

G8 Abituraufgaben Chemie Massenwirkungsgesetz

A1/2

- 2 Bei der Produktion von Futtermitteln für Milchvieh werden Düngemittel verwendet, bei deren Synthese Salpetersäure einen bedeutenden Grundstoff darstellt. Eines der ersten technischen Verfahren zur Salpetersäureherstellung geht von Stickstoffmonooxid aus, das in einer reversiblen Reaktion aus Stickstoff und Sauerstoff gebildet wird.
- 2.1 Die folgende Tabelle gibt den Stoffmengenanteil von Stickstoffmonooxid im Gleichgewicht in Abhängigkeit von der Temperatur an:

Tab. 1: Stoffmengenanteil von NO im Gleichgewicht in Abhängigkeit von der Temperatur bei konstantem Druck

Temperatur [°C]	1500	2500	3000
Stoffmengenanteil NO [%]	0,2	3,0	5,4

Leiten Sie mithilfe dieser Daten ab, ob die Synthese von Stickstoffmonooxid aus den Elementen exotherm oder endotherm ist, und begründen Sie Ihre Aussage mithilfe des Prinzips von Le Chatelier! [5 BE]

- 2.2 Die folgende Abbildung zeigt die Messergebnisse eines Experiments, bei dem Stickstoff und Sauerstoff im Stoffmengenverhältnis 1:1 gemischt und zur Reaktion gebracht wurden:

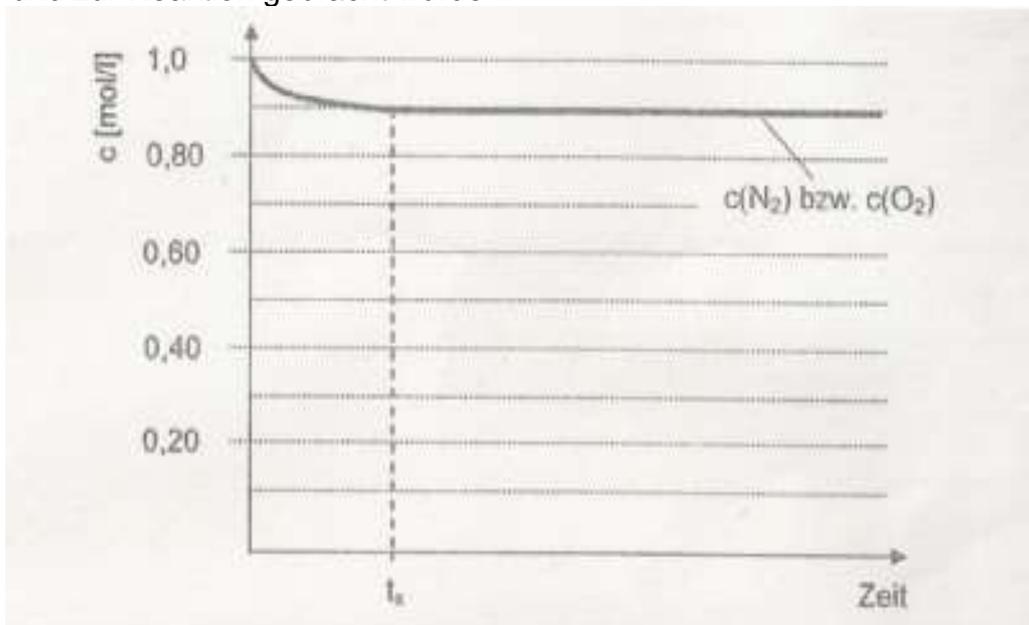


Abb. 2: Konzentration der Edukte der Stickstoffmonooxidsynthese in Abhängigkeit von der Zeit bei konstanter Temperatur und konstantem Druck

- Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für das beschriebene Gleichgewicht und ergänzen Sie Abbildung 2 durch den Kurvenverlauf für die Konzentration von Stickstoffmonooxid! [5 BE]
- Die Angabe ist mit abzugeben. Name des Prüflings:.....

- 2.3 Berechnen Sie die Gleichgewichtskonstante K_c für die Synthese von Stickstoffmonooxid im Versuch aus 2.2 und charakterisieren Sie das Reaktionsgeschehen auf der Stoff- und auf der Teilchenebene zum Zeitpunkt T_x [6 BE]

2011 B2

- 2 Der in verschiedenen Lebensmitteln eingesetzte Farbstoff Patentblau V zeigt einen pH-abhängigen Farbwechsel zwischen einer blauen und einer gelben Form.
- 2.1 Die quantitative Analyse des jeweils noch vorhandenen Anteils an blauer Form ermöglicht die Ableitung des pKs-Wertes von Patentblau V. Die folgende Abbildung gibt das Versuchsergebnis wieder:

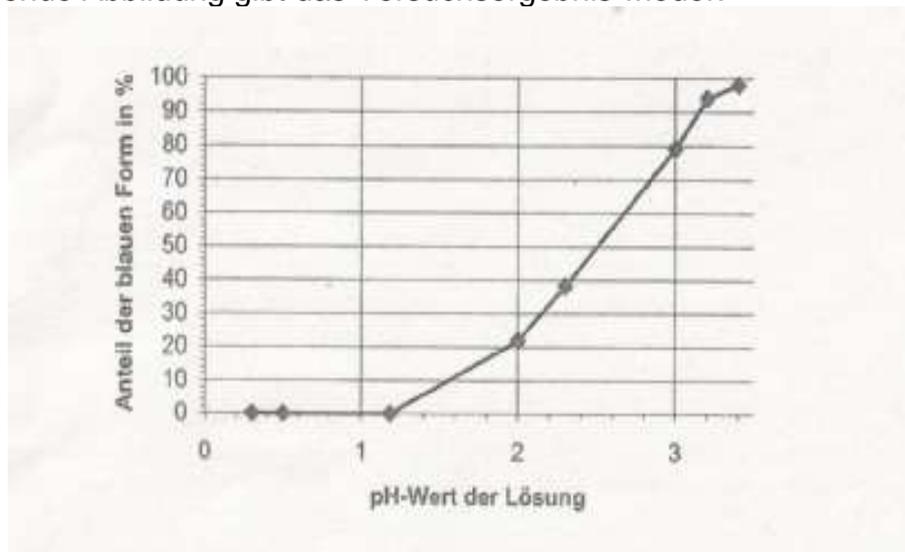


Abb. 2: Anteil der blauen Form von Patentblau V in einer Patentblau-V-Lösung in Abhängigkeit vom pH-Wert

Leiten Sie aus Abbildung 2 den pKs-Wert von Patentblau V ab und begründen Sie Ihre Aussage! [7 BE]

2012/C1

- 2 BtL-Kraftstoffe (BtL = Biomass to Liquids) zählen zu den Biokraftstoffen der Zukunft. Bei ihrer Herstellung wird zunächst feste Biomasse bei hohen Temperaturen in gasförmige Produkte überführt. Hierbei entstehen überwiegend Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Kohlenstoffmonooxid sowie Wasserstoff. Ein Gemisch aus Kohlenstoffmonooxid und Wasserstoff (sog. Synthesegas) kann großtechnisch mittels Fischer-Tropsch-Synthese zu flüssigen Kohlenwasserstoffgemischen umgesetzt werden, die als synthetische Kraftstoffe genutzt werden können.

- 2.1 Damit die Biomasse möglichst vollständig in Kraftstoff umgewandelt werden kann, muss die Kohlenstoffmonooxidausbeute bei der Biomassevergasung möglichst hoch sein. Hierbei spielt die Boudouard-Reaktion eine entscheidende Rolle:



Berechnen Sie die Temperatur, ab der die Boudouard-Reaktion exergonisch verläuft! [4 BE]

- 2.2 Ein weiterer Störfaktor, der die Zusammensetzung des Synthesegases negativ beeinflusst, ist die Methanisierung. Hierbei reagiert der entstandene

Wasserstoff mit Kohlenstoff zu Methan. Abbildung 2 zeigt die Lage des Gleichgewichts der beschriebenen Reaktion in Abhängigkeit von der Temperatur:

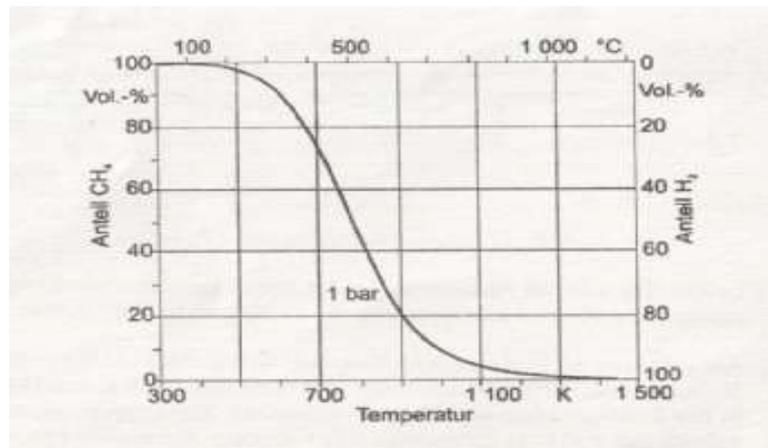


Abb. 2: Lage des CH₄/H₂-Gleichgewichts¹

Leiten Sie aus dem Diagramm ab, ob es sich um eine exotherme oder endotherme Reaktion handelt, und beurteilen Sie, wie sich eine Erhöhung des Drucks auf die Lage des Gleichgewichts auswirkt! [8 BE]

- 3 Durch das Vergären von Biomasse wird Bioethanol hergestellt, das zum Beispiel in einem Reformer katalytisch mit Wasserdampf umgesetzt werden kann. Der dabei neben Kohlenstoffdioxid entstehende Wasserstoff kann anschließend in eine PEM-Brennstoffzelle (PEM = Proton Exchange Membrane) eingeleitet werden. Geben Sie die Reaktionsgleichung für die Umsetzung von Ethanol mit Wasserdampf im Reformer sowie die Teilgleichungen für Anoden- und Kathoden-Reaktion der Brennstoffzelle an! [6 BE]

Abbildungen und Tabellen:

¹ verändert nach: M. KALTSCHMITT, H. HARTMANN, H. HOFBAUER: *Energie aus Biomasse - Grundlagen Techniken und Verfahren*. Springer-Verlag, Berlin, 2009, 2. Auflage, S. 392

2012/C2

- 3 Die Hauptquelle für Glucose und andere Kohlenhydrate stellt der landwirtschaftliche Anbau von Nutzpflanzen dar. Um den Ertrag zu steigern, werden vielfach Düngemittel eingesetzt, für deren Produktion Ammoniak eine Grundchemikalie darstellt. Die Herstellung von Ammoniak erfolgt fast ausschließlich über das Haber-Bosch-Verfahren. Die folgende Abbildung zeigt für das Ammoniaksynthese-Gleichgewicht die Abhängigkeit der Gleichgewichtskonstante von der Temperatur:

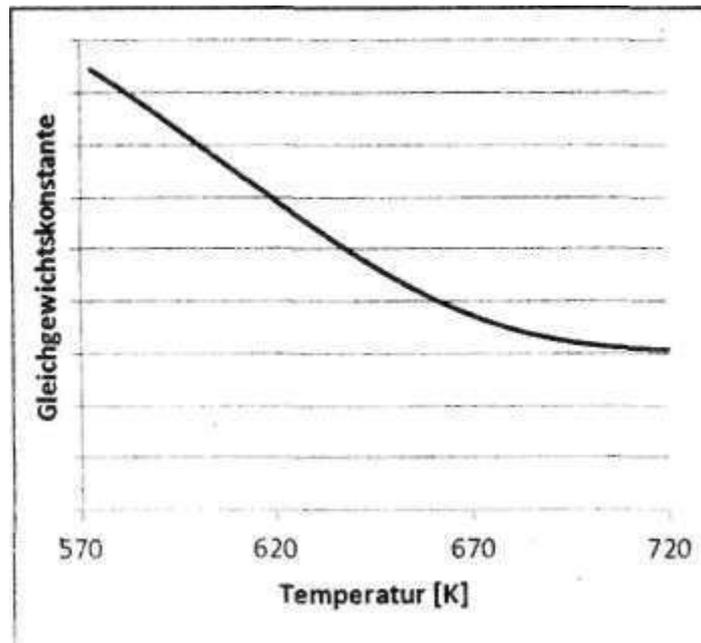


Abb. 2: Abhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten von der Temperatur

Leiten Sie aus dem Diagramm ab, ob es sich um eine endotherme oder exotherme Reaktion handelt und welchen Einfluss eine Temperaturerhöhung auf die Lage des Gleichgewichts hat! [4BE]

3.2 Das Haber-Bosch-Verfahren wird bei einer Temperatur von 500 °C und einem Druck von 200 bar durchgeführt. Beim Mont-Cenis-Verfahren wird Ammoniak bei einem Druck von 100 bar und einer Temperatur von 450 °C synthetisiert

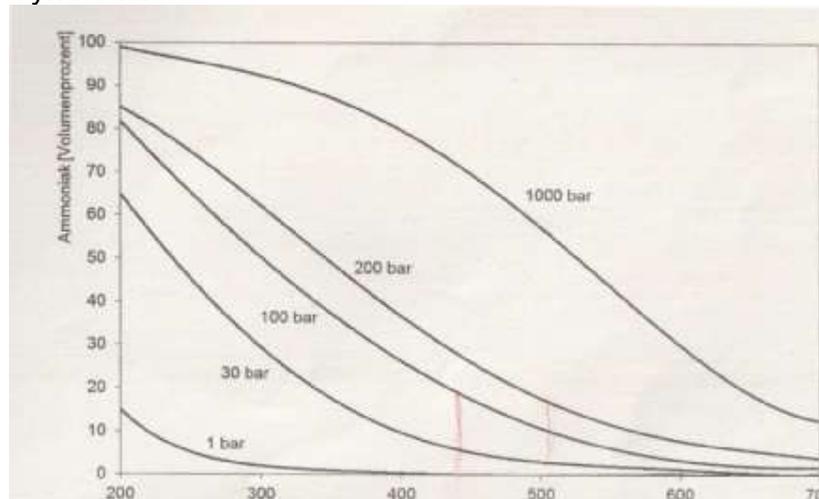


Abb. 3: Abhängigkeit der Ammoniak-Ausbeute von Druck und Temperatur² (1 bar entspricht 1000 hPa)

Abbildungen und Tabellen:
2 verändert nach: N. WIBERG: *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, de Gruyter Verlag, Berlin, 2007, 102. Auflage, S. 664

Vergleichen Sie die beiden Verfahren bezüglich ihrer Ausbeute sowie der Geschwindigkeit, mit der sich das Gleichgewicht jeweils einstellt, und erläutern Sie den Unterschied, der aufgrund der angegebenen Reaktionsbedingungen auftritt! [7 BE]

2013 A2

Wein

2 Zur Verlängerung der Haltbarkeit kann Wein geschwefelt werden. Beim "Schwefeln" im Wein handelt es sich nicht um das chemische Element, sondern um ein Gemisch aller Teilchen, die sich im Gleichgewichtssystem Schwefeldioxid/Wasser bilden:

Ein Teil des gelösten Schwefeldioxids reagiert mit Wasser zu Schwefliger Säure (H_2SO_3). Schweflige Säure dissoziiert in einer Protolysereaktion teilweise zu Hydrogensulfit-Ionen.

Die gebildeten Ionen können die Membran von Mikroorganismen nicht passieren. Konservierend wirksam ist nur das gelöste Schwefeldioxid. Je höher dessen Konzentration, desto besser haltbar ist der Wein. Der „Schwefelbedarf“ bei der Weinbereitung ist u. a. abhängig vom Gehalt an freien Säuren in den Trauben zum Zeitpunkt der Weinlese.

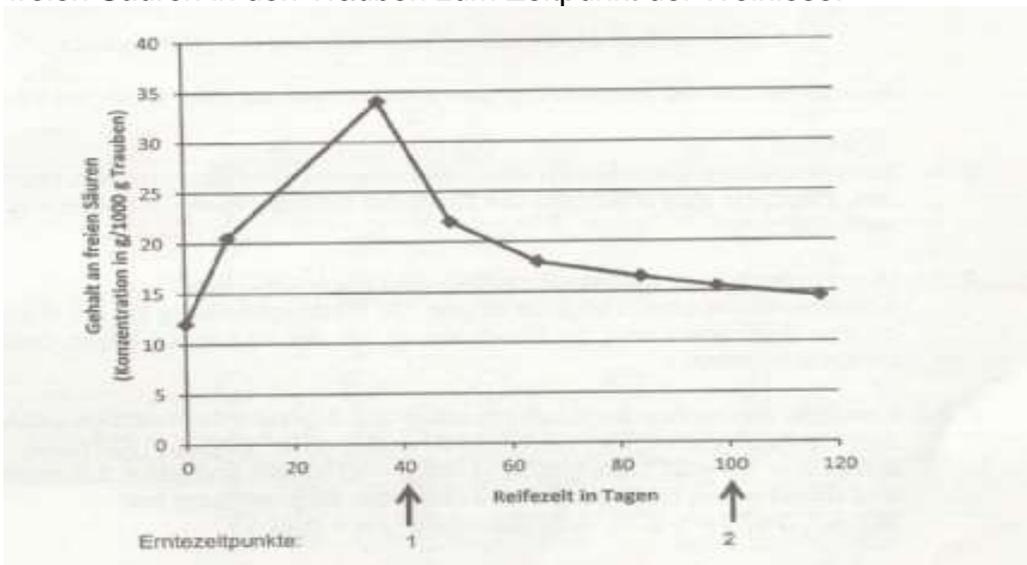


Abb. 2: Säuregehalt von Weintrauben in Abhängigkeit von ihrer Reifezeit¹

Abbildungen:

¹ verändert nach: Bocker, H.: Hobbyweinbau. Echino Media Verlag, 2011³, S. 32

2.1 Aus den zum Zeitpunkt 1 und 2 geernteten Weintrauben wird jeweils Wein hergestellt.

Formulieren Sie die beschriebenen Gleichgewichtsreaktionen und erläutern Sie, welche der beiden Weinsorten stärker geschwefelt werden muss, um eine vergleichbare Haltbarkeit zu erreichen! [8 BE]

2.2 Das bei der Schwefelung zugesetzte Schwefeldioxid reagiert auch mit Farbstoffen des Weines. Abbildung 3 zeigt eine solche Reaktion mit einem roten Farbstoff im Wein.

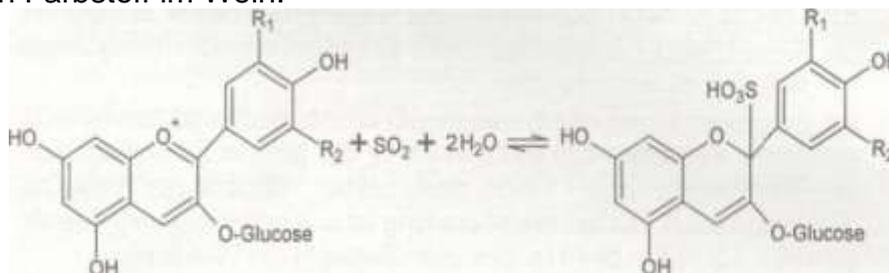


Abb. 3: Reaktion eines roten Farbstoffs bei der „Schwefelung“²

Abbildungen:

<http://www.weinakademie.at/Schwefeln>

Beurteilen Sie die Auswirkung des Schwefelns auf die Farbe des Weines! [5 BE]

- 2.3 Schwefeldioxid kann mit im Wein enthaltenen Oxidationsmitteln reagieren. Dadurch wird ebenfalls der Grad der notwendigen Schwefelung beeinflusst.
- 2.3.1 Wein enthält u. a. gelöste Eisen(II)- und Eisen(III)-Ionen. Entwickeln Sie über Teilgleichungen die Redoxgleichung für die Reaktion von Schwefeldioxid mit Eisen-Ionen, bei der im sauren Milieu Sulfat-Ionen entstehen! [4 BE]
- 2.3.2 Ermitteln Sie rechnerisch, ob die unter 2.3.1 genannte Reaktion unter den Bedingungen $c(\text{Fe}^{2+}) = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$, $c(\text{Fe}^{3+}) = 3,0 \cdot 10^{-6} \text{ mol/l}$,
- 2.3.3 $c(\text{SO}_4^{2-}) = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$, $c(\text{SO}_2) = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$ und $\text{pH} = 3,0$ abläuft und damit einen Einfluss auf den Grad der Schwefelung hat! ($E^\circ(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}) = +0,77 \text{ V}$; $E^\circ(\text{SO}_2/\text{SO}_4^{2-}) = +0,17 \text{ V}$) [5 BE]

2014 B1

- 3 Versetzt man elementares Kupfer mit halbkonzentrierter Salpetersäure, so bildet sich Stickstoffmonoxid. In Gegenwart von Sauerstoff entsteht daraus rasch Stickstoffdioxid. Stickstoffdioxid reagiert in einer Gleichgewichtsreaktion zu Distickstofftetraoxid. Da Stickstoffdioxid ein braunes und Distickstofftetraoxid ein farbloses Gas ist, kann die Gleichgewichtslage über die Farbe des Gemisches gut verfolgt werden.

Bei einem Versuch wird in einem geschlossenen Reaktionsgefäß Distickstofftetraoxid vorgelegt und die Gleichgewichtseinstellung des Systems bis zum Zeitpunkt t_2 beobachtet. Zum Zeitpunkt t_2 wird der Druck im Reaktionsgefäß geändert. Alle anderen Reaktionsbedingungen bleiben gleich.

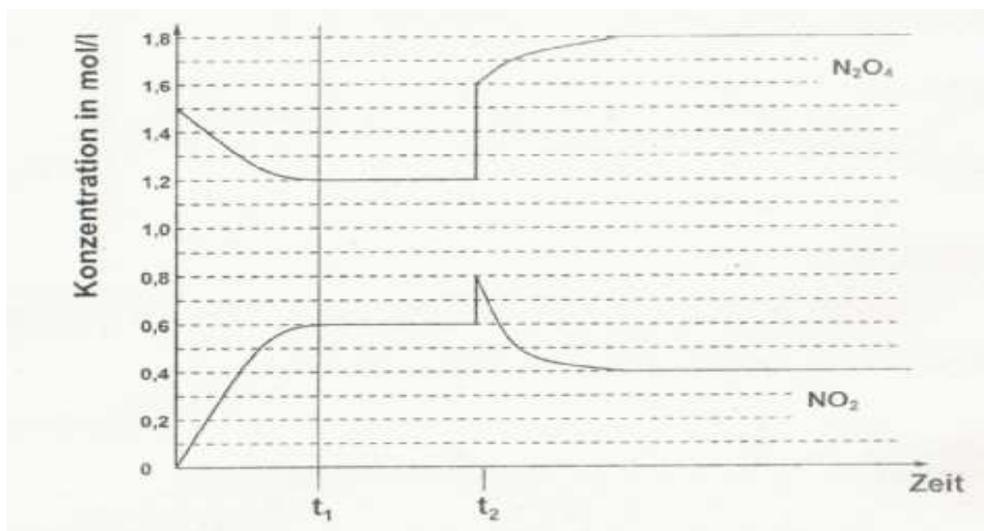


Abb. 1: Konzentrationen von Stickstoffdioxid und Distickstofftetraoxid im Verlauf des Experiments

- 3.1 Ermitteln Sie den Wert der Gleichgewichtskonstanten K_c zum Zeitpunkt t_1 ! [4 BE]
- 3.2 Begründen Sie, ob der Druck im Reaktionsgefäß zum Zeitpunkt t_2 erhöht oder erniedrigt wurde, und erläutern Sie den Verlauf der Kurven ab dem Zeitpunkt t_2 ! [7BE]

2015/B2

2.2 Die Thermochromie lässt sich im Labor mithilfe einfacher Systeme untersuchen:

Erhitzt man eine schwach rosa gefärbte Lösung von Natriumethanoat (Natriumacetat) und Phenolphthalein in Wasser, so kann eine deutliche Farbvertiefung der Lösung beobachtet werden. Wird die Lösung anschließend in Eiswasser gestellt, so hellt sich die Farbe wieder auf. Im pH-Bereich zwischen 8,2 und 10,2 ändert sich die Farbe des Indikators Phenolphthalein von farblos nach rosa.

Die folgende Gleichung beschreibt das zugrunde liegende Protolyse-Gleichgewicht in wässriger Lösung:



Abb. 3: Protolyse-Gleichgewicht

Erläutern Sie auf Grundlage des Prinzips von Le Chatelier den Farbumschlag beim Erwärmen der Lösung! [6 BE]

2016

A 1 Reinigungsmittel

Die Zusammensetzung von Reinigungsmitteln wird in Deutschland unter anderem durch das Wasch- und Reinigungsmittelgesetz (WRMG) geregelt. Entsprechend dürfen nur Reinigungsmittel verkauft werden, deren sachgemäßer Gebrauch keine Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit und der Umwelt verursacht.

1 Salmiakgeist, eine etwa 10%-ige Ammoniaklösung, wird als Hausmittel zur desinfizierenden Reinigung von Oberflächen genutzt. Ammoniak ist ein giftiges Gas, das zu Tränen reizt und erstickend wirkt.

1.1 Industriell wird Ammoniak nach dem Haber-Bosch-Verfahren hergestellt. In einem Experiment wird die Ammoniaksynthese bei verschiedenen Temperaturen untersucht. Alle anderen Bedingungen werden konstant gehalten. Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle wiedergegeben:

Tab. 1:

Tab. 1: Ammoniaksynthese bei verschiedenen Temperaturen

Versuchsansatz Nr.	1	2
Temperatur in K	800	
Stoffmengenkonzentration c(N ₂) in mol/l zu Beginn der Reaktion	0,03	0,03
Stoffmengenkonzentration c(N ₂) in mol/l nach Einstellung des Gleichgewichts	0,01	0,015

Begründen Sie, ob die Ammoniaksynthese bei Ansatz 2 bei höherer oder niedrigerer Temperatur als bei Ansatz 1 durchgeführt wurde! [5 BE]

1.2 Zur Herstellung von Salmiakgeist wird Ammoniakgas in Wasser eingeleitet. Hierbei stellt sich ein Gleichgewicht zwischen gasförmigem und gelöstem Ammoniak ein. Ein Teil der gelösten Moleküle reagiert in einem

zweiten Gleichgewicht als Base. Formulieren Sie die Gleichgewichtsreaktionen für die beiden beschriebenen Vorgänge bei der Herstellung einer Ammoniaklösung!

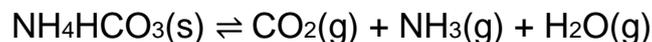
Beurteilen Sie anhand des Prinzips von Le Chatelier, ob eine Gesundheitsgefährdung auftreten kann, wenn Salmiakgeist beim Putzen mit einem Natriumhydroxidhaltigen Reiniger vermischt wird! [9 BE]

2016

A 2 Backen

Backen ist eine Garmethode, bei der ein Teig durch Hitzeeinwirkung zunächst aufgelockert und danach verfestigt wird.

- 1 Damit ein Teig beim Backen aufgeht, kann Hirschhornsalz als Backtriebmittel verwendet werden. Dieses enthält unter anderem Ammoniumhydrogencarbonat, ein weißes Salz, das nach folgender Reaktionsgleichung zerfällt:



- 1.1 Zur genaueren Charakterisierung dieses Gleichgewichts werden 0,4 g Hirschhornsalz in einen Kolbenprober gegeben und das Luftvolumen auf $V = 20 \text{ ml}$ eingestellt.

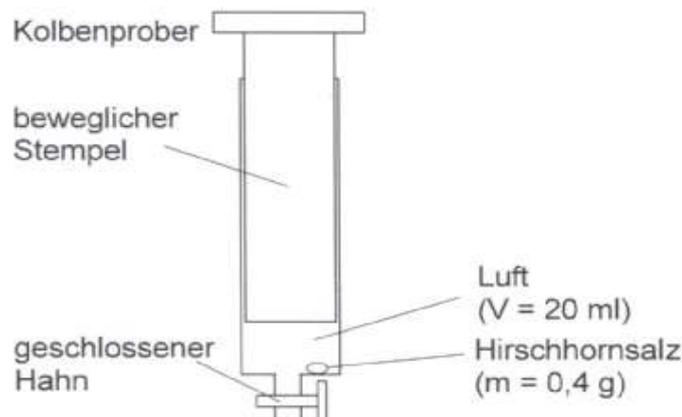


Abb. 1: Versuchsaufbau vor dem Erhitzen

Der Kolbenprober wird im Wasserbad auf ca. $85 \text{ }^\circ\text{C}$ erhitzt. Hierbei wird eine Vergrößerung des Volumens beobachtet. Sobald das Volumen auf $V = 80 \text{ ml}$ angestiegen ist, wird der Kolbenprober aus dem Wasserbad genommen. Beim Hineindrücken des Stempels scheidet sich ein weißer Feststoff an der Wand des Kolbens ab.

Begründen Sie ausgehend von den Versuchsbeobachtungen die Temperatur- und Druckabhängigkeit des untersuchten Gleichgewichts! [8BE]

- 1.2 Die beim Erwärmen beobachtete Volumenvergrößerung ist zum Teil auch auf die Ausdehnung der im Kolbenprober enthaltenen Luft zurückzuführen.

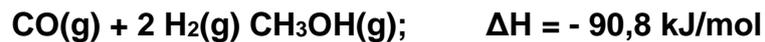
Beschreiben Sie ein Experiment, mit dem die hierauf beruhende Volumenzunahme ermittelt werden kann! [3 BE]

- 1.3 Bildung und Zerfall des Ammoniumhydrogencarbonats gehen mit einer erheblichen Änderung der Entropie des Systems einher. Beschreiben Sie die Entropieänderung des Systems beim Zerfall von Ammoniumhydrogencarbonat! [3 BE]

2017/B 2 Methanol

- 1 Die großtechnische Synthese von Methanol aus einem Gemisch von Kohlenstoffoxiden und Wasserstoff ist seit 1913 bekannt. Sie basiert auf der Nutzung fossiler Energieträger. Innovative Forschungsansätze haben zum Ziel, den zur Synthese notwendigen Wasserstoff aus erneuerbaren Energien zu gewinnen und schließlich mit dem Treibhausgas Kohlenstoffdioxid zur Reaktion zu bringen.

- 1.1 Die großtechnische Synthese von Methanol aus Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff läuft unter Katalysatoreinfluss gemäß folgender Reaktionsgleichung ab:



Das folgende Diagramm zeigt für diese Reaktion die Änderung der Freien Enthalpie in Abhängigkeit von der Temperatur.

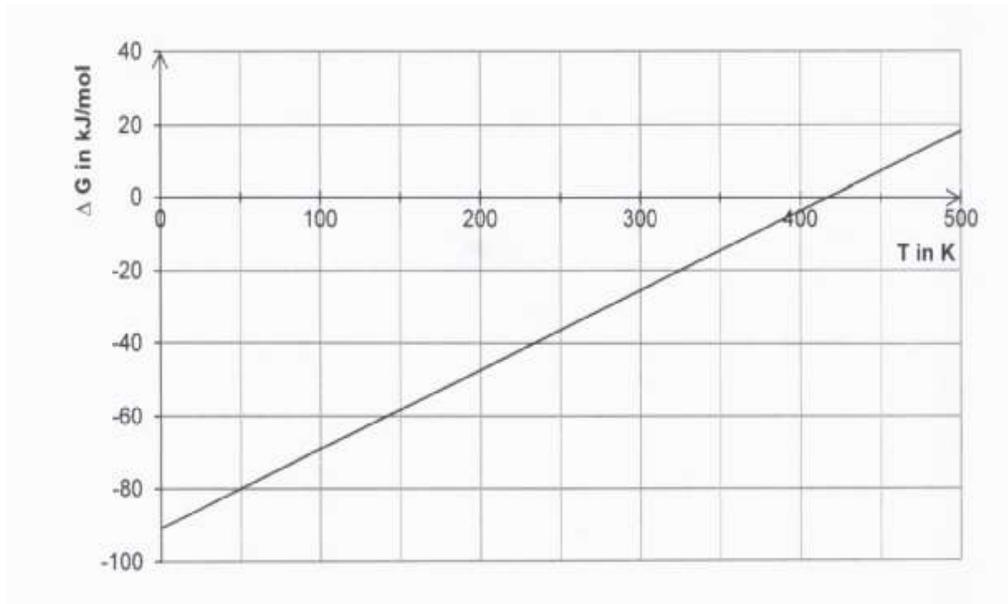


Abb. 1: Änderung der Freien Enthalpie in Abhängigkeit von der Temperatur¹
Ermitteln Sie den Wert der Entropieänderung ΔS für dieses Gleichgewicht unter Verwendung von Abbildung 1 und begründen Sie unter Bezugnahme auf die Reaktionsgleichung die Entropieänderung. [6 BE]

- 1.2 Bei der Gleichgewichtsreaktion von Kohlenstoffdioxid mit Wasserstoff zu gasförmigem Methanol entsteht als weiteres Produkt Wasserdampf.
- 1.2.1 In einer Versuchsreihe wurde der Einfluss verschiedener Faktoren auf die Lage des Gleichgewichts sowie den zeitlichen Verlauf der Gleichgewichtseinstellung untersucht. Die Reaktionsbedingungen sind in folgender Tabelle dargestellt:

Tab. 1: Reaktionsbedingungen der Versuchsreihe

Versuch	Temperatur in K	Katalysator	Druck in MPa
1	400	nein	1
2	400	nein	5
3	400	ja	5

Zwei Versuchsergebnisse sind in folgender Abbildung dargestellt:

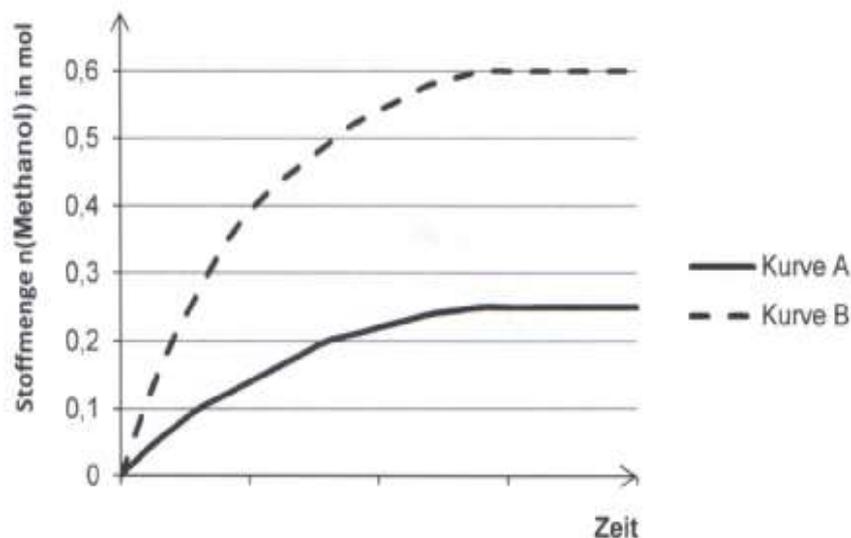


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der Gleichgewichtseinstellung bei der Kohlenstoffdioxid-Hydrierung²

Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die beschriebene Reaktion und ordnen Sie begründet die Kurven A und B den Versuchen 1 und 2 zu. Zeichnen Sie in das Diagramm eine Kurve für Versuch 3 ein und begründen Sie den Kurvenverlauf. [10 BE]

1.2.2 In einer Versuchsreihe wurde der prozentuale Anteil an Methanol im Gasmischung in Abhängigkeit von der Temperatur bestimmt.

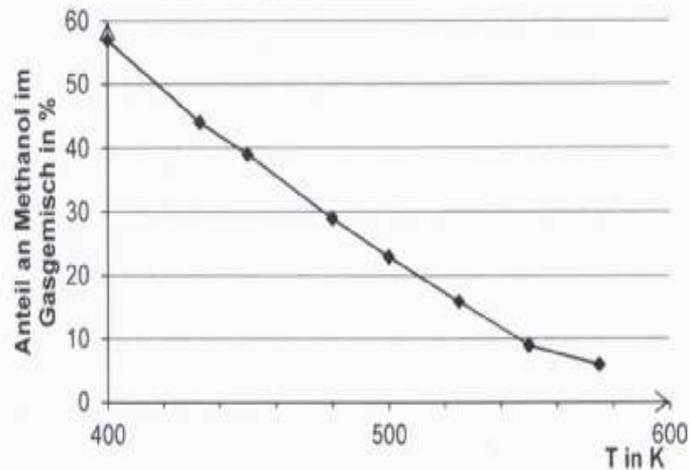


Abb. 3: Methanolanteil im Gasgemisch in Abhängigkeit von der Temperatur³

Beurteilen Sie, ob bei der Methanol-Herstellung aus Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff Wärme freigesetzt wird. [3 BE]

Abbildungen und Tabellen:

¹ erstellt nach: http://www.itv.rwth-aachen.de/fileadmin/LehreSeminar/TechnischeVerbrennung/VL_Technische_Verbrennung/TV_SS05_Stoffdaten.pdf, zuletzt aufgerufen am 09.11.2016

² erstellt nach: K. Sundmacher: *Abschlussbericht zur Pilotstudie: Chemische Speicherung regenerativ erzeugter Energie durch Reduktion von CO₂ zu flüssigen Kraftstoffen*. Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme, Magdeburg 2009; S.43 f; http://www.cleaner-production.de/fileadmin/assets/bilder/BMBF-Projekte/01LS0801A_-_Abschlussbericht.pdf, zuletzt aufgerufen am 02.05.16

³ erstellt nach: P. Hergersberg: *Klimaschutz im Nanoschwamm*. In: *MaxPlanckFORSCHUNG - Das Wissenschaftsmagazin der Max-Planck-Gesellschaft* (2012) I, S. 23

2018/B1 Dimethylamin

Dimethylamin (DMA) ist eine wichtige Grundchemikalie für die Synthese verschiedener Lösungsmittel, Arzneistoffe und Pflanzenschutzmittel.

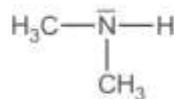


Abb. 1: Strukturformel von Dimethylamin (DMA)

- 1 Dimethylamin wird in Reaktoren großtechnisch aus Methanol und Ammoniak hergestellt. Im Reaktor finden mehrere Gleichgewichtsreaktionen statt:

- 1 Dimethylamin wird in Reaktoren großtechnisch aus Methanol und Ammoniak hergestellt. Im Reaktor finden mehrere Gleichgewichtsreaktionen statt:

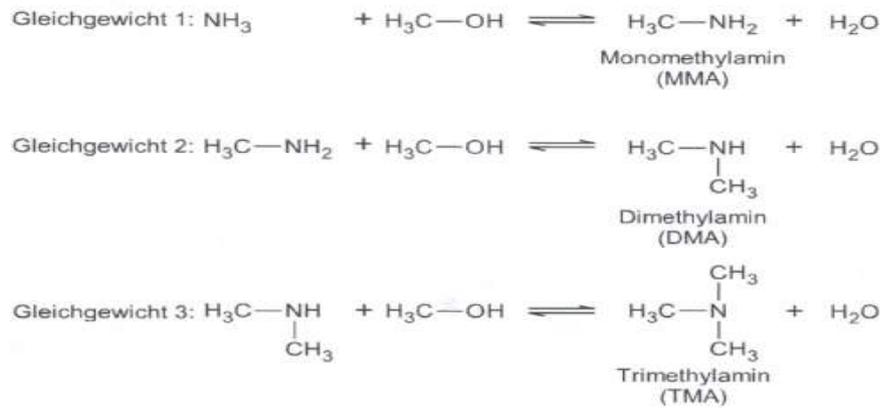


Abb. 2: Gleichgewichtsreaktionen im Reaktor

- 1.1 Die folgende Tabelle gibt die Gleichgewichtskonstanten für das Gleichgewicht 2 bei verschiedenen Temperaturen wieder:

Tab1: Gleichgewichtskonstanten

Temperatur in K	Kc
600	158,49
700	64,269

Formulieren Sie das Massenwirkungsgesetz für diese Reaktion und begründen Sie, ob die Bildung von Dimethylamin exo- oder endotherm verläuft. [5 BE]

- 1.2 Für die Industrie ist Trimethylamin das am wenigsten verwertbare der drei Amine. Die prozentualen Anteile der einzelnen Amine wurden in Abhängigkeit des Verhältnisses der Edukte Methanol und Ammoniak experimentell bei verschiedenen Temperaturen bestimmt.

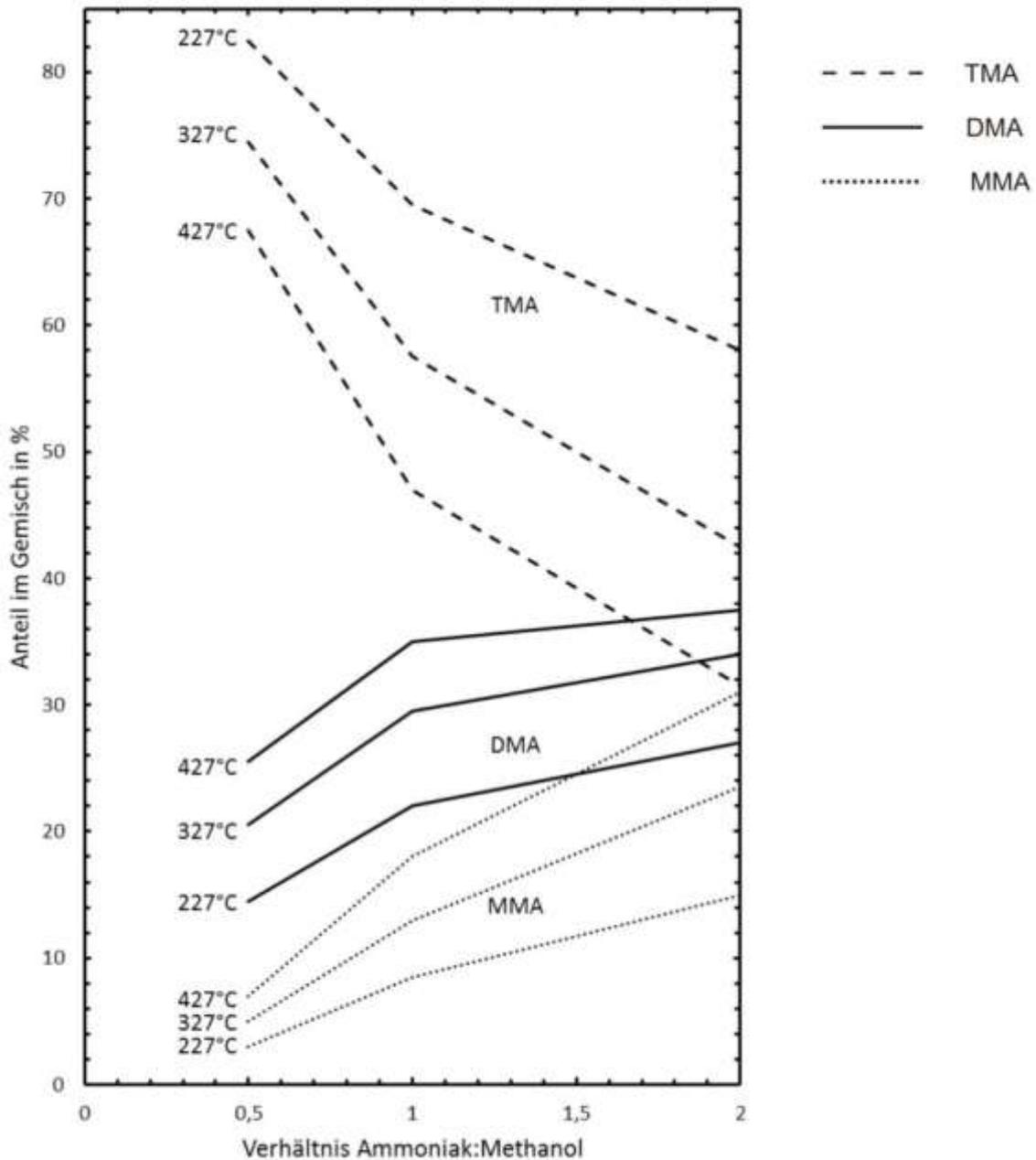


Abb. 3: Anteil der Amine im Reaktor in Abhängigkeit des Konzentrationsverhältnisses der eingesetzten Edukte und der Temperatur¹

Abbildungen und Tabellen:

¹ verändert nach: D. R. Corbin et al.: *Methylamines synthesis: A review*. In: *Catalysis Today* (1997), 37(24), S. 72

Beurteilen Sie die verschiedenen Produktionsbedingungen zur Synthese der Amine unter folgenden Aspekten:

Ausbeute an wirtschaftlich verwertbaren Produkten

Energiebedarf für die Produktion

[5 BE]

2020 C1

- 3 Viele Teetrinker bevorzugen die Zubereitung von grünem Tee mit weichem Wasser, da hartes Wasser viel gelöstes Calciumhydrogencarbonat ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) enthält. Dies führt zu einer Geschmacksbeeinflussung durch die Calcium-Ionen. Beim Erhitzen von hartem Wasser kommt es zu Kalkablagerungen (CaCO_3) im Wasserkocher.

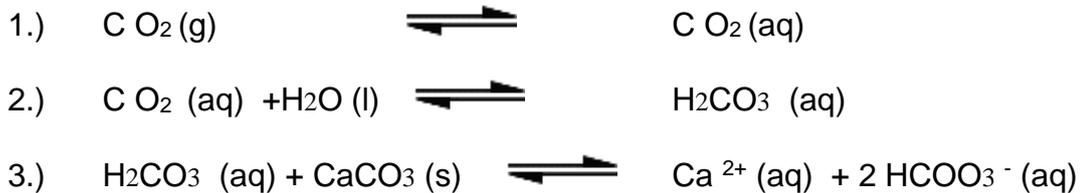


Abbildung 3 zeigt die Temperaturabhängigkeit der Wasserlöslichkeit von Kohlenstoffdioxid:

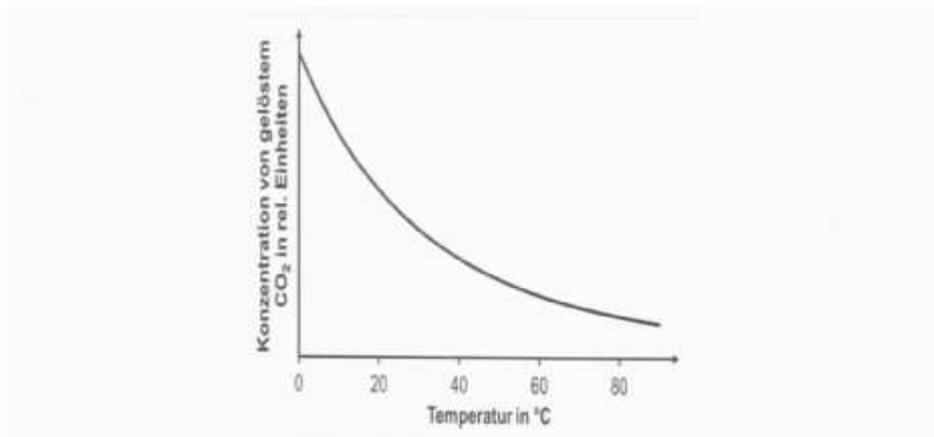


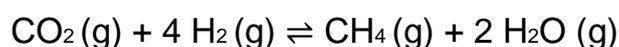
Abb. 3: Temperaturabhängigkeit der Wasserlöslichkeit von Kohlenstoffdioxid

Erklären Sie anhand der Reaktionsgleichungen und mithilfe von Abbildung 3 die Bildung von Kalkablagerungen in Wasserkochern. [7 BE]

2023 C 2 Kohlenstoffdioxid als Rohstoff

Kohlenstoffdioxid ist in großen Mengen vorhanden und kann durch innovative Technik als Rohstoff nutzbar gemacht werden.

1. Eine vielversprechende Technologie zur Nutzung von Kohlenstoffdioxid ist der Sabatier-Prozess, bei dem Kohlenstoffdioxid zu Methan umgesetzt wird. Methan kann bei entsprechender Reinheit als SNG (= synthetisches Erdgas) in das Erdgasnetz eingespeist werden.



$$\Delta H = -165 \text{ kJ}; \Delta S = -64,4 \text{ J/K}$$

- 1.1 Erklären Sie anhand des Prinzips von Le Chatelier die Auswirkungen einer Druckerhöhung auf die Methan-Konzentration im Gleichgewicht. Beurteilen Sie auf Basis einer Berechnung, ob die beim Sabatier-Prozess ablaufende Reaktion bei einer Temperatur von 125 °C (398 K) freiwillig abläuft. [4 BE]
- 1.2 Beurteilen Sie auf Basis einer Berechnung, ob die beim Sabatier-Prozess ablaufende Reaktion bei einer Temperatur von 125 °C (398 K) freiwillig abläuft. [5 BE]
- 1.3 In einer Versuchsreihe wird die Wirksamkeit zweier Katalysatoren für den Sabatier-Prozess untersucht und mit berechneten Werten zur Kohlenstoffdioxidumsetzung verglichen. Diese Werte können mit Hilfe von theoretischen Modellen bei verschiedenen Temperaturen im Gleichgewicht ermittelt werden. Für den Versuch bringt man bei verschiedenen Temperaturen das jeweils gleiche Eduktgemisch zur Reaktion. Nach jeweils der gleichen Zeit misst man die Umsetzungsrate von Kohlenstoffdioxid (Abb. 1)

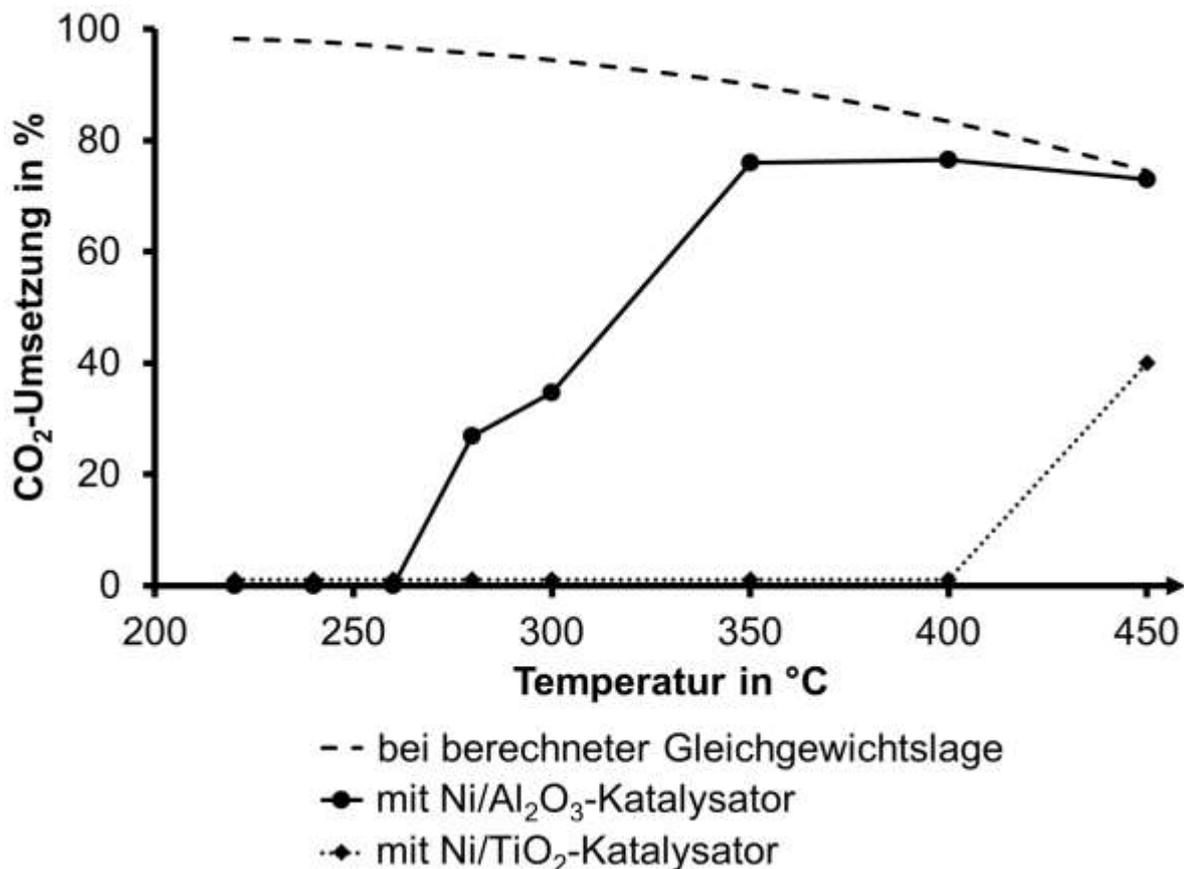


Abb. 1: Berechnete und unter Verwendung von verschiedenen Katalysatoren ermittelte Umsetzungsraten von Kohlenstoffdioxid

- 1.3.1 Begründen Sie den in Abbildung 1 dargestellten Kurvenverlauf für die berechnete Gleichgewichtslage anhand des Prinzips von Le Chatelier. Erklären Sie den Kurvenverlauf unter Verwendung des Ni/Al₂O₃-Katalysators im Temperaturbereich zwischen 220 °C und 350 °C auf Grundlage energetischer Aspekte chemischer Reaktionen. [7 BE]

1.3.2 Beurteilen Sie den Einsatz der beiden Katalysatoren für die Sabatier-Reaktion hinsichtlich des Aspekts Ressourceneinsparung. [3 BE]