

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 Stickstoffmonoxid aus, das in einer reversiblen Reaktion aus Stickstoff und Sauerstoff gebildet wird.

2.1 Die folgende Tabelle gibt den Stoffmengenanteil von Stickstoffmonoxid 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 Stickstoffmonoxid 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:

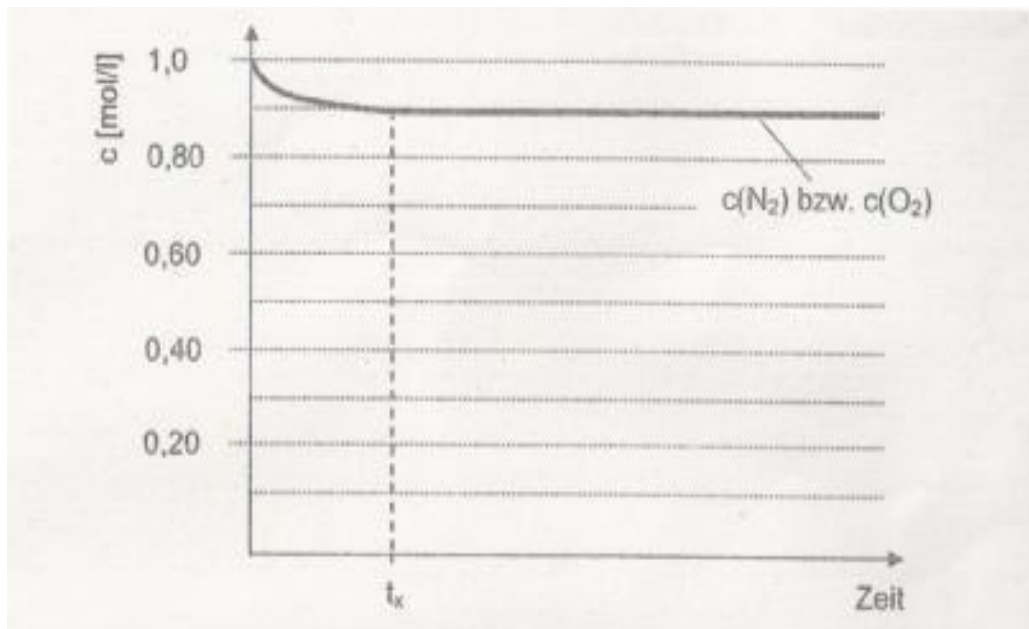


Abb. 2: Konzentration der Edukte der Stickstoffmonoxidsynthese in Abhängigkeit von der Zeit bei konstanter Temperatur und konstantem Druck

Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für das beschriebene Gleichgewicht

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

.....

- 2.3 Berechnen Sie die Gleichgewichtskonstante K_c für die Synthese von

Stickstoffmonoxid 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:

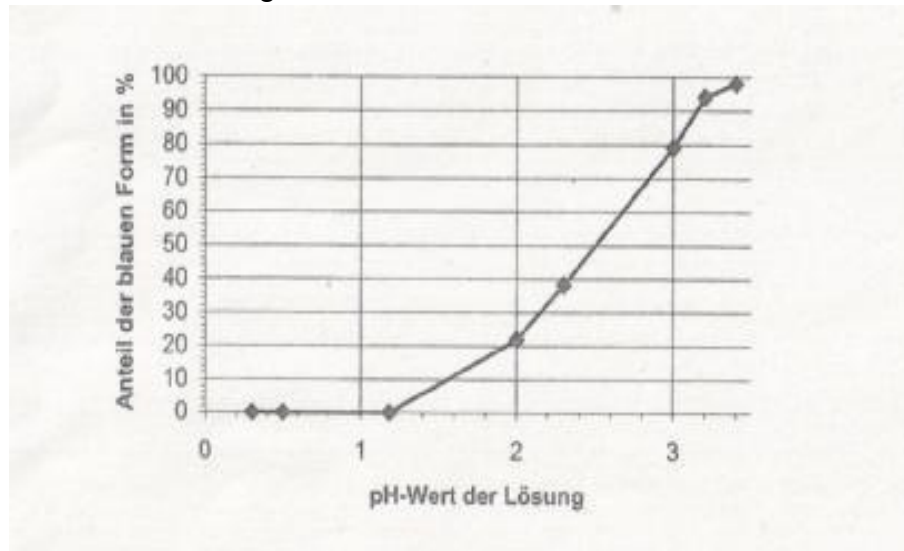


Abb. 2: Anteil der blauen Form von Patentblau V in einer Patentblau-V-Lösung in Abhängigkeit vom pH-Wert

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 = Biomasse 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, Kohlenstoffmonoxid sowie Wasserstoff. Ein Gemisch aus Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff (sog. Synthesegas) kann großtechnisch mittels Fischer-Tropsch-Synthese zu flüssigen Kohlenwasserstoffgemischen umgesetzt werden, die als synthetische Kraftstoffe genutzt werden können.

- Damit die Biomasse möglichst vollständig in Kraftstoff umgewandelt werden kann, muss die Kohlenstoffmonoxidausbeute bei der

Fortsetzung nächste Seite

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:

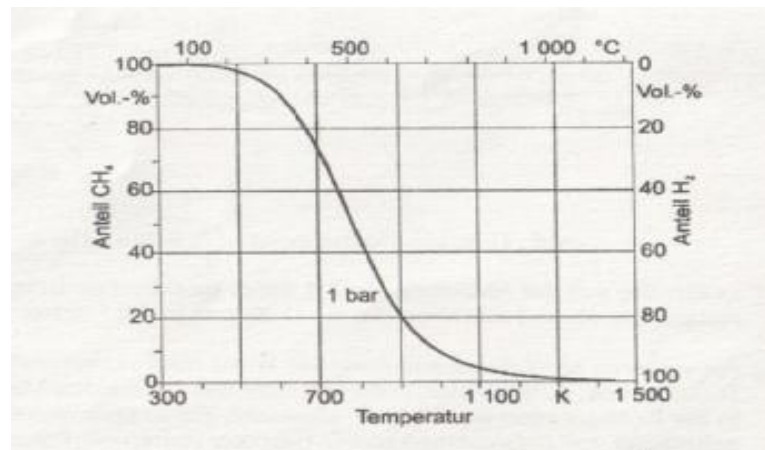


Abb. 2: Lage des CH_4/H_2 -Gleichgewichts¹

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 Reformier 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 Reformier 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.

Fortsetzung nächste Seite

Die folgende Abbildung zeigt für das Ammoniaksynthese-Gleichgewicht die Abhängigkeit der Gleichgewichtskonstante von der Temperatur:

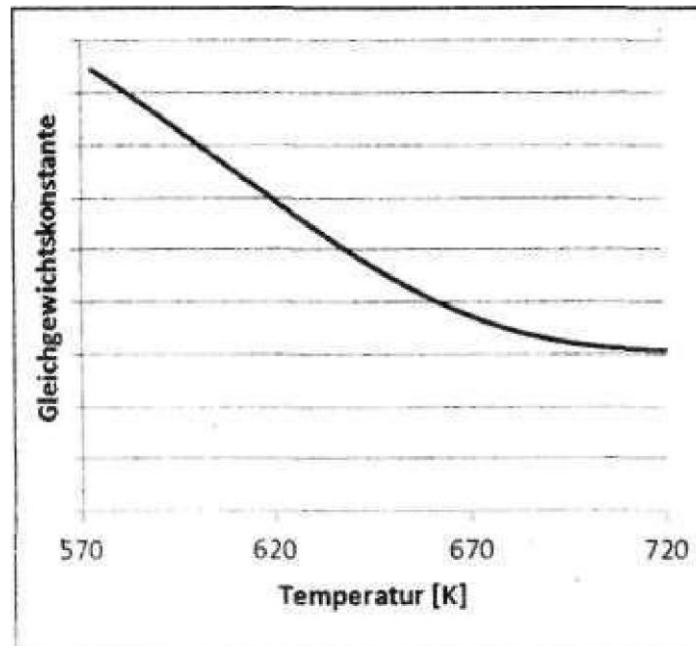


Abb. 2: Abhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten von der Temperatur

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

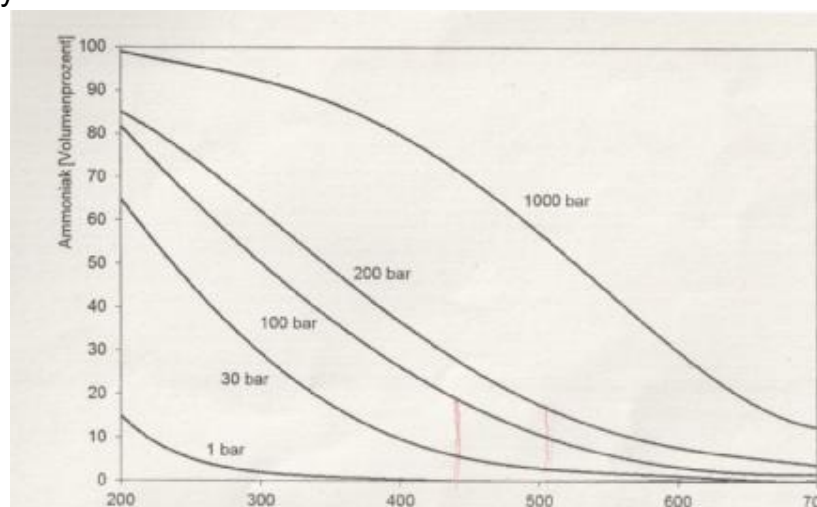


Abb. 3: Abhängigkeit der Ammoniak-Ausbeute von Druck und Temperatur²
(1 bar entspricht 1000 hPa)

Abbildungen und Tabellen:

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

Fortsetzung nächste Seite

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.

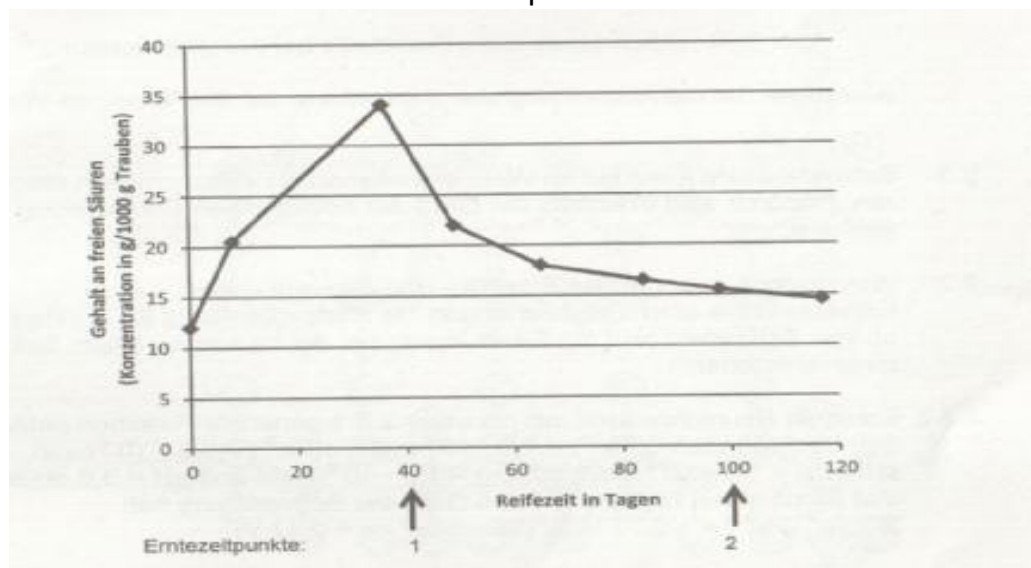


Abb. 2: Säuregehalt von Weintrauben in Abhängigkeit von ihrer Reifezeit¹

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.

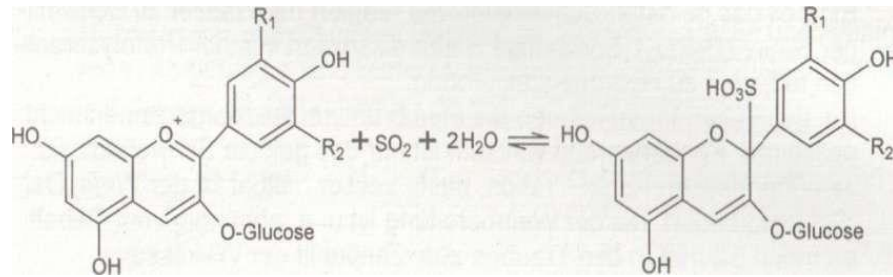


Abb. 3: Reaktion eines roten Farbstoffs bei der „Schwefelung“²

Abbildungen:

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

Beurteilen Sie die Auswirkung des Schwefelns auf die Farbe des Weins! [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.

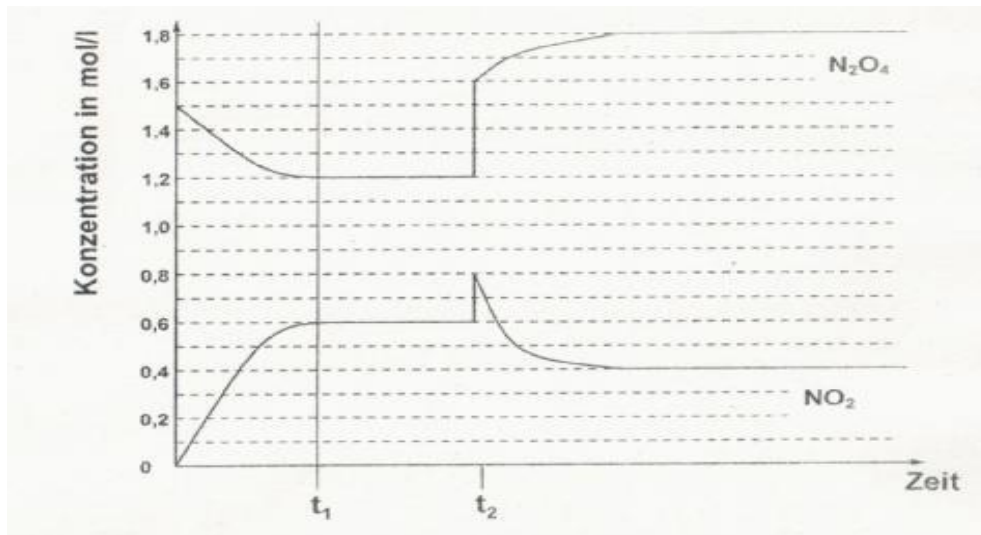


Abb. 1: Konzentrationen von Stickstoffdioxid und Distickstofftetraoxid im Verlauf des Experiments

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:

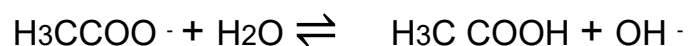


Abb. 3: Protolyse-Gleichgewicht

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 $c(\text{N}_2)$ in mol/l zu Beginn der Reaktion	0,03	0,03
Stoffmengenkonzentration $c(\text{N}_2)$ 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]

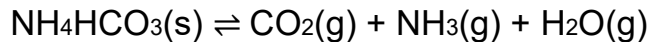
2016 A 2 Backen

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

Fortsetzung nächste Seite

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.

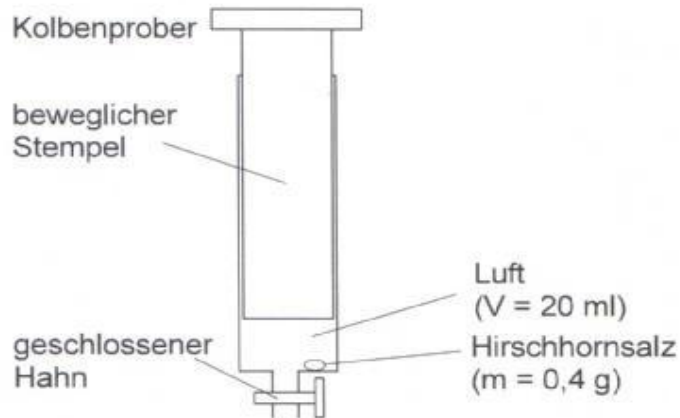


Abb. 1: Versuchsaufbau vor dem Erhitzen

Der Kolbenprober wird im Wasserbad auf ca. 85°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]

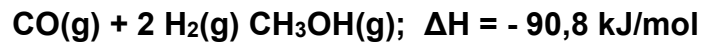
- 1.3 Bildung und Zerfall des Ammoniumhydrogencarbonats gehen mit einer erheblichen Änderung der Entropie des Systems einher. Beschreiben Sie die Entropieänderung des Systems beim Zerfall von Ammoniumhydrogencarbonat! [3 BE]

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.

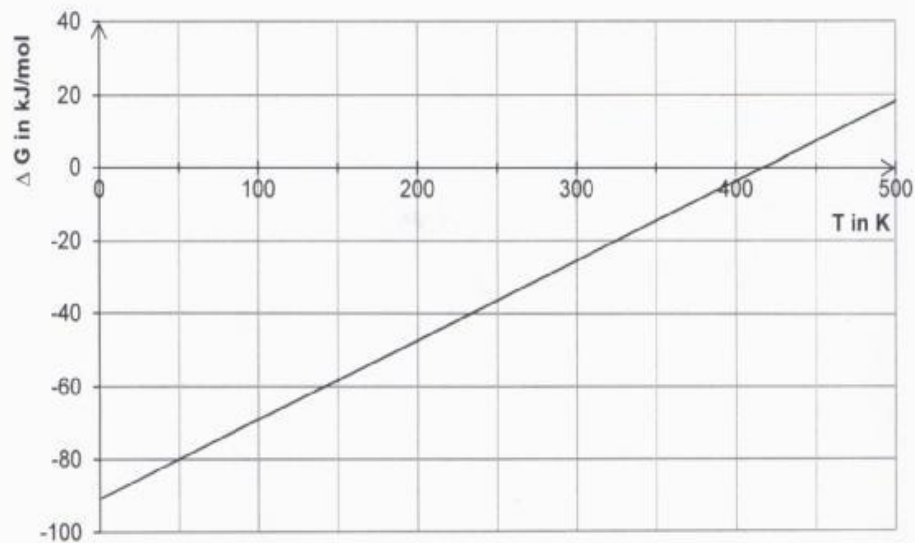


Abb. 1: Änderung der Freien Enthalpie in Abhängigkeit von der Temperatur¹
Ermitteln Sie den Wert der Entropieänderung ΔS für dieses Gleichgewicht unter Verwendung von Abbildung 1 und begründen Sie unter Bezugnahme auf die Reaktionsgleichung die Entropieänderung. [6 BE]

- 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:

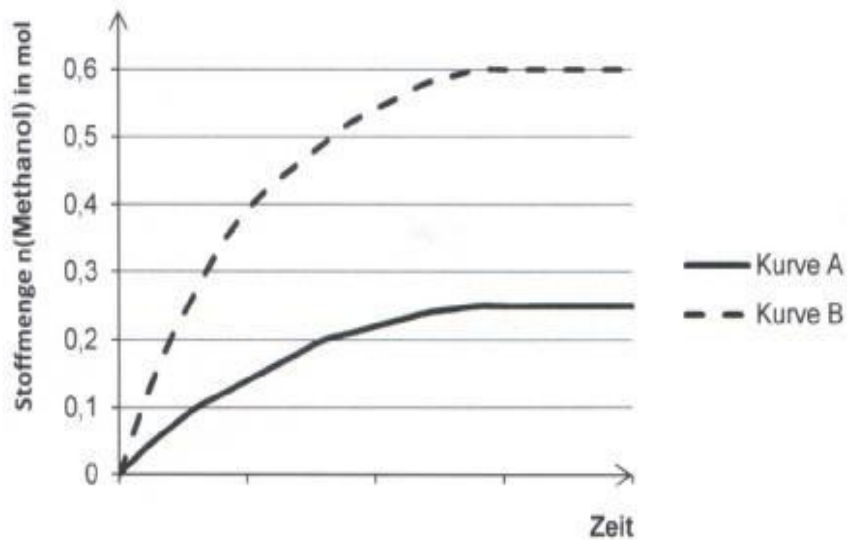


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der Gleichgewichtseinstellung bei der Kohlenstoffdioxid-Hydrierung²

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 Gasgemisch in Abhängigkeit von der Temperatur bestimmt.

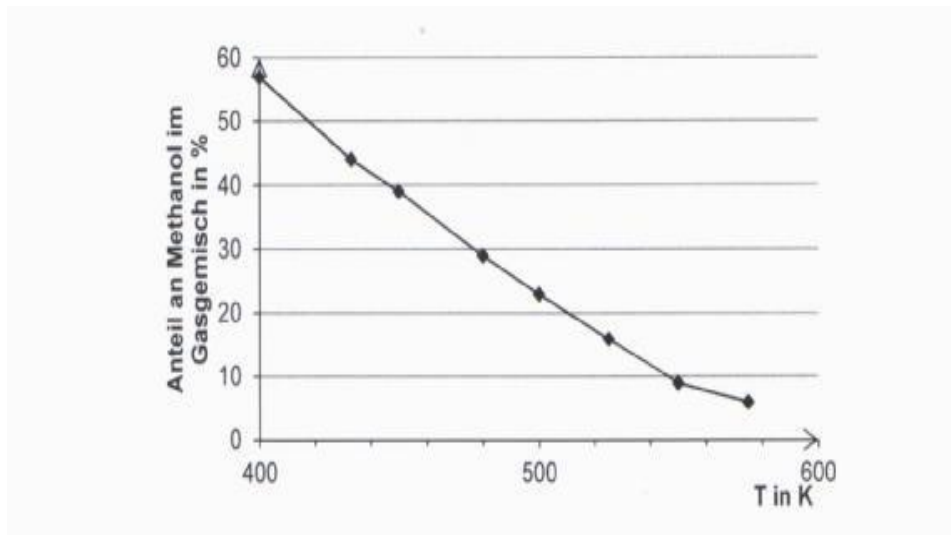


Abb. 3: Methanolanteil im Gasgemisch in Abhängigkeit von der Temperatur³

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

Abbildungen und Tabellen:

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

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

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.

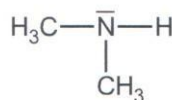


Abb. 1: Strukturformel von Dimethylamin (DMA)

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

Fortsetzung nächste Seite

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

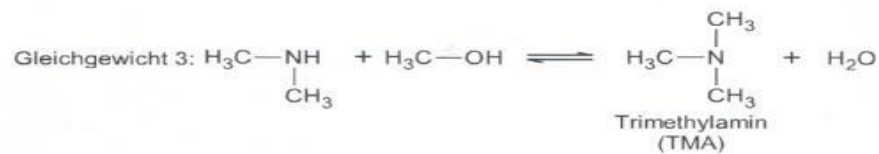
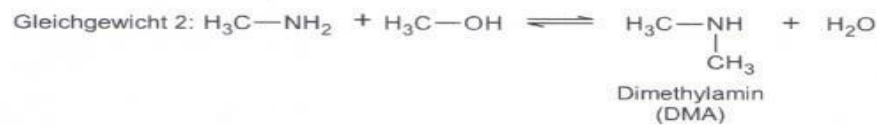
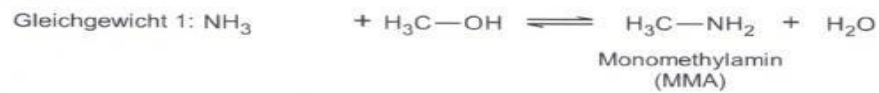


Abb. 2: Gleichgewichtsreaktionen im Reaktor

- 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.

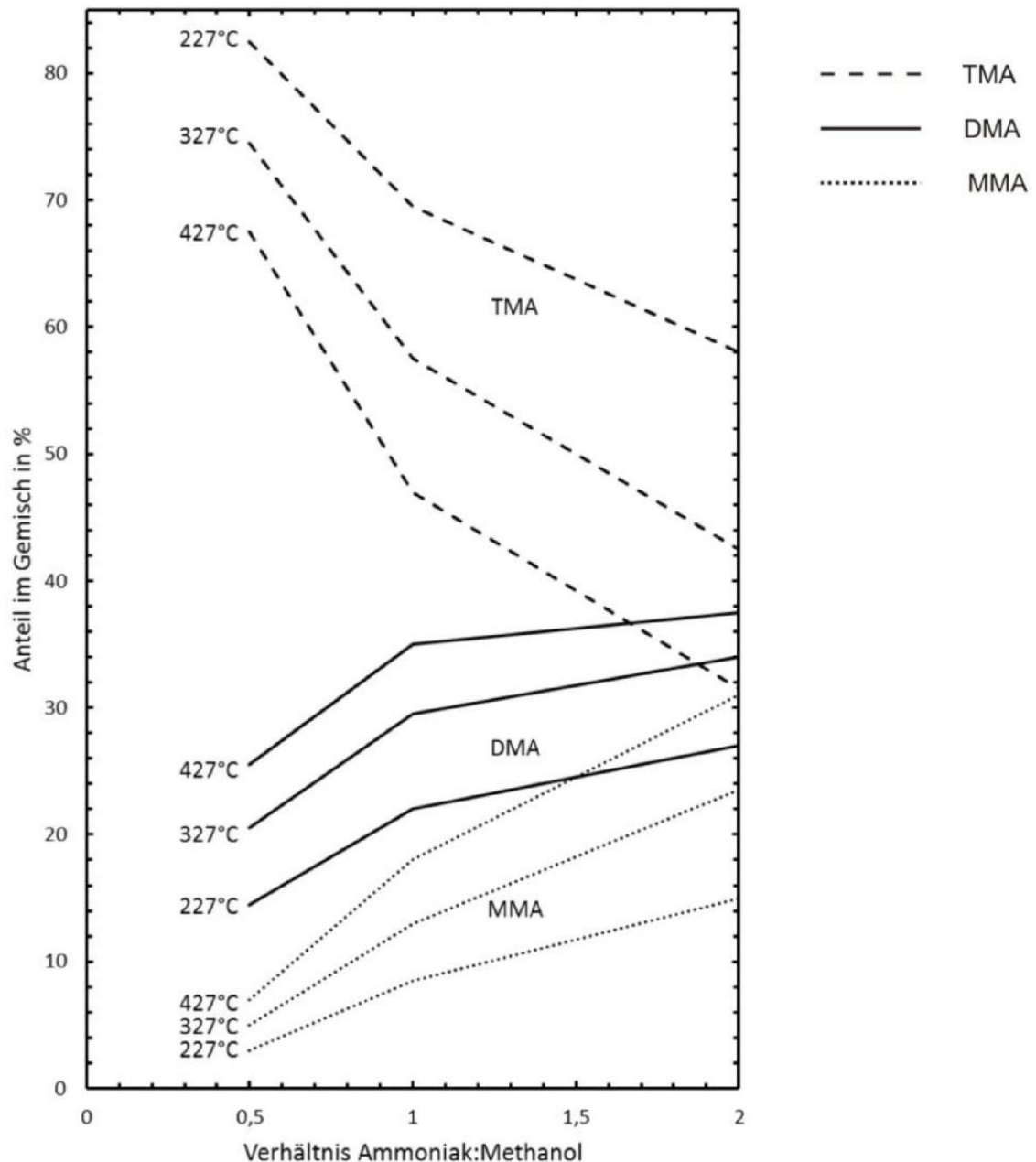


Abb. 3: Anteil der Amine im Reaktor in Abhängigkeit des Konzentrationsverhältnisses der eingesetzten Edukte und der Temperatur¹

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]

Fortsetzung nächste Seite

Abituraufgaben 2026

Aufgabe I

Korrosion in Stahlbeton

Beton wird aus Zement, Füllstoffen, wie z. B. Sand oder Kies, und Wasser hergestellt. Der Zement spielt dabei die entscheidende Rolle, da er zusammen mit dem Wasser den Zementleim bildet, der die Füllstoffe verbindet und so den Beton verfestigt. Werden Stahlstäbe eingegossen, so spricht man von Stahlbeton.

- | | | |
|---|---|-----------|
| | | BE |
| | | 9 |
| 1 | Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für die Vorgänge beim Kalklöschen und Abbinden (M 1).
Erläutern Sie anhand der Reaktionsgleichung des Kalklöschens das Säure-Base-Konzept nach Brönsted (M 1).
Leiten Sie mithilfe des pK_B -Werts die Lage des Gleichgewichts dieser Reaktion ab (M 1). | 7 |
| 2 | Beschreiben Sie die Vorgehensweise bei der Titration einer Probe von Betonwasserfiltrat mit Salzsäure und skizzieren Sie den zu erwartenden Verlauf der Titrationskurve (M 2). | 5 |
| 3 | Berechnen Sie das benötigte Volumen an Salzsäure, um das Filtrat des Betonwassers eines Betonmischers zu neutralisieren (M 2). | 4 |
| 4 | Erklären Sie anhand von Reaktionsgleichungen den Nachweis von Chlorid-Ionen im Beton nach Schöppel (M 3). | 5 |
| 5 | Leiten Sie aus den Ergebnissen der Versuchsreihe einen Zusammenhang zwischen der Natriumchlorid-Konzentration und der Korrosionsgeschwindigkeit der Eisenstäbe ab (M 3, M 4).
Stellen Sie eine Hypothese zur Bedeutung von DMEA als Zusatzstoff im Beton auf (M 4). | |

30

Material 1: Betonherstellung

Beton entsteht bei der Vermengung von Zement mit Füllstoffen, wie z. B. Sand und Kies, und

anschließender Zugabe von Wasser. Dabei reagiert der im Zement enthaltene Branntkalk (Calciumoxid) mit dem zugegebenen Wasser unter Wärmeabgabe zu gelöschtem Kalk (Calciumhydroxid). Diese Reaktion bezeichnet man als Kalklöschen.

Beim anschließenden Abbinden des Gemisches reagiert der gelöschte Kalk mit dem Kohlenstoffdioxid der Luft zu Kalk (Calciumcarbonat) und Wasser. Der Beton erhält durch diesen Vorgang seine hohe Druckfestigkeit.

Material 2: Betonwasser

Bei der Betonherstellung fallen Abwässer an. So entstehen bei der Reinigung eines typischen Betonmischers 100 L von sogenanntem Betonwasser, das aufgrund der Rückstände beim Kalklöschen mit einem pH-Wert von 13 stark basisch ist und zudem feine Zementpartikel enthält.

Um Umweltschäden zu vermeiden, wird Betonwasser in Recyclinganlagen zunächst filtriert und das Filtrat im Anschluss mit Salzsäure ($c(\text{HCl}) = 1 \text{ mol/L}$) neutralisiert. Zur Berechnung des hierfür benötigten Volumens an Salzsäure wird im Labor zunächst die Hydroxid-Ionenkonzentration des Betonwasserfiltrats mit Hilfe einer Titration bestimmt. Im Anschluss kann das Betonwasser durch Zugabe des erforderlichen Volumens an Salzsäure neutralisiert werden

Material 2: Betonwasser Bei der Betonherstellung fallen Abwässer an. So entstehen bei der Reinigung eines typischen Betonmischers 100 L von sogenanntem Betonwasser, das aufgrund der Rückstände beim Kalklöschen mit einem pH-Wert von 13 stark basisch ist und zudem feine Zementpartikel enthält.

Um Umweltschäden zu vermeiden, wird Betonwasser in Recyclinganlagen zunächst filtriert und das Filtrat im Anschluss mit Salzsäure ($c(\text{HCl}) = 1 \text{ mol/L}$) neutralisiert. Zur Berechnung des hierfür benötigten Volumens an Salzsäure wird im Labor zunächst die Hydroxid-Ionenkonzentration des Betonwasserfiltrats mit Hilfe einer Titration bestimmt. Im Anschluss kann das Betonwasser durch Zugabe des erforderlichen Volumens an Salzsäure

Fortsetzung nächste Seite

neutralisiert werden. Das neutralisierte Filtrat ist für Mensch und Umwelt unbedenklich und kann anschließend in eine Kläranlage weitergeleitet werden.

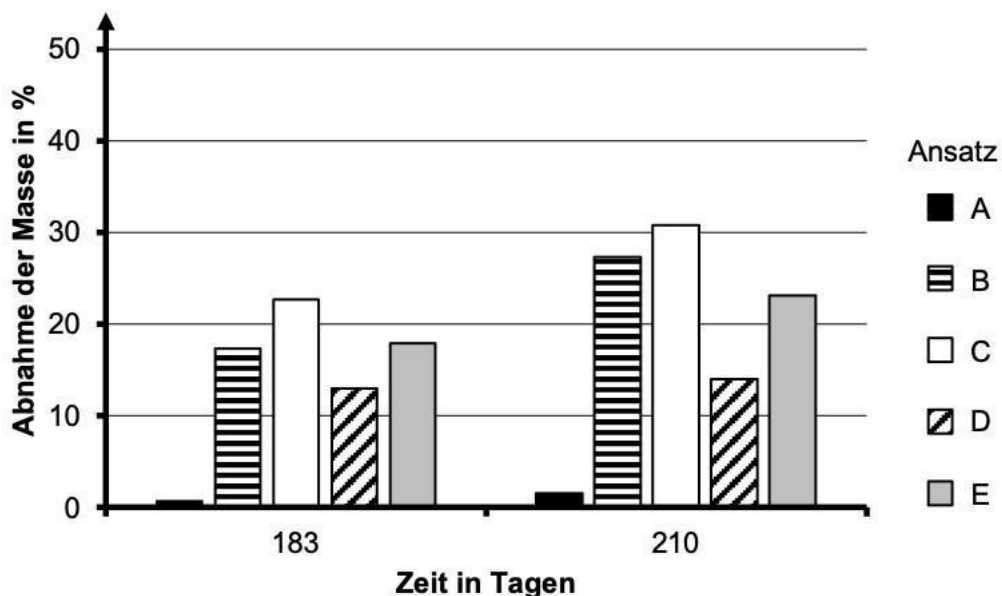
Material 3: Chlorid-Korrosion

Stahlbeton ist ein Werkstoff, bei dem Stahlgitter bzw. -stäbe beim Gießen in den Beton eingebettet werden, um die Zugfestigkeit des reinen Betons zu erhöhen.

Sowohl ausgehärteter Beton als auch Stahlbeton enthalten Poren, in die Wasser eindringen kann. Durch die Aufnahme von Bestandteilen aus dem Beton wie Calciumhydroxid wird dieses sogenannte Porenwasser stark basisch. Gelangt das Porenwasser zum eingebetteten Stahl, bildet sich an dessen Oberfläche eine Passivierungsschicht aus schwerlöslichen

Eisenverbindungen, die den Stahl über lange Zeit vor Sauerstoffkorrosion schützt.

Durch Streusalz, das im Winter eingesetzt wird, gelangen große Mengen an im Schmelzwasser gelöstem Natriumchlorid über die Poren bis zum im Beton eingebetteten Stahl. Dort verdrängen die Chlorid-Ionen die Hydroxid-Ionen der Passivierungsschicht, wodurch es an diesen Stellen zur Sauerstoffkorrosion kommen kann. Schäden, z. B. an Brücken, die durch eindringende Chlorid-Ionen verursacht wurden, lassen sich mit dem sogenannten UV-Verfahren nach Schöppel feststellen: Dabei wird eine Betonbruchfläche am zu untersuchenden Bauwerk mit Silbernitrat-Lösung besprüht.



Fortsetzung nächste Seite

Abituraufgaben 2026

Aufgabe II

Power-to-Liquid

Beim Power-to-Liquid-Verfahren (P2L) wird elektrische Energie aus erneuerbaren Quellen dazu genutzt, flüssige Kraftstoffe wie z. B. Methanol zu produzieren.

BE

1 Formulieren Sie die Teilgleichungen und die Gesamtgleichung für die Wasserstoff- und Sauerstoffbildung an den Elektroden (M 1).

Beschreiben Sie die Änderung von Entropie und Enthalpie bei der Zerlegung von Wasser (M 1).

Begründen Sie unter Verwendung der Gibbs-Helmholtz-Gleichung, dass unter den genannten Bedingungen die Thermolyse im Gegensatz zur Elektrolyse freiwillig abläuft (M 1). 9BE 2

8

Formulieren Sie die Reaktionsgleichung der im Absorber ablaufenden Reaktion (M 2). Geben Sie für das Kohlenstoff-Atom im Kohlenstoffdioxid-Molekül und im Carbonat-Ion jeweils den Hybridisierungszustand an.

Berechnen Sie das benötigte Volumen an Luft bei Standardbedingungen, um 1 t Kohlenstoffdioxid nach dem Direct Air Capture-Verfahren zu gewinnen (M 2).

9

Hinweis: Gehen Sie dabei formal von einer vollständigen Absorption des in der Luft enthaltenen Kohlenstoffdioxids aus.

3 Formulieren Sie das Massenwirkungsgesetz für die Methanol-Synthese (M 3). Leiten Sie mithilfe des Prinzips von Le Chatelier das Vorzeichen der Reaktionsenthalpie für die Hinreaktion begründet ab (M 3). 4

Erklären Sie mithilfe des Prinzips von Le Chatelier, dass beim P2L-Verfahren bei hohem Druck gearbeitet wird (M 3).

4 Beurteilen Sie die Aussage aus der Zeitschrift anhand von drei Argumenten (M 4).

Gesamt: 30BE

Material 1: Elektrolyseverfahren zur Herstellung von Wasserstoff

Fortsetzung nächste Seite

Ausgangsstoffe für das Power-to-Liquid-Verfahren (P2L) sind Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid. Der benötigte Wasserstoff lässt sich auf unterschiedliche Weise aus Wasser gewinnen:

Eine Möglichkeit sind Elektrolyseverfahren. Weltweit am häufigsten eingesetzt werden Elektrolyseapparaturen zur Alkalischen Elektrolyse (AEL), da diese mit günstigen Materialien arbeiten und lange betrieben werden können. Bei der AEL dient eine Kaliumhydroxid-Lösung als Elektrolyt. Bei einer Temperatur von 80 °C benötigt man eine Zersetzungsspannung von mindestens 1,5 V. Bei der Elektrolyse-Reaktion wird an der Kathode Wasserstoff und an der Anode Sauerstoff gebildet.

Eine andere Möglichkeit für die Gewinnung von Wasserstoff ist die sog. Thermolyse. Ab einer Temperatur von ca. 2.500 °C läuft die Zersetzung von Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff freiwillig ab.

Material 2: Direct Air Capture (DAC) zur Bereitstellung des Kohlenstoffdioxids

Die Gewinnung von Kohlenstoffdioxid als Ausgangsstoff für das P2L-Verfahren erfolgt beispielsweise durch Direct Air Capture. Es handelt sich dabei um ein chemisches Verfahren, bei dem Kohlenstoffdioxid aus der Umgebungsluft (Volumenanteil von 0,04 % Kohlenstoffdioxid in der Luft) gewonnen wird, um es als Reinstoff zu speichern (Abb. 1). Moderne DAC-Anlagen können auf diese Weise eine Tonne Kohlenstoffdioxid pro Tag gewinnen.

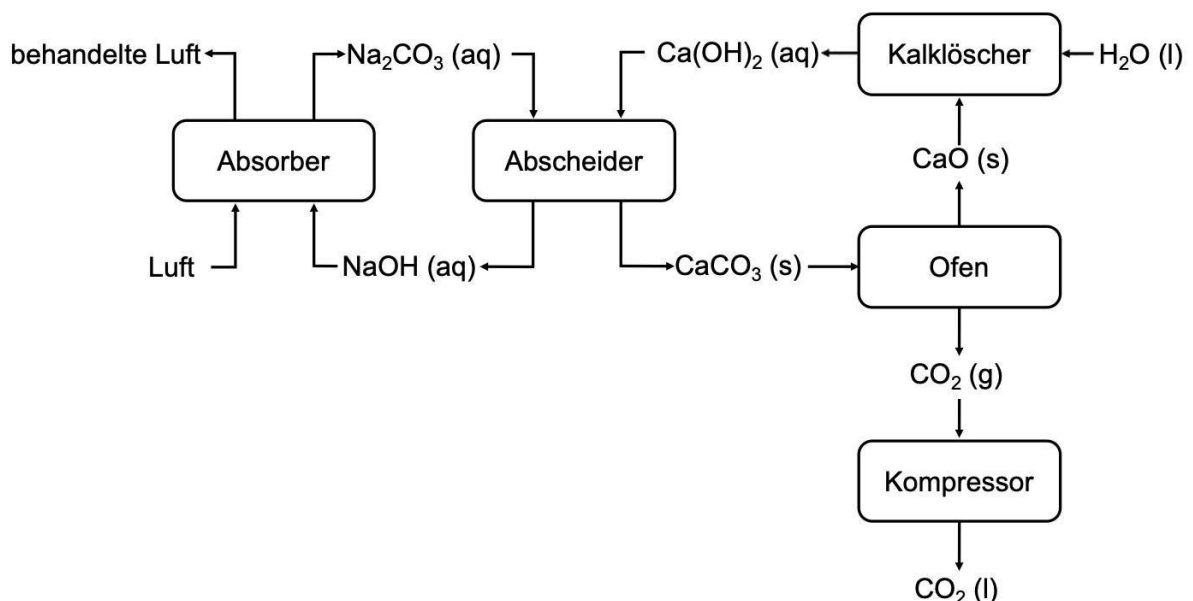


Abb. 1: schematischer Ablauf der Kohlenstoffdioxid-Gewinnung beim DAC-Verfahren

Material 3: Methanol-Synthese nach dem P2L-Verfahren¹

Bei der Methanol-Synthese nach dem P2L-Verfahren werden die bereitgestellten Gase Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid bei einem Druck von 40 bar und einer Temperatur von 240 °C mit Hilfe von kupfer-, zink- bzw. aluminiumoxidbasierten Katalysatoren in Methanol und Wasser umgewandelt:

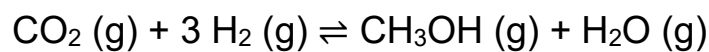


Abbildung 2 zeigt die Abhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten dieser Reaktion von der Temperatur.

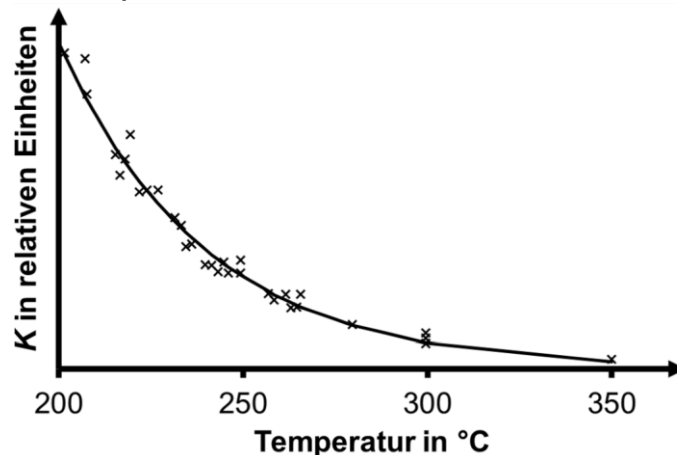


Abb. 2: Abhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten der Methanol-Synthese von der Temperatur

Das gewonnene Methanol kann in geeigneten Motoren als Kraftstoff verwendet werden.

Material 4: Nutzung erneuerbare Energien im Antriebssektor im Vergleich²⁻⁷

Im Rahmen der Energiewende gewinnt die Herstellung synthetischer Kraftstoffe durch das P2L-Verfahren an Bedeutung. Daneben gibt es aber im Antriebssektor weitere Ansätze zur Nutzung erneuerbarer Energien. In einer Zeitschrift steht dazu: „Verbrennungsmotoren mit Wasserstoff oder Methanol bieten eine

Fortsetzung nächste Seite

praxisnahe Alternative zu Antrieben mit Elektromotoren.“ In Tabelle 1 werden ausgewählte Antriebsarten, die erneuerbaren Energien nutzen, anhand verschiedener Kriterien miteinander verglichen. Ein Kriterium ist die Well-to-Wheel-Effizienz, die die gesamte Wirkungskette für die Fortbewegung von der Gewinnung und Bereitstellung der Antriebsenergie bis zur Umwandlung in kinetische Energie betrachtet. Ein anderes Kriterium ist die Betrachtung der Gesamtkosten eines Fahrzeugs, die sich aus Anschaffungskosten, Energiekosten und Wartungskosten zusammensetzen.

Tab. 1: Antriebsarten, die erneuerbaren Energien nutzen, im Vergleich

	Elektroantrieb	Wasserstoff- Verbrennungsmotor	Methanol- Verbrennungsmotor
ideale Betriebs- temperatur in °C	+10 bis +40	–40 bis +85	–40 bis +60
für die Lagerung notwendiger Druck in bar	–	350–700	1
Infrastruktur	Ladeinfrastruktur vorhanden, wird weiter ausgebaut	Transport- und Lagerungsinfrastruktur muss erst aufgebaut werden, im Hinblick auf Sicherheit sehr kostenintensiv	sehr kostengünstige Anpassung aufgrund vorhandener Strukturen möglich
Lade- bzw. Betankungszeit	20 Minuten bis mehrere Stunden	5–10 Minuten	3–5 Minuten
Well-to-Wheel-Effizienz	ca. 60 %	ca. 25 %	ca. 18 %

Fortsetzung nächste Seite

Gesamtkosten in €/km bei 250.000 km Fahrleistung	0,21	0,62	0,36
---	------	------	------

Quellen:

- ¹ Graaf, G. H., & Winkelman, J. G. M. (2016). Chemical equilibria in methanol synthesis including the Water - Gas shift reaction: a critical reassessment. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55(20), S. 5854–5864.
- ² Erneuerbare Energie im Mobilitätssektor. (o. D.). BEE-EV.DE. <https://www.bee-ev.de/service/publikationenmedien/beitrag/erneuerbare-energie-im-mobilitaetssektor>, aufgerufen am 23.03.2025.
- ³ Kramer, U., Stollenwerk, S., & Thee, R. (2023). E-Fuels/Kraftstoffe. In *Der Fahrzeugantrieb*, S. 47–164.
- ⁴ Herzig, R. (2024). E-LKW vs. Wasserstoff: Der wahre Gewinner im Güterverkehr - emobicon® - pragmatisch | unabhängig |. <https://emobicon.de/batterieelektrische-lkw-vs-wasserstoff/>, aufgerufen am 23.03.2025.
- ⁵ Khan, M. (2021). Was kostet der Betrieb von Brennstoffzellenfahrzeugen? *SciLogs - Wissenschaftsblogs. Go For Launch*. <https://scilog.spektrum.de/go-for-launch/was-kostet-der-betrieb-von-brennstoffzellenfahrzeugen/>, aufgerufen am 23.03.2025
- ⁶ Elektroauto versus Verbrenner - Kostenanalyse zeigt klaren Vorteil für E-Fahrzeuge. (o. D.). Fraunhofer-Institut Für System-Und Innovationsforschung ISI. <https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2023/presseinfo-04-elektroauto-versus-VerbrennerKostenanalyse.html>, aufgerufen am 23.03.2025.
- ⁷ Statista. (2025). Einschätzung der Gesamtkosten von E-Autos im Vergleich zu Verbrennern nach Ländern. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1034926/umfrage/einschaetzung-der-gesamtkosten-von-e-autos-im-vergleich-zuverbrennernach-laendern/>, aufgerufen am 23.03.2025.

BE

Aufgabe II

Zukunft der Mobilität

6

In Deutschland sind derzeit etwa 50 Millionen Pkws zugelassen. Auch wenn ab dem Jahr 2035 in der EU vorraussichtlich nur noch Pkws mit alternativen Antrieben neu zugelassen werden dürfen, wird es aufgrund des Altbestands weiterhin viele Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren geben, deren Abgase die Umwelt belasten.

5

Fortsetzung nächste Seite

- 1 Berechnen Sie das Volumen an Dodecan in Litern, das ein einzelnes Dieselfahrzeug maximal auf 100 km verbrauchen dürfte, um den gemittelten Grenzwert einzuhalten (M 1).
- 2 Begründen Sie unter Bezugnahme auf die Reaktionsgleichung

$$5 \text{ C} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 6 \text{ C} + \text{CO}$$
das Vorzeichen von ΔS beim Boudouard-Gleichgewicht (M 2).
Berechnen Sie die Temperatur, ab der die Reaktion des

$$4 \text{ C} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2 \text{ CO}$$
Boudouard-Gleichgewichts freiwillig abläuft (M 2).

- 3 Berechnen Sie K_c des Boudouard-Gleichgewichts bei 600 °C (M 2).
Leiten Sie aus Abbildung 1 ab, wie sich der Wert von K_c bei Temperaturerhöhung ändert (M 2).
- 4 Skizzieren Sie ein Diagramm, das den zeitlichen Verlauf der Änderung der Stoffmengenanteile der gasförmigen Stoffe beim Boudouard-Gleichgewicht bei 600 °C bis zur Gleichgewichtseinstellung, ausgehend von reinem Kohlenstoffmonooxid, zeigt (M 2).
Kennzeichnen Sie in Ihrer Skizze den Bereich des chemischen Gleichgewichts und beschreiben Sie diesen Zustand auf Stoffebene (M 2).
- 5 Erklären Sie mithilfe des Prinzips von Le Chatelier die unterschiedlichen Anteile der ausgewählten Schadstoffe im Abgas beim Diesel- bzw. Benzinmotor (M 2, M 3, M 4).
- 6 Vervollständigen Sie das Molekülorbitalschema (Abb. 2) für die Valenzelektronen (M 3).
Erklären Sie mithilfe des Molekülorbitalschemas die hohe Reaktivität des Stickstoffmonooxid-Moleküls (M 3).

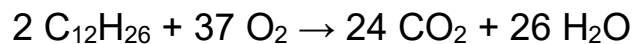
Beurteilen Sie den Beitrag der Energieträger Strom und HVO in Kraftfahrzeugen im Vergleich zu Dieselmotoren hinsichtlich der Reduktion der Treibhausgas-Emissionen (M 5). 40 BE

Material 1: Kohlenstoffdioxid-Grenzwerte für Verbrennungsmotoren

In Verbrennungsmotoren von Dieselmotorkraftfahrzeugen wird die chemische Energie aus dem

Kraftstoff (vereinfacht Dodecan $C_{12}H_{26}$, $M(C_{12}H_{26}) = 170 \text{ g/mol}$; $\rho(C_{12}H_{26}) = 753 \text{ g/L}$) durch

Verbrennung mit dem Sauerstoff der Luft in kinetische Energie und Wärme umgewandelt:



Das dabei gebildete Kohlenstoffdioxid trägt maßgeblich zum Treibhauseffekt bei. Zur Reduktion dieser Emissionen hat die Europäische Union jährlich sinkende Kohlenstoffdioxid-Grenzwerte für verkaufte Neuwagen festgelegt. Im Jahr 2025 beträgt der über alle Neufahrzeuge eines Herstellers gemittelte Grenzwert der Kohlenstoffdioxid-Emission 94 g/km.

Material 2: Boudouard-Gleichgewicht

Neben Kohlenstoffdioxid entstehen in Verbrennungsmotoren bei unvollständiger Verbrennung aufgrund von lokalem Sauerstoffmangel auch das für den Menschen schädliche Kohlenstoffmonooxid sowie fester Kohlenstoff, der als Ruß über den Auspuff abgegeben wird. Unter den dort vorherrschenden Temperaturen von ca. 400–1300 °C spielt das sogenannte Boudouard-Gleichgewicht eine Rolle. Es beschreibt die Umwandlung von Kohlenstoffdioxid und festem Kohlenstoff zu Kohlenstoffmonooxid:

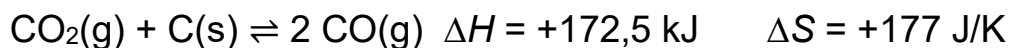
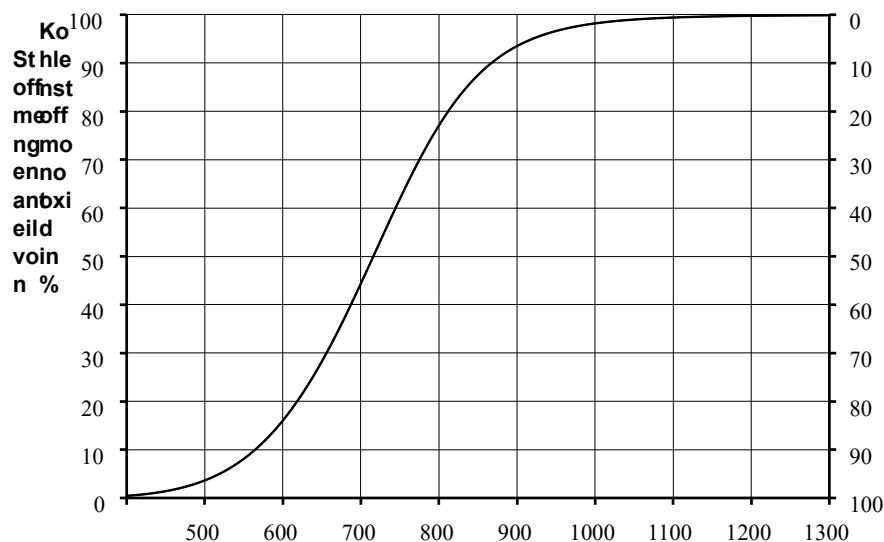


Abbildung 1 zeigt die unterschiedlichen Stoffmengenanteile der gasförmigen Stoffe im Boudouard-Gleichgewicht bei unterschiedlichen Temperaturen.



Bei 600 °C
konnten
folgende

Gleichgewichtskonzentrationen bestimmt werden: $c(\text{CO}) = 2,23 \cdot 10^{-3}$ mol/L; $c(\text{CO}_2) = 11,73 \cdot 10^{-3}$ mol/L

StKo offhle menst ngoff endio
antxid eil in vo%

n

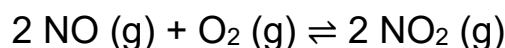
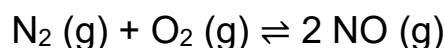
400

Temperatur in ° C

Abb. 1: Stoffmengenanteil von Kohlenstoffmonooxid und Kohlenstoffdioxid im Boudouard-Gleichgewicht in Abhängigkeit von der Temperatur

Material 3: NO_x-Gleichgewichte

In Automotoren können bei hohen Temperaturen verschiedene Stickstoffoxide (NO_x) entstehen, die u. a. die Atemwege schädigen können. Für die Bildung der Stickstoffoxide im Brennraum sind folgende Gleichgewichtsreaktionen entscheidend:



Das durch Automotoren freigesetzte Stickstoffmonooxid ist sehr reaktiv. In Abbildung 2 ist ein Ausschnitt des Molekülorbitalschemas für das Stickstoffmonooxid-Molekül ohne Besetzung mit Elektronen dargestellt.

Fortsetzung nächste Seite

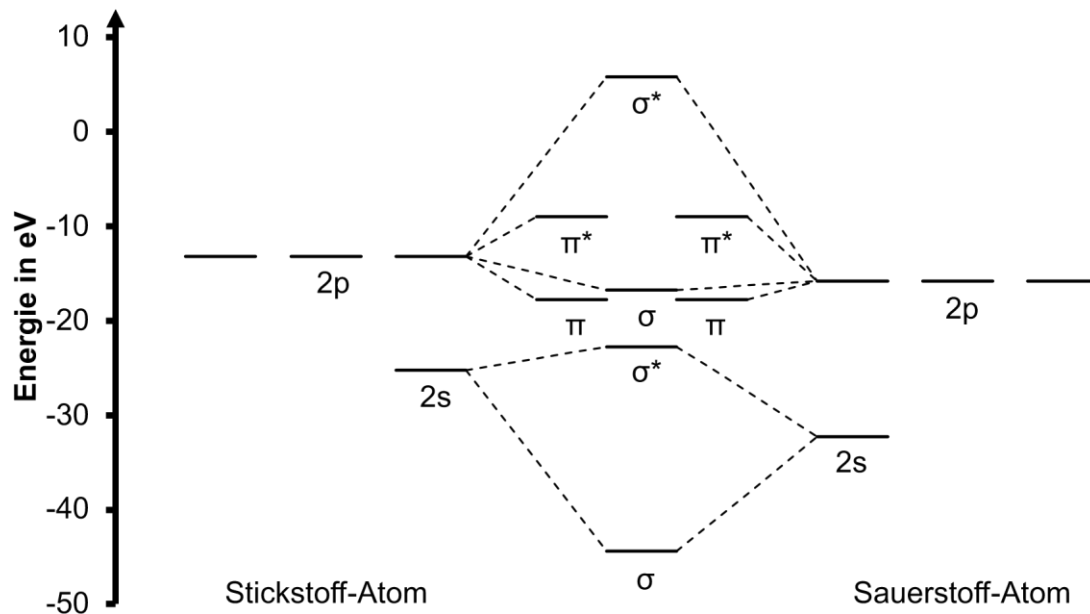


Abb. 2: Ausschnitt des Molekülorbitalschemas für das Stickstoffmonoxid-Molekül ohne Besetzung mit Elektronen

Material 4: Vergleich von Benzin- und Dieselmotoren^{1, 2, 3, 4}

Aufgrund unterschiedlicher Bedingungen im Verbrennungsraum unterscheiden sich die Abgase von Diesel- und Benzinmotoren. Tabelle 1 gibt einen Überblick über wesentliche Unterschiede der beiden Motorentypen hinsichtlich der Reaktionsbedingungen sowie des Anteils ausgewählter Schadstoffe im Abgas beim Verlassen des Brennraums.

Tab. 1: Unterschiede zwischen Benzin- bzw. Dieselmotoren hinsichtlich Reaktionsbedingungen sowie ausgewählter Schadstoffe im Abgas beim Verlassen des Brennraums

	Benzin	Diesel
Druck im Brennraum	45 bar	90 bar
Temperatur im Brennraum	etwa 2.000 °C	etwa 2.000 °C
CO im Abgas	viel	wenig
Ruß im Abgas	wenig	viel
NO₂ im Abgas	wenig	viel

Fortsetzung nächste Seite

Material 5: Reduktion der Treibhausgas-Emissionen im Kraftfahrzeugbereich

Zur Erreichung der Klimaziele muss der Ausstoß an Treibhausgasen wie Kohlenstoffdioxid in Zukunft deutlich reduziert werden. Faktoren, die im Kraftfahrzeugbereich dazu beitragen können, sind neben der Reduktion des Dieserverbrauchs die Nutzung von Elektromobilität, aber auch der Einsatz biologischer Kraftstoffe. Im Jahr 2024 wurde erstmals HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) als biologischer Dieselerersatz verkauft (Abb. 3). Als Grundstoff für diesen Dieselerersatz werden gebrauchte Fette und Öle aus der Lebensmittelproduktion eingesetzt.

Im Jahr 2023 wurde der Pkw-Dieserverbrauch in Deutschland auf rund 14 Millionen Tonnen beziffert.

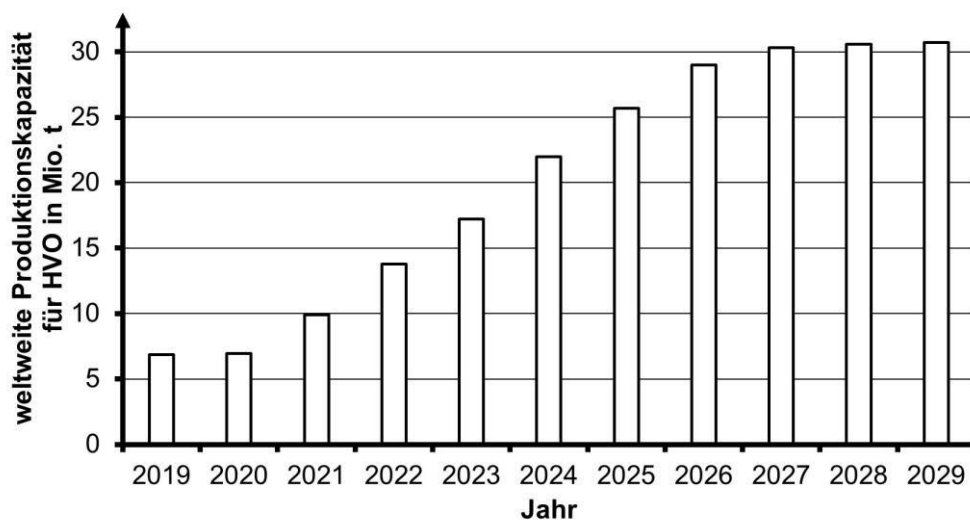


Abb. 3: bisherige und geschätzte Produktionskapazität von HVO weltweit in Millionen Tonnen

In einer Studie wurden die Treibhausgas-Emissionen verschiedener Fahrzeugtypen untersucht. Abbildung 4 zeigt die GesamttreibhausgasEmissionen, die bei der Produktion und dem Betrieb eines Fahrzeugs entstehen. Die Werte sind in CO₂-Äquivalenten angegeben, einer Maßeinheit, mit der die Klimawirkung verschiedener Treibhausgase in Relation zu Kohlenstoffdioxid angegeben wird.

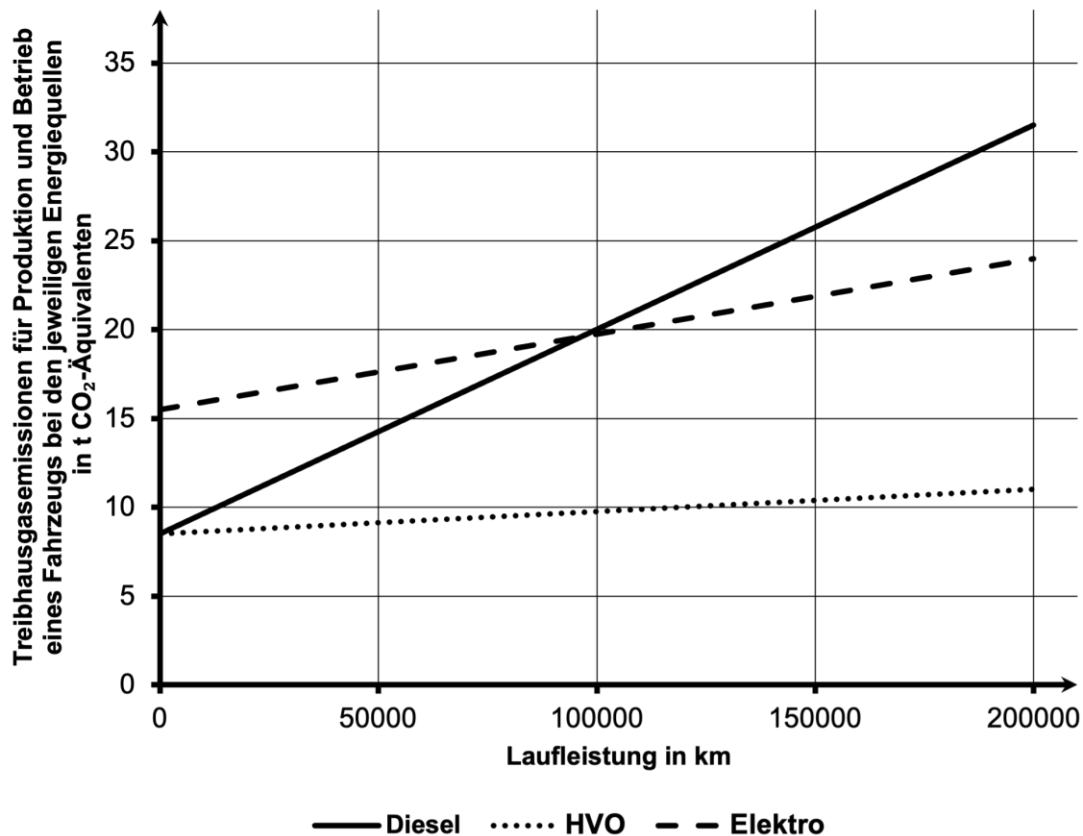


Abb. 4: Treibhausgas-Emissionen für Produktion und Betrieb eines Fahrzeugs mit verschiedenen Energiequellen in Abhängigkeit von der Laufleistung

Quellen:

- ¹ Technologie - 4. Optimierter Energieeinsatz: 1. Klassische Verbrennungsmotoren. Bayerischer Rundfunk.
<https://www.ardalpha.de/lernen/telekolleg/faecher/informatik/technologie04-energieeinsatz102.html>, aufgerufen am 18.07.2025.
- ² Prof. Blumes Medienangebot: Technische Chemie im und ums Auto.
<https://www.chemieunterricht.de/dc2/auto/motorvgl.htm>, aufgerufen am 18.07.2025.
- ³ Status quo von Energieerzeugung und -bedarf in Deutschland.
<https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/489614/>,
 aufgerufen am 23.12.2024. <https://www.vdi.de/themen/mobilitaet/vdi-oekobilanz-fuer-pkw-antriebe>, aufgerufen am 23.10.2024

Fortsetzung nächste Seite