

Industriemeister Chemie

Themen der nächsten Tage:

Reaktionsgleichungen inkl. CSB

Elektrochemie inkl. Faraday

Enthalpie inkl. Rechnen, Rechnen, Rechnen

Wir haben einen Downloadpool für euch eingerichtet für die Skripte.

<https://www.tiw.de/chemiemeister-downloads/>

Grundsätzlicher Plan

Reaktionsgleichungen

Technik

Produktion

Ventile / Pumpen

CSB → Chemische Prozesse
↳ Syntheseplanung

} → Prozessleittechnik
Verfahren- und Anlagentechnik



TIW GmbH ©

REAKTIONSGLEICHUNGEN

Oxidationszahlen
Redoxreaktionen
Spezielle Redoxreaktionen
Reaktionsgleichgewicht

*Kapitel aus dem IHK-Rahmenplan
Chemische Prozesse und Verfahren /*

→ Synthesplanung

Wie ist das mit Oxidationszahlen?

Reaktionsgleichungen



Die Oxidationszahl gibt die hypothetische Ladung eines Atoms in einer Verbindung an, wenn alle Bindungen rein ionisch wären. Sie hilft dabei, Redoxreaktionen zu analysieren und zu verstehen, welcher Stoff oxidiert und welcher reduziert wird.

Elementare Stoffe (eiatomig oder mehratomig):

Die Oxidationszahl eines elementaren Stoffs ist immer **0**.

Beispiel: $H_2, O_2, N_2, Cl_2, P_4, S_8$

Oxidationszahl = 0

Einatomige Ionen:

Die Oxidationszahl entspricht der Ladung des Ions.

Beispiel: Na^+

Oxidationszahl +1

Beispiel: Cl^-

Oxidationszahl -1

Wasserstoff

In Verbindungen hat Wasserstoff fast immer die Oxidationszahl **+1**, außer in Metallhydriden, wo er **-1** hat.

Beispiel: H_2O

Oxidationszahl = +1

Beispiel: NaH

Oxidationszahl = -1

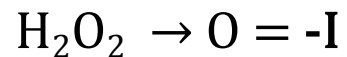
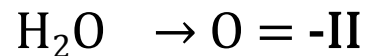
Wie ist das mit Oxidationszahlen?

Reaktionsgleichungen

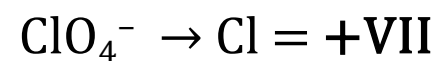
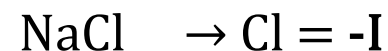


In Molekülen müssen die **Oxidationszahlen** der einzelnen Atome immer so angeordnet sein, dass ihre Summe **0** ergibt. Das liegt daran, dass Moleküle nach außen hin **neutral** sind, also keine elektrische Ladung tragen. Jedes Atom in einem Molekül hat eine bestimmte **Oxidationszahl**, die angibt, wie viele Elektronen es im Vergleich zu seinem neutralen Zustand aufgenommen oder abgegeben hat. Die Summe dieser Oxidationszahlen muss in einem Molekül gleich **0** sein, damit das Molekül neutral bleibt.

Sauerstoff (O): Sauerstoff hat fast immer die Oxidationszahl **-II**, außer in Peroxiden, wo er **-I** hat.



Halogene (F, Cl, Br, I): In Verbindungen haben Halogene fast immer die Oxidationszahl **-I**, es sei denn, sie sind mit Sauerstoff oder anderen Halogenen verbunden.



Summe

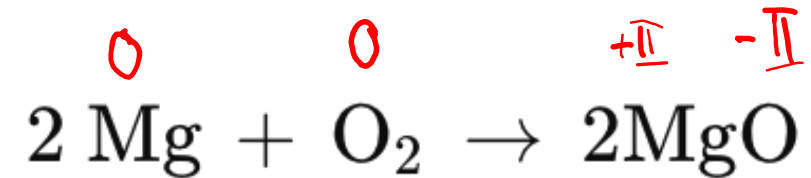
Die Summe der Oxidationszahlen aller Atome muss gleich der Gesamtladung des Moleküls sein.



Was ist eine Oxidation 2?

Reaktionsgleichungen

Oxidation ist die Abgabe von Elektronen. Dabei erhöht sich die Oxidationszahl eines Elements.



Was passiert hier chemisch?

Magnesium wird oxidiert, indem es Elektronen an den Sauerstoff abgibt. Die Oxidationszahl von Magnesium steigt von **0** auf **+II**.

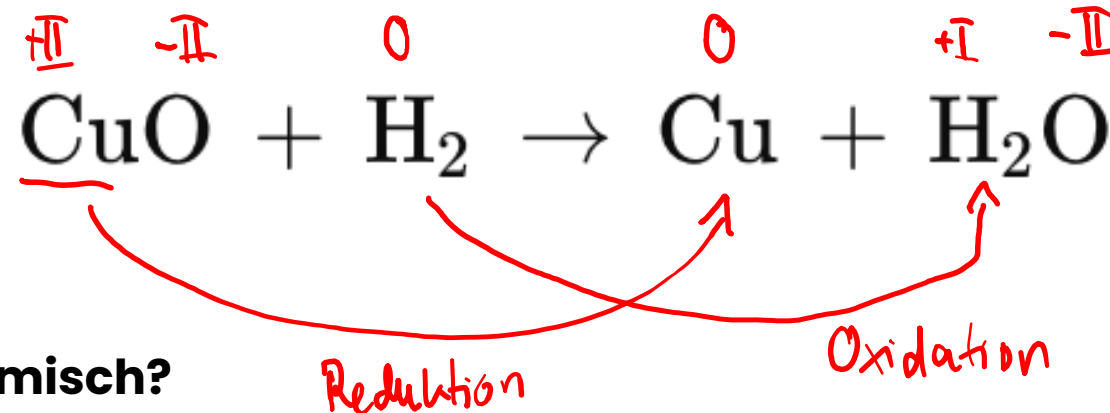
Wie schaut's in der Realität aus?

Diese Reaktion wird oft im Labor demonstriert, da sie eine intensive weiße Flamme erzeugt und so die Oxidation von Metallen veranschaulicht.

Was ist eine Reduktion?

Reaktionsgleichungen

Reduktion ist die Aufnahme von Elektronen. Dabei sinkt die Oxidationszahl eines Elements.



Was passiert hier chemisch?

Kupfer (Cu) im Kupferoxid wird von der Oxidationszahl **+II** auf **0** reduziert, indem es Elektronen vom Wasserstoff erhält.

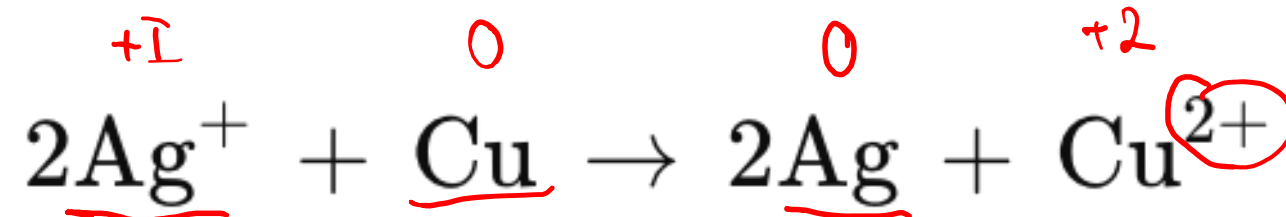
Wie schaut's in der Realität aus?

Diese Reaktion wird in der Metallverarbeitung angewendet, um reines Kupfer durch Reduktion von Kupferoxiden zu gewinnen..

Was ist eine Reduktion 2?

Reaktionsgleichungen

Reduktion ist die Aufnahme von Elektronen. Dabei sinkt die Oxidationszahl eines Elements.



Was passiert hier chemisch?

Silberionen (Ag^+) nehmen Elektronen auf und werden zu elementarem Silber (Ag) reduziert. Gleichzeitig wird Kupfer oxidiert.

Wie schaut's in der Realität aus?

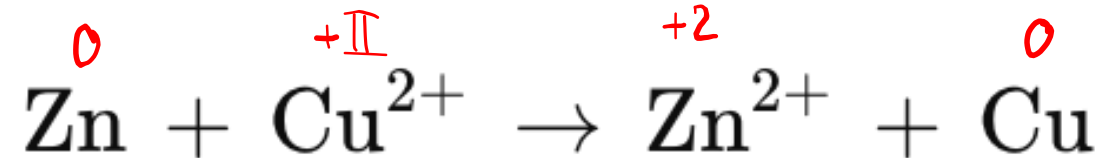
Diese Reaktion ist die Grundlage für Versilberungen und elektrochemische Verfahren, bei denen Metalle aus Lösungen abgeschieden werden.

Was ist eine Redoxreaktion?

Reaktionsgleichungen

...

Eine Redoxreaktion besteht immer aus einem gekoppelten Vorgang von Oxidation und Reduktion. Ein Stoff gibt Elektronen ab (wird oxidiert), während ein anderer Stoff Elektronen aufnimmt (wird reduziert).



Was passiert hier chemisch?

Silberionen (Ag^+) nehmen Elektronen auf und werden zu elementarem Silber (Ag) reduziert. Gleichzeitig wird Kupfer oxidiert.

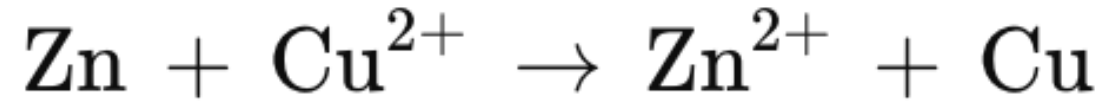
Wie schaut's in der Realität aus?

Diese Reaktion ist die Grundlage für Versilberungen und elektrochemische Verfahren, bei denen Metalle aus Lösungen abgeschieden werden.

Wie sehen die Teilreaktionen aus?

Reaktionsgleichungen

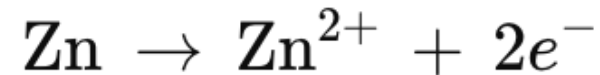
Klassische Redoxreaktion



Anode → Ort der Oxidation

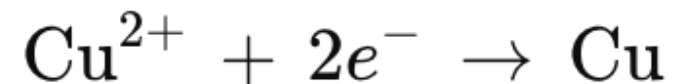
Teilreaktion 1: **Oxidation (Zink wird oxidiert).**

Zink gibt **2 Elektronen** ab und wird von der Oxidationszahl **0** auf **+II** erhöht.



Teilreaktion 2: **Reduktion (Kupfer wird reduziert)**

Kupferionen nehmen **2 Elektronen** auf und gehen von der Oxidationszahl **+II** auf **0** über.

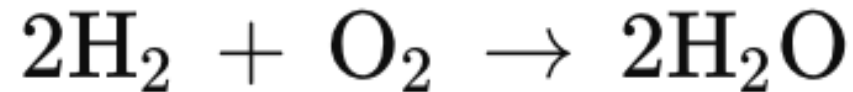


Kathode → Ort der Reduktion

Wie sehen die Teilreaktionen aus?

Reaktionsgleichungen

Klassische Redoxreaktion



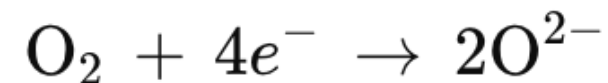
Teilreaktion 1: **Oxidation (Wasserstoff wird oxidiert):**

Wasserstoff wird oxidiert, indem es 2 Elektronen abgibt und von der Oxidationszahl 0 auf +I übergeht.



Teilreaktion 2: **Reduktion (Sauerstoff wird reduziert):**

Sauerstoff wird reduziert, indem es **4 Elektronen** aufnimmt und von der Oxidationszahl **0** auf **-II** übergeht.



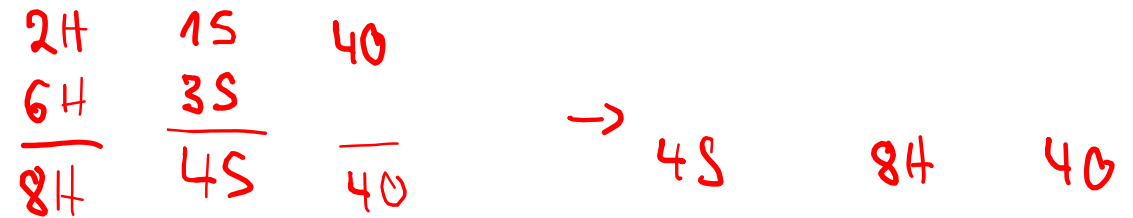
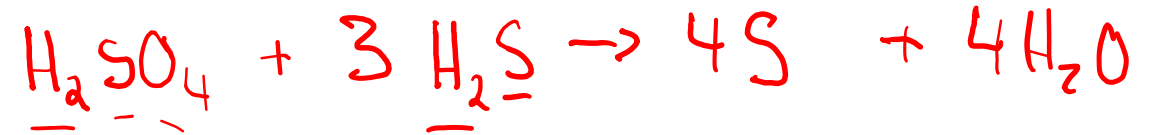
Klausuraufgabe Redoxreaktion

Reaktionsgleichungen

Bei der Reaktion von Schwefelsäure mit Schwefelwasserstoff entstehen Schwefel und Wasser.

- Stell die **Reaktionsgleichung** für diese Reaktion auf. (4 Punkte)
- Bestimme die **Oxidationszahlen** jedes einzelnen Atoms. (4 Punkte)
- Formuliere die **Teilreaktion** der Oxidation. (3 Punkte)

a) Reaktionsgleichung

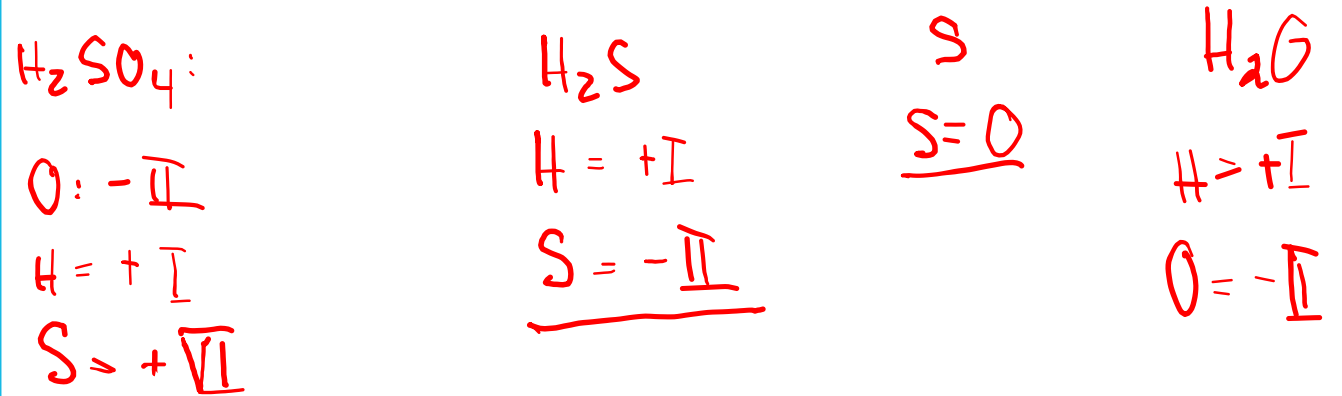
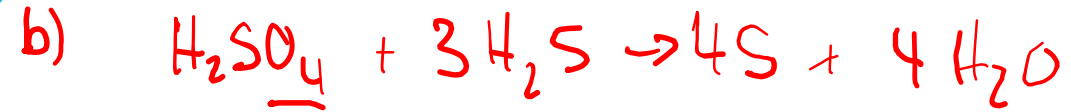


Klausuraufgabe Redoxreaktion

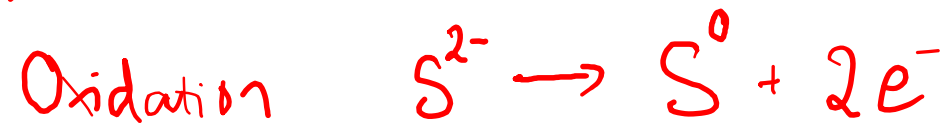
Reaktionsgleichungen

Bei der Reaktion von Schwefelsäure mit Schwefelwasserstoff entstehen Schwefel und Wasser.

- Stell die **Reaktionsgleichung** für diese Reaktion auf. (4 Punkte)
- Bestimme die **Oxidationszahlen** jedes einzelnen Atoms. (4 Punkte)
- Formuliere die **Teilreaktion** der Oxidation. (3 Punkte)



c) Teilreaktionen



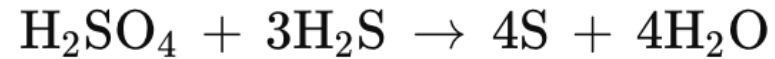
Klausuraufgabe *Redoxreaktion*

Reaktionsgleichungen

Bei der Reaktion von Schwefelsäure mit Schwefelwasserstoff entstehen Schwefel und Wasser.

- Stell die **Reaktionsgleichung** für diese Reaktion auf. (4 Punkte)
- Bestimme die **Oxidationszahlen** jedes einzelnen Atoms. (4 Punkte)
- Formuliere die **Teilreaktion** der Oxidation. (3 Punkte)

a) Reaktionsgleichung (4 Punkte)



b) Oxidationszahlen der einzelnen Atome (4 Punkte)

H₂SO₄ (Schwefelsäure):

H: +I

S: +VI

O: -II

H₂S (Schwefelwasserstoff):

H: +I

S: -II

S (elementarer Schwefel):

S: 0

H₂O (Wasser)

H: +I

O: -II

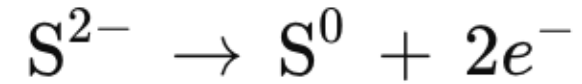
Klausuraufgabe *Redoxreaktion*

Reaktionsgleichungen

Bei der Reaktion von Schwefelsäure mit Schwefelwasserstoff entstehen Schwefel und Wasser.

- Stell die **Reaktionsgleichung** für diese Reaktion auf. (4 Punkte)
- Bestimme die **Oxidationszahlen** jedes einzelnen Atoms. (4 Punkte)
- Formuliere die **Teilreaktion** der Oxidation. (3 Punkte)

c) Teilreaktion der Oxidation



Der Schwefel im Schwefelwasserstoff (H₂S) wird von der Oxidationszahl -II auf 0 oxidiert.

Klausuraufgabe *Reaktionen*

Reaktionsgleichungen

Aluminium ist ein wichtiges Gebrauchsmetall, das durch Schmelzflusselektrolyse von Aluminiumoxid gewonnen wird.

Die Elektrolyse-Apparatur besteht aus einer Kohlewannen-Elektrode, die als Anode dient, und Graphitelektroden, die als Kathode fungieren. In der Wanne befindet sich eine Aluminiumschmelze aus Aluminiumoxid Al_2O_3 . An der Anode reagieren die Oxidionen aus der Schmelze mit dem Kohlenstoff der Wanne, wodurch Kohlendioxid entsteht. An der Kathode wird das Aluminium reduziert und sammelt sich als flüssiges Metall am Boden.

a. Formuliere die Reaktionsgleichungen an der Anode und an der Kathode sowie die Summengleichung. (10 Punkte)

Summengleichung



Anode (Oxidation)



Kathode (Reduktion)





Klausuraufgabe *Reaktionen*

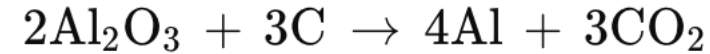
Reaktionsgleichungen

Aluminium ist ein wichtiges Gebrauchsmetall, das durch Schmelzflusselektrolyse von Aluminiumoxid gewonnen wird.

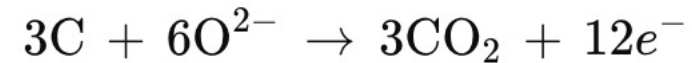
Die Elektrolyse-Apparatur besteht aus einer Kohlewannen-Elektrode, die als Anode dient, und Graphitelektroden, die als Kathode fungieren. In der Wanne befindet sich eine Aluminiumschmelze aus Aluminiumoxid Al_2O_3 . An der Anode reagieren die Oxidionen aus der Schmelze mit dem Kohlenstoff der Wanne, wodurch Kohlendioxid entsteht. An der Kathode wird das Aluminium reduziert und sammelt sich als flüssiges Metall am Boden.

a. Formuliere die Reaktionsgleichungen an der Anode und an der Kathode sowie die Summengleichung. (10 Punkte)

Summengleichung

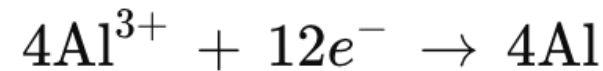


Anode (Oxidation)



An der **Anode**, die aus **Kohlenstoff** besteht, reagieren die **Oxidionen** (O^{2-}) aus dem Aluminiumoxid. Dabei entsteht **Kohlendioxid** (CO_2) und Elektronen werden abgegeben. Der Kohlenstoff wird also **oxidiert**.

Kathode (Reduktion)



An der **Kathode** werden die **Aluminiumionen** Al^{3+} aus dem Aluminiumoxid reduziert. Das bedeutet, sie nehmen **Elektronen** auf und werden zu **elementarem Aluminium**. Dieses flüssige Aluminium sammelt sich am Boden der Elektrolysezelle.

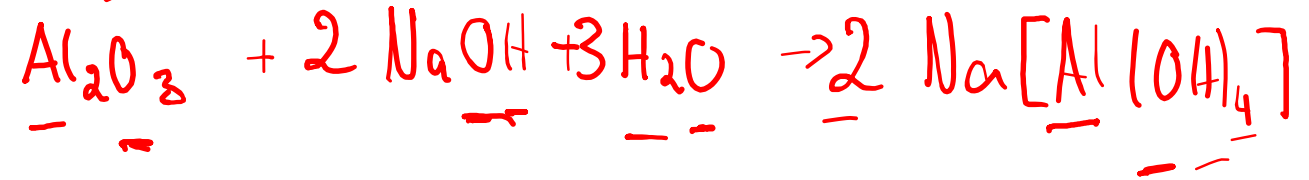
Klausuraufgabe *Reaktionen*

Reaktionsgleichungen

Im Rührautoklav BR 100 wird das im Bauxit enthaltene Aluminiumoxid mit Natronlauge zu wasserlöslichem Natriumaluminat ($\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$) umgesetzt. Nach dem Abtrennen des „Rotschlamm“ wird im BR 200 Aluminiumhydroxid ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ausgefällt. Danach wird das abfiltrierte Aluminiumhydroxid im Drehrohrföfen TR 100 zu Aluminiumoxid (Al_2O_3) gebrannt.

Formuliere die drei Reaktionsgleichungen für die oben beschriebenen Prozessschritte.

1. Reaktion



2. Reaktion



3. Reaktion



Klausuraufgabe *Reaktionen*

Reaktionsgleichungen

Im Rührautoklav BR 100 wird das im Bauxit enthaltene Aluminiumoxid mit Natronlauge zu wasserlöslichem Natriumaluminat ($\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$) umgesetzt. Nach dem Abtrennen des „Rotschlamm“ wird im BR 200 Aluminiumhydroxid ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ausgefällt. Danach wird das abfiltrierte Aluminiumhydroxid im Drehrohrofen TR 100 zu Aluminiumoxid (Al_2O_3) gebrannt.

Formuliere die drei Reaktionsgleichungen für die oben beschriebenen Prozessschritte.

Reaktion von Aluminiumoxid mit Natronlauge:



Aluminiumoxid wird in Natriumaluminat umgewandelt.

Fällung von Aluminiumhydroxid:



Aluminiumhydroxid wird aus dem Natriumaluminat ausgefällt.

Brennen von Aluminiumhydroxid zu Aluminiumoxid:



Das Aluminiumhydroxid wird im Drehrohrofen zu Aluminiumoxid gebrannt.

Spezielle Redoxreaktionen: Disproportionierung

Reaktionsgleichungen



Eine Disproportionierung ist eine spezielle Art der Redoxreaktion, bei der ein Element sowohl oxidiert als auch reduziert wird. Das bedeutet, dass ein Element aus einer mittleren Oxidationsstufe gleichzeitig Elektronen abgibt (oxidiert wird) und Elektronen aufnimmt (reduziert wird).

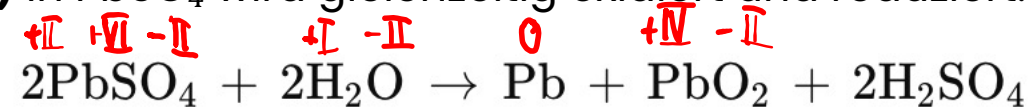
Merkmale

- 1. Ein Element, zwei Reaktionen:** Ein Element in einer bestimmten Oxidationsstufe wird in zwei verschiedene Verbindungen umgewandelt – eine mit einer höheren und eine mit einer niedrigeren Oxidationsstufe.
- 2. Oxidation und Reduktion am gleichen Element:** Das Element fungiert sowohl als Reduktions- als auch als Oxidationsmittel.
- 3. Gängige Beispiele:** Disproportionierungsreaktionen sind bei Elementen häufig, die in mehreren Oxidationsstufen existieren, wie Chlor (Cl), Stickstoff (N), oder Blei (Pb).

Spezielle Redoxreaktionen: Disproportionierung

Reaktionsgleichungen

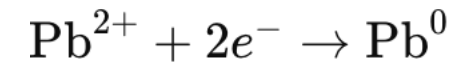
In der Reaktion von Bleisulfat (PbSO_4) mit Wasser kommt es zu einer Disproportionierung. **Blei (Pb^{2+})** in PbSO_4 wird gleichzeitig oxidiert und reduziert.



Oxidation: Blei wird zu Bleidioxid (PbO_2) oxidiert.



Reduktion: Blei wird zu elementarem Blei (Pb^0) reduziert.



Spezielle Redoxreaktionen: Disproportionierung

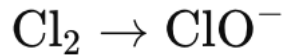
Reaktionsgleichungen

Disproportionierung von Chlor in alkalischer Lösung.

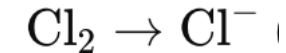


Chlor (Cl₂) beginnt in der Oxidationsstufe **0**.

Oxidation: Chlor wird auf die Oxidationsstufe **+I** oxidiert).



Reduktion: Chlor wird auf die Oxidationsstufe **-I** reduziert).



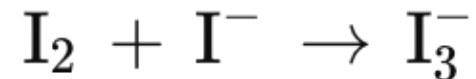
Spezielle Redoxreaktionen: Synproportionierung

Reaktionsgleichungen



Im Gegensatz zur Disproportionierung handelt es sich bei der Synproportionierung (Kompromissreaktion) um eine Redoxreaktion, bei der zwei verschiedene Oxidationsstufen desselben Elements zu einer mittleren Oxidationsstufe reagieren. Ein Stoff wird also reduziert, während ein anderer Stoff des gleichen Elements oxidiert wird.

Synproportionierung von Iod



Erklärung

Iod (I_2) mit der Oxidationszahl **0** reagiert mit Iodid (I^- , Oxidationszahl **-1**), um Triiodid (I_3^-) zu bilden. Iod wird also gleichzeitig reduziert und oxidiert, was zu einer mittleren Oxidationsstufe im Triiodid führt.

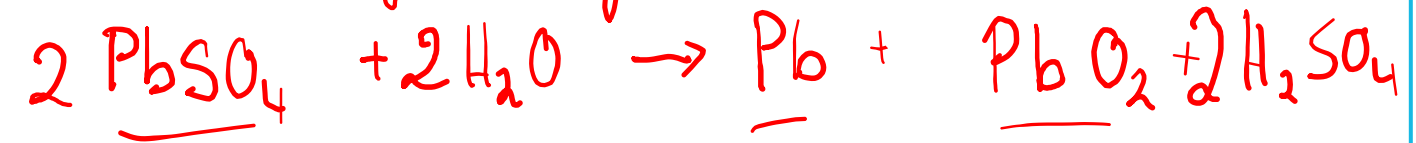
Klausuraufgabe – Noch eine Redoxaufgabe

Reaktionsgleichungen

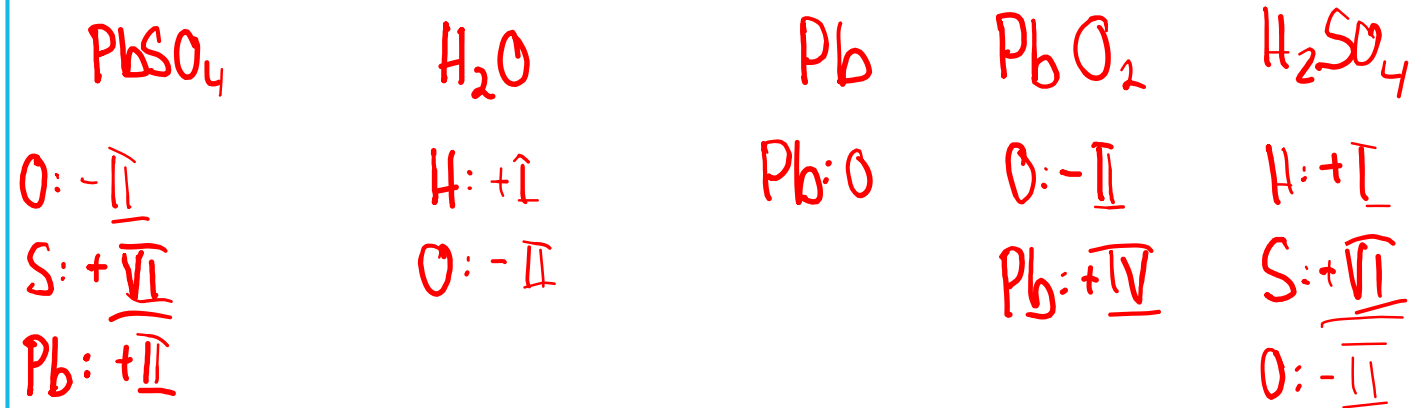
Bei der Reaktion von Bleisulfat (PbSO_4) mit Wasser entstehen Blei, Bleidioxid (PbO_2) und Schwefelsäure. Es handelt sich um eine Redoxreaktion.

- Stell die Reaktionsgleichung für diese Reaktion auf. (5 Punkte)
- Bestimme die Oxidationszahlen jedes einzelnen Atoms. (5 Punkte)
- Formuliere die Teilreaktionen der Oxidation und der Reduktion. (4 Punkte)
- Erkläre, um welche spezielle Art von Redoxreaktion es sich hierbei handelt. (4 Punkte)

a) Reaktionsgleichung



b) Oxidationszahlen



c,

Klausuraufgabe – Noch eine Redoxaufgabe

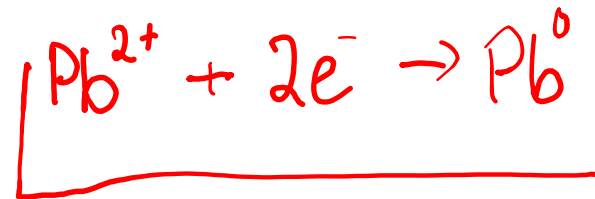
Reaktionsgleichungen

Bei der Reaktion von Bleisulfat (PbSO_4) mit Wasser entstehen Blei, Bleidioxid (PbO_2) und Schwefelsäure. Es handelt sich um eine Redoxreaktion.

- Stell die Reaktionsgleichung für diese Reaktion auf. (5 Punkte)
- Bestimme die Oxidationszahlen jedes einzelnen Atoms. (5 Punkte)
- Formuliere die Teilreaktionen der Oxidation und der Reduktion. (4 Punkte)
- Erkläre, um welche spezielle Art von Redoxreaktion es sich hierbei handelt. (4 Punkte)

c) Teilreaktionen

Reduktion (Bleisulfat zu elementarem Blei)



Oxidation (Bleisulfat zu Bleidioxid)



d) Disproportionierungsreaktion

Blei des Bleisulfats wird sowohl

oxidiert als auch reduziert.

Klausuraufgabe – Noch eine Redoxaufgabe

Reaktionsgleichungen

Bei der Reaktion von Bleisulfat (PbSO_4) mit Wasser entstehen Blei, Bleidioxid (PbO_2) und Schwefelsäure. Es handelt sich um eine Redoxreaktion.

- a) **Stell die Reaktionsgleichung für diese Reaktion auf. (5 Punkte)**
- b) **Bestimme die Oxidationszahlen jedes einzelnen Atoms. (5 Punkte)**
- c) **Formuliere die Teilreaktionen der Oxidation und der Reduktion. (4 Punkte)**
- d) **Erkläre, um welche spezielle Art von Redoxreaktion es sich hierbei handelt. (4 Punkte)**

Klausuraufgabe – Noch eine Redoxaufgabe

Reaktionsgleichungen

Bei der Reaktion von Bleisulfat (PbSO_4) mit Wasser entstehen Blei, Bleidioxid (PbO_2) und Schwefelsäure. Es handelt sich um eine Redoxreaktion.

- Stell die Reaktionsgleichung für diese Reaktion auf. (5 Punkte)**
- Bestimme die Oxidationszahlen jedes einzelnen Atoms. (5 Punkte)**
- Formuliere die Teilreaktionen der Oxidation und der Reduktion. (4 Punkte)**
- Erkläre, um welche spezielle Art von Redoxreaktion es sich hierbei handelt. (4 Punkte)**

a) Reaktionsgleichung



b) Oxidationszahlen der einzelnen Atome

PbSO_4 (Bleisulfat):

Pb: +II

S: +VI

O: -II

H_2O (Wasser):

H: +I

O: -II

Pb (elementares Blei):

Pb: 0

PbO_2 (Bleidioxid):

Pb: +IV

O: -II

H_2SO_4 (Schwefelsäure)

H: +I

S: +VI

O: -II

Klausuraufgabe – Noch eine Redoxaufgabe

Reaktionsgleichungen

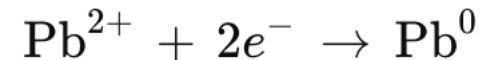
Bei der Reaktion von Bleisulfat (PbSO_4) mit Wasser entstehen Blei, Bleidioxid (PbO_2) und Schwefelsäure. Es handelt sich um eine Redoxreaktion.

- Stell die Reaktionsgleichung für diese Reaktion auf. (5 Punkte)**
- Bestimme die Oxidationszahlen jedes einzelnen Atoms. (5 Punkte)**
- Formuliere die Teilreaktionen der Oxidation und der Reduktion. (4 Punkte)**
- Erkläre, um welche spezielle Art von Redoxreaktion es sich hierbei handelt. (4 Punkte)**

c) Teilreaktionen

Reduktion (Bleisulfat zu elementarem Blei)

Hier nimmt das Pb^{2+} aus dem Bleisulfat Elektronen auf und wird zu elementarem Blei reduziert.



Oxidation (Bleisulfat zu Bleidioxid):

Das Pb^{2+} wird zu Pb^{4+} oxidiert, wobei es Elektronen abgibt.



- Es handelt sich hier um eine Disproportionierung. Das bedeutet, dass ein Element (hier Blei, Pb^{2+}) gleichzeitig oxidiert (zu Pb^{4+}) und reduziert (zu Pb^0) wird.

Spezielle Redoxreaktionen: CSB

Reaktionsgleichungen



Der **CSB-Wert (Chemische Sauerstoffbedarf)** ist ein Maß für die Menge an **Sauerstoff**, die benötigt wird, um die organischen Verbindungen in einer wässrigen Probe vollständig zu oxidieren. Er wird häufig verwendet, um die **Belastung von Abwasser** durch organische Stoffe zu bewerten. Der CSB-Wert gibt an, wie viel **Sauerstoff (O₂)** in Milligramm pro Liter (mg/L) benötigt wird, um die **organischen Stoffe** in einer Wasserprobe **chemisch zu oxidieren**. Je höher der CSB-Wert, desto mehr organische Substanzen sind im Wasser enthalten, was auf eine höhere Umweltbelastung hinweist. Ein hoher CSB-Wert kann auf stark verschmutztes Abwasser hinweisen, das gereinigt werden muss, bevor es in die Umwelt abgegeben werden kann.

Berechnung CSB

Um den CSB zu berechnen, wird die Menge des benötigten Sauerstoffs für die vollständige Oxidation einer organischen Verbindung verwendet. In der Praxis wird oft die Reaktionsgleichung der Oxidation der organischen Verbindung verwendet, um den CSB zu berechnen.

$$\text{CSB} = \frac{\text{Masse des Sauerstoffs (g)}}{\text{Volumen der Wasserprobe (L)}}$$

BSB (Biochemischer Sauerstoffbedarf)

- Der **BSB-Wert** gibt die Menge an Sauerstoff an, die Mikroorganismen benötigen, um organische Verbindungen in einem Wasser oder Abwasser biologisch abzubauen.
- Er wird in der Regel als **BSB₅** angegeben, was bedeutet, dass die Messung nach **5 Tagen** erfolgt.
- **Unterschied zum CSB:** Der **BSB** berücksichtigt den biologischen Abbau durch Mikroorganismen, während der **CSB** die **chemische Oxidation** aller organischen Verbindungen misst. CSB-Werte sind daher in der Regel höher als BSB-Werte.

TOC (Total Organic Carbon, Gesamter organischer Kohlenstoff)

- Der **TOC-Wert** misst die Menge an **organischem Kohlenstoff** in einer Probe. Dabei wird der gesamte Kohlenstoff, der in organischen Verbindungen vorhanden ist, erfasst.
- Er ist ein direkter Indikator für die Menge an **organischen Verbindungen** im Wasser.
- **Unterschied zum CSB:** Der **TOC** gibt nur den organischen Kohlenstoff an, während der **CSB** den gesamten Sauerstoffbedarf zur vollständigen Oxidation der organischen Verbindungen beschreibt.

Klausuraufgabe - CSB

Reaktionsgleichungen

Durch eine Leckage am BE 301 sind 600 kg THF/Wasser-Phase ($w(\text{THF}) = 0,11$) in den Abwasserkanal gelangt. Es wird angenommen, das Abwasservolumen beträgt 1.000 m^3). Um die Belastung der biologischen Abwasserreinigungsanlage abzuschätzen, sollst du den CSB-Wert für Tetrahydrofuran ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$) ermitteln.

Masse THF: 600 kg

$w(\text{THF}) = 0,11$

$M(\text{THF}) = 72,11 \text{ g/mol}$

$M(\text{O}_2) = 32 \text{ g/mol}$

a) Formuliere die zugrunde liegende Reaktionsgleichung. *→ Oxidation von THF mit Sauerstoff* (3 Punkte)

b) Berechne die Masse des Sauerstoffs, die für die Oxidation von THF benötigt wird. (5 Punkte)

c) Ermittle den CSB-Wert. (3 Punkte)

a) Reaktionsgleichung



b) Gegeben

$$m(\text{THF})_{\text{gg}} = \underline{600 \text{ kg}}$$

$$w(\text{THF}) = 0,11$$

$$M(\text{THF}) = 72,11 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$M(\text{O}_2) = 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Masse reines THF

$$m(\text{THF}) = 600 \text{ kg} \cdot 0,11 = 66 \text{ kg}$$

Klausuraufgabe - CSB

Reaktionsgleichungen

Durch eine Leckage am BE 301 sind 600 kg THF/Wasser-Phase ($w(\text{THF}) = 0,11$) in den Abwasserkanal gelangt. Es wird angenommen, das Abwasservolumen beträgt 1.000 m^3). Um die Belastung der biologischen Abwasserreinigungsanlage abzuschätzen, sollst du den CSB-Wert für Tetrahydrofuran ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$) ermitteln.

Masse THF: 600 kg

$w(\text{THF}) = 0,11$

$M(\text{THF}) = 72,11 \text{ g/mol}$

$M(\text{O}_2) = 32 \text{ g/mol}$

a) Formuliere die zugrunde liegende Reaktionsgleichung.

(3 Punkte)

b) Berechne die Masse des Sauerstoffs, die für die Oxidation von THF benötigt wird.

(5 Punkte)

c) Ermittle den CSB-Wert. (3 Punkte)

$$b) \quad m(\text{THF}) = 66 \text{ kg}$$

Wir benötigen 11 Sauerstoffmoleküle um 2 THF-Moleküle zu oxidieren

$$n = \frac{m}{M}$$

$$11 \frac{m(\text{O}_2)}{M(\text{O}_2)} = 2 \frac{m(\text{THF})}{M(\text{THF})}$$

$$m(\text{O}_2) = \frac{m(\text{THF}) \cdot 11 \cdot M(\text{O}_2)}{2 M(\text{THF})}$$

Klausuraufgabe - CSB

Reaktionsgleichungen

Durch eine Leckage am BE 301 sind 600 kg THF/Wasser-Phase ($w(\text{THF}) = 0,11$) in den Abwasserkanal gelangt. Es wird angenommen, das Abwasservolumen beträgt 1.000 m^3 . Um die Belastung der biologischen Abwasserreinigungsanlage abzuschätzen, sollst du den CSB-Wert für Tetrahydrofuran ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$) ermitteln.

Masse THF: 600 kg

$w(\text{THF}) = 0,11$

$M(\text{THF}) = 72,11 \text{ g/mol}$

$M(\text{O}_2) = 32 \text{ g/mol}$

a) Formuliere die zugrunde liegende Reaktionsgleichung.

(3 Punkte)

b) Berechne die Masse des Sauerstoffs, die für die Oxidation von THF benötigt wird.

(5 Punkte)

c) Ermittle den CSB-Wert. (3 Punkte)

$\rightarrow \frac{\text{mg}}{\text{l}}$

b)

$$m(\text{O}_2) = \frac{m(\text{THF}) \cdot 11 \cdot M(\text{O}_2)}{2 \cdot M(\text{THF})}$$

$$m(\text{O}_2) = \frac{600 \text{ kg} \cdot 11 \cdot 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{2 \cdot 72,11 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}$$

$$m(\text{O}_2) = 161,09 \text{ kg}$$

$$\text{c) CSB-Wert} = \frac{161,09 \text{ kg}}{1.000,000 \text{ l}} = 0,16109 \frac{\text{kg}(\text{O}_2)}{\text{m}^3}$$

$$= 161,09 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Klausuraufgabe - CSB

Reaktionsgleichungen

Durch eine Leckage am BE 301 sind 600 kg THF/Wasser-Phase ($w(\text{THF}) = 0,11$) in den Abwasserkanal gelangt. Es wird angenommen, das Abwasservolumen beträgt 1.000 m^3). Um die Belastung der biologischen Abwasserreinigungsanlage abzuschätzen, sollst du den CSB-Wert für Tetrahydrofuran ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$) ermitteln.

Masse THF: 600 kg

$w(\text{THF}) = 0,11$

$M(\text{THF}) = 72,11 \text{ g/mol}$

$M(\text{O}_2) = 32 \text{ g/mol}$

a) Formuliere die zugrunde liegende Reaktionsgleichung.

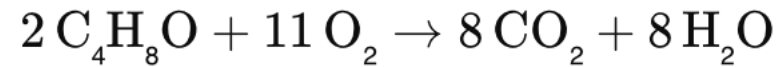
(3 Punkte)

b) Berechne die Masse des Sauerstoffs, die für die Oxidation von THF benötigt wird.

(5 Punkte)

c) Ermittle den CSB-Wert. (3 Punkte)

a. Die Oxidationsreaktion von Tetrahydrofuran (THF) mit Sauerstoff lautet:



b. Berechnung der benötigten Sauerstoffmasse

$$m(\text{O}_2) = \frac{m(\text{THF}) \cdot w(\text{THF}) \cdot 11 \cdot M(\text{O}_2)}{2 \cdot M(\text{THF})}$$

Masse THF:

600 kg

Massenanteil von THF im Abwasser:

$w(\text{THF}) = 0,11$

Molare Masse von THF:

$M(\text{THF}) = 72,11 \text{ g/mol}$

Molare Masse von O_2 :

$M(\text{O}_2) = 32 \text{ g/mol}$

$$m(\text{O}_2) = \frac{600 \text{ kg} \cdot 0,11 \cdot 11 \cdot 32 \text{ g/mol}}{2 \cdot 72,11 \text{ g/mol}}$$

Für die Oxidation von 600 kg THF werden **161,09 kg Sauerstoff** benötigt.

Klausuraufgabe - CSB

Reaktionsgleichungen

Durch eine Leckage am BE 301 sind 600 kg THF/Wasser-Phase ($w(\text{THF}) = 0,11$) in den Abwasserkanal gelangt. Es wird angenommen, das Abwasservolumen beträgt 1.000 m^3). Um die Belastung der biologischen Abwasserreinigungsanlage abzuschätzen, sollst du den CSB-Wert für Tetrahydrofuran ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$) ermitteln.

Masse THF: 600 kg

$w(\text{THF}) = 0,11$

$M(\text{THF}) = 72,11 \text{ g/mol}$

$M(\text{O}_2) = 32 \text{ g/mol}$

a) Formuliere die zugrunde liegende Reaktionsgleichung.

(3 Punkte)

b) Berechne die Masse des Sauerstoffs, die für die Oxidation von THF benötigt wird.

(5 Punkte)

c) Ermittle den CSB-Wert. (3 Punkte)

c. Jetzt berechnen wir den **CSB-Wert** in **mg O₂/L**. Dazu teilen wir die Masse des benötigten Sauerstoffs durch das Volumen des Abwassers.

$$\text{CSB-Wert} = \frac{161,09 \text{ kg O}_2}{1.000.000 \text{ L}} = 0,16109 \text{ kg O}_2/\text{L}$$

Da der **CSB-Wert** in **mg O₂/L** angegeben wird, müssen wir die Einheit umrechnen:

$$0,16109 \text{ kg O}_2/\text{L} = 161,09 \text{ mg O}_2/\text{L}$$

Klausuraufgabe – CSB II

Reaktionsgleichungen

Eine Abwasserprobe mit einem Volumen von 250 ml enthält organische Substanzen, die vollständig zu CO_2 und H_2O oxidiert werden können. In der Analyse wurden 12 ml einer 0,25 molaren Kaliumdichromat-Lösung verbraucht, um diese Substanzen vollständig zu oxidieren. Bei der Reaktion setzt 1 mol Kaliumdichromat 1,5 mol Sauerstoff frei.

$$M(\text{O}_2) = 32 \text{ g/mol}$$

a) Berechne den CSB-Wert in $\text{mg O}_2/\text{L}$.
Erläutere, wie sich eine hohe organische Belastung auf die Kläranlage auswirken könnte.

Berechnung der verbrauchten Stoffmenge Kaliumdichromat:

$$n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = c \cdot V = 0,25 \text{ mol/L} \cdot 0,012 \text{ L} = 0,003 \text{ mol}$$

Da 1 Mol Kaliumdichromat 1,5 Mol Sauerstoff bei der Reaktion freisetzt, entspricht die Menge an O_2 :

$$n(\text{O}_2) = 0,003 \text{ mol} \cdot 1,5 = 0,0045 \text{ mol O}_2$$

Umrechnung in Gramm:

$$m(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = 0,0045 \text{ mol} \cdot 32 \text{ g/mol} = 0,144 \text{ g} = 144 \text{ mg}$$

Da das Volumen der Probe 0,25 L beträgt, wird der CSB-Wert auf 1 Liter umgerechnet:

$$CSB = \frac{144 \text{ mg O}_2}{0,25 \text{ L}} = 576 \text{ mg O}_2/\text{L}$$

Antwort: Der CSB-Wert beträgt **576 mg O_2/L** .

Reaktionsgleichgewicht

Reaktionsgleichungen



Das chemische Gleichgewicht ist ein Zustand, bei dem die Geschwindigkeit der Hinreaktion genauso groß ist wie die Geschwindigkeit der Rückreaktion. In einem geschlossenen System bleiben die Konzentrationen der Edukte und Produkte konstant, obwohl Reaktionen weiterhin ablaufen. Das Gleichgewicht stellt sich bei bestimmten Bedingungen ein und kann durch äußere Einflüsse wie Temperatur, Druck oder Konzentration beeinflusst werden. Das chemische Gleichgewicht folgt dem **Prinzip von Le Chatelier**, das besagt, dass ein System, das sich im Gleichgewicht befindet, auf Änderungen seiner Bedingungen so reagiert, dass es versucht, die Störung zu minimieren und wieder ins Gleichgewicht zu kommen.

Faktoren, die das Gleichgewicht beeinflussen

Konzentration

Druck → insbesondere bei Gasen

Temperatur

Faktoren, die das Gleichgewicht nicht beeinflussen

Katalysatoren

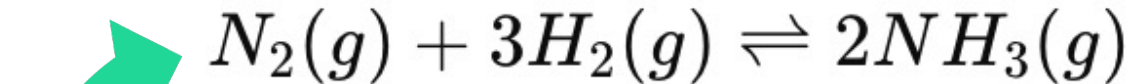
Zugabe eines Inertgases bei konstantem Druck

Reaktionsgleichgewicht – Konzentration


Reaktionsgleichungen

Erhöhung der Konzentration eines Edukts: Wenn die Konzentration eines Edukts erhöht wird, verschiebt sich das Gleichgewicht in Richtung Produkte, um die erhöhte Menge an Edukten zu „verbrauchen“.

Erniedrigung der Konzentration eines Produkts: Wird die Konzentration eines Produkts verringert, verschiebt sich das Gleichgewicht ebenfalls in Richtung der Produktseite, um die reduzierte Menge auszugleichen.



Erhöht man die Konzentration von Stickstoff (N_2), wird mehr Ammoniak (NH_3) produziert.



Die **Erniedrigung der Konzentration eines Produkts** bedeutet, dass du das Produkt aus der Reaktionsmischung entfernst, während die Reaktion noch läuft. Das hat den Effekt, dass das Gleichgewicht wieder in Richtung **Produkte** verschoben wird, um den „Verlust“ des Produkts auszugleichen. Das System versucht also, mehr Produkt zu bilden, um die verminderte Konzentration auszugleichen.

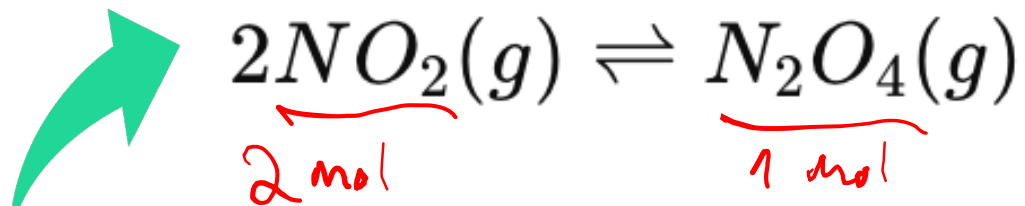
- Fällung des Produkts
- Weiterreaktion des Produkts
- Destillation

Reaktionsgleichgewicht – Druck


Reaktionsgleichungen

Erhöhung des Drucks: Bei Reaktionen, die mit einer Volumenabnahme einhergehen, verschiebt sich das Gleichgewicht bei erhöhtem Druck in Richtung der Seite mit weniger Gasteilchen.

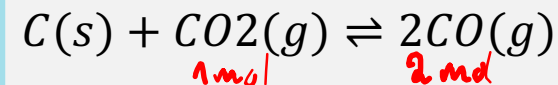
Verringerung des Drucks: Bei Reaktionen mit Volumenzunahme verschiebt sich das Gleichgewicht bei verringertem Druck auf die Seite der Edukte.



Da zwei Moleküle Stickstoffdioxid (NO_2) zu einem Molekül Distickstofftetroxid (N_2O_4) reagieren, führt eine Druckerhöhung dazu, dass mehr N_2O_4 gebildet wird.



Ein gutes Beispiel für die Verschiebung des Gleichgewichts bei **Druckverringerung** ist die **Bildung von Kohlenstoffmonoxid** (CO) aus Kohlendioxid (CO_2) und festem Kohlenstoff (C).



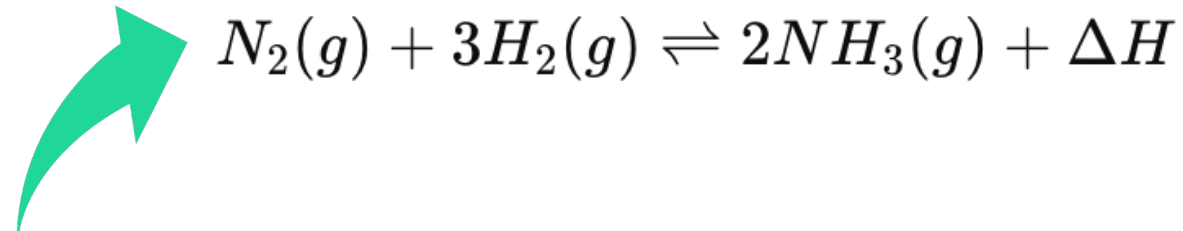
Auf der **linken Seite** der Reaktionsgleichung haben wir **1 Molekül** gasförmiges CO_2 . Auf der **rechten Seite** der Reaktion entstehen **2 Moleküle** CO. Das bedeutet, dass auf der rechten Seite **mehr gasförmige Teilchen** vorhanden sind, was zu einer **Volumenzunahme** führt.

Reaktionsgleichgewicht – Temperatur

Reaktionsgleichungen

Exotherme Reaktionen: Bei exothermen Reaktionen (Wärme wird freigesetzt) verschiebt sich das Gleichgewicht bei einer Temperaturerhöhung auf die Seite der Edukte, da das System versucht, die zusätzliche Wärme „abzubauen“.

Endotherme Reaktionen: Bei endothermen Reaktionen (Wärme wird aufgenommen) verschiebt sich das Gleichgewicht bei Temperaturerhöhung auf die Produktseite.



Das Haber-Bosch-Verfahren zur Ammoniaksynthese ist exotherm, daher würde eine Temperaturerhöhung das Gleichgewicht in Richtung Edukte verschieben.

Klausuraufgabe - Gleichgewicht

Reaktionsgleichungen

- a) Nenne vier verschiedene Möglichkeiten, wie du eine Gleichgewichtsreaktion auf die Produktseite verschieben kannst. (4 Punkte)
- b) Nenne vier Möglichkeiten, wie du während der Reaktion die Konzentration des Produkts niedrig halten und somit das Gleichgewicht zur Produktseite verschieben kannst. Erkläre jede Möglichkeit (8 P.)

- a) Möglichkeiten Gleichgewichtsbeeinflussung
- Erhöhung Konzentration Edukt
 - Erniedrigung Konzentration Produkt
 - Temperaturerhöhung bei endothermen Reaktion
 - Druckerhöhung bei Reaktionen mit Volumenabnahme

Klausuraufgabe – Gleichgewicht

Reaktionsgleichungen

- a) Nenne vier verschiedene Möglichkeiten, wie du eine Gleichgewichtsreaktion auf die Produktseite verschieben kannst. (4 Punkte)
- b) Nenne vier Möglichkeiten, wie du während der Reaktion die Konzentration des Produkts niedrig halten und somit das Gleichgewicht zur Produktseite verschieben kannst. Erkläre jede Möglichkeit (8 P.)

a. Gleichgewichtsbeeinflussung

- Erhöhung der Konzentration eines Edukts.
- Erniedrigung der Konzentration eines Produkts.
- Wärmeabfuhr bei exothermen Reaktionen.
- Druckerhöhung bei Reaktionen mit Volumenabnahme.

Klausuraufgabe – Gleichgewicht

Reaktionsgleichungen

- a) Nenne vier verschiedene Möglichkeiten, wie du eine Gleichgewichtsreaktion auf die Produktseite verschieben kannst. (4 Punkte)
- b) Nenne vier Möglichkeiten, wie du während der Reaktion die Konzentration des Produkts niedrig halten und somit das Gleichgewicht zur Produktseite verschieben kannst. Erkläre jede Möglichkeit (8 P.)

b) Vier Möglichkeiten, wie du während der Reaktion die Konzentration des Produkts niedrig halten und somit das Gleichgewicht zur Produktseite verschieben kannst.

1. Abdestillieren eines Produkts

Wenn das Produkt flüchtiger ist als die Edukte, kannst du es während der Reaktion abdestillieren. Das bedeutet, du erhitzt das Reaktionsgemisch, bis das Produkt verdampft und dann in einem Kondensator wieder verflüssigt wird. Dadurch sinkt seine Konzentration im Reaktionsgemisch. Beispiel: Bei der Herstellung von Ethanol durch Fermentation wird Ethanol abdestilliert, da es bei niedrigeren Temperaturen als die meisten anderen Komponenten siedet.

2. Fällung des Produkts

Man kann ein Fällungsmittel zugeben, das mit dem Produkt eine unlösliche Verbindung bildet. Diese fällt dann als Feststoff aus der Lösung aus, und die Konzentration des Produkts in der Lösung sinkt. **Beispiel:** Wenn Calciumcarbonat (CaCO_3) gebildet wird, fällt es als Feststoff aus der Lösung aus. Dadurch wird die Konzentration der gelösten Ionen vermindert, und die Reaktion wird weiter zur Produktseite verschoben.

3. Extraktion des Produkts

Du kannst ein Lösungsmittel verwenden, das das Produkt löst, aber nicht mit der Reaktion selbst interagiert. Durch diese Trennung wird das Produkt kontinuierlich aus dem Reaktionsgemisch entfernt. **Beispiel:** Bei organischen Reaktionen wird oft ein nicht mischbares Lösungsmittel wie Diethylether verwendet, um Produkte zu extrahieren

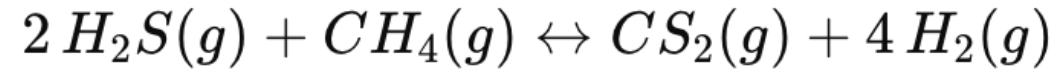
4. Weiterreaktion des Produkts

Wenn das Produkt sofort in eine Folge-Reaktion involviert wird, sinkt seine Konzentration im Reaktionsgemisch. Dies verschiebt das Gleichgewicht zugunsten der Produktherstellung.

Beispiel: Beim Haber-Bosch-Verfahren kann Ammoniak weiterverwendet werden, z.B. für die Herstellung von Düngemitteln, sodass es aus dem Reaktionssystem entfernt wird.

Klausuraufgabe – Gleichgewicht 2

Reaktionsgleichungen



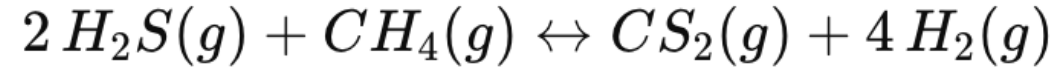
Was passiert bei der Zugabe eines Katalysators?

→ Das Gleichgewicht verändert sich nicht

→ Das Gleichgewicht stellt sich lediglich schneller ein

Klausuraufgabe – Gleichgewicht 2

Reaktionsgleichungen

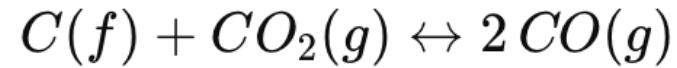


Was passiert bei der Zugabe eines Katalysators?

Ein Katalysator beschleunigt sowohl die Hin- als auch die Rückreaktion, hat jedoch **keinen Einfluss** auf die Lage des Gleichgewichts. Das Gleichgewicht stellt sich einfach schneller ein, aber die Mengenverhältnisse der Edukte und Produkte bleiben gleich.

Klausuraufgabe – Gleichgewicht 3

Reaktionsgleichungen



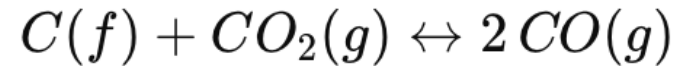
Wie verschiebt sich das Gleichgewicht, wenn der Druck gesenkt wird?

→ Drucksenkung verschiebt Gleichgewicht in die Richtung, in der mehr Gasmoleküle sind

⇒ Verschiebung des Gleichgewichts in Produktrichtung

Klausuraufgabe – Gleichgewicht 3

Reaktionsgleichungen

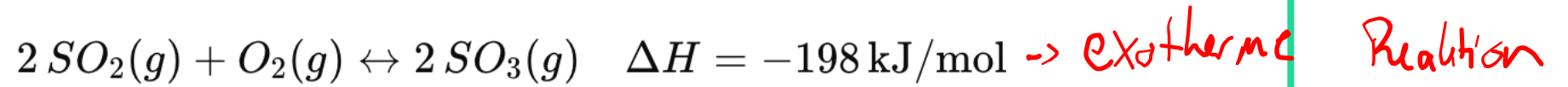


Wie verschiebt sich das Gleichgewicht, wenn der Druck gesenkt wird?

Durch Drucksenkung wird das Gleichgewicht in Richtung der Seite verschoben, die mehr Gasteilchen enthält, um den Druck wieder auszugleichen. Auf der rechten Seite gibt es **zwei Volumenteile CO** gegenüber **einem Teil CO₂** auf der linken Seite. Daher verschiebt sich das Gleichgewicht nach rechts, in Richtung der Produkte.

Klausuraufgabe – Gleichgewicht 4

Reaktionsgleichungen

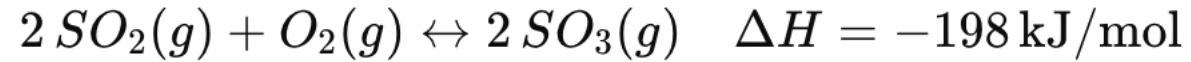


Was passiert bei einer Temperaturerhöhung?

exotherme Reaktion + Temperaturerhöhung
→ Verschiebung des Gleichgewichts in Edukt-Richtung

Klausuraufgabe – Gleichgewicht 4

Reaktionsgleichungen



Was passiert bei einer Temperaturerhöhung?

Da diese Reaktion **exotherm** ist (Wärme wird freigesetzt), verschiebt eine Temperaturerhöhung das Gleichgewicht nach links, in Richtung der Edukte. Dies geschieht, weil das System versucht, die zusätzliche Wärme zu kompensieren, indem es die endotherme Rückreaktion bevorzugt.