

## Zusammenfassung

- Chemische Reaktionen sind **Stoffumwandlungen**
- **Reaktionsgleichungen** liefern **qualitative** und **quantitative** Aussagen zur Reaktion
- Chemische Reaktionen sind mit **Energieveränderungen** (Wärme, Licht oder Arbeit) verbunden
- **Thermodynamik** beschreibt die **Energieveränderungen** bei einer chemischen Reaktion
- **Systeme** können **offen** (Materie- + Energieaustausch), **geschlossen** (nur Energieaustausch) oder **abgeschlossen** (weder Materie- noch Energieaustausch) sein
- **Reaktionsenthalpie** ist die **Wärmemenge** die bei chemischen Reaktionen unter konst. Druck auf- oder abgegeben wird:  $\Delta_R H < 0$ : **exotherm**,  $\Delta_R H > 0$ : **endotherm**
- **Entropie** ist ein Maß für die **Unordnung** eines Systems:  $\Delta_R S < 0$  (zunehmende Ordnung);  $\Delta_R S > 0$  (abnehmende Ordnung)
- **Gibbs Energie** ist ein Maß für die Triebkraft einer chemischen Reaktion:  $\Delta_R G < 0$ : **exergon**,  $\Delta_R G > 0$ : **endergon**

$$\Delta_R G = \Delta_R H - T \cdot \Delta_R S$$

- chemische Reaktionen laufen nie vollständig ab  $\rightarrow$  **chemisches Gleichgewicht** ( $\Delta_R G = 0$ ), welches durch das **Massenwirkungsgesetz** beschrieben wird

$$K_c(T) = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b} = \frac{[Produkte]}{[Edukte]} = const.$$

- Lage des Gleichgewichts kann durch das **Prinzip von Le Châtelier** kontrolliert werden  
„Wird auf ein System im chemischen Gleichgewicht ein äußerer Zwang ausgeübt, verschiebt sich das Gleichgewicht so, dass dem Zwang entgegengewirkt wird.“

### Schlüsselbegriffe

- |                             |                             |                            |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| ■ Thermodynamik             | ■ exotherm versus endotherm | ■ exergon versus endergon  |
| ■ Der Begriff des „Systems“ | ■ Entropie                  | ■ Massenwirkungsgesetz     |
| ■ Reaktionsenthalpie        | ■ Gibbs Energie             | ■ Prinzip von Le Châtelier |

### Aufgabe 5-1: Stöchiometrie

a) Kalium (K) und Brom ( $Br_2$ ) reagieren miteinander unter Bildung von Kaliumbromid (KBr).

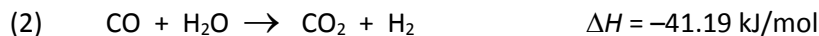
- Geben Sie eine korrekte Reaktionsgleichung an.
- Geben Sie sowohl für die Edukte als auch für die Produkte den jeweiligen Bindungstyp an.
- Berechnen Sie die Menge (in g) an benötigtem Brom wenn 15.0 g Kaliumbromid entstehen.

b) Calciumcarbonat reagiert mit Salzsäure unter Freisetzung eines farblosen Gases (Kohlenstoffdioxid) zu Calciumchlorid und Wasser. Stellen Sie die korrekte Reaktionsgleichung auf und berechnen Sie das entstehende Gasvolumen für den Fall, dass 10.0 g Calciumcarbonat vollständig umgesetzt wird. Gehen Sie von Normbedingungen aus und geben Sie ihre Ergebnisse mit einer signifikanten Stelle an. Vernachlässigen Sie die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser. (Molvolumen idealer Gase bei Normbedingungen:  $V_M = 22.414 \text{ L mol}^{-1}$ )

### Aufgabe 5-2: Enthalpie

Zur Herstellung von "Wassergas", einem Gemisch aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, leitet man Wasserdampf über stark erhitzten Koks. Dabei erfolgt die *endotherme* Reaktion (1).

Das gebildete Kohlenmonoxid kann sich bei niedrigen Temperaturen mit weiterem Wasserdampf gemäß Reaktion (2) zu Kohlendioxid umsetzen, so dass bei Wasserüberschuss und weniger hohen Temperaturen neben der Reaktion (1) *bei Anwesenheit geeigneter Katalysatoren* auch die Bildung von Kohlendioxid und Wasserstoff als Summe der Reaktionen (1) und (2) erfolgen kann.



- Formulieren Sie die Gesamtreaktionsgleichung für diese Reaktion
- Berechnen Sie die Gesamtreaktionsenthalpie und geben Sie an, ob die Gesamtreaktion endotherm oder exotherm ist.

### Aufgabe 5-3: Einfluss der Entropie

Sie sollen per Rechnung Aussagen beurteilen über den Ablauf einer chemischen Reaktion mit

$$\Delta_R H^\circ = +15.1 \text{ kJ/mol} \quad \text{und} \quad \Delta_R S^\circ = +40.5 \text{ J/mol}\cdot\text{K}. \quad (0^\circ\text{C} = 273.15 \text{ K}).$$

- Läuft die Reaktion bei 27 °C freiwillig ab?
- Läuft die Reaktion bei 327 °C freiwillig ab?

### Aufgabe 5-4: Thermodynamische Berechnung

Schwefelkohlenstoff (Kohlenstoffdisulfid)  $\text{CS}_2$  kann aus den Elementen nach:



hergestellt werden.

Gegeben sind die Reaktionen:



- Bestimmen Sie die Standard-Reaktionsenthalpie  $\Delta_R H^\circ$  in kJ/mol für die Bildung von  $\text{CS}_2$
- Berechnen Sie den Standardwert der Gibbs' freien Energie  $\Delta_R G^\circ$  für die Reaktion, wenn die Reaktionsentropie  $\Delta_R S^\circ = -125.5 \text{ J/mol K}$  beträgt.
- Ist die Reaktion *endergon* oder *exergon*?
- Warum ist die Reaktionsentropie so stark negativ? (kurze Begründung)

### Aufgabe 5-4: Thermodynamik

Geben Sie jeweils an, ob die folgenden Aussagen zur Energetik und Thermodynamik chemischer Reaktionen richtig oder falsch sind!

	trifft zu	trifft nicht zu
Damit bei einer Reaktion Wärme frei werden kann, muss $\Delta G > 0$ sein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Entropie $\Delta S$ ist ein Maß für die „Ordnung“ eines Systems.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eine endotherme Reaktion setzt Wärme frei.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eine endergonische Reaktion läuft freiwillig ab.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lage eines Gleichgewichts lässt sich nach dem Prinzip von LeChaterlier durch Temperaturänderung, Druckänderung und Konzentrationsänderung verschieben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Für eine exotherme Reaktion gilt $\Delta H > 0$ .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### Aufgabe 5-5: Das chemische Gleichgewicht I

Gegeben ist die folgende Gleichgewichtsreaktion (Ammoniak-Synthese nach Haber-Bosch):



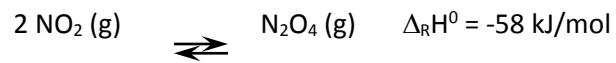
- a) Geben Sie die stöchiometrischen Koeffizienten für diese Reaktion an.
- b) Wie lautet die Massenwirkungsgesetz (= Formel für die Gleichgewichtskonstante  $K$ ) für die (stöchiometrisch richtige!) Reaktion?
- c) Wie groß ist die freie Reaktionsenergie (Gibbs-Energie)  $\Delta_R G^\circ$  (in  $\text{kJ mol}^{-1}$ ) der Reaktion, wenn die Gleichgewichtskonstante bei  $500^\circ\text{C}$   $K = 2.44 \times 10^{-5}$  beträgt?
- d) Es handelt es sich um eine  exergone,  endergone Reaktion (richtige Aussage ankreuzen)
- e) Welche Aussage zur Entropieänderung bei der Reaktion ist wahrscheinlicher?
- $\Delta S$  ist negativ.   $\Delta S$  ist positiv.

Begründung:

- f) In welche Richtung verschiebt sich das Gleichgewicht bei einer Erhöhung des Drucks?
- in Richtung des Produkts.  in Richtung der Edukte.

### Aufgabe 5-6: Das chemische Gleichgewicht II

Für eine Gleichgewichtsreaktion ist die folgende allgemeine Reaktionsgleichung gegeben:



- a) Stellen Sie das Massenwirkungsgesetz auf:  
b) Beurteilen Sie ob die nachfolgenden Aussagen zur obigen Gleichgewichtsreaktion korrekt oder falsch sind:

	richtig	falsch
1 Es handelt sich um eine exotherme Reaktion.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Bei Temperaturerhöhung verschiebt sich das Gleichgewicht auf die Produktseite.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Bei Druckerhöhung verschiebt sich das Gleichgewicht auf die Produktseite.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>