

Vereinbarung (=Konvention): Zahlenwert und Einheit von Gleichgewichtskonstanten sind vom gewählten Koeffizientensatz abhängig! Wir vereinbaren, dass wir jeweils den kleinsten ganzzahligen Koeffizientensatz verwenden! Beispiel: *richtig:* $2 \text{SO}_3 \rightleftharpoons 2 \text{SO}_2 + \text{O}_2$ *falsch:* $4 \text{SO}_3 \rightleftharpoons 4 \text{SO}_2 + 2 \text{O}_2$ *falsch:* $\text{SO}_3 \rightleftharpoons \text{SO}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2$

1. Aufgaben zum Massenwirkungsgesetz (ausschließlich mit Stoffmengenkonzentrationen)

1.1 Die Gleichgewichtskonzentrationen der Gleichgewichtsreaktion $2 \text{A} + 3 \text{B} \rightleftharpoons 2 \text{C} + \text{D}$ betragen bei bestimmten Reaktionsbedingungen: $c(\text{A}) = 0,31 \text{ mol/L}$; $c(\text{B}) = 2,18 \text{ mol/L}$; $c(\text{C}) = 0,72 \text{ mol/L}$; $c(\text{D}) = 1,83 \text{ mol/L}$. Berechnen Sie die Gleichgewichtskonstante K_c .

1.2 Die GG-Konstante bei der Bildung von Stickstoffdioxid aus den Elementen beträgt bei bestimmten Bedingungen $K_c = 10^{-6} \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

a) Welche Konzentration an Stickstoffdioxid liegt vor, wenn im Gleichgewicht folgende Konzentrationen gelten:
 $c(\text{O}_2) = 0,04 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $c(\text{N}_2) = 0,009 \text{ mol/L}$?

b) Auf welcher Seite liegt das Gleichgewicht?

1.3 Zu Beginn der Synthese von Iodwasserstoff aus den Elementen lagen die Konzentration $c(\text{H}_2) = 11,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$ und $c(\text{I}_2) = 10,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$ vor. Im Zustand des chemischen Gleichgewichts wurden $c(\text{I}_2) = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$ gemessen.

Formulieren Sie die Reaktionsgleichung und berechnen Sie die Gleichgewichtskonstante K_c .

1.4 Essigsäure (HAc) und Ethanol (EtOH) reagieren in einer Kondensationsreaktion zu Essigsäureethylester (EtAc). Die Gleichgewichtskonstante beträgt bei bestimmten Reaktionsbedingungen $K_c = 4,0$. In einer Reaktionslösung befinden sich $c(\text{HAc}) = 0,6 \text{ mol/L}$, $c(\text{H}_2\text{O}) = 1,2 \text{ mol/L}$, $c(\text{EtOH}) = 0,7 \text{ mol/L}$ und $c(\text{EtAc}) = 0,5 \text{ mol/L}$.

a) Befindet sich das System im Gleichgewichtszustand? Wenn nicht, in welche Richtung verschieben sich die Konzentrationen im Lauf der Zeit?

b) In einem anderen Reaktionsansatz betragen die Konzentrationen der beiden miteinander gemischten Ausgangsstoffe jeweils 2 mol/L .

- I. Welche Esterkonzentration erhält man im Gleichgewichtszustand?
- II. Wie könnte man für höhere Produktausbeute sorgen?

c) Im sich im Gleichgewicht (*siehe Teilaufgabe b*) befindenden Reaktionsgemisch wird die Esterkonzentration um 1 mol/L erhöht. Das Reaktionsgefäß wird verschlossen und die neue Gleichgewichtseinstellung abgewartet. In welche Richtung läuft die Reaktion jetzt ab? Begründen Sie mit dem Massenwirkungsgesetz und berechnen Sie anschließend die neuen Gleichgewichtskonzentrationen.

1.5 Stickstoffdioxid kann in in einer Gleichgewichtsreaktion zu Distickstofftetraoxid dimerisieren, die GG-Konstante lautet bei 27°C $K_c = 489 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$. Welche Konzentration an $c(\text{NO}_2)$ liegt im GG vor, wenn dabei $c(\text{N}_2\text{O}_4) = 33 \text{ mmol/L}$ beträgt?

1.6 In einen 5L-Druckautoklaven wird Ammoniak aus den Elementen in einer Gleichgewichtsreaktion synthetisiert. Zu Beginn wurde der Autoklav mit 100 Gramm Stickstoff und 50 Gramm Wasserstoff befüllt. Im Gleichgewicht konnte der Ammoniakgehalt auf $3,6 \text{ Gramm}$ analysiert werden. Berechnen Sie die Gleichgewichtskonstante K_c bei den Reaktionsbedingungen.

2. Aufgaben zum Massenwirkungsgesetzen mit Partialdrücken und Umrechnung von K_p in K_c

2.1 Für die beiden folgende Gasgleichgewichte sind die Gleichgewichtskonstanten angegeben.

I) Knallgasreaktion. $K_p = 10^{60} \text{ bar}^{-1}$ II) Bildung von Stickstoff(II)-oxid aus den Elementen. $K_p = 10^{-30}$

a) Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen und die Massenwirkungsgesetze und beurteilen Sie die Lage der Gleichgewichte.

- b) Füllt man Wasserstoff und Sauerstoff in ein Gefäß und verschließt es sorgfältig, so bilden sich auch nach Jahrzehnten nicht einmal Spuren von Wasser. Widerspricht dieser Sachverhalt nicht Ihren Aussagen bei Teilaufgabe a)? Begründen Sie!

2.2 Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff reagieren bei erhöhter Temperatur zu Ameisensäure (HCOOH). Mischt man 750 hPa CO₂ und 1000 hPa Wasserstoff, so beträgt im GG-Zustand der Gesamtdruck $p_{\text{gesamt}} = 1630$ hPa.

- a) Berechnen Sie die Partialdrücke der Reaktionsteilnehmer im GG-Zustand.
 b) Welcher Druck wäre bei vollständigem Stoffumsatz zu erwarten gewesen?
 c) Berechnen Sie K_p in Pa⁻¹.

2.3 Bei einer Temperatur von 25 °C und einem Normaldruck von 1 bar besteht ein Gasgemisch zu 70,9 mL aus Distickstofftetraoxid (N₂O₄) und zu 29,1 mL NO₂. Berechnen Sie die Gleichgewichtskonstante K_p und K_c für das Gleichgewicht $\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2$

2.4 Nitrosylchlorid (NOCl) lässt sich thermolytisch in Stickstoffmonoxid und Chlor spalten. Nach Gleichgewichtseinstellung lassen sich folgende Partialdrücke messen: $p(\text{NO}) = 0,011$ MPa, $p(\text{Cl}_2) = 0,085$ MPa.

- a) Stellen Sie die Reaktionsgleichung auf.
 b) Berechnen Sie den Partialdruck $p(\text{NOCl})$, wenn die Gleichgewichtskonstante $K_p = 0,018$ bar beträgt.
 c) Berechnen Sie die Gleichgewichtskonstante K_c bei Normtemperatur.

2.5 Phosgen (COCl₂) entsteht durch Addition von Cl₂ an Kohlenstoffmonoxid. In einem Druckreaktor betragen die Partialdrücke zu Beginn $p(\text{Cl}_2) = 666$ hPa und $p(\text{CO}) = 533$ hPa. Im Gleichgewichtszustand beträgt der Gesamtdruck 800 hPa.

- a) Welchen Gesamtdruck hätte man bei vollständigem Stoffumsatz erwartet?
 b) Berechnen Sie K_p .

2.6 Durch Erhitzen von 1 mol N₂ und 3 mol H₂ auf 400 °C in einem Druckreaktor stellt sich im Gleichgewichtszustand ein Druck von 50 bar ein. Der Volumenanteil an Ammoniakgas beträgt im GG-Zustand $\varphi(\text{NH}_3) = 15,2\%$. Berechnen Sie K_p .

3. Aufgaben zur Verschiebung der Gleichgewichtslage

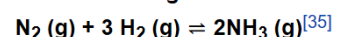
3.1 Die Wasserstoffentwicklung im 2011 havarierten Kernkraftwerk Fukushima, die letztlich auch zu den heftigen Explosionen geführt hat, ist auf die große Hitze des Reaktormantels in Kombination mit dem verdampften Kühlwasser zurückzuführen: Eisen reagiert in einer Gleichgewichtsreaktion bei Rotglut mit Wasserdampf zu Wasserstoff und Fe₃O₄, wobei die Hinreaktion exotherm verläuft.

- a) Stellen Sie die Reaktionsgleichung auf.
 b) Wie wirkt sich eine Druckerniedrigung auf die Lage des Gleichgewicht aus?
 c) Wie verändert sich die Gleichgewichtslage durch Temperaturerhöhung?

3.2 Beim Haber-Bosch-Verfahren reagieren elementarer Stickstoff und Wasserstoff zu gasförmigem Ammoniak. Bei www.wikipedia.de werden folgende Gleichgewichtskonstanten („ K_{eq} “ = K_p) angegeben (siehe Tabelle rechts).

- a) Es fehlt eine Angabe der Einheit für K_{eq} (= K_p). Welche Einheiten kommen in Frage?
 b) Leiten Sie die Wärmetönung (exotherm oder endotherm) der Reaktion ab.
 c) Durch welche weitere Reaktionsbedingung (außer Temperatur) lässt sich die Ausbeute erhöhen?

Veränderung von K_{eq} mit der Temperatur für das Gleichgewicht



Temperatur (°C)	K_{eq}
300	$4,34 \times 10^{-3}$
400	$1,64 \times 10^{-4}$
450	$4,51 \times 10^{-5}$
500	$1,45 \times 10^{-5}$
550	$5,38 \times 10^{-6}$
600	$2,25 \times 10^{-6}$

4. Gemischte Aufgaben und Aufgaben aus Klassenarbeiten vergangener Jahre

4.1 Zu einer Lösung mit Eisen(II)-Ionen werden Ag^+ -Ionen zugegeben, wodurch es zur Bildung von elementarem Silber kommt.

- Stellen Sie die Reaktionsgleichung auf
- Berechnen Sie die Gleichgewichtskonstante K_c , wenn folgende GG-Konzentrationen ermittelt wurden:
 $c(\text{Fe}^{3+}) = 0,04 \text{ mol/L}$, $c(\text{Fe}^{2+}) = 0,06 \text{ mol/L}$, $c(\text{Ag}^+) = 0,08 \text{ mol/L}$.
- Berechnen Sie die Anfangskonzentrationen an Fe^{2+} und an Ag^+ , wenn zu Beginn $c_0(\text{Fe}^{3+}) = 0,1 \text{ mol/L}$ vorlagen?

4.2 Kohlenstoffmonoxid kann mit gasförmigem Wasser in Gegenwart von Katalysatoren in einer Gleichgewichtsreaktion zu CO_2 und H_2 umgesetzt werden (**Wassergasgleichgewicht**).

- Stellen Sie die Reaktionsgleichung auf und begründen Sie, wie sich das Gleichgewicht verschiebt, wenn man den Druck erhöht.
- Zu Beginn wurden $1,5 \text{ mol/L CO}$ und $1 \text{ mol/L H}_2\text{O}$ eingesetzt. Im Gleichgewicht fand man eine CO_2 -Kohlenstoffdioxidkonzentration von $0,5 \text{ mol/L}$. Berechnen Sie die Gleichgewichtskonstante K .

4.3 Erdgas (vereinfacht Methan) dient als Wasserstofflieferant für großtechnische Synthesen. Dazu wird Methan im so genannten *Primärreformer* zusammen mit Wasserdampf über Nickelkatalysatoren geleitet. Dabei entsteht in einer Gleichgewichtsreaktion Wasserstoff und Kohlenstoff(II)-oxid. Dieses Produktgemisch nennt man Synthesegas.

- Erstellen Sie die Reaktionsgleichung für diese Reaktion und weisen sie nach, dass es sich um eine Redox-Reaktion handelt.
- Formulieren Sie das Massenwirkungsgesetz mit Partialdrücken.
- Die folgende Tabelle gibt die Abhängigkeit der Gleichgewichtskonstante K_p von der Temperatur an:

T (in Kelvin)	Gleichgewichtskonstante K_p in bar^2
298	$1,266 \cdot 10^{-25}$
600	$5,058 \cdot 10^{-7}$
900	$1,306 \cdot 10^0$
1200	$2,473 \cdot 10^3$
1500	$2,354 \cdot 10^5$
Alle Angaben beziehen sich auf den gleichen Druck	

Begründen Sie, bei welchen Temperaturbedingungen diese Reaktion durchgeführt werden sollte, um eine möglichst hohe Ausbeute an Wasserstoff zu erreichen.

- Begründen Sie, ob die Hinreaktion exotherm oder endotherm ist.
- Im Primärreformer wird bei konstanter Temperatur der Druck erhöht. Machen Sie eine begründete Aussage über die Änderung der Konzentration im Gleichgewichtsgemisch.

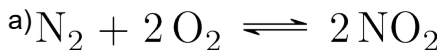
Lösungen

Die Lösungen sind ohne Gewähr. Bitte informieren Sie mich per e-Mail wenn etwas nicht stimmt.

Nr. 1.1

$$K_c = \frac{c^2(C) \cdot c(D)}{c^2(A) \cdot c^3(B)} = \frac{\left(0,72 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2 \cdot \left(1,83 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)}{\left(0,31 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2 \cdot \left(2,18 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^3} \approx 0,95285$$

Nr. 1.2

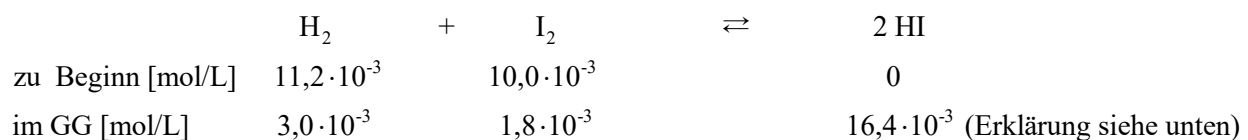


$$K_c = \frac{c^2(\text{NO}_2)}{c(\text{N}_2) \cdot c^2(\text{O}_2)} \Rightarrow c(\text{NO}_2) = \sqrt{K_c \cdot c(\text{N}_2) \cdot c^2(\text{O}_2)} = \sqrt{10^{-6} \frac{\text{L}}{\text{mol}} \cdot 0,009 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot \left(0,04 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2} \approx 3,79 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

b) K_c ist sehr klein ($K_c \ll 1$). Damit ist festgelegt, dass im GG-Zustand, die Eduktkonzentrationen im Vergleich zu den Produktkonzentrationen relativ hoch sind. Das Gleichgewicht liegt also stark auf der Seite der Edukte. Bei Umgebungsdrücken und Umgebungstemperaturen erwartet man auch diese Gleichgewichtslage, schließlich umgibt uns dieses Gleichgewicht der Luft ($\text{N}_2 + \text{O}_2$) ständig. Jeder weiß, dass kaum NO_2 in der Luft ist, also liegt das Gleichgewicht auf Eduktseite.

Nr. 1.3

Das MWG gilt nur für Konzentrationen im Gleichgewicht (GG). So dürfen nicht einfach die angegebenen Anfangskonzentrationen eingesetzt werden!



Koeffizientenverhältnis: **1** + **1** **2**

Aus dem Koeffizientenverhältnis geht hervor, dass sich doppelt so viel HI bildet, wie I_2 verbraucht werden (**1 : 2**). Wenn z.B. 1 mol I_2 verbraucht wird, dann bilden sich 2 mol HI. Wenn $16,4 \cdot 10^{-3}$ mol/L HI gebildet wurden, dann muss also halb so viel I_2 verbraucht worden sein: $8,2 \cdot 10^{-3}$ mol/L. Auch der Verbrauch an H_2 beträgt $8,2 \cdot 10^{-3}$ mol/L, da auch hier das Koeffizientenverhältnis (**1 : 2**) beträgt. .

Konzentrationen im GG = Anfangskonzentration – Verbrauch

$$c(\text{I}_2)_{\text{GG}} = 10,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} - 8,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$c(\text{H}_2)_{\text{GG}} = 11,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} - 8,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$K_c = \frac{c^2(\text{HI})}{c(\text{H}_2) \cdot c(\text{I}_2)} = \frac{\left(16,4 \cdot 10^{-3}\right)^2 \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}}{3,0 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 49,81 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

1.4

b) $c(\text{Ester}) = 1,333 \text{ mol/L}$

c) Die Reaktion läuft nach links ab, also in Richtung Ausgangsstoffe.

1.5



$$K_c = \frac{c(\text{N}_2\text{O}_4)}{c^2(\text{NO}_2)} \Rightarrow 489 \frac{\text{L}}{\text{mol}} = \frac{0,033 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{c^2(\text{NO}_2)} \Rightarrow c(\text{NO}_2) = \sqrt{\frac{0,033 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{489 \frac{\text{L}}{\text{mol}}}} \approx 0,0082 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \approx 8,2 \frac{\text{mmol}}{\text{L}}$$

1.6

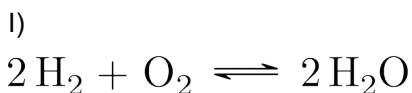
$$c(\text{N}_2) = \frac{100 \text{ g}}{28,01348 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 5 \text{ L}} \approx 0,7139 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad c(\text{H}_2) = \frac{50 \text{ g}}{2,01588 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 5 \text{ L}} \approx 4,9606 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$c(\text{NH}_3) = \frac{3,6 \text{ g}}{17,03056 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 5 \text{ L}} \approx 0,0423 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

	N_2	+ 3 H_2	\rightleftharpoons	2 NH_3	
zu Beginn (mol/L)	0,7139	4,9606		0	
Veränderung (mol/L)	$-\frac{1}{2} \cdot 0,0423$	$-\frac{3}{2} \cdot 0,0423$		+ 0,0423	wegen Koeff.verhältnissen!
im GG (mol/L)	0,69275	4,89715		0,0423	

$$K_c = \frac{c^2(\text{NH}_3)}{c(\text{N}_2) \cdot c^3(\text{H}_2)} = \frac{0,0423^2 \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}}{0,69275 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 4,89715^3 \frac{\text{mol}^3}{\text{L}^3}} \approx 2,2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{L}^2}{\text{mol}^2}$$

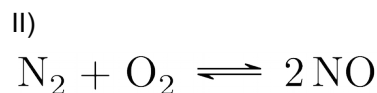
2.1



$$K_p = \frac{p^2(\text{H}_2\text{O})}{p^2(\text{H}_2) \cdot p(\text{O}_2)}$$

Das Gleichgewicht liegt praktisch ausschließlich auf Seite des Wasserdampfs, da $K_p \gg 1$.

b) Das MWG macht keine Aussage darüber, wie schnell die Gleichgewichtseinstellung läuft. Ist die nötige



$$K_p = \frac{p^2(\text{NO})}{p(\text{N}_2) \cdot p(\text{O}_2)}$$

Das Gleichgewicht liegt praktisch ausschließlich auf Seite der Edukte, da $K_p \ll 1$.

Aktivierungsenergie sehr hoch, kann ein solcher Zustand des Ungleichgewichts praktisch unendlich lange bestehen bleiben. Ein solcher Zustand wird auch als **metastabil** bezeichnet.

Nr. 2.2

a)	CO ₂	+	H ₂	⇌	HCOOH
zu Beginn [hPa]	750		1000		0
im GG [hPa]	750-x		1000-x		x

Da die Summe der Partialdrücke im GG zusammen 800 hPa beträgt, kann man schreiben:

$$(750 \text{ hPa} - x) + (1000 - x) + x = 1630 \text{ hPa} \Rightarrow x = 120 \text{ hPa}$$

Damit lauten die GG-Partialdrücke:

$$p(\text{CO}_2) = 750 \text{ hPa} - 120 \text{ hPa} = 630 \text{ hPa}, p(\text{H}_2) = 1000 \text{ hPa} - 120 \text{ hPa} = 880 \text{ hPa}, p(\text{HCOOH}) = 120 \text{ hPa}$$

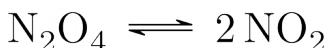
b)	CO ₂	+	H ₂	⇌	HCOOH
zu Beginn [hPa]	750		1000		0
bei vollständigem Stoffumsatz [hPa]	0		1000 - 750		750
$p_{\text{gesamt}} = 1000 \text{ hPa}$					

c) fehlt noch

2.3

Der Volumenanteil entspricht dem Partialdruckanteil! Nimmt z.B. ein Gas 70,9% des Gesamtvolumens ein, so beträgt der Partialdruck des Stoffs auch 70,9% des Gesamtdrucks.

Da hier der Gesamtdruck gerade $p_{\text{ges}} = 1 \text{ bar}$ beträgt, gilt: $p(\text{N}_2\text{O}_4) = 0,709 \text{ bar}$ und $p(\text{NO}_2) = 0,291 \text{ bar}$.



$$K_p = \frac{p^2(\text{NO}_2)}{p(\text{N}_2\text{O}_4)} = \frac{(0,291 \text{ bar})^2}{0,709 \text{ bar}} \approx 0,1194 \text{ bar}$$

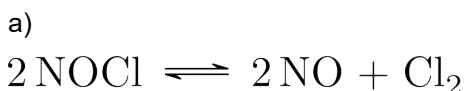
Für die Beziehung zwischen K_c und K_p gilt:

$$K_p = K_c \cdot (R \cdot T)^{\Delta n} \quad \text{wobei } \Delta n \text{ die Koeffizientendifferenz zwischen Produkten und Edukten ist.}$$

hier: $\Delta n = 2 - 1 = 1$.

$$K_p = K_c \cdot (R \cdot T)^{\Delta n} \Rightarrow K_c = \frac{K_p}{(R \cdot T)^1} = \frac{0,1194 \text{ bar}}{0,08314 \frac{\text{L} \cdot \text{bar}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 298,15 \text{ K}} \approx 0,0048 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

2.4



b) $K_p = 0,018 \text{ bar} = 0,018 \cdot 0,1 \text{ MPa} = 0,0018 \text{ MPa} = 1800 \text{ Pa}$

$$K_p = \frac{p^2(\text{NO}) \cdot p(\text{Cl}_2)}{p^2(\text{NOCl})} \Rightarrow p(\text{NOCl}) = \sqrt{\frac{p^2(\text{NO}) \cdot p(\text{Cl}_2)}{K_p}} = \sqrt{\frac{(11000 \text{ Pa})^2 \cdot 85000 \text{ Pa}}{1800 \text{ Pa}}} \approx 75,59 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

c) $\Delta n = 1$

$$K_p = K_c \cdot (R \cdot T)^{\Delta n} \Rightarrow K_c = \frac{K_p}{(R \cdot T)^1} = \frac{0,018 \text{ bar}}{0,08314 \frac{\text{L} \cdot \text{bar}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 273,15 \text{ K}} \approx 7,926 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

2.5

	Cl ₂	+	CO	⇌	COCl ₂
Zu Beginn (in hPa)	666		533		0
bei vollständigem Umsatz (in hPa)	666 – 533 = 133		0		533
im GG (in hPa)	666 - x		533 - x		x

a) $p_{\text{ges}} = p(\text{Cl}_2) + p(\text{CO}) + p(\text{COCl}_2) = 133 \text{ hPa} + 0 \text{ hPa} + 533 \text{ hPa} = 666 \text{ hPa}$

b) **alle Zahlenangaben in hPa!**

$$p_{\text{ges}} = p(\text{Cl}_2) + p(\text{CO}) + p(\text{COCl}_2) = (666 - x) + (533 - x) + x = 800 \Rightarrow x = 399 \text{ hPa}$$

$$p(\text{COCl}_2) = x = 399 \text{ hPa}$$

$$p(\text{Cl}_2) = 666 - x = 666 - 399 = 267 \text{ hPa}$$

$$p(\text{CO}) = 533 - x = 533 - 399 = 134 \text{ hPa}$$

$$K_p = \frac{p(\text{COCl}_2)}{p(\text{Cl}_2) \cdot p(\text{CO})} = \frac{399 \text{ hPa}}{267 \text{ hPa} \cdot 134 \text{ hPa}} \approx 0,01115 \text{ hPa}^{-2} \approx 0,01115 \frac{1}{(100 \text{ Pa})^2} \approx 1,115 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{Pa}^2}$$

2.6

	3 H ₂	+	N ₂	⇌	2 NH ₃	
zu Beginn (mol)	3		1		0	
im GG (mol)	3 – 3x		1 - 1x		2x	Bitte beachten: Zu jedem Zeitpunkt und auch im GG ist die H₂-Stoffmenge bzw. der H₂-Partialdruck 3 mal so groß, wie die N₂-Stoffmenge bzw. N₂-Partialdruck
	= 3 · (1-1x)					

15,2% von 50 bar: **p(NH₃) = 7,6 bar**

100% - 15,2% = 84,8 % des Gesamtdrucks (50 bar) im GG-Zustands entfallen auf die Gase N₂ und H₂:

$$p(\text{H}_2) + p(\text{N}_2) = 42,4 \text{ bar}$$

Die beiden Partialdrücke p(H₂) und p(N₂) verhalten sich dabei 3:1 ⇒

$$p(\text{N}_2) = 42,4 \text{ bar} \cdot 3/4 = 31,8 \text{ bar.}$$

$$p(\text{H}_2) = 42,4 \text{ bar} \cdot 1/4 = 10,6 \text{ bar}$$

$$K_p = \frac{p^2(\text{NH}_3)}{p(\text{N}_2) \cdot p^3(\text{H}_2)} = \frac{(7,6 \text{ bar})^2}{31,8 \text{ bar} \cdot (10,6 \text{ bar})^3} \approx 1,525 \cdot 10^{-3} \text{ bar}^{-2}$$

Nr. 3.1

a) $3 \text{ Fe} + 4 \text{ H}_2\text{O} = 4 \text{ H}_2 + \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Energie}$

b) Druck verändert das GG nicht, da rechts und links gleich viele Gasteilchen vorliegen.

c) Bei T-Erhöhung wird die endotherme Reaktionsrichtung, also die Rückreaktion begünstigt. => GG verschiebt sich nach links

Nr. 4.1

a) $Fe^{2+} + Ag^+ \rightleftharpoons Fe^{3+} + Ag$ **Bitte merken: Eisen kommt häufig als Fe(II) und auch als Fe(III) vor-**

b) Bei der Aufstellung des MWG, werden in heterogener Phase vorkommende Stoffe (z.B. Feststoffe) nicht berücksichtigt, bzw. deren Konzentration als 1 (mol/L) angenommen.

$$c) K_c = \frac{c(Fe^{3+})}{c(Ag^+) \cdot c(Fe^{2+})} = \frac{0,04 \frac{mol}{L}}{0,08 \frac{mol}{L} \cdot 0,06 \frac{mol}{L}} \approx 8,33 \frac{L}{mol}$$

d) Wenn zu Beginn 0,1 mol/L Fe^{3+} vorlag, und am Ende 0,04 mol/L Fe^{3+} vorliegt, dann wurden bei der GG-Einstellung 0,06 mol/L Fe^{3+} verbraucht. Bei der Abreaktion von 0,06 mol/L Fe^{3+} , müssen während der GG-Einstellung 0,06 mol/L Fe^{2+} und 0,06 mol/L Ag^+ entstanden sein (Grund: Koeffizientenverhältnis).

- Wenn die GG-Konzentration $c(Fe^{2+}) = 0,06 \text{ mol/L}$ beträgt, so müssen zu Beginn also **0,0 mol/L Fe^{2+}** vorhanden gewesen sein.
- Wenn die Endkonzentration $c(Ag^+) = 0,08 \text{ mol/L}$ beträgt, dann müssen zu Beginn **0,02 mol/L Ag^+** vorhanden gewesen sein.

Nr. 4.2 (Wassergasgleichgewicht)

a) $CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$. Durch Erhöhung des Drucks verschiebt sich das GG nicht, da auf jeder Seite der Gleichung die gleiche Anzahl an Gasteilchen vorliegt.

b)

	CO	+	H₂O	\rightleftharpoons	CO₂	+	H₂
zu Beginn [mol/L]	1,5		1		0		0
im GG [mol/L]	1,5-0,5 = 1		1-0,5 = 0,5		0,5		0,5

$$K = \frac{0,5 \text{ mol/L} \cdot 0,5 \text{ mol/L}}{1 \text{ mol/L} \cdot 0,5 \text{ mol/L}} = 0,5$$

Nr. 4.3 Synthesegas

a) $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3 H_2$

die Oxidationszahlen der einzelnen Elemente verändern sich. So besitzt beispielsweise H auf linken Seite überall die OZ = + I. Auf der rechten Seite, im molekularen Wasserstoff (H_2) ist die Oxidationszahl OZ = 0.

b)

$$K_p = \frac{p^3(H_2) \cdot p(CO)}{p(CH_4) \cdot p(H_2O)}$$

c) Das Gleichgewicht soll möglichst weit auf der Produktseite liegen, d.h. der K_p soll möglichst groß sein. Dies ist der Fall, wenn die Temperatur T möglichst groß ist, also bei 1500 K.

d) Mit steigender Temperatur verschiebt sich das Gleichgewicht auf die Produktseite. Nach dem Prinzip des kleinsten Zwangs kann daraus geschlussfolgert werden, dass die Reaktion hin zum Wasserstoff und CO also endotherm verläuft.

e) Bei steigendem Druck wird die Reaktionsrichtung begünstigt, bei der der Druck wieder abnimmt, also in die Richtung bei der weniger Gasteilchen vorliegen (Prinzip des kleinsten Zwangs). Das ist hier die Eduktseite. Das

heißt die Konzentrationen bzw. Partialdrücke von H_2O und CH_4 nehmen mit steigendem Druck zu, die Konzentrationen/Partialdrücke an H_2 und CO nehmen ab.