



## Thema: chemisches Gleichgewicht, Aufgaben und Antworten

Lernziele resp. Fragegebiete:

- Ab [GW-01](#) : Definitionen, Geschwindigkeiten
- Ab [GW-10](#) : Massenwirkungsgesetz, Gleichgewichtskonstante K
- Ab [GW-20](#) : Beeinflussung des Gleichgewichtes durch T und P
- Ab [GW-30](#) : Beeinflussung des Gleichgewichtes durch c

### Aufgabe: GW-01

Welche Faktoren beeinflussen die Reaktionsgeschwindigkeit?

**Lösung:**

- a) Konzentration
- b) Temperatur
- c) Zerteilungsgrad
- d) Katalysator

### Aufgabe: GW-02

Wie ist das chemische Gleichgewicht definiert?

**Lösung:**

$v = dc / dt$  oder in Worten:

Die Veränderung einer Konzentration über die Zeit hinweg

### Aufgabe: GW-03

Gegeben sei eine beliebige Reaktion, die Edukte gehen über zu den Produkten.

- a) Wie sind ganz allgemein die Geschwindigkeitsraten definiert?
- b) Was gilt für die Edukte, was gilt für die Produkte?

**Lösung:**

a) Die Geschwindigkeitsrate ist definiert als die Veränderung der Konzentration über die Zeit, oder kurz:  $v = \Delta c / \Delta t$

noch kürzer:  $v = \Delta c / \Delta t$

Beachte, dass  $v$  immer eine positive Grösse sein muss (Definition)

b) Aus der Definition ( $v$  muss positiv sein), ergibt sich somit:

$$v(\text{Edukte}) = - \Delta(\text{Edukte}) / \Delta t = -d[\text{Edukte}] / dt$$

$$v(\text{Produkte}) = + \Delta(\text{Produkte}) / \Delta t = +d[\text{Produkte}] / dt$$

### Aufgabe: GW-04

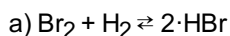
Gegeben seien nachfolgende Reaktionen. Gleiche jede Reaktion aus, sodass ...

... ganze (!) Zahlen als Koeffizienten vorkommen

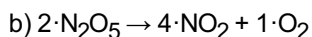
... für jede Substanz ihre Geschwindigkeitsrate ( $d[X]/dt$ ) angegeben wird.

- a)  $\text{Br}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{HBr}$
- b)  $\text{N}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$
- c)  $\text{A} + 2 \text{B} \rightarrow 3 \text{C} + 4 \text{D}$  (schon ausgeglichen!)

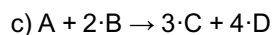
**Lösung:**



$$-d[\text{Br}_2]/dt = -d[\text{H}_2]/dt = + 1/2 \cdot d[\text{HBr}]/dt$$



$$-1/2 \cdot d[\text{N}_2\text{O}_5]/dt = + 1/4 \cdot d[\text{NO}_2]/dt = + d[\text{O}_2]/dt$$



$$-d[A]/dt = -1/2 \cdot d[B]/dt = +1/3 \cdot d[C]/dt = +1/4 \cdot d[D]/dt$$

**Aufgabe: GW-05**

Gegeben seien folgende Edukte. Gib an, wieviele (theoretische) Kollisionen es geben könnte zwischen den Edukten. Es gilt die Annahme, dass die Reaktionsgeschwindigkeit  $v$  proportional zu den Anzahl der Kollisionen sei. Desweiteren gilt, dass alle Edukteilchen miteinander reagieren müssen.

- a)  $A + B$
- b)  $A, B, D$
- c)  $F, G, X, Z$
- d)  $2A + B$
- e)  $3A + 2B$

**Lösung:**

- a) Anzahl Kollisionen proportional zu  $c(A) \cdot c(B)$
- b)  $v \propto c(A) \cdot c(B) \cdot c(D)$
- c)  $v \propto c(F) \cdot c(G) \cdot c(X) \cdot c(Y)$
- d)  $v \propto c(A) \cdot c(A) \cdot c(B) = c^2(A) \cdot c(B)$
- e)  $v \propto c(A) \cdot c(A) \cdot c(A) \cdot c(B) \cdot c(B) = c^3(A) \cdot c^2(B)$

**Aufgabe: GW-06**

Um welchen Faktor  $x$  steigt der Anteil der Moleküle, welche eine Energie von  $E_a$  aufweisen, bei einer Temperaturerhöhung um 10 Kelvin?

Diverse Hinweise:

- Der Zusammenhang zwischen der Temperatur und  $k$  (gesuchter Wert bei einer bestimmten Temperatur) ergibt sich mit folgender Arrhenius-Gleichung:
- $k = A \cdot e^{(-E_a/R \cdot T)}$
- $A$  Konstante, charakteristisch für die jeweilige Reaktion
- $E_a$ , Aktivierungsenergie, 100 kJ/mol, typischer Wert für viele Reaktionen
- $R$ : Gaskonstante, 8.314 J/(mol·K)

**Lösung:**

- Die Temperaturerhöhung betrage 10 Kelvin. Es wird (willkürlich) angenommen, dass  $T_1$  z.B. 300K und  $T_2$  310 K seien
- $k(T=300K) = A \cdot 3.87 \cdot 10^{-18}$
- $k(T=310K) = A \cdot 1.41 \cdot 10^{-17}$
- Verhältnis  $k(T=310K)/k(T=300K) = 3.7$

Der berechnete Wert von ca. 4 (genau 3.7) entspricht genau der RGT-Regel, welche besagt, dass bei einer Temperaturerhöhung um 10 Grad (oder 10 Kelvin) die Reaktionsgeschwindigkeit sich um den Faktor 2-3 erhöht. Dies entspricht nicht genau der Prognose von 3.7, kann aber durch nicht erfolgreiche Stösse (Anordnung der Moleküle) erklärt werden.

**Aufgabe: GW-10**

Gegeben sei eine chemische Reaktion, die Edukte gehen also über zu den Produkten. Definiere hierfür die Gleichgewichtskonstante  $K$ .

**Lösung:**

Es gilt: Edukte  $\rightleftharpoons$  Produkte

$K = [\text{Produkte}]/[\text{Edukte}]$ ; Einheit: [mol/L]/[mol/L]

Je nach Reaktion kann es sein, dass sich die Einheiten wegekürzen.

**Aufgabe: GW-11**

Welche drei Bereichswerte kann die Gleichgewichtskonstante  $K$  annehmen und wie können diese Bereiche interpretiert

werden?

Es gelte: Edukte  $\rightleftharpoons$  Produkte

### Lösung:

Es gilt  $K = [\text{Produkte}]/[\text{Edukte}]$

Je nachdem wie gross die Konzentrationen sind, können drei Bereiche erreicht werden:

- $0 < K < 1$ ; das heisst, dass  $[\text{Produkte}] < [\text{Edukte}]$   
Das Gleichgewicht liegt auf der Seite der Edukte
- $K > 1$ ; das heisst, dass  $[\text{Produkte}] > [\text{Edukte}]$   
Das Gleichgewicht liegt auf der Seite der Produkte
- $K = 1$ ; das heisst, dass  $[\text{Produkte}] = [\text{Edukte}]$   
Weder die Edukte noch die Produkte liegen in der Mehrheit vor, das GW ist ausgeglichen

### Aufgabe: GW-12

Gegeben seien nachfolgende Reaktionen. Gleiche diese nötigenfalls aus und definiere für jede (ausgeglichene) Reaktion das Massenwirkungsgesetz.

Hinweis 1: Vergiss die Einheiten nicht und kürze soweit wie möglich

Hinweis 2: Verwende für das Ausgleichen ganze Zahlen, keine Brüche

- $\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Br}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{HBr}$
- $\text{N}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{NH}_3$
- $\text{N}_2\text{O}_5 \rightleftharpoons \text{NO}_2 + \text{O}_2$
- $\text{A} + 2 \text{B} \rightleftharpoons 3 \text{C} + 4 \text{D}$  (schon ausgeglichen!)
- $\text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$
- $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Fe} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{Fe}_2\text{O}_3$
- $\text{N}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{NH}_3$
- $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightleftharpoons \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{CO}_2$
- $\text{KClO}_3 \rightleftharpoons \text{KCl} + \text{O}_2$
- $\text{Zn} + \text{HCl} \rightleftharpoons \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$
- $\text{AgNO}_3 + \text{NaCl} \rightleftharpoons \text{AgCl} + \text{NaNO}_3$

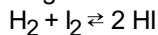
### Lösung:

- $2 \cdot \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2 \cdot \text{H}_2\text{O}$   
 $K = \frac{c^2(\text{H}_2\text{O})}{c^2(\text{H}_2) \cdot c(\text{O}_2)}$   
Einheit:  $(\text{mol/l})^2 / ((\text{mol/l})^2 \cdot (\text{mol/l})) = 1/(\text{mol/l}) = \text{l/mol}$
- $\text{Br}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \cdot \text{HBr}$   
 $K = \frac{c^2(\text{HBr})}{c(\text{Br}_2) \cdot c(\text{H}_2)}$   
Einheit:  $(\text{mol/l})^2 / (\text{mol/l} \cdot \text{mol/l})$   
Einheiten kürzen sich weg
- $1 \cdot \text{N}_2 + 3 \cdot \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \cdot \text{NH}_3$   
 $K = \frac{c^2(\text{NH}_3)}{c(\text{N}_2) \cdot c^3(\text{H}_2)}$   
Einheiten:  $(\text{mol/l})^2 / ((\text{mol/l})^4) = (\text{l/mol})^2$
- $2 \cdot \text{N}_2\text{O}_5 \rightarrow 4 \cdot \text{NO}_2 + 1 \cdot \text{O}_2$   
 $K = \frac{c^4(\text{NO}_2) \cdot c(\text{O}_2)}{c^2(\text{N}_2\text{O}_5)}$   
Einheiten:  $(\text{mol/l})^2$
- $\text{A} + 2 \text{B} \rightleftharpoons 3 \text{C} + 4 \text{D}$  (schon ausgeglichen!)
- $\text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$   
 $K = \frac{c(\text{H}_2\text{O}) \cdot c(\text{O}_2)}{c(\text{H}_2\text{O}_2)}$   
Einheiten:  $(\text{mol/l})^2 / (\text{mol/l}) = \text{mol/l}$

- g)  $\text{CH}_4 + 2 \cdot \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{l})$   
 $K = (\text{c}(\text{CO}_2) \cdot \text{c}^2(\text{H}_2\text{O})) / (\text{c}(\text{CH}_4) \cdot \text{c}^2(\text{O}_2))$   
 Einheiten:  $(\text{mol/l})^3 / (\text{mol/l})^3 = 1$
- h)  $4 \cdot \text{Fe}(\text{s}) + 3 \cdot \text{O}_2 \rightleftharpoons 2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$   
 $K = \text{c}^2(\text{Fe}_2\text{O}_3) / (\text{c}^4(\text{Fe}) \cdot \text{c}^3(\text{O}_2))$   
 Einheiten:  $(\text{mol/l})^2 / (\text{mol/l})^7 = (\text{mol/l})^{(-5)} = (\text{l/mol})^5$
- i)  $\text{N}_2 + 3 \cdot \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \cdot \text{NH}_3$   
 $K = \text{c}^2(\text{NH}_3) / (\text{c}(\text{N}_2) \cdot \text{c}^3(\text{H}_2))$   
 Einheiten:  $(\text{mol/l})^2 / (\text{mol/l})^4 = (\text{mol/l})^{(-2)} = (\text{l/mol})^2$
- j)  $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightleftharpoons \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$   
 $K = (\text{c}(\text{NaCl}) \cdot \text{c}(\text{H}_2\text{O})) / (\text{c}(\text{HCl}) \cdot \text{c}(\text{NaOH}))$   
 Einheiten:  $(\text{mol/l})^2 / (\text{mol/l})^2 = 1$
- k)  $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2$   
 $K = (\text{c}(\text{CaO}) \cdot \text{c}(\text{CO}_2)) / \text{c}(\text{CaCO}_3)$   
 Einheiten:  $(\text{mol/l})^2 / (\text{mol/l}) = (\text{mol/l})$
- l)  $2 \cdot \text{KClO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{KCl}(\text{s}) + 3 \cdot \text{O}_2$   
 $K = (\text{c}^2(\text{KCl}) \cdot \text{c}^3(\text{O}_2)) / \text{c}^2(\text{KClO}_3)$   
 Einheiten:  $(\text{mol/l})^5 / (\text{mol/l})^2 = (\text{mol/l})^3$
- m)  $\text{Zn}(\text{s}) + 2 \cdot \text{HCl} \rightleftharpoons \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$   
 $K = (\text{c}(\text{ZnCl}_2) \cdot \text{c}(\text{H}_2)) / (\text{c}(\text{Zn}) \cdot \text{c}^2(\text{HCl}))$   
 Einheiten:  $(\text{mol/l})^2 / (\text{mol/l})^3 = (\text{mol/l})^{(-1)} = (\text{l/mol})$
- n)  $\text{AgNO}_3 + \text{NaCl} \rightleftharpoons \text{AgCl}(\text{s}) + \text{NaNO}_3$   
 $K = (\text{c}(\text{AgCl}) \cdot \text{c}(\text{NaNO}_3)) / (\text{c}(\text{AgNO}_3) \cdot \text{c}(\text{NaCl}))$   
 Einheiten:  $(\text{mol/l})^2 / (\text{mol/l})^2 = 1$   
 Einheiten kürzen sich weg

### Aufgabe: GW-13

Gegeben sei das Iod-Wasserstoff-Gleichgewicht:



Löse die folgenden Aufgaben. Die Angabe 't=0' soll heissen, dass die Startsituation betrachtet wird, 't=GW' dass das System sich nun im Gleichgewicht befindet. Ebenso sind die Angaben z.B. bei  $\text{H}_2$  als Konzentrationen (mol/l) zu verstehen.

Hinweis: bei d) soll zusätzlich K berechnet werden.

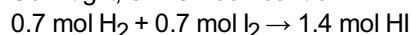
Hinweis: bei e) sei noch zusätzlich  $K=54.5$  gegeben.

		$\text{H}_2$	$\text{I}_2$	$\text{HI}$
a)	t=0	1.0	1.0	0
	t=GW	0.3	?	?
b)	t=0	2.0	1.0	0
	t=GW	1.5	?	?
c)	t=0	3.0	0	0
	t=GW	2	?	?
d)	t=0	9.32	8.05	0
	t=GW	?	?	13.5
e)	t=0	0	0	0.015
	t=GW	?	?	?

### Lösung:

- a) Verbrauch von  $\text{H}_2$ :  $1.0 \text{ mol} - 0.3 \text{ mol} = 0.7 \text{ mol}$

Somit gilt, **ohne** Rückreaktion:

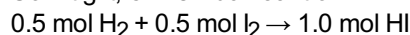


Für das GW gilt also:

$$\text{c}(\text{H}_2) = 0.7 \text{ mol}, \text{c}(\text{I}_2) = 0.7 \text{ mol}, \text{c}(\text{HI}) = 1.4 \text{ mol}$$

- b) Verbrauch von  $\text{H}_2$ : 0.5 mol

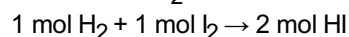
Somit gilt, **ohne** Rückreaktion:



Für das GW gilt also:

$$c(\text{H}_2) = 1.5 \text{ mol}, c(\text{I}_2) = 0.5 \text{ mol}, c(\text{HI}) = 1 \text{ mol}$$

c) Verbrauch von  $\text{H}_2$ : 1.0 mol

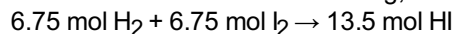


Für das GW gilt also:

$$c(\text{H}_2) = 2 \text{ mol}, c(\text{I}_2) = 1 \text{ mol}, c(\text{HI}) = 2 \text{ mol}$$

ABER:  $c(\text{I}_2) = -1 \text{ mol}$  macht keine Sinn, oder mit anderen Worten: Reaktion nicht möglich, da beim Start gar kein I in irgendeiner Form vorhanden ist, also weder als  $\text{I}_2$  noch als HI.

d) Es entstehen 13.5 mol HI. Herstellung, ohne Rückreaktion:



Für das GW gilt also:

$$c(\text{H}_2) = 2.57 \text{ mol}, c(\text{I}_2) = 1.3 \text{ mol}, c(\text{HI}) = 13.5 \text{ mol}$$

$$K = c^2(\text{HI}) / (c(\text{H}_2) \cdot c(\text{I}_2)) = 13.5^2 / (2.57 \cdot 1.3) = 54.5$$

e) Es gelte, z.B.: x sei Anzahl  $\text{H}_2$

$$\text{Somit gilt: } 2 \cdot \text{Anzahl}(\text{H}_2) = \text{Anzahl}(\text{HI})$$

Für das GW gilt also:

$$c(\text{H}_2) = 0 + x \text{ mol}, c(\text{I}_2) = 0 + x \text{ mol}, c(\text{HI}) = (0.015 - 2x) \text{ mol}$$

$$K = 54.5 = (0.015 - 2x)^2 / (x \cdot x)$$

$$x_1 = -0.0027 \text{ (Lösung macht chemisch keinen Sinn)}$$

$$x_2 = 0.0015987$$

Für das GW gilt also:

$$c(\text{H}_2) = 0.0015987 \text{ mol}, c(\text{I}_2) = 0.0015987 \text{ mol}, c(\text{HI}) = 0.011803 \text{ mol}$$

#### Aufgabe: GW-14

Gegeben sei folgende Reaktion, alle Substanzen seien gasförmig:  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$

Welche Stoffmenge  $\text{H}_2$  wird gebildet, wenn mit 20 mol CO, 30 mol  $\text{H}_2\text{O}$  sowie 3 mol  $\text{CO}_2$  gestartet wird. K betrage 4.05

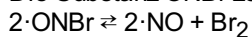
**Lösung:**

	CO	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2$
t=0	20	30	3	0
t=GW	20-x	30-x	3+x	x

- Es gilt:  $K = 4.05 = ((3+x) \cdot x) / ((20-x) \cdot (30-x))$
- $x_1 = 15.3$ ;  $x_2 = 52$
- Chemisch sinnvoll ist nur  $x_1$
- Im Gleichgewicht befinden sich also 15.3 mol  $\text{H}_2$

#### Aufgabe: GW-15

Die Substanz ONBr zerfällt bei 500 °C folgendermassen:



Angenommen, dass nur 9 Prozent des ONBr zerfallen. Wie gross ist K, wenn nur mit 1.0 mol ONBr begonnen wird?

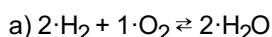
**Lösung:**

- Start mit 9 Prozent von 1.0 mol ONBr: 0.09 mol
- ONBr zerfällt, also keine Rückreaktion.
- $0.09 \text{ mol ONBr} \rightarrow 0.09 \text{ mol NO} + 0.09/2 \text{ mol Br}_2$
- Im GW gilt also:
- $c(\text{ONBr}) = 0.91 \text{ mol}, c(\text{NO}) = 0.09 \text{ mol}, c(\text{Br}_2) = 0.045 \text{ mol}$
- $K = c^2(\text{NO}) \cdot c(\text{Br}_2) / c^2(\text{ONBr}) = 0.09^2 \cdot 0.045 / (0.91)^2 = 4.4 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$

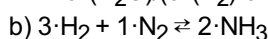
#### Aufgabe: GW-16

Formuliere das MWG (inklusive Einheiten) für die Bildung von a) Wasser sowie b)  $\text{NH}_3$  aus den Elementen.

**Lösung:**



$$K = \frac{c^2(\text{H}_2\text{O})}{c^2(\text{H}_2) \cdot c^1(\text{O}_2)} \text{ [L/mol]}$$



$$K = \frac{c^2(\text{NH}_3)}{c^3(\text{H}_2) \cdot c^1(\text{N}_2)} \text{ [Einheitenlos]}$$

### Aufgabe: GW-17

Folgende allgemein formulierte Gleichung sei gegeben. Formuliere die Gleichgewichtskonstante K.

$1 \cdot \text{A} + 2 \cdot \text{B} \rightleftharpoons 3 \cdot \text{C} + 4 \cdot \text{D}$  Zum Zeitpunkt betrage die Konzentration:  $c(\text{A})=a$ ,  $c(\text{B})=b$ ,  $c(\text{C})=c$ ,  $c(\text{D})=d$  Formuliere die Gleichgewichtskonstante K für den Fall, dass das Gleichgewicht ...

a) ... nach rechts verschoben wird.

b) ... nach links verschoben wird.

Hinweis: nimm an, dass die Veränderung zum Gleichgewicht von A x sei.

**Lösung:**

Aufgrund  $1 \cdot \text{A} + 2 \cdot \text{B} \rightleftharpoons 3 \cdot \text{C} + 4 \cdot \text{D}$  gilt folgendes:

$$\text{Anzahl}(\text{A}) = 1/2 \cdot \text{Anzahl}(\text{B}) \text{ resp. } 2 \cdot \text{Anzahl}(\text{A}) = \text{Anzahl}(\text{B})$$

$$\text{Anzahl}(\text{A}) = 1/3 \cdot \text{Anzahl}(\text{C})$$

$$\text{Anzahl}(\text{A}) = 1/4 \cdot \text{Anzahl}(\text{D})$$

	1·A	2·B	⇌	3·C	4·D
t=0	a	b		c	d
a)	a-x	b-2x		c+3x	d+4x
b)	a+x	b+2x		c-3x	d-4x
				x	

Somit ergibt sich für ...

$$\text{a) } K = \frac{(c+3x)^3 \cdot (d+4x)^4}{(a-x)^1 \cdot (b-2x)^2}$$

$$\text{b) } K = \frac{(c-3x)^3 \cdot (d-4x)^4}{(a+x)^1 \cdot (b+2x)^2}$$

### Aufgabe: GW-20

Wie lässt sich das chemische Gleichgewicht durch die Temperatur beeinflussen?

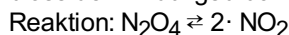
**Lösung:**

Prinzipiell gilt es zu unterscheiden, ob es sich um eine exotherme oder endotherme Reaktion handelt.

- Bei einer exothermen Reaktion muss die Reaktion gekühlt werden um möglichst viel Produkt zu erhalten.
- Eine endotherme Reaktion muss erwärmt werden, um möglichst viel Produkt zu erhalten.

### Aufgabe: GW-21

Gegeben sei folgende Reaktion. Beurteile ob die Reaktion zum Produkt hin endotherm oder exotherm wäre. Nimm an, dass bloss der Bindungsbruch zwischen den Stickstoffatomen in Betracht gezogen werden müsste.

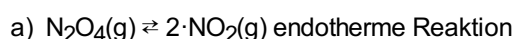


**Lösung:**

Es muss ein Bindungsbruch zwischen den Stickstoffatomen realisiert, dieser Bruch (!), also das Brechen einer Bindung, braucht Energie. Somit ist die Reaktion von den Edukten hin zum Produkt endotherm und umgekehrt.

### Aufgabe: GW-22

Gegeben seien folgende Reaktionen. Wie lässt sich das Gleichgewicht bei einer Temperaturhöhung ( $T \uparrow$ ) respektive bei Temperatursenkung ( $T \downarrow$ ) beeinflussen, wenn jeweils angegeben ist, ob die Reaktion endotherm oder exotherm ist.



- b)  $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \cdot \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{NH}_3(\text{g})$  exotherme Reaktion
- c)  $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$  endotherme Reaktion
- d)  $2 \cdot \text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{SO}_3(\text{g})$  exotherme Reaktion
- e)  $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$  endotherme Reaktion
- f)  $\text{CO}(\text{g}) + 2 \cdot \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$  exotherme Reaktion
- g)  $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g}) + \text{HCl}(\text{g})$  endotherme Reaktion
- h)  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$  exotherme Reaktion
- i)  $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + 3 \cdot \text{H}_2(\text{g})$  endotherme Reaktion
- j)  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{HCl}(\text{g})$  exotherme Reaktion
- k)  $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{NO}(\text{g})$  endotherme Reaktion
- l)  $2 \cdot \text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{NO}_2(\text{g})$  exotherme Reaktion

### Lösung:

- a)  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{NO}_2(\text{g})$  endotherme Reaktion  
 $T \uparrow \rightarrow \text{GW rechts} \rightarrow \text{mehr NO}_2, \text{weniger N}_2\text{O}_4$   
 $T \downarrow \rightarrow \text{GW links} \rightarrow \text{mehr N}_2\text{O}_4, \text{weniger NO}_2$
- b)  $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \cdot \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{NH}_3(\text{g})$  exotherme Reaktion  
 $T \uparrow \rightarrow \text{GW links} \rightarrow \text{weniger NH}_3, \text{mehr N}_2 + \text{H}_2$   
 $T \downarrow \rightarrow \text{GW rechts} \rightarrow \text{mehr NH}_3, \text{weniger N}_2 + \text{H}_2$
- c)  $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$  endotherme Reaktion  
 $T \uparrow \rightarrow \text{GW rechts} \rightarrow \text{mehr CaO} + \text{CO}_2, \text{weniger CaCO}_3$   
 $T \downarrow \rightarrow \text{GW links} \rightarrow \text{mehr CaCO}_3, \text{weniger CaO} + \text{CO}_2$
- d)  $2 \cdot \text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{SO}_3(\text{g})$  exotherme Reaktion  
 $T \uparrow \rightarrow \text{GW links} \rightarrow \text{weniger SO}_3, \text{mehr SO}_2 + \text{O}_2$   
 $T \downarrow \rightarrow \text{GW rechts} \rightarrow \text{mehr SO}_3, \text{weniger SO}_2 + \text{O}_2$
- e)  $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$  endotherme Reaktion  
 $T \uparrow \rightarrow \text{GW rechts} \rightarrow \text{mehr PCl}_3 + \text{Cl}_2, \text{weniger PCl}_5$   
 $T \downarrow \rightarrow \text{GW links} \rightarrow \text{mehr PCl}_5, \text{weniger PCl}_3 + \text{Cl}_2$
- f)  $\text{CO}(\text{g}) + 2 \cdot \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$  exotherme Reaktion  
 $T \uparrow \rightarrow \text{GW links} \rightarrow \text{weniger CH}_3\text{OH}, \text{mehr CO} + \text{H}_2$   
 $T \downarrow \rightarrow \text{GW rechts} \rightarrow \text{mehr CH}_3\text{OH}, \text{weniger CO} + \text{H}_2$
- g)  $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g}) + \text{HCl}(\text{g})$  endotherme Reaktion  
 $T \uparrow \rightarrow \text{GW rechts} \rightarrow \text{mehr NH}_3 + \text{HCl}, \text{weniger NH}_4\text{Cl}$   
 $T \downarrow \rightarrow \text{GW links} \rightarrow \text{mehr NH}_4\text{Cl}, \text{weniger NH}_3 + \text{HCl}$
- h)  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$  exotherme Reaktion  
 $T \uparrow \rightarrow \text{GW links} \rightarrow \text{weniger C}_2\text{H}_6, \text{mehr C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$   
 $T \downarrow \rightarrow \text{GW rechts} \rightarrow \text{mehr C}_2\text{H}_6, \text{weniger C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$
- i)  $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + 3 \cdot \text{H}_2(\text{g})$  endotherme Reaktion  
 $T \uparrow \rightarrow \text{GW rechts} \rightarrow \text{mehr CO} + \text{H}_2, \text{weniger CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 $T \downarrow \rightarrow \text{GW links} \rightarrow \text{mehr CH}_4 + \text{H}_2\text{O}, \text{weniger CO} + \text{H}_2$
- j)  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{HCl}(\text{g})$  exotherme Reaktion  
 $T \uparrow \rightarrow \text{GW links} \rightarrow \text{weniger HCl}, \text{mehr H}_2 + \text{Cl}_2$   
 $T \downarrow \rightarrow \text{GW rechts} \rightarrow \text{mehr HCl}, \text{weniger H}_2 + \text{Cl}_2$
- k)  $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{NO}(\text{g})$  endotherme Reaktion  
 $T \uparrow \rightarrow \text{GW rechts} \rightarrow \text{mehr NO}, \text{weniger N}_2 + \text{O}_2$   
 $T \downarrow \rightarrow \text{GW links} \rightarrow \text{mehr N}_2 + \text{O}_2, \text{weniger NO}$
- l)  $2 \cdot \text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{NO}_2(\text{g})$  exotherme Reaktion  
 $T \uparrow \rightarrow \text{GW links} \rightarrow \text{weniger NO}_2, \text{mehr NO} + \text{O}_2$   
 $T \downarrow \rightarrow \text{GW rechts} \rightarrow \text{mehr NO}_2, \text{weniger NO} + \text{O}_2$

### Aufgabe: GW-25

Rund um die Beeinflussung des chemischen GW durch den Druck.

- a) Damit das chemische Gleichgewicht durch den Druck beeinflusst werden kann, muss eine grundlegende Eigenschaft der Edukte sowie Produkte vorliegen. Welche ? Und weshalb ?
- b) Wie verändert sich das GW bei einer Druckerhöhung ?

c) Wie verändert sich das GW bei einer Druckerniedrigung ?

### Lösung:

- a) Eine Druckänderung hat nur bei Gasen eine beobachtbare Wirkung, da Flüssigkeiten und Feststoffe sich nicht in ihrem Volumen verändern. Der Grund liegt darin zu finden, dass die Atome (resp. Moleküle) bei Flüssigkeiten und Feststoffen ihren Abstand zueinander nicht mehr fest verändern können.
- b) Dies begünstigt die Seite mit weniger Gasteilchen.
- c) Dies begünstigt die Seite mit mehr Gasteilchen.

### Aufgabe: GW-26

Gegeben seien jeweils folgende Reaktionen inklusive Hinweise auf den Aggregatzustand. Wie verändert sich das Gleichgewicht bei ... Erhöhung des Drucks ( $p \uparrow$ ), Senken des Druckes ( $p \downarrow$ )

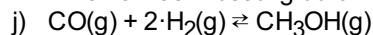
- a)  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$
- b)  $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \cdot \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{NH}_3(\text{g})$
- c)  $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{NO}(\text{g})$
- d)  $2 \cdot \text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{SO}_3(\text{g})$
- e)  $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$
- f)  $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g}) + \text{HCl}(\text{g})$
- g)  $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$
- h)  $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + 3 \cdot \text{H}_2(\text{g})$
- i)  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{HI}(\text{g})$
- j)  $\text{CO}(\text{g}) + 2 \cdot \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$
- k)  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$
- l)  $2 \cdot \text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{C}(\text{s})$
- m)  $\text{C}_6\text{H}_6(\text{l}) + 3 \cdot \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_{12}(\text{l})$
- n)  $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{NaHCO}_3(\text{s})$
- o)  $\text{NH}_4\text{HCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- p)  $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CuSO}_4(\text{s}) + 5 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
- q)  $\text{AgCl}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$
- r)  $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{g})$

### Lösung:

- a)  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2$   
 $p \uparrow \text{GW} \leftarrow$   
 $p \downarrow \text{GW} \rightarrow$
- b)  $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \cdot \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{NH}_3(\text{g})$   
 $p \uparrow \text{GW} \rightarrow$   
 $p \downarrow \text{GW} \leftarrow$
- c)  $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{NO}(\text{g})$   
keine Beeinflussung durch den Druck möglich
- d)  $2 \cdot \text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{SO}_3(\text{g})$   
 $p \uparrow \text{GW} \rightarrow$   
 $p \downarrow \text{GW} \leftarrow$
- e)  $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$   
 $p \uparrow \text{GW} \leftarrow$   
 $p \downarrow \text{GW} \rightarrow$
- f)  $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g}) + \text{HCl}(\text{g})$   
 $p \uparrow \text{GW} \leftarrow$   
 $p \downarrow \text{GW} \rightarrow$
- g)  $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$   
 $p \uparrow \text{GW} \leftarrow$   
 $p \downarrow \text{GW} \rightarrow$
- h)  $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + 3 \cdot \text{H}_2(\text{g})$   
 $p \uparrow \text{GW} \leftarrow$   
 $p \downarrow \text{GW} \rightarrow$
- i)  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \cdot \text{HI}(\text{g})$

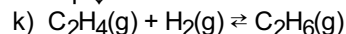


keine Beeinflussung durch den Druck möglich



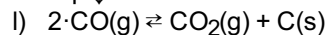
$p \uparrow \text{GW} \rightarrow$

$p \downarrow \text{GW} \leftarrow$



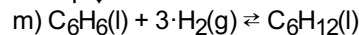
$p \uparrow \text{GW} \rightarrow$

$p \downarrow \text{GW} \leftarrow$



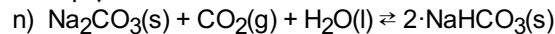
$p \uparrow \text{GW} \rightarrow$

$p \downarrow \text{GW} \leftarrow$



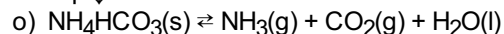
$p \uparrow \text{GW} \rightarrow$

$p \downarrow \text{GW} \leftarrow$



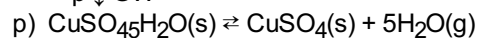
$p \uparrow \text{GW} \rightarrow$

$p \downarrow \text{GW} \leftarrow$



$p \uparrow \text{GW} \leftarrow$

$p \downarrow \text{GW} \rightarrow$

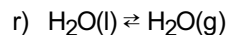


$p \uparrow \text{GW} \leftarrow$

$p \downarrow \text{GW} \rightarrow$



keine Beeinflussung durch den Druck möglich



$p \uparrow \text{GW} \leftarrow$

$p \downarrow \text{GW} \rightarrow$

### Aufgabe: GW-30

Rund um die Beeinflussung des chemischen GW durch die Veränderung der Konzentration.

- Wie kann die Gleichgewichtskonstante K durch eine Veränderung der Konzentration der Edukte resp. Produkte beeinflusst werden? Annahme: p und T bleiben konstant.
- Angenommen, die Eduktkonzentration wird (im Gleichgewicht) Edukt(e) erhöht. Was passiert?
- Angenommen, bei einer Reaktion wird ein Teil (oder komplett) des Produktes entfernt. Was passiert?

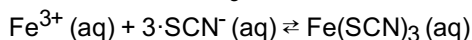
### Lösung:

- K kann **nicht** durch eine Konzentrationsänderung beeinflusst werden. Die Gleichgewichtskonstante K ist also konzentrations**un**abhängig!
- Das zusätzliche Edukte wird abgebaut zu Produkt. Somit wird also die Menge an Produkt erhöht, die Ausbeute verbessert sich.
- Durch das Entfernen des Produktes wird das Produkt wieder nachgebildet, die Ausbeute verbessert sich also wiederum.

### Aufgabe: GW-31

Gegeben sei nachfolgende Reaktion. Wie verändert sich die das Gleichgewicht resp. die Farbe der Lösung bei

a) Zugabe von  $\text{FeCl}_3$  sowie b) Zugabe von KSCN



$\text{Fe}^{3+}$  gelbliche Farbe,  $\text{SCN}^-$  farblos,  $\text{Fe}(\text{SCN})_3$  tiefrot

### Lösung:

- Durch die Zugabe von  $\text{FeCl}_3$  (resp.  $\text{Fe}^{3+}$ ) wird das zusätzliche  $\text{Fe}^{3+}$  abgebaut