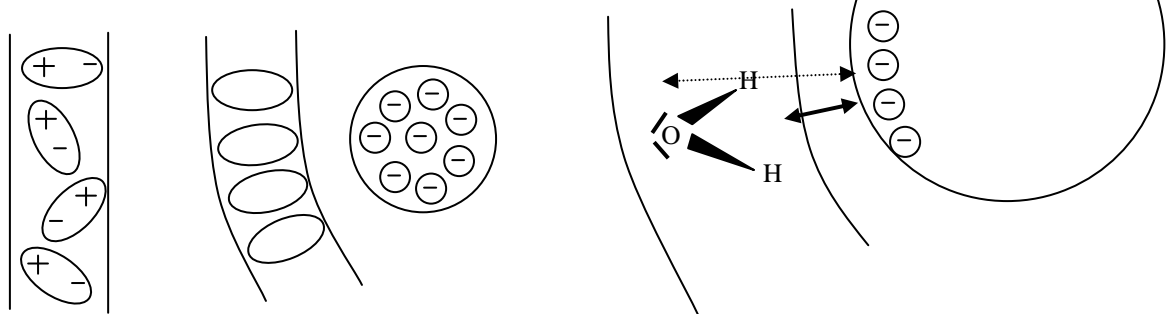
Chlorwasserstoff  
EN-Differenz: 0,9



Bromwasserstoff  
EN-Differenz: 0,7

- Durch die unsymmetrische Ladungsverteilung verhält sich das Molekül wie ein elektrischer \_\_\_\_\_, dessen negatives Ende durch das Atom mit der größeren EN gebildet wird.
- Der Dipolcharakter nimmt mit wachsender EN-\_\_\_\_\_ zu; er ist im \_\_\_\_\_ sehr schwach ausgeprägt und in \_\_\_\_\_ am stärksten. Die Verschiebung des bindenden Elektronenpaars zum \_\_\_\_\_ Atom hin wird dabei durch **Keile** dargestellt:
- In **Methan**  $\text{CH}_4$  sind die positiv polarisierten H-Atome \_\_\_\_\_ um das negativ polarisierte C-Atom verteilt und neutralisieren sich daher gegenseitig.  $\text{CH}_4$  bildet daher **keinen** \_\_\_\_\_!

### Ablenkung eines Wasserstrahls durch einen geladenen Gummistab



schwache Abstoßung des weiter entfernten \_\_\_\_\_-Pols

starke Anziehung des näher liegenden \_\_\_\_\_-Pols überwiegt

⇒ insgesamt schwache Anziehung des insgesamt \_\_\_\_\_ Moleküls!

## 1.8. Die Elektronenpaarbindung

### 1.8.1. Die Elektronenpaarbindung

Film: Moleküle und Elektronenpaarbindung 1) Elektronenpaarbindungen 4'30'', Elemente I S. 170

- Zwei Nichtmetallatome können die Edelgaskonfiguration durch **gemeinsame Nutzung** von je zwei Außenelektronen (**bindendes Elektronenpaar**) erreichen.
- Dabei können sowohl kleine Atomgruppen (**Moleküle**) als auch ausgedehnte **Atomgitter** entstehen, die durch **elektrostatische** Anziehung zwischen **Bindungselektronen** und **Atomkernen** zusammengehalten werden.
- Bindungen zwischen Nichtmetallen heißen **Elektronenpaarbindungen** oder **Atombindungen**.
- Im Gegensatz zur Metallbindung und zur Ionenbindung ist die Elektronenpaarbindung **gerichtet**. Die **Geometrie** der Moleküle und Atomgitter wird durch die **räumliche Orientierung** der **Orbitale** bestimmt.

Übungen: Aufgaben zur Elektronenpaarbindung Nr. 1

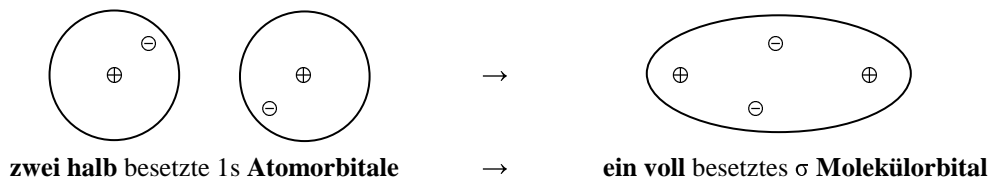
### 1.8.2. Beispiel Wasserstoff H<sub>2</sub>

*Verdünnte* KMnO<sub>4</sub>-Lösung wird erst mit molekularem Wasserstoff aus der Flasche behandelt und dann mit Zinkpulver sowie 1 m H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> versetzt.

#### Die Elektronenpaarbindung im Wasserstoffmolekül

Bei der (zufälligen) Annäherung zweier H-Atome überlagern sich die halbbesetzten **1s-Atomorbitale** und es bildet sich ein gemeinsames vollbesetztes **σ-Molekülorbital**. Das Molekül enthält **weniger chemische Energie** und ist daher **stabiler** als die beiden einzelnen Wasserstoffatome

Orbitaldarstellung:



In **Strukturformeln** werden **einzelne Elektronen** in halbbesetzten Orbitalen als **Punkte** und **Elektronenpaare** in vollbesetzten Orbitalen als **Striche** dargestellt. Die **Summenformel** gibt dagegen nur die Zusammensetzung des Moleküls wieder:

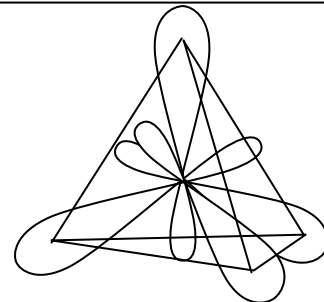


Übungen: Aufgaben zur Elektronenpaarbindung Nr. 2

### 1.8.3. Wasserstoffverbindungen von Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff und Fluor

Film: Moleküle und Elektronenpaarbindung 2) Molekülstruktur 5'0'', Elemente I S. 172, Orbitalmodelle mit Luftballons bauen

- Der räumliche Aufbau von Molekülen und Atomgittern wird häufig durch aneinander gesetzte **Tetraeder** (gleichseitige Pyramide mit dreieckiger Grundfläche) bestimmt.
- Die Tetraeder werden aus 4 gleichen **sp<sup>3</sup>-Hybridorbitalen** gebildet, die unter den Einfluss der Bindungspartner aus den s- und p-Orbitalen entstehen.
- Wegen der elektrostatischen Abstoßung verteilen sich die Außenelektronen **möglichst gleichmäßig** auf die vier Orbitale.



**Elektronenordnung der Nichtmetalle in Verbindungen: (Elemente I S. 170)**

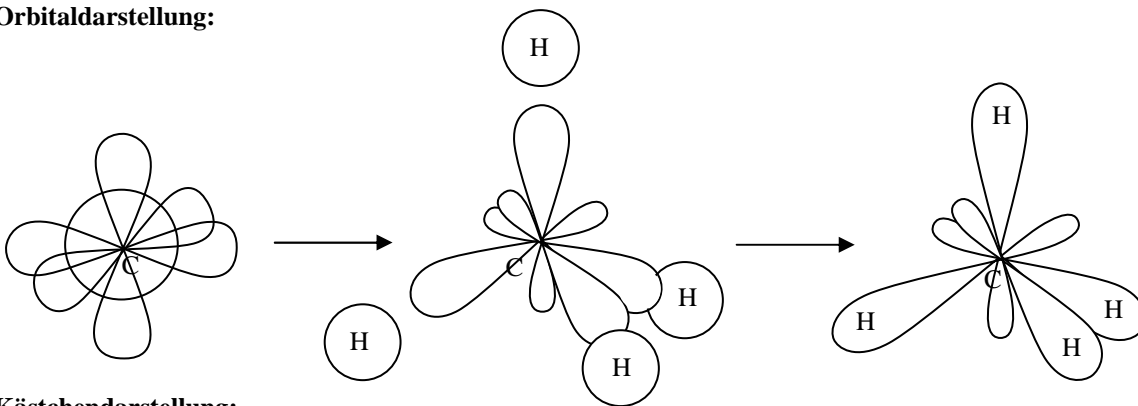
- Man stellt die Elektronenordnung vereinfacht dar, indem man an jeder der vier Seiten des Elementsymbols einen **Strich** für ein **vollbesetztes** und einen **Punkt** für ein **halbbesetztes** Orbital setzt.
- Beispiel: Im Stickstoffatom N verteilen sich 5 Außenelektronen auf 4 Orbitale. Wegen der elektrischen Abstoßung erhält zunächst jedes Orbital ein Elektron; das fünfte kommt zu einem der anderen hinzu und man erhält 3 halb und 1 voll besetzte Orbitale:  $\cdot\bar{N}\cdot$

IV	V	VI	VII	VIII
$\cdot\bar{C}\cdot$	$\cdot\bar{N}\cdot$	$ \bar{O} $	$ \bar{F} $	$ \bar{Ne} $
	$\cdot\bar{P}\cdot$	$ \bar{S} $	$ \bar{Cl} $	$ \bar{Ar} $
		$ \bar{Se} $	$ \bar{Br} $	$ \bar{Kr} $
			$ \bar{I} $	$ \bar{Xe} $
				$ \bar{Rn} $

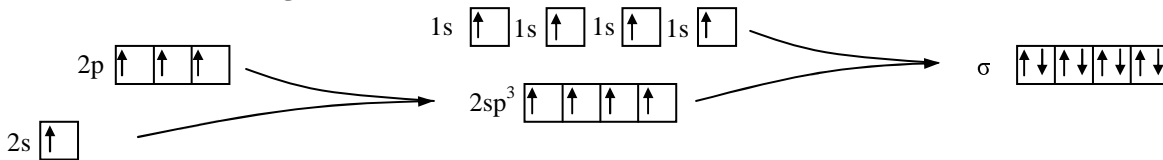
Methan aus Gasanschluß auf Farbe, Geruch, Brennbarkeit untersuchen, Elemente I S. 240 - 241

**Kohlenstofftetrawasserstoff CH<sub>4</sub> (Methan)** ist ein farbloses ungiftiges **Gas** mit charakteristischem Geruch. Es ist der Hauptbestandteil des **Erdgases**. Es wird als relativ umweltschonendes **Brennstoff** eingesetzt, denn Erdgas enthält kaum Verunreinigungen und bei der Verbrennung entstehen ausschließlich „**Kohlenstoffdioxid**“ und **Wasser**:  $CH_4 + 3 O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$ .

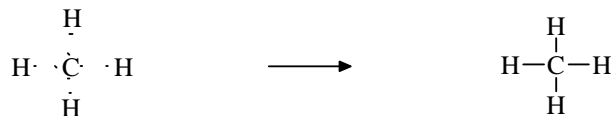
**Orbitaldarstellung:**



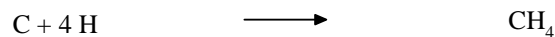
**Kästchendarstellung:**



**Strukturformeln:**

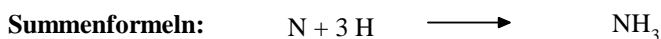
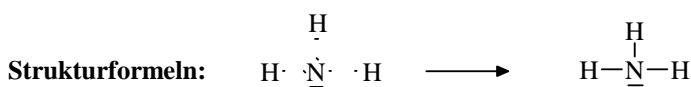


**Summenformeln:**

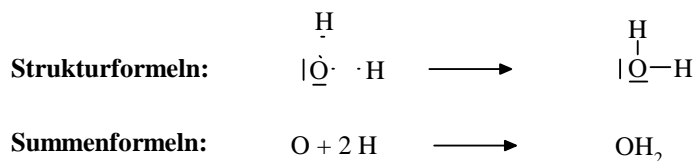


Salmiakgeist auf Geruch, Farbe, Brennbarkeit untersuchen, Elemente I S. 198

**Stickstofftriwasserstoff NH<sub>3</sub> (Ammoniak)** z.B. bei Herodot im 5 Jh v. Chr.: „Es gibt große Salzkumpen [von Ammoniumchlorid NH<sub>4</sub>Cl] auf den Hügeln von Lybien und die Ammoniter, die dort leben, verehren den Gott Ammon in einem Tempel, der dem des Zeus in Theben gleicht.“) ist ein farbloses, tränen reizendes und stechend riechendes **Gas**. Es ist im Gegensatz zu Methan nicht brennbar aber **sehr gut wasserlöslich**. Die wässrigen Lösungen heißen **Salmiakgeist** (franz. **sel ammoniac**) und sind starke **Laugen**.

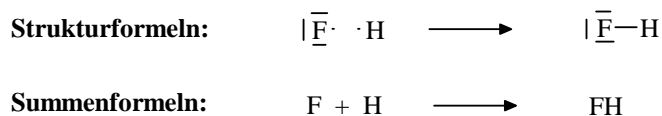


**Sauerstoffdihydrogen H<sub>2</sub>O (Wasser)** ist eine farb- und geruchlose ungiftige **Flüssigkeit**. Es ist als **Lösungs- und Transportmittel** für den gesamten Stoffwechsel unersetzlich. Tiere und Pflanzen bestehen zu 70 % aus **Salzwasser**. Da **Eis** auf Wasser schwimmt, können Tiere und Pflanzen auch in kalten Klimazonen unter dem Eis überleben. **Schnee** wirkt ähnlich wie Schaumstoff als Wärmeisolierung und schützt Pflanzen und Tiere im Winter vor Trockenheit und Kälte.



Flußsäure aus  $\text{NaF} + \text{H}_2\text{SO}_4$  im Abzug herstellen und Ätzwirkung am RG untersuchen

**Fluorwasserstoff HF** ist ein farbloses und sehr giftiges **Gas**. Seine wässrige Lösung heißt **Flußsäure** und löst Glas.

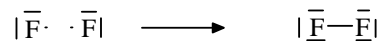


Übungen: Aufgaben zur Elektronenpaarbindung Nr. 3 und Aufgaben zu Strukturformeln Nr. 1

### 1.8.4. Mehrfachbindungen

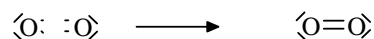
Film: Moleküle und Elektronenpaarbindung 3) Mehrfachbindungen 4'40''

**Fluor F<sub>2</sub>** (lat. **fluor** = fließen, da Fluoride wie z.B. Flußspat CaF<sub>2</sub> zur Schmelzpunktniedrigung beim Schmelzen von Metallerzen zugesetzt wurden) ist ein extrem giftiges farbloses Gas. Es besteht aus **zweiatomigen Molekülen** mit einer **Einfachbindung**:



Glimmspanprobe, Herstellung von Schwefel- oder Kohlensäure, Elemente I S. 84

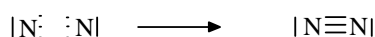
**Sauerstoff O<sub>2</sub> (Oxygenium)** von griech. οξύς γεννομα = **Säurebildner**), ist ein sehr reaktives, farb- und geruchloses Gas. Es ist selbst nicht brennbar, fördert aber die Verbrennung. Sauerstoff besteht aus **zweiatomigen Molekülen** mit einer **Doppelbindung**:



#### Eigenschaften und Bedeutung

- **Wasserlöslichkeit:** Nimmt mit **wachsender Temperatur** stark **ab**: In 1 l Wasser lösen sich bei 15 °C 1,5 mmol O<sub>2</sub>, bei 25 °C aber nur noch 1,2 mmol O<sub>2</sub>: Fische brauchen **kalt**es Wasser zum Atmen!
- **Vorkommen.** Sauerstoff ist ein **Zellgift** und erst seit ca. 2 Milliarden Jahren in der Atmosphäre nachweisbar.
- **Photosynthese** der **Pflanzen**  $6 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{CO}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$  mit  $\Delta H = 2800 \text{ kJ/mol}$  seit ca. 2,5 Mill Jahren.
- **Atmungsprozeß** der **Tiere**.  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$  mit  $\Delta H = -2800 \text{ kJ/mol}$  seit ca. 500 Mio Jahren.
- **Überlebensvorteil** der **Tiere**: Die bei der Atmung gewonnene Energie wird als **chemische Energie** (in Form von ATP) gespeichert und kann sowohl für den **Aufbau von Gewebe** (Fette und Eiweiße) genutzt werden als auch in **Wärme- oder Bewegungsenergie** umgesetzt werden. Allerdings können Tiere nicht ohne Pflanzen leben, da nicht nur der Sauerstoff, sondern auch die notwendigen **Kohlenhydrate** aus dem Stoffwechsel der Pflanzen entstammen.
- **Herstellung:** Mit dem **Linde-Verfahren** durch **Destillation** flüssiger Luft.
- **Verwendung:** Als **Atemgas**, **Bleichmittel** und **Oxidationsmittel** für Stahlherstellung.
- **Nachweis:** mit der **Glimmspanprobe**

**Stickstoff N<sub>2</sub> (Nitrogenium)** von νίτρον γεννομα = Salpeterbildner), ist ein sehr reaktionsträges, farb- und geruchloses Gas. Er besteht aus **zweiatomigen Molekülen** mit einer **Dreifachbindung**:



## Eigenschaften und Bedeutung

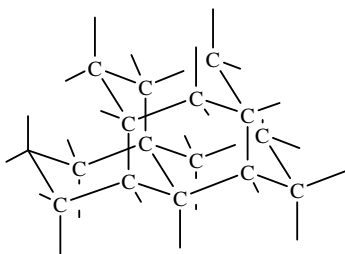
- **Wasserlöslichkeit:** Nimmt mit **wachsender Druck** stark **zu**. Er muss daher beim **Tauchen** durch **Helium** ersetzt werden, da er sonst bei erhöhten Drücken den **Sauerstoff** aus dem Blut verdrängen würde
- **Vorkommen.** In der Atmosphäre und in Form von **Salpeter** Kaliumnitrat  $\text{KNO}_3$  und **Chilesalpeter** Natriumnitrat  $\text{NaNO}_3$  (lat. **sal** = Salz, griech. **petra** = Fels) sowie an der peruanischen Pazifikküste als **Guano** = Vogelmist.
- **Herstellung:** Mit dem **Linde-Verfahren** durch **Destillation** flüssiger Luft.
- **Verwendung:** Als **Schutzgas** und **Kältemittel** sowie zur Herstellung von **Ammoniak**

Übungen: Aufgaben zu Elektronenpaarbindung Nr. 4 - 7  
 Aufgaben zu Strukturformeln Nr. 2  
 „Okto“-Kartenspiel zu Strukturformeln

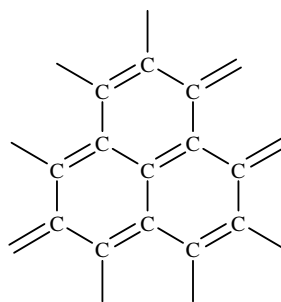
## 1.8.5. Atomgitter

Elemente I S. 174 - 175

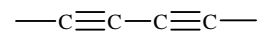
**Kohlenstoff C** (lat. **carbo** = **Kohle**) tritt in verschiedenen Modifikationen auf, die alle sehr reaktionsträge sind mit der Ausnahme der **Verbrennungsreaktion**, die zu dem chemisch noch stabileren „**Kohlenstoffdioxid**“ führt.



Diamant



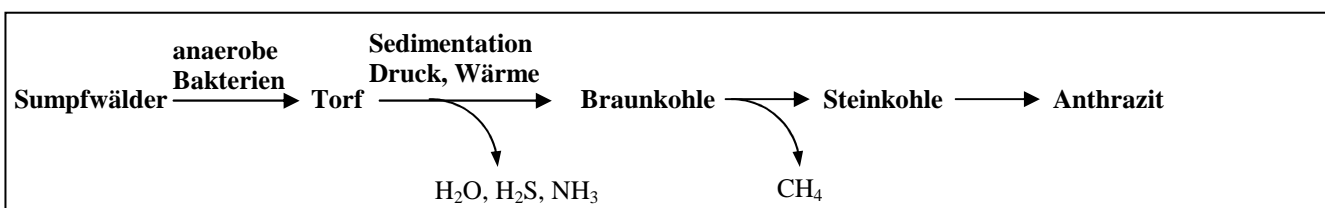
Graphit



Chaoit

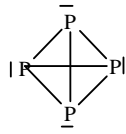
Modifikation	<b>Diamant</b> (griech. διαφανής = <b>transparent</b> , αδάμας = <b>unbesiegbar</b> )	<b>Graphit</b> (griech. γραφειν = <b>schreiben</b> )	<b>Chaoit</b>
<b>Struktur</b>	dreidimensionales Gitter mit Einfachbindungen	zweidimensionale Schichten mit Doppelbindungen	eindimensionale Ketten mit Dreifachbindungen
<b>Entstehung</b>	bei hohen Drücken stabilste Form (Fundorte in alten Vulkanschloten)	bei Normalbedingungen stabilste Form (Fundorte in vielen Sedimenten als Kohle)	Bei hohen Drücken und Temperaturen stabilste Form (Fundorte in Meteoritenkratern)
<b>Schmelzpunkt</b>	1500 °C Umwandlung in Graphit	3000 °C	3500 °C ?
<b>Farbe</b>	farblos	schwarz	weiß
<b>Härte</b>	härtester Stoff, den es gibt	weich, schmierig	?
<b>Dichte</b>	3,51 g/cm <sup>3</sup>	2,26 g/cm <sup>3</sup>	3,43 g/cm <sup>3</sup> (berechnet)
<b>Leitfähigkeit</b>	elektrischer Isolator, aber sehr guter Wärmeleiter (!)	hohe elektrische Leitfähigkeit entlang der Schichten, Verwendung als Elektrodenmaterial	?

## Entstehung der Kohle

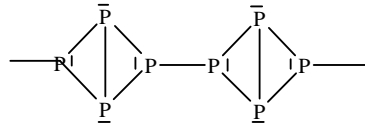


weißen und roten Phosphor vergleichen, Phosphoreszenz und Selbstentzündlichkeit von weißem Phosphor

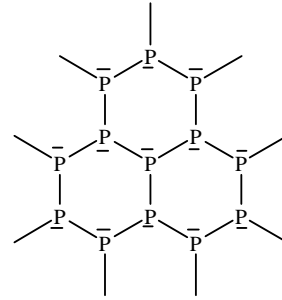
**Phosphor P** (lat. **phosphorus** = Lichtträger, da weißer Phosphor phosphoresziert) ist ein in mehr als 10 verschiedenen **Modifikationen** auftretender, flüchtiger Feststoff: Die wichtigsten sind:



weißer Phosphor



roter Phosphor



schwarzer Phosphor

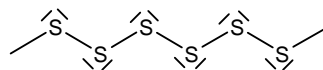
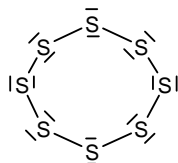
Modifikation	weißer Phosphor	roter Phosphor	schwarzer Phosphor
<b>Struktur</b>	einzelne P <sub>4</sub> -Tetraeder	Ketten und Ringe	Schichten
<b>Herstellung</b>	Kristallisieren aus der Schmelze	Erhitzen von weißem P unter Luftausschluß	Erhitzen von weißem P unter Luftausschluß und hohem Druck
<b>Dichte</b>	1,82 g/cm <sup>3</sup>	2,16 g/cm <sup>3</sup>	2,69 g/cm <sup>3</sup>
<b>Schmelzpunkt</b>	44 °C	550 °C → schwarzer P	610 °C
<b>Löslichkeit</b>	CS <sub>2</sub> (880g/100g !)	-	-
<b>Reaktivität</b>	selbstentzündlich, giftig	stabil	stabil

- **Vorkommen:** Calciumphosphat **Apatit** Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> auf der ganzen Erde in Mineralien, Pflanzen und Tieren.
- **Herstellung** Durch Reduktion von **Apatit** mit Reduktionsmittel Koks und Schlackebildner Sand im elektrischen Ofen bei 1500 °C:  $2 \text{ Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 6 \text{ SiO}_2 + 10 \text{ C} \rightarrow 6 \text{ CaSiO}_3 + 10 \text{ CO} + \text{P}_4$
- **Bedeutung:** Phosphat PO<sub>3</sub><sup>4-</sup> (700g/1g) ist in **Milch**, **Fleisch** und **Hülsenfrüchten** enthalten und ist als Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> am Aufbau von **Knochen** und **Zähnen** beteiligt. Phosphatgruppen dienen im Stoffwechsel aller Lebewesen als Speicher für chemische Energie.

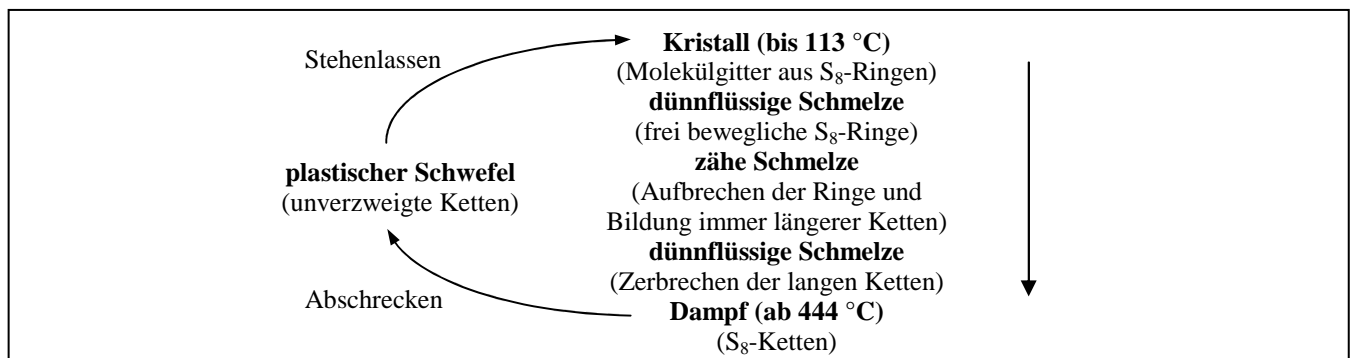
Übungen: Herstellung von Phosphorsäure

Schwefel auf Geruch, Farbe, Dichte und Verhalten beim Erwärmen untersuchen

**Schwefel S** (lat. sulfur) ist ein gelber, flüchtiger, reaktiver aber relativ ungiftiger **Feststoff**. Aufgrund des großen Umfanges kann S **keine stabilen Doppelbindungen wie Sauerstoff** ausbilden und bildet stattdessen **gewellte S<sub>8</sub>-Ringe** oder **Ketten**:



Beim langsamen Erwärmen von Schwefel wird er erst **dünnflüssig**, dann **zähflüssig** und dann wieder **dünnflüssig**. Bei der Umwandlung von Ketten und Ringen ineinander entstehen nämlich wechselweise **kleine leicht bewegliche** (⇒ **dünnflüssige** Schmelze) als auch **große schwer bewegliche** Moleküle (⇒ **dickflüssige** Schmelze)



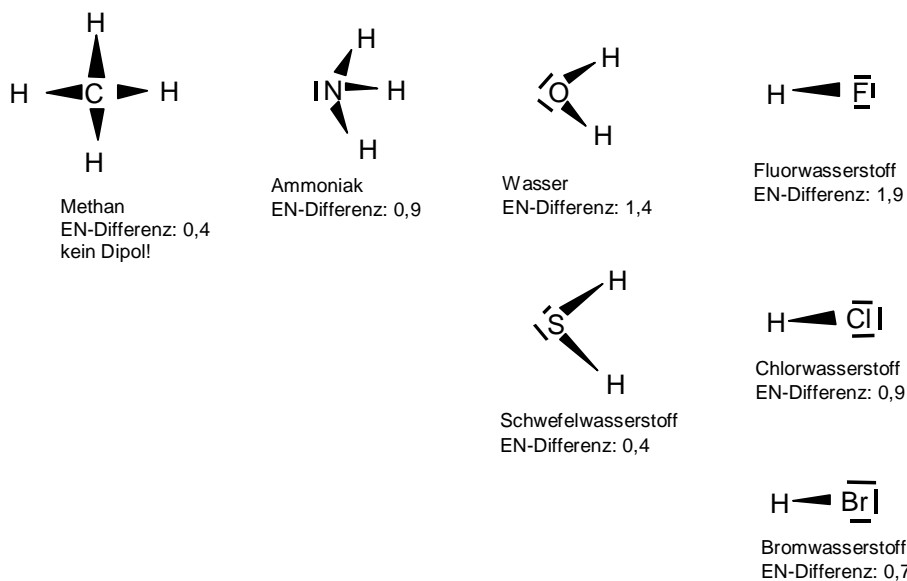
- **Löslichkeit:** unlöslich in Wasser, kaum löslich in Benzin (0,25 g/100 g) aber gut löslich in CS<sub>2</sub> (35 g/100 g).
- **Vorkommen:** Als Abbauprodukt anaerober Bakterien oberhalb von Gips- und Öllagerstätten vor: CH<sub>4</sub> + CaSO<sub>4</sub> → CaCO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>S und H<sub>2</sub>S + CaSO<sub>4</sub> → S + H<sub>2</sub>O + CaSO<sub>3</sub>. Im menschlichen Körper als wichtiger Bestandteil der **Eiweiße** (Methionin und Cystein).
- **Förderung** Mit dem **Frasch-Verfahren** durch Einblasen von überhitztem Wasserdampf, der den Schwefel bei 120 °C schmilzt und an die Oberfläche drückt.
- **Bedeutung:** Herstellung von **Schwefelsäure** und Härtung (**Vulkanisierung**) von **Gummi** für die **Reifenherstellung**.

Übungen: Aufgaben zur Elektronenpaarbindung Nr. 8

### 1.8.6. polare Elektronenpaarbindungen

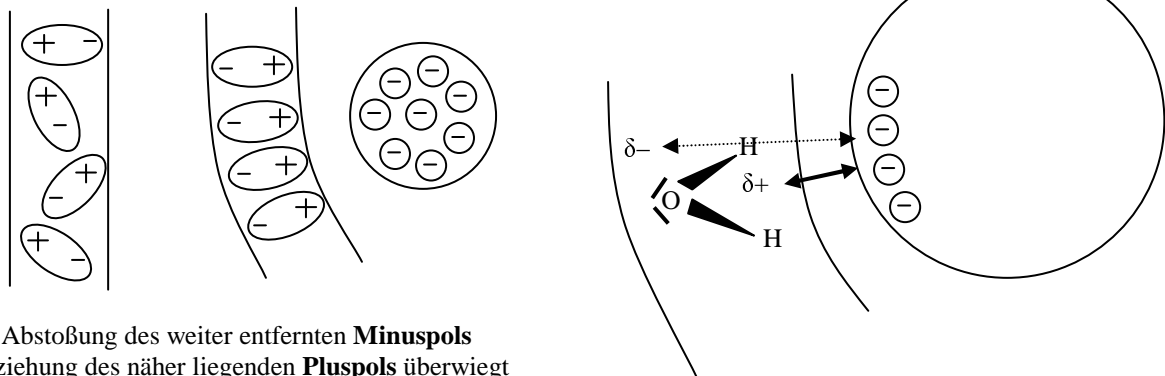
Benzin und Wasser aus Bürette ablaufen lassen, geladenen Gummistab daneben halten (Ablenkung), Benetzungsverhalten z.B. auf der Haut vergleichen, Mischbarkeit im Scheidetrichter untersuchen, Elemente I S. 176 - 177

Sind an einer Elektronenpaarbindung Atome mit **unterschiedlichen Elektronegativitäten** beteiligt, so ist der bevorzugte Aufenthaltsort der Bindungselektronen zum **elektronegativeren** Atom hin verschoben und die Elektronenpaarbindung erhält einen **polaren Charakter**.



- Durch die unsymmetrische Ladungsverteilung verhält sich das Molekül wie ein elektrischer **Dipol**, dessen negatives Ende durch das Atom mit der größeren EN gebildet wird.
- Der Dipolcharakter nimmt mit wachsender **EN-Differenz** zu; er ist im **H<sub>2</sub>S** sehr schwach ausgeprägt und in **HF** am stärksten. Die **Verschiebung** des bindenden Elektronenpaars zum **elektronegativeren** Element hin wird dabei durch **Keile** dargestellt:
- In **Methan** CH<sub>4</sub> sind die positiv polarisierten H-Atome **gleichmäßig** um das negativ polarisierte C-Atom verteilt und neutralisieren sich daher gegenseitig. CH<sub>4</sub> bildet daher **keinen Dipol**!

### Ablenkung eines Wasserstrahls durch einen geladenen Gummistab



schwache Abstoßung des weiter entfernten **Minuspols**  
starke Anziehung des näher liegenden **Pluspols** überwiegt  
⇒ insgesamt schwache Anziehung des insgesamt **neutralen** Moleküls!

Übungen: Aufgaben zur Elektronenpaarbindung Nr. 9