

1.3. Chemische Reaktionen

1.3.1. Beschreibung chemischer Reaktionen mit Reaktionsgleichungen

Bei einer **chemischen Reaktion** werden **Edukte** (_____) in **Produkte** (_____) umgewandelt. Dabei wird _____ mit der Umgebung ausgetauscht. Zu ihrer Beschreibung verwendet man _____ .

Eisen reagiert mit Luftsauerstoff zu Dieisentrioxid (Rost)

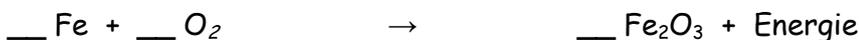
Beschreibung in Worten:

Je ___ Fe-Atome reagieren mit je ___ O₂-Molekülen zu je ___ Formeleinheiten Dieisentrioxid. Dabei wird Energie in Form von _____ und _____ frei.

Beschreibung mit Teilchenbildern



Beschreibung durch eine Reaktionsgleichung:



Massenerhalt in einer Reaktionsgleichung

Die Zahl der Atome muss für jede Atomsorte rechts und links übereinstimmen. (**Probe**)

links:

___ x 1 Fe-Atome

___ x 2 O-Atome

rechts:

___ x 2 Fe-Atome

___ x 3 O-Atome

Beachte: der Index 1 wird in Summenformeln grundsätzlich weggelassen!

Beispiel für eine Massenberechnung:

Aufgabe: Es werden ___ g Eisen Fe an der Luft verbrannt. Wie viel Liter Sauerstoff werden dabei verbraucht und wie viel g Eisenoxid entstehen?

Lösung:

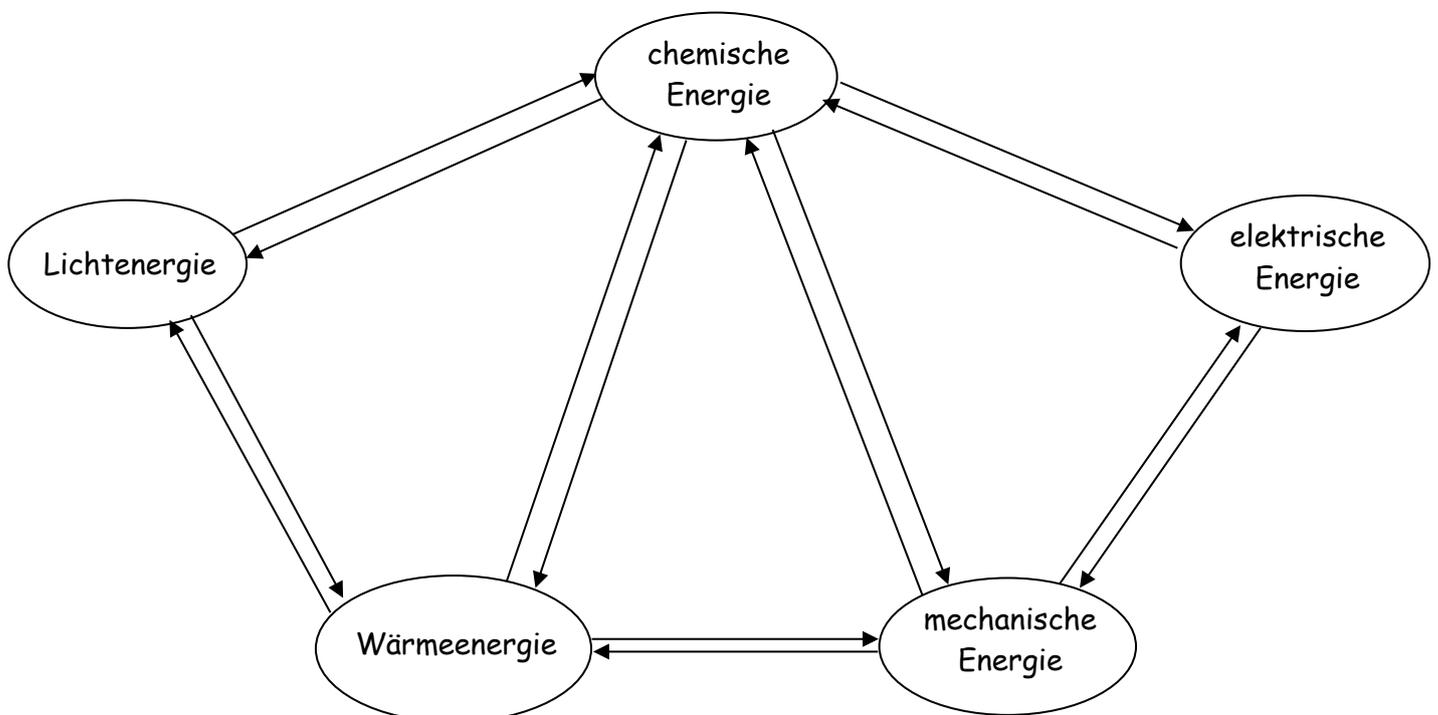
Zur Berechnung der benötigten Stoffmengen wird die gegebene Reaktionsgleichung zunächst in Mol ausgedrückt und dann in g bzw. Liter umgerechnet:

**Antwort:**

Es werden Liter Sauerstoff verbraucht und es entstehen g Dieisentrioxid.

1.3.2. Energieformen

Beschrifte die Pfeile mit den folgenden Begriffen: Sonnenbad, Sonnenbrand, Akku entladen, Akku aufladen, Photosynthese der Pflanzen, Sahne schlagen, Teig kneten, Dynamo, Elektromotor, Feuer (zwei Mal), glühender Nagel, Verbrennungsmotor, Dampfmaschine, Eisengewinnung im Hochofen, Reibung



1.3.3. Die spezifische Wärmekapazität

Einige Wärmekapazitäten:

- Um die Temperatur von 1 g Wasser um 1 K zu erhöhen, muss eine Wärmemenge von 4,19 J zugeführt werden.
- Um die Temperatur von 100 g Wasser um 1 K zu erhöhen, muss eine Wärmemenge von _____ = ____ J zugeführt werden.
- Um die Temperatur von 100 g Wasser um 5 K zu erhöhen, muss eine Wärmemenge von _____ = _____ J zugeführt werden.

Stoff	c in J/g·K
Wasser	4,19
Luft	1,00
Eisen	0,98
Kalk	0,81
Blei	0,12

Um die Temperatur von Wasser mit der Masse m um ΔT zu erhöhen, muss eine Wärmemenge Q (**quantité calorifique**) = _____ zugeführt werden. $c = 4,19 \text{ J/k}\cdot\text{g}$ ist die **spezifische** (d.h. auf 1 g bezogene) **Wärmekapazität** (Wärmeaufnahmevermögen) des Wassers.

1.3.4. Energieumsatz bei chemischen Reaktionen

Reaktionsenthalpie und Aktivierungsenergie

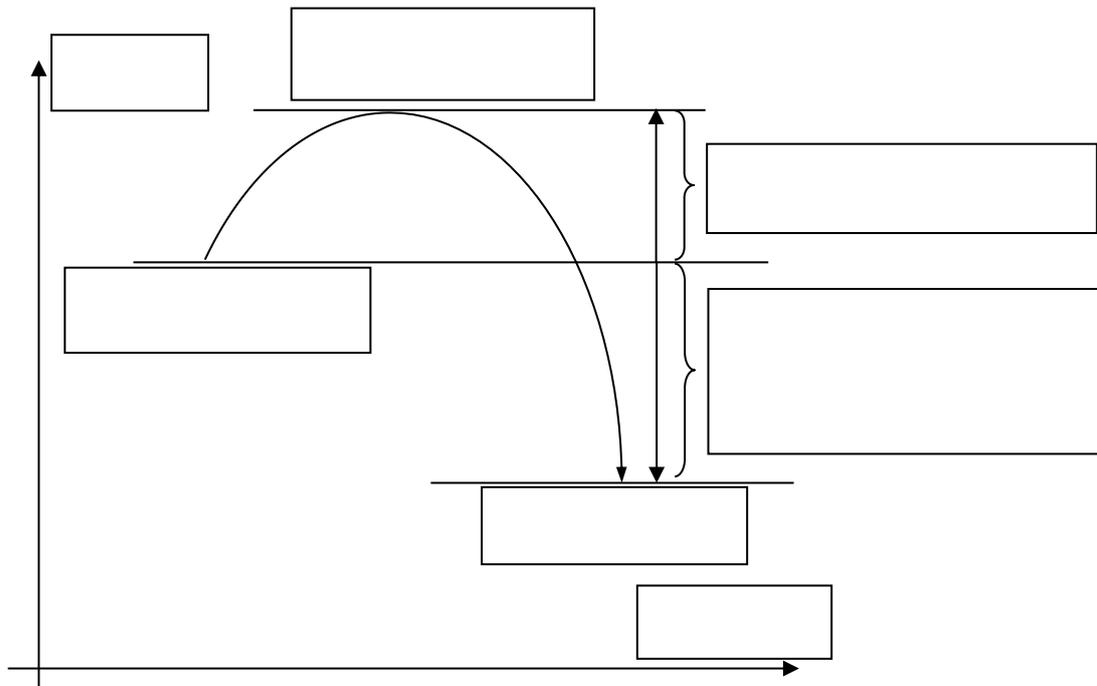
Die **molare Reaktionsenthalpie** (griech. **thalpos** = Wärme) ΔH (engl. **Heat content**) ist die Wärmemenge, die bei der Reaktion von 1 mol Formelumsatz mit der Umgebung ausgetauscht wird.

- Bei **Wärmeabgabe** ist $\Delta H < 0$ (**exotherme** Reaktion von **thermos** = warm und **exos** = nach außen)
- Bei **Wärmeaufnahme** ist $\Delta H > 0$ (**endotherme** Reaktion von **endos** = nach innen)

Die **Aktivierungsenergie** E_A muss zugeführt werden, um dafür zu sorgen, dass genügend _____ Teilchen mit genügend hoher _____ aufeinanderprallen, damit die Reaktion _____ wird

Beispiel 1: Bestimmung der molaren Bildungsenthalpie von Eisensulfid

Beschrifte das Energiediagramm mit den folgenden Begriffen: Energie, Zeit, $\text{Fe} + \text{S}$ (Kristalle), $\text{Fe} + \text{S}$ (freie Atome), FeS (Kristall), Aktivierungsenergie E_A , Reaktionsenthalpie $\Delta H = -100 \text{ kJ/mol}$



Beispiel 2: Synthese und Analyse von Silbersulfid

1. Synthese von Silbersulfid:

Silber Ag reagiert mit Schwefeldämpfen S zu Silbersulfid Ag_2S , wobei pro Mol gebildetem Silbersulfid 33 kJ in Form von Wärme **frei werden**:

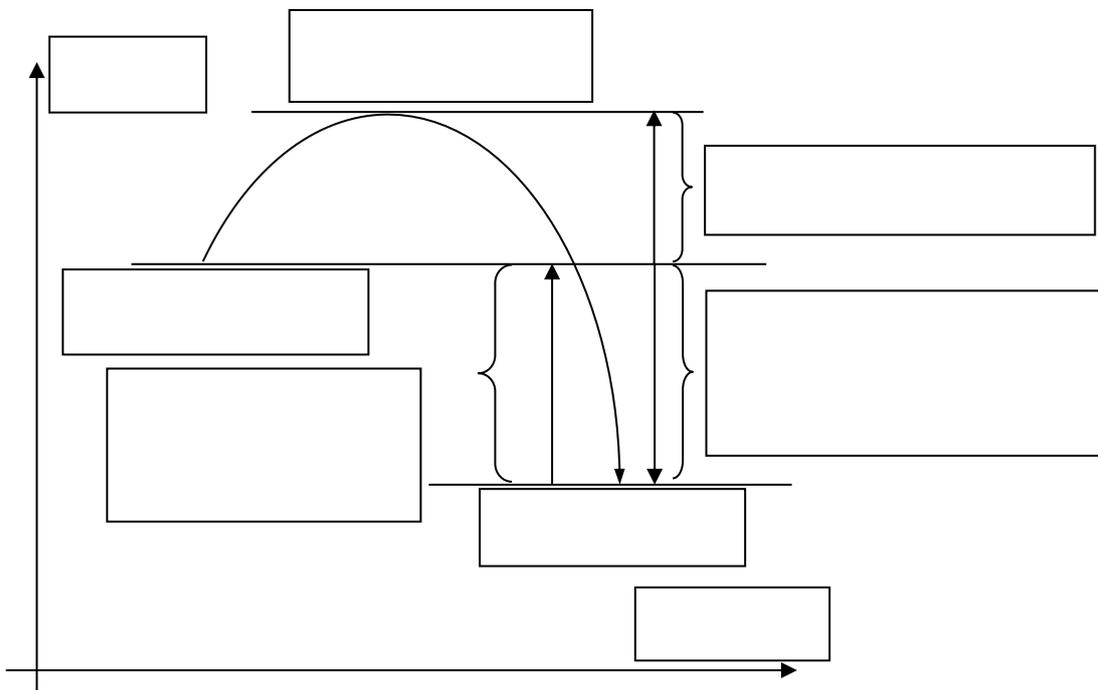


2. Analyse von Silbersulfid

Umgekehrt zersetzt sich Silbersulfid wieder zu Silber und Schwefel, wenn pro Mol Silbersulfid 33 kJ in Form von Wärme **zugeführt** werden:



Beschrifte das Energiediagramm mit den folgenden Begriffen: Energie, Zeit, $\text{Ag} + 2 \text{S}$ (Kristalle), $\text{Ag} + 2 \text{S}$ (freie Atome), Ag_2S (Kristall), Aktivierungsenergie E_A , Reaktionsenthalpie für die Hinreaktion $\Delta H_{\text{hin}} = -33 \text{ kJ/mol}$, Reaktionsenthalpie für die Rückreaktion $\Delta H_{\text{rück}} = +33 \text{ kJ/mol}$



Umkehrbarkeit chemischer Reaktionen

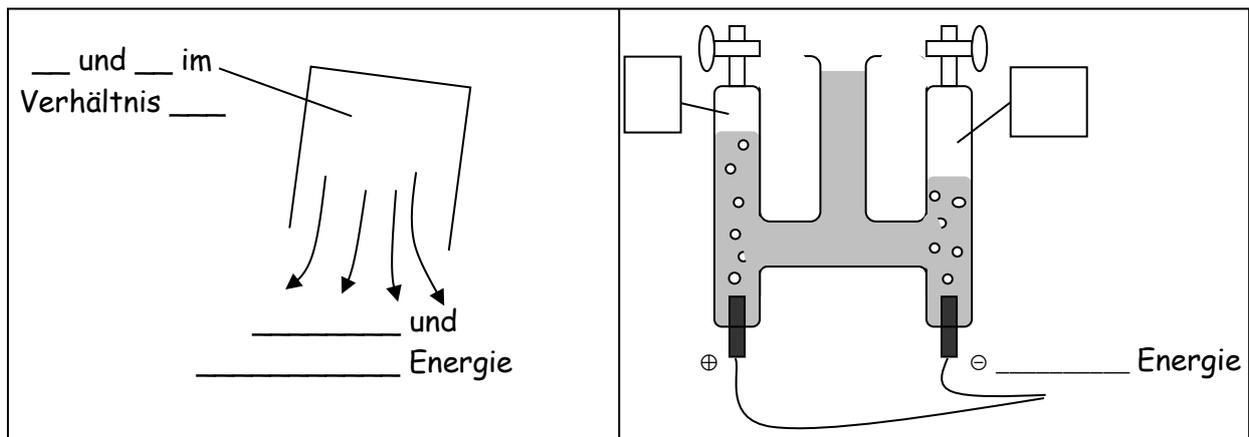
Chemische Reaktionen können immer in zwei Richtungen ablaufen. Ist die **Hinreaktion** ___therm, so ist die **Rückreaktion** ___otherm und umgekehrt.

Analyse und Synthese

- **Analyse** = _____ einer Verbindung in ihre Elemente
- **Synthese** = _____ einer Verbindung aus den Elementen

Beispiel 3: Analyse und Synthese von Wasser

<p>Wasserstoff und Sauerstoff reagieren unter _____ von _____ und _____ Energie zu Wasser:</p> <p>(Knallgasreaktion)</p> $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ <p>mit $\Delta H = 571,2 \text{ kJ/Mol}$</p> <p>(_____therme Hinreaktion)</p>	<p>Umgekehrt wird Wasser durch _____ elektrische Energie in _____ und _____ zerlegt.</p> <p>(Elektrolyse von Wasser)</p> $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$ <p>mit $\Delta H = 571,2 \text{ kJ/Mol}$</p> <p>(_____therme Rückreaktion)</p>
---	--

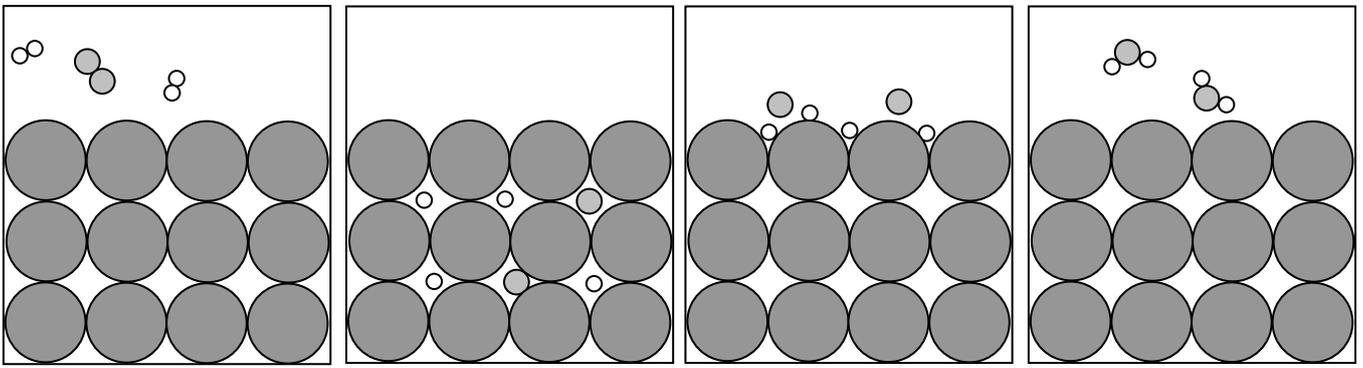


Katalysatoren

- schwächen die **Bindungen** zwischen den Teilchen der _____
- setzen dadurch die _____ herab
- _____ die Reaktion
- werden bei der Reaktion **nicht** _____.

Beispiele:

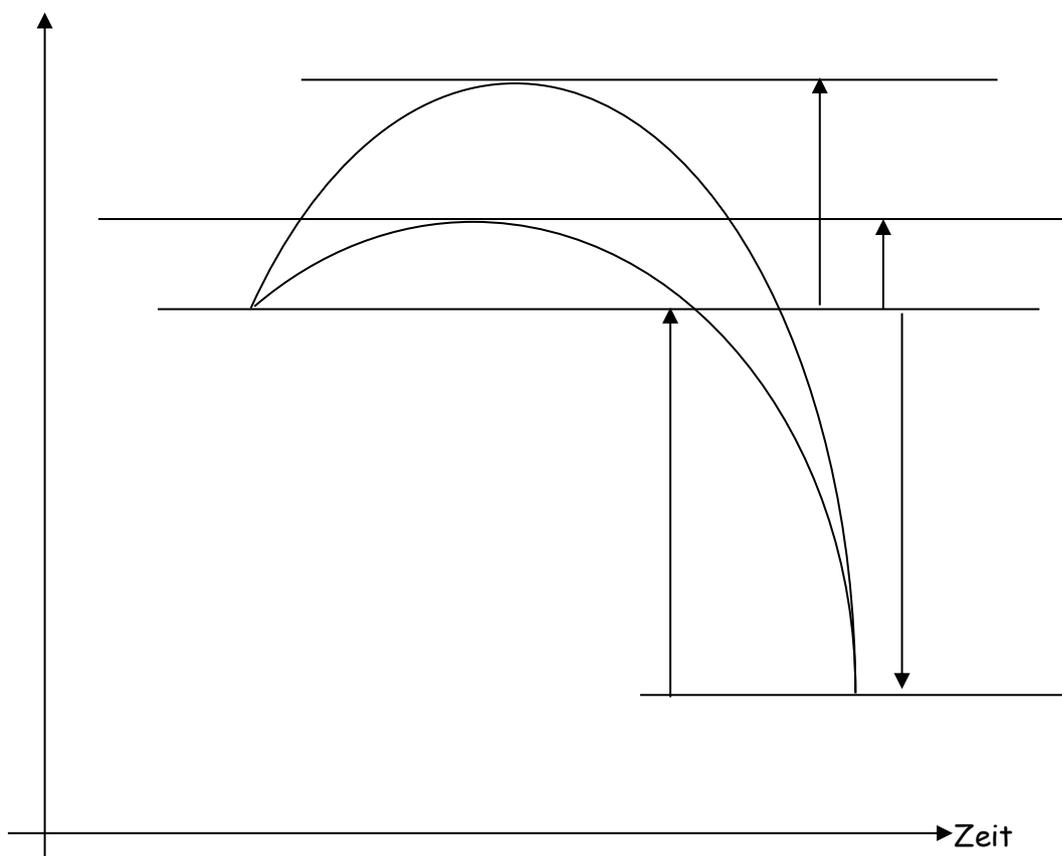
1. Am Platinkontakt entzündet sich Wasserstoff schon bei _____temperatur (_____ **Feuerzeug**). Die H_2 -Moleküle und die O_2 -Moleküle wandern in die _____ zwischen den riesigen Platinatomen und werden dabei in einzelne Atome aufgetrennt.



2. Bei unvollständiger Verbrennung unter Sauerstoffmangel z.B. in **Zigaretten**, bei **Schwelbränden** oder im **Verbrennungsmotor** entstehen die hochgiftigen Gase _____ CO und _____ NO. Im **Autokatalysator** reagieren sie am Platin-Iridium-Kontakt miteinander zu ungiftigem _____ CO₂ und _____ N₂: $__ \text{CO} + __ \text{NO} \rightarrow __ \text{CO}_2 + __ \text{N}_2$.
3. In der Biologie bezeichnet man katalytisch wirksame Moleküle als _____. Eines der wichtigsten Verdauungsenzyme ist das **Pepsin**, das die _____ von Eiweißstoffen im _____ fördert.

Beschrifte mit den folgenden Begriffen: Aktivierungsenergie E_A ohne Katalysator, Aktivierungsenergie E_A mit Katalysator, Reaktionsenthalpie für die Hinreaktion $\Delta H_{\text{hin}} = -571 \text{ kJ/mol}$, Reaktionsenthalpie für die Rückreaktion $\Delta H_{\text{rück}} = +571 \text{ kJ/mol}$, 4 H + 2 O freie Atome, 4 H + 2 O Atome gelöst im Pt-Kristall, 2 H₂ + O₂ Moleküle, 2 H₂O Moleküle

Energie



1.3.5. Geschwindigkeit chemischer Reaktionen

Eigenschaften von Sauerstoff, Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid

Gas	Sauerstoff O ₂	Wasserstoff H ₂	Kohlenstoffdioxid CO ₂
Name	Oxygenium = Säurebildner von griech. oxos = sauer und genesis = _____, da Nichtmetalloxide mit Wasser Säuren bilden	Hydrogenium = Wasserbildner von griech. hydor = _____	Verbrennungsprodukt von Kohlenstoffverbindungen
Farbe			
Geruch			
Dichte			
Wasserlöslichkeit	_____, nimmt mit steigender Temperatur _____	_____, aber _____ in Metallen wie z.B. Eisen und Platin	_____, nimmt mit steigender Temperatur _____
Reaktivität	reagiert mehr oder weniger heftig mit fast allen anderen Stoffen und bildet dabei _____ (Verbrennung, _____)	reagiert explosionsartig mit Sauerstoff und bildet dabei _____	reaktionsträge, bildet mit Wasser _____
Gewinnung	Destillation flüssiger Luft (_____-Verfahren) Katalytische Zersetzung von _____ Elektrolyse von _____	Einwirkung von _____ auf unedle _____ Elektrolyse von _____	Zersetzung von Carbonaten wie z.B. Calciumcarbonat (Kalk) oder Natriumcarbonat (Soda) mit _____.
Nachweis			

Geschwindigkeit chemischer Reaktionen

Eine chemische Reaktion kommt zustande, wenn genügend _____ Teilchen mit genügend hoher _____ aufeinander prallen. Sie lässt sich beschleunigen, indem man

1. **Wärme** zuführt und dadurch die _____ der Teilchen erhöht.
2. bei **Feststoffen** den **Zerteilungsgrad** und damit die _____ pro Volumeneinheit erhöht.
3. bei **Lösungen** die **Konzentration** und damit die _____ der angreifenden Teilchen pro Volumeneinheit erhöht.
4. bei **Gasen** den **Druck** und damit die _____ der angreifenden Teilchen pro Volumeneinheit erhöht.

1.3. Chemische Reaktionen

1.3.1. Beschreibung chemischer Reaktionen mit Reaktionsgleichungen

Wiederholung: Aufgaben zu chemischen Reaktionen Nr. 1
Bestimmung der Verhältnisformel von Kupfersulfid

Bei einer **chemischen Reaktion** werden **Edukte** (Ausgangsstoffe) in **Produkte** (Endprodukte) umgewandelt. Dabei wird Energie mit der Umgebung ausgetauscht. Zu ihrer Beschreibung verwendet man Rezepte in Form von **Reaktionsgleichungen**.

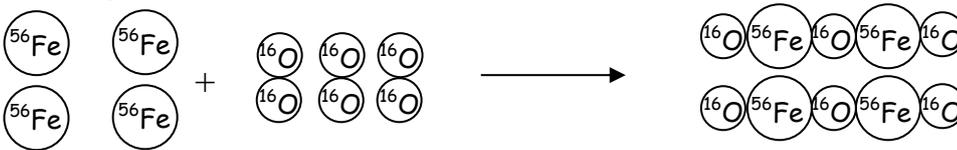
ca. 2 g feine Stahlwolle abwiegen und auf der Waage mit Leitfähigkeitsprüfer und 10 V oder Brenner entzünden.

Eisen reagiert mit Luftsauerstoff zu Dieisentrioxid (Rost)

Beschreibung in Worten:

Je 4 Fe-Atome reagieren mit je 3 O₂-Molekülen zu je 2 Formeleinheiten Dieisentrioxid. Dabei wird Energie in Form von Licht und Wärme frei.

Beschreibung mit Teilchenbildern



Beschreibung durch eine Reaktionsgleichung:



Massenerhalt in einer Reaktionsgleichung

Die Zahl der Atome muss für jede Atomsorte rechts und links übereinstimmen. (**Probe**)

links:

4 x 1 Fe-Atome

3 x 2 O-Atome

rechts:

2 x 2 Fe-Atome

2 x 3 O-Atome

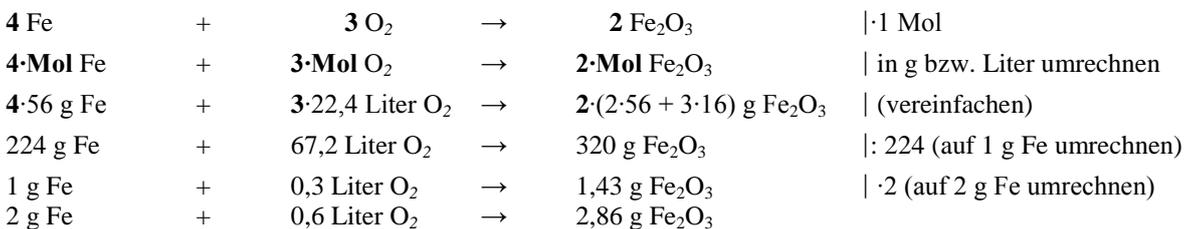
Beachte: der Index 1 wird in Summenformeln grundsätzlich weggelassen!

Übungen: Aufgaben zu chemischen Reaktionen Nr. 2

Beispiel für eine Massenberechnung:

Frage: Es werden 2 g Eisen Fe an der Luft verbrannt. Wie viel Liter Sauerstoff werden dabei verbraucht und wie viel g Eisenoxid entstehen?

Lösung: Zur Berechnung der benötigten Stoffmengen wird die gegebene Reaktionsgleichung zunächst in Mol ausgedrückt und dann in g bzw. Liter umgerechnet:

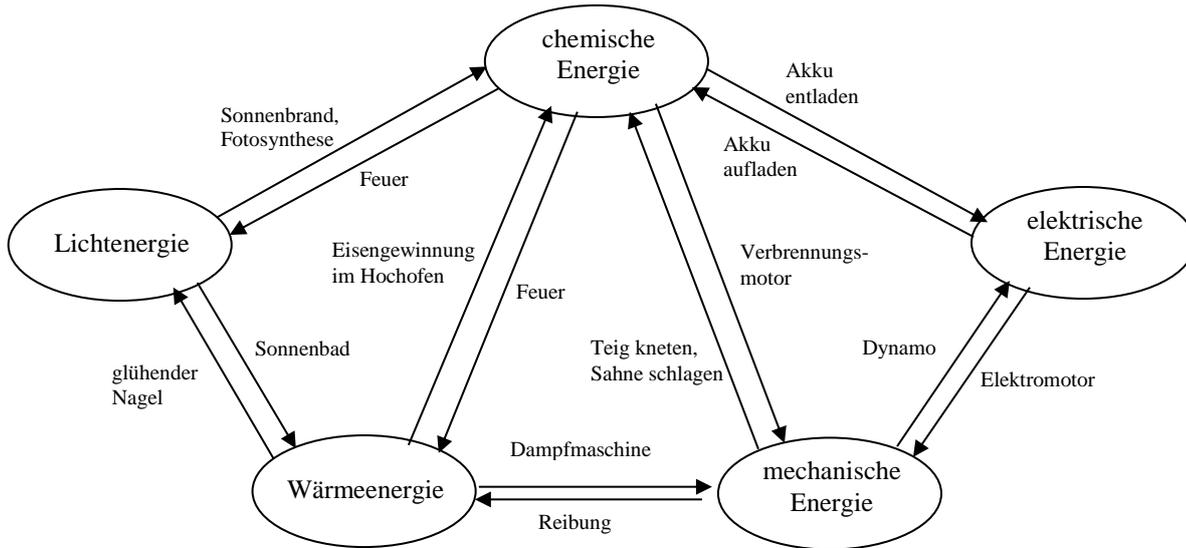


Antworten: Es werden 0,6 Liter Sauerstoff verbraucht und es entstehen 2,86 g Dieisentrioxid.

Übungen: Aufgaben zu chemischen Reaktionen Nr. 3 - 7

1.3.2. Energieformen

Chemie heute S. 64 lesen, MindMap an die Tafel zeichnen und mit Magnetkärtchen ergänzen



Übungen: Aufgaben zu chemischen Reaktionen Nr. 8

1.3.3. Die spezifische Wärmekapazität

Lückentext ausfüllen

- Um die Temperatur von 1 g Wasser um 1 K zu erhöhen, muss eine Wärmemenge von 4,19 J zugeführt werden.
- Um die Temperatur von 100 g Wasser um 1 K zu erhöhen, muss eine Wärmemenge von $4,19 \cdot 100 = 419$ J zugeführt werden.
- Um die Temperatur von 100 g Wasser um 5 K zu erhöhen, muss eine Wärmemenge von $4,19 \cdot 100 \cdot 5 = 2095$ J zugeführt werden.

Einige Wärmekapazitäten:

Stoff	c in J/g·K
Wasser	4,21
Luft	1,00
Eisen	0,98
Kalk	0,81
Blei	0,12

Um die Temperatur von Wasser mit der Masse **m** um ΔT zu erhöhen, muss eine Wärmemenge **Q** (**quantité calorifique**) = $c \cdot m \cdot \Delta T$ zugeführt werden. $c = 4,19$ J/k·g heißt die **spezifische** (d.h. auf 1 g bezogene) **Wärmekapazität** (Wärmeaufnahmevermögen) des Wassers.

Übungen: Aufgaben zu chemischen Reaktionen Nr. 9

1.3.4. Energieumsatz bei chemischen Reaktionen

Beispiel 1: Bestimmung der molaren Bildungsenthalpie von Eisensulfid

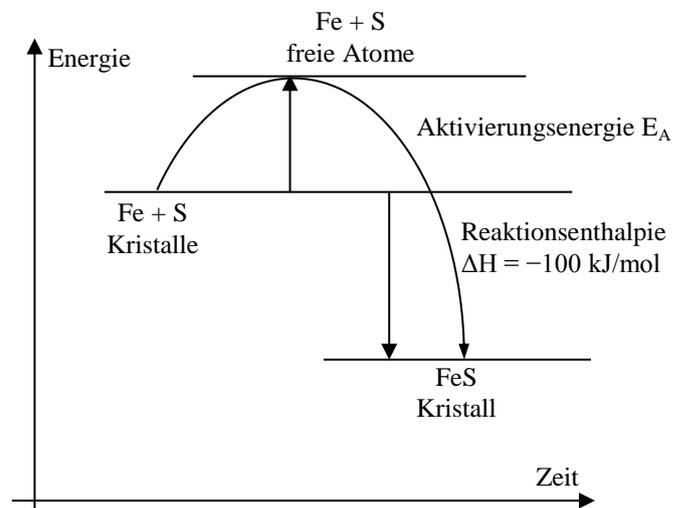
Schülerversuch durchführen, Begriffe exotherm/endotherm (S. 77/60) und Aktivierungsenergie (S. 77/64) nachlesen, Lücken ausfüllen und Energiediagramm (S. ?/270) beschriften

Reaktionsenthalpie und Aktivierungsenergie

Die **molare Reaktionsenthalpie** (griech. $\theta\alpha\lambda\pi\omicron\zeta$ = Wärme) ΔH ist die Wärmemenge, die bei der Reaktion von 1 mol Formelumsatz mit der Umgebung ausgetauscht wird.

- Bei **Wärmeabgabe** ist $\Delta H < 0$ (**exotherme** Reaktion von $\theta\epsilon\rho\mu\omicron\zeta$ = warm und $\epsilon\xi\omicron\zeta$ = nach außen)
- Bei **Wärmeaufnahme** ist $\Delta H > 0$ (**endotherme** Reaktion von $\theta\epsilon\rho\mu\omicron\zeta$ = warm und $\epsilon\nu\delta\omicron\zeta$ = nach innen)

Die **Aktivierungsenergie** E_A muss zugeführt werden, um dafür zu sorgen, dass genügend viele Teilchen mit genügend hoher Geschwindigkeit aufeinanderprallen, damit die Reaktion ausgelöst wird



Übungen: Aufgaben zu chemischen Reaktionen Nr. 10 - 11, Bestimmung von weiteren Reaktionsenthalpien

Beispiel 2: Synthese und Analyse von Silbersulfid

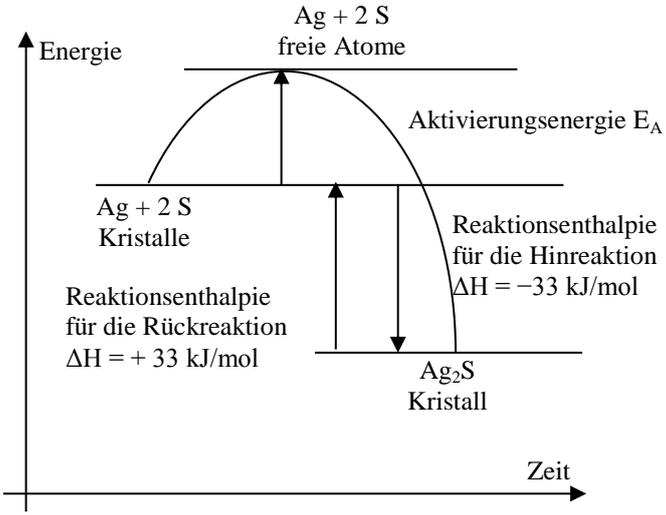
1. Ein 2 cm langes und höchstens 1 mm dickes Silberblech im mit N₂ gefüllten und mit Glaswolle verschlossenen RG mit Schwefeldampf reagieren lassen. Im Gegensatz zur Cu₂S-Herstellung glüht das Ag-Blech nicht auf sondern verfärbt sich nur tiefschwarz. Das Produkt wird aus dem RG entfernt und auf Sprödigkeit untersucht.
2. Anschließend wird es in ein ebenfalls mit N₂ gefülltes und mit Glaswolle verstopftes schwerschmelzbares RG geschoben und solange erhitzt, bis die geschmolzenen Ag-Tropfen zusammenfließen. Hört man vorher auf, so ist zwar glänzendes Silber deutlich an der Innenwand zu erkennen, es schmilzt jedoch fest und lässt sich nur schwer aus dem RG entfernen. Sind nur Campingbrenner vorhanden, so müssen drei Brenner von drei Schülern längere Zeit auf das Reagenzglasende gerichtet werden.

Elemente I S. 63 lesen, Lücken ausfüllen und Diagramm beschriften

1. **Synthese von Silbersulfid:**
 Silber Ag reagiert mit Schwefeldämpfen zu Silbersulfid Ag₂S, wobei pro Mol gebildetem Silbersulfid 33 kJ in Form von Wärme freiwerden:
 $2 \text{ Ag} + \text{ S} \rightarrow \text{ Ag}_2\text{ S}$ mit $\Delta H = -33 \text{ kJ/Mol}$

2. **Analyse von Silbersulfid**
 Umgekehrt zersetzt sich Silbersulfid wieder zu Silber und Schwefel, wenn pro Mol Silbersulfid 33 kJ wieder zugeführt werden:
 $\text{ Ag}_2\text{ S} \rightarrow 2 \text{ Ag} + \text{ S}$ mit $\Delta H = +33 \text{ kJ/Mol}$

Umkehrbarkeit chemischer Reaktionen
 Chemische Reaktionen können immer in zwei Richtungen ablaufen. Ist die **Hinreaktion** exotherm, so ist die **Rückreaktion** endotherm und umgekehrt.



Analyse und Synthese

- **Analyse** = Zerlegung einer Verbindung in ihre Elemente
- **Synthese** = Herstellung einer Verbindung aus den Elementen

Beispiel 3: Analyse und Synthese von Wasser

Elektrolytische Wasserzersetzung mit 20 % iger Schwefelsäure im Hofmannschen Apparat mit Nachweis der entstehenden Gase durch Knallgas- und Glimmspanprobe. Anschließend Knallgasexplosion mit Coladose

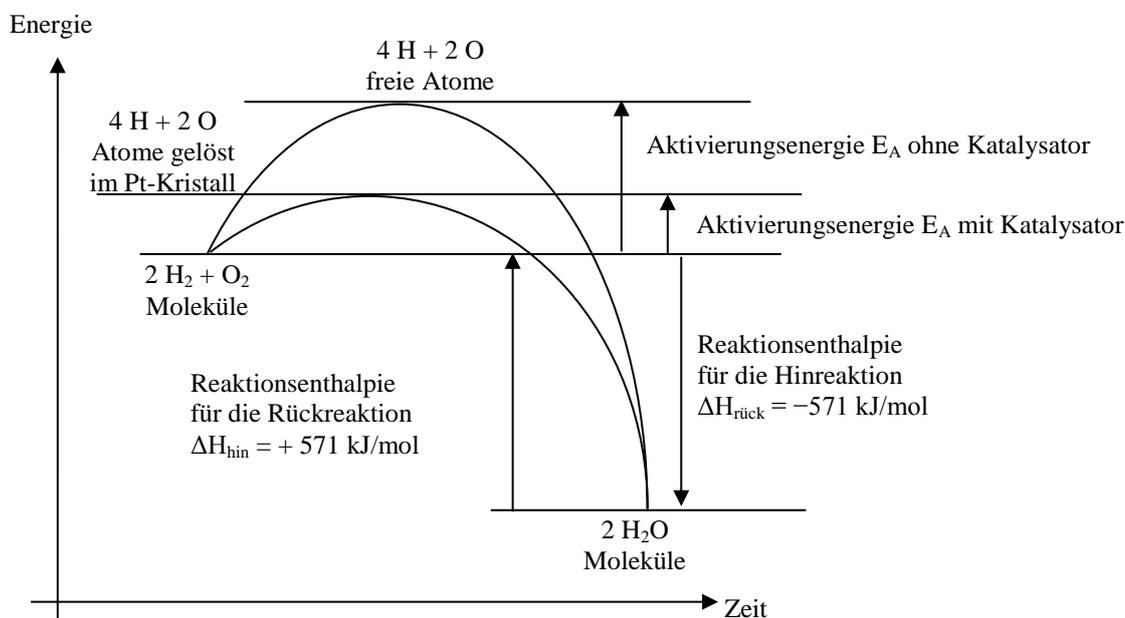
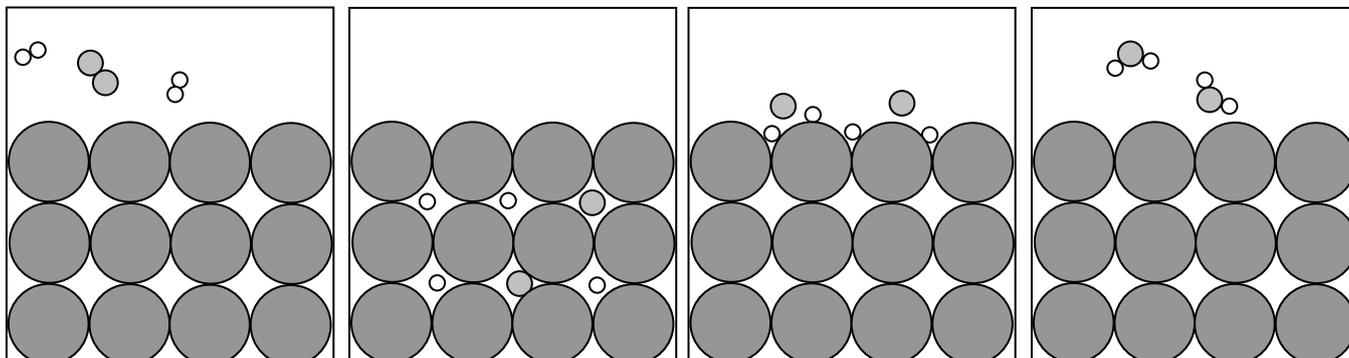
Wasserstoff und Sauerstoff reagieren unter Abgabe von Wärme und mechanischer Energie zu Wasser: (Knallgasreaktion) $2 \text{ H}_2 + \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{ O}$ mit $\Delta H = -571,2 \text{ kJ/Mol}$ (exotherme Hinreaktion)	Umgekehrt wird Wasser durch Zufuhr elektrische Energie in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. (Elektrolyse von Wasser) $2 \text{ H}_2\text{ O} \rightarrow 2 \text{ H}_2 + \text{ O}_2$ mit $\Delta H = +571,2 \text{ kJ/Mol}$ (endotherme Rückreaktion)
--	--

<p>H₂ und O₂ im Verhältnis 2 : 1</p>	
--	--

Wasserstoffstrom auf Pt-Asbest leiten, Elemente I S. 114f. /Chemie heute S. 270 lesen, Lücken ausfüllen und Bild vervollständigen

Katalysatoren

- schwächen die **Bindungen** zwischen den Teilchen der Edukte
- setzen dadurch die **Aktivierungsenergie** herab
- **beschleunigen** die Reaktion
- werden bei der Reaktion **nicht verbraucht**.



Elemente I S. 116 / Chemie heute S. 270 lesen, Lücken ausfüllen

Beispiele:

1. Am Platinkontakt entzündet sich Wasserstoff schon bei Raumtemperatur (**Döbereiner Feuerzeug**). Die H_2 -Moleküle und die O_2 -Moleküle wandern in die Lücken zwischen den riesigen Platinatomen und werden dabei in einzelne Atome aufgetrennt.
2. Bei unvollständiger Verbrennung unter Sauerstoffmangel z.B. in **Zigaretten**, bei **Schwelbränden** oder **Verbrennungsmotor** entstehen die hochgiftigen Gase Kohlenstoffmonoxid CO und Stickstoffmonoxid NO. Im **Autokatalysator** reagieren sie am Platin-Iridium-Kontakt miteinander zu ungiftigem Kohlenstoffdioxid CO_2 und Stickstoff N_2 : $2 \text{CO} + 2 \text{NO} \rightarrow 2 \text{CO}_2 + \text{N}_2$.
3. In der Biologie bezeichnet man katalytisch wirksame Moleküle als **Enzyme**. Eines der wichtigsten Verdauungsenzyme ist das **Pepsin**, das im Magen die Zersetzung von Eiweißstoffen fördert.

Übungen: Aufgaben zu chemischen Reaktionen Nr. 12
 Synthese und Analyse von Zinkiodid (Elektrolyse)
 Synthese und Analyse von Natriumacetat (Wärmekissen)

1.3.5. Geschwindigkeit chemischer Reaktionen

Versuche mit Sauerstoff
 Versuche mit Wasserstoff
 Versuche mit Kohlenstoffdioxid,

Sauerstoff: Elemente I S. 84 / Chemie heute S. 77
 Wasserstoff: Elemente I S. 110 / Chemie heute S. 98
 Kohlenstoffdioxid: Elemente I S. 88 / Chemie heute S. 286

CO₂ in Wasser mit Indikator leiten, Elemente I S. 316 lesen, dann Tabelle ausfüllen

Gas	Sauerstoff O ₂	Wasserstoff H ₂	Kohlenstoffdioxid CO ₂
Name	Oxygenium = Säure-bildner von griech. oxos = sauer und genesis = Entstehung, da Nicht-metalloxide mit Wasser Säuren bilden	Hydrogenium = Wasserbildner von griech. hydor = Wasser	Verbrennungsprodukt von Kohlenstoffverbindungen
Farbe	-	-	-
Geruch	-	-	-
Dichte	1,3 g/l	0,1 g/l	1,8 g/l
Wasserlöslichkeit	gering, nimmt mit steigender Temperatur ab	sehr gering, aber sehr gut in Metallen wie z.B. Eisen und Platin	gut, nimmt mit steigender Temperatur ab
Reaktivität	reagiert mehr oder weniger heftig mit fast allen anderen Stoffen und bildet dabei Oxide (Verbrennung, Oxidation)	reagiert explosionsartig mit Sauerstoff und bildet dabei Wasser	reaktionsträge, bildet mit Wasser Kohlensäure
Gewinnung	Destillation flüssiger Luft nach dem Linde-Verfahren, durch katalytische Zersetzung von Wasserstoffperoxid oder durch Elektrolyse von Wasser	Elektrolyse von Wasser oder Einwirkung von Säuren auf unedle Metalle	Zersetzung von Carbonaten wie z.B. Calciumcarbonat (Kalk) oder Natriumcarbonat (Soda) mit Säuren.
Nachweis	Glimmspanprobe	Knallgasprobe	Trübung von Kalklauge

Geschwindigkeit chemischer Reaktionen

Eine chemische Reaktion kommt zustande, wenn genügend viele Teilchen mit genügend hoher Geschwindigkeit aufeinander prallen. Sie lässt sich beschleunigen, indem man

1. **Wärme** zuführt und dadurch die **Geschwindigkeit** der Teilchen erhöht
2. Bei **Feststoffen** den **Zerteilungsgrad** und damit die **Angriffsfläche** pro Volumeneinheit erhöht.
3. Bei **Lösungen** die **Konzentration** und damit die **Zahl** der angreifenden Teilchen pro Volumeneinheit erhöht
4. Bei **Gasen** den **Druck** und damit die **Zahl** der angreifenden Teilchen pro Volumeneinheit erhöht

Übungen: Aufgaben zu chemischen Reaktionen Nr. 13