

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2025

Aufgaben für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Energieträger für Fahrzeuge
Anforderungsniveau	erhöht
Inhaltsbereiche	♦ Chemische Reaktionen ♦ Energetische und kinetische Aspekte chemischer Reaktionen ♦ Enthalpie ♦ Satz von Hess ♦ Gleichgewichtsreaktionen ♦ chemisches Gleichgewicht ♦ Prinzip von Le Chatelier ♦ Lebenswelt und Gesellschaft ♦ Aktuelle Technologien und chemische Produkte ♦ Rohstoffgewinnung und -verarbeitung ♦ ein technisches Syntheseverfahren ♦ Ökonomische und ökologische Aspekte der Chemie ♦ alternative Energieträger ♦ Energiespeicherung
Materialien	♦ M 1 Methanol-Synthese aus Wasserstoff und verschiedenen Kohlenstoffoxiden ♦ M 2 Umsetzung des Synthesegases ♦ M 3 Thermodynamische Größen ♦ M 4 Großtechnischer Prozess zur Methanol-Synthese ♦ M 5 Treibstoffe
Quellenangaben	♦ M 1 Text nach van Bennekom, J. G., Venderbosch, R. & Heeres, H. J. (2013, 01. Januar). <i>Biomethanol from Glycerol</i>. https://www.researchgate.net/figure/Equilibria-in-methanol-synthesis-Approximate-conditions-are-given-for-i-conventional_fig10_258733433 (Zugriff am: 18.03.2024) ♦ M 2 Abbildung 1 nach van Bennekom (siehe M 1) ♦ M 3 Haynes, W., Lide, D. R. & Bruno, T. J. (2014). <i>CRC Handbook of Chemistry and Physics</i> (95. Aufl.). Taylor & Francis. ♦ M 4 ♦ Reichert, J., Maerten, S., Meltzer, K., Tremel, A., Bladauf, M. & Wasserscheid, P., Albert, J. (2019, 16. September). <i>Shifting</i>

	<i>the equilibrium of methanol synthesis from CO₂ by in situ absorption using ionic liquid media.</i> https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/se/c9se00494g/unauth (Zugriff am: 18.03.2024) ♦ Haynes, W., Lide, D. R. & Bruno, T. J. (2014). <i>CRC Handbook of Chemistry and Physics</i> (95. Aufl.). Taylor & Francis. ♦ M 5 Dieterich, V., Buttler, A., Hanel, A., Spliethoff, H. & Fendt, S. (2020, 13. August). <i>Power-to-liquid via synthesis of methanol, DME or Fischer-Tropsch fuels: a review.</i> https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/ee/d0ee01187h (Zugriff am: 18.03.2024)
Hilfsmittel	♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat ♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	nein

1 Aufgabe

Energieträger für Fahrzeuge

Im Zuge der Entwicklung klimafreundlicherer Antriebe werden aktuell verschiedene Energieträger mit besserer Kohlenstoffdioxid-Bilanz als erdölbasierte Treibstoffe erforscht. Insbesondere Methanol tritt in den Mittelpunkt vieler solcher Forschungsvorhaben.

	BE
1 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Methanol-Synthese auf dem konventionellen Weg (M 1). Geben Sie das Prinzip von Le Chatelier an und begründen Sie auch unter Berücksichtigung von Abbildung 1 die Steuerungsmöglichkeit bei der konventionellen Methode durch eine geeignete Wahl des Druckes (M 2).	6
2 Leiten Sie aus Abbildung 2 eine Aussage über die Änderung der Enthalpie beim BASF-Prozess ab (M 2). Überprüfen Sie Ihre Aussage durch eine Berechnung (M 3).	8
3 Erklären Sie die Prozesse, die zur konstanten Nachbildung und Abtrennung von Methanol im Reaktor führen (M 4, Abb. 3). Diskutieren Sie anhand von zwei Eigenschaften, ob die angegebenen Lösungsmittel zur Entfernung des Methanols aus dem Kreislauf geeignet sind (M 4, Tab. 2).	11
4 Berechnen Sie jeweils für die vollständige Verbrennung von Methanol und Octan die freigesetzte Masse an Kohlenstoffdioxid $\left(M(\text{CO}_2) = 44,0 \frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)$ pro Kilogramm Treibstoff (M 5).	8
5 Beurteilen Sie unter Einbeziehung der in Abbildung 4 gegebenen Energiedichten sowie Ihrer Berechnungen aus Aufgabe 4, ob Methanol oder das daraus hergestellte MtG-Benzin als Treibstoff besser geeignet ist (M 5). <i>Hinweis: Sollten Sie in Teilaufgabe 4 keine Ergebnisse erhalten haben, gehen Sie von den folgenden Ersatzwerten aus: 2 kg Kohlenstoffdioxid-Freisetzung bei der Methanol-Verbrennung und 4 kg Kohlenstoffdioxid bei der Octan-Verbrennung.</i>	7

Quellen (ggf. verändert):

- [1] Text nach van Bennekom, J. G., Venderbosch, R. & Heeres, H. J. (2013, 01. Januar). *Biomethanol from Glycerol*. https://www.researchgate.net/figure/Equilibria-in-methanol-synthesis-Approximate-conditions-are-given-for-i-conventional_fig10_258733433 (Zugriff am: 18.03.2024)
- [2] Haynes, W., Lide, D. R. & Bruno, T. J. (2014). *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (95. Aufl.). Taylor & Francis.
- [3] Reichert, J., Maerten, S., Meltzer, K., Tremel, A., Bladauf, M. & Wasserscheid, P., Albert, J. (2019, 16. September). *Shifting the equilibrium of methanol synthesis from CO2 by in situ absorption using ionic liquid media*. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/se/c9se00494g/unauth> (Zugriff am: 18.03.2024)
- [4] Dieterich, V., Buttler, A., Hanel, A., Spliethoff, H. & Fendt, S. (2020, 13. August). *Power-to-liquid via synthesis of methanol, DME or Fischer-Tropsch fuels: a review*. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/ee/d0ee01187h> (Zugriff am: 18.03.2024)

2 Material

Material 1: Methanol-Synthese aus Wasserstoff und verschiedenen Kohlenstoffoxiden [1]

Methanol ist eine wichtige Grundchemikalie, die auch direkt als Treibstoff verwendet werden kann. Methanol wird großtechnisch über zwei Synthesewege produziert. Bei der konventionellen Synthese wird Methanol aus Kohlenstoffmonooxid und Wasserstoff bei einer Temperatur von 200–300 °C und einem Druck von 5–10 MPa hergestellt. Beim Hochdruckverfahren (15–25 MPa), das z. B. das Unternehmen BASF anwendet, wird statt Kohlenstoffmonooxid Kohlenstoffdioxid verwendet und es entsteht als Nebenprodukt Wasser (BASF-Prozess). Die Temperatur liegt hierbei zwischen 300–360 °C.

Material 2: Umsetzung des Synthesegases [1]

In beiden Fällen wird die Produktausbeute durch die Wahl der Reaktionsbedingungen beeinflusst.

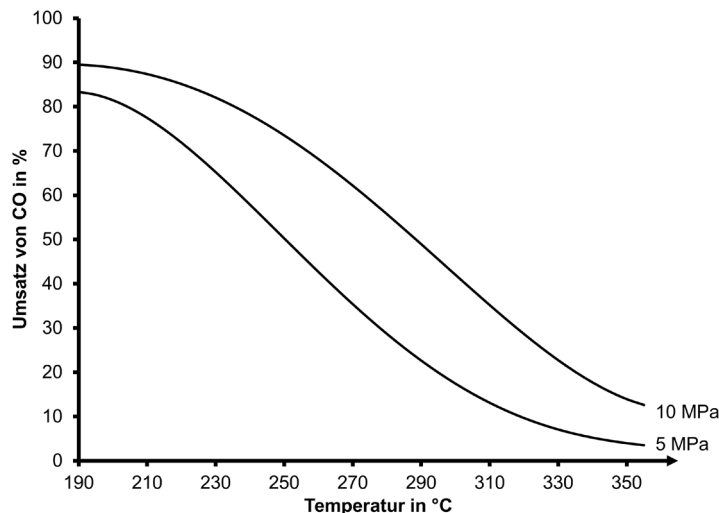


Abb. 1: umgesetztes Kohlenstoffmonooxid bei der konventionellen Methode

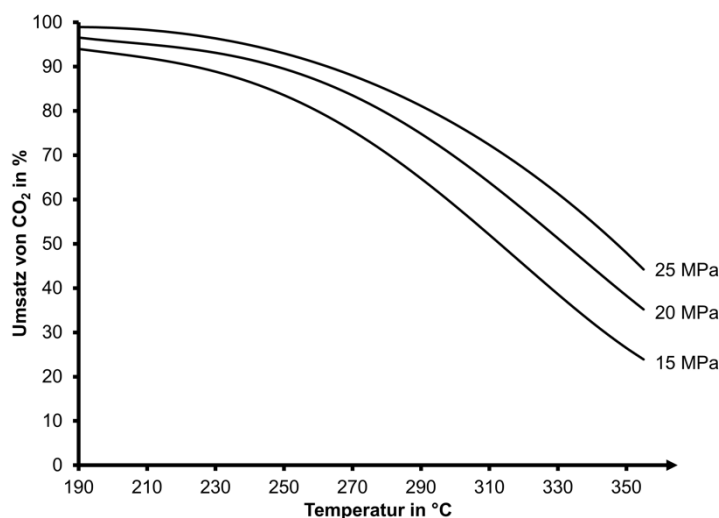


Abb. 2: umgesetztes Kohlenstoffdioxid beim BASF-Prozess

Material 3: Thermodynamische Größen [2]

Tab. 1: Ausgewählte thermodynamische Größen (für $T = 298,15 \text{ K}$ und $p = 101,325 \text{ kPa}$)

Verbindung	CO(g)	CO ₂ (g)	H ₂ O(l)	H ₂ O(g)	CH ₃ OH(g)	CH ₃ OH(l)
$\Delta_f H^\circ$ in $\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$	-110,53	-393,51	-285,83	-241,83	-201,00	-239,2

Material 4: Großtechnischer Prozess zur Methanol-Synthese [3]

Die Methanol-Ausbeute ist bei allen Synthesemethoden durch die Lage des chemischen Gleichgewichts begrenzt. Um die Ausbeute zu erhöhen, werden in diesem Fall die Produkte mithilfe eines Lösungsmittels kontinuierlich entfernt. Bei der Auswahl des Lösungsmittels muss unter anderem die Siedetemperatur berücksichtigt werden.

Die Siedetemperatur von Methanol beträgt $\vartheta_v = 64,7^\circ \text{C}$.

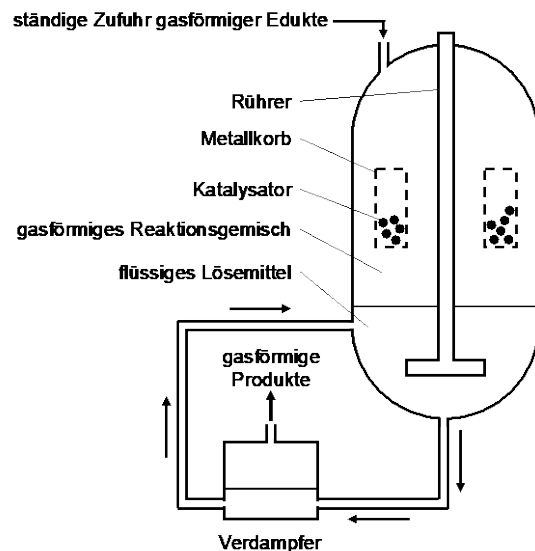
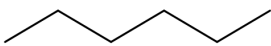
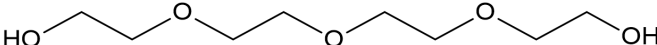


Abb. 3: schematische Darstellung einer großtechnischen Methanol-Synthese

Tab. 2: Zur Verfügung stehende Lösungsmittel [2]

Lösungsmittel	Siedetemperatur ϑ_v in $^\circ \text{C}$ bei $p = 101,325 \text{ kPa}$	Skelettformel
n-Hexan	69	
Tetraethylenglycol	315	

Material 5: Treibstoffe [4]

Methanol ($M(\text{CH}_3\text{OH}) = 32,0 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$) kann in speziellen Verbrennungsmotoren direkt als Treibstoff verwendet werden oder lässt sich im sogenannten MtG-Verfahren, Methanol to Gasoline (Methanol zu Benzin), zu MtG-Benzin verarbeiten. Bei diesem energieaufwendigen Verfahren entsteht ein Gemisch, das zum größten Teil Alkane wie z. B. Isomere des Octans ($M(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 114,0 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$) enthält.

Die Einsatzmöglichkeiten eines Treibstoffs hängen unter anderem von der volumetrischen und gravimetrischen Energiedichte ab (Abb. 4). Diese Größen geben an, wie viel Energie in einem bestimmten Volumen (volumetrische Energiedichte) bzw. einer bestimmten Masse (gravimetrische Energiedichte) eines Stoffes gespeichert ist. Im Fall von Brennstoffen handelt es sich dabei jeweils um die Energie, die bei der Verbrennung freigesetzt wird.

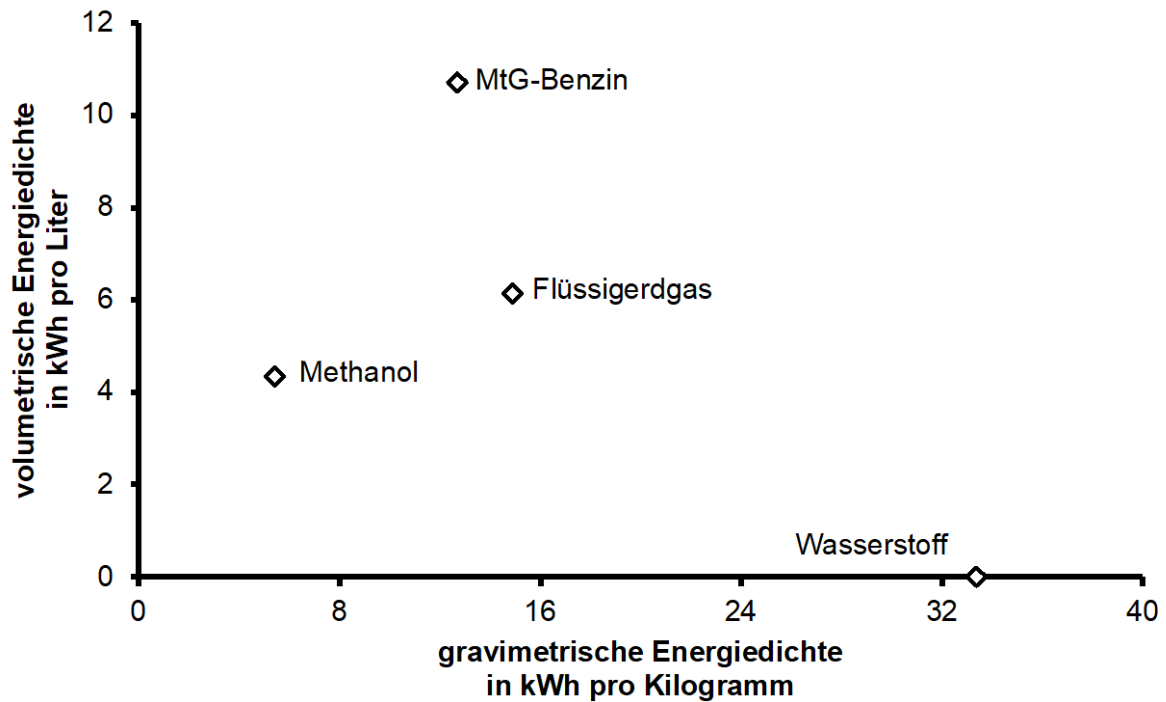


Abb. 4: volumetrische und gravimetrische Energiedichten

3 Erwartungshorizont

Der Erwartungshorizont stellt für jede Teilaufgabe eine mögliche Lösung dar. Nicht dargestellte korrekte Lösungen sind als gleichwertig zu akzeptieren.

		BE/AFB		
		I	II	III
1	<u>Formulierung der Reaktionsgleichung für die Methanol-Synthese:</u> ♦ konventionell: $\text{CO(g)} + 2 \text{H}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH(g)}$ <u>Angabe des Prinzips von Le Chatelier:</u> ♦ Nach dem Prinzip von Le Chatelier weicht ein im Gleichgewicht befindliches System einem äußeren Zwang so aus, dass der Zwang minimiert wird. <u>Begründung der Steuerungsmöglichkeit:</u> ♦ Aus Abb. 1 erschließt sich: Je höher der Druck bei gleicher Temperatur, desto höher der Anteil an umgesetzten Kohlenstoffmonoxid. ♦ Aus 3 mol gasförmigen Stoffen entsteht 1 mol eines gasförmigen Stoffes (Volumenabnahme der gasförmigen Stoffe). ♦ Eine Druckerhöhung führt zu einer höheren Produkt-Konzentration.	1 1 1	1 2	
2	<u>Ableiten der Änderung der Enthalpie beim BASF-Prozess:</u> ♦ Aus Abb. 2 erschließt sich: Bei höheren Temperaturen wird weniger Kohlenstoffdioxid umgesetzt. ♦ Verschiebung der Gleichgewichtslage auf die Edukt-Seite (Rückreaktion) ♦ Methanol-Bildung (Hinreaktion) ist exotherm, da die Rückreaktion bei Temperaturerhöhung bevorzugt abläuft, d. h. die Änderung der Enthalpie muss kleiner als Null sein. <u>Berechnung der Änderung der Enthalpie:</u> ♦ $\text{CO}_2\text{(g)} + 3 \text{H}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH(g)} + \text{H}_2\text{O(g)}$ $\Delta H = \left[1 \text{ mol} \cdot \Delta_f H^\circ (\text{H}_2\text{O}) + 1 \text{ mol} \cdot \Delta_f H^\circ (\text{CH}_3\text{OH}) \right]$ $- \left[1 \text{ mol} \cdot \Delta_f H^\circ (\text{CO}_2) + 3 \text{ mol} \cdot \Delta_f H^\circ (\text{H}_2) \right]$ $= -49,32 \text{ kJ}$ $\Delta H < 0$, d. h. exotherme Reaktion	1 1	2 1 1	

3	<u>Erklärung der Prozesse zur Nachbildung und Abtrennung von Methanol:</u> ♦ Durch ständige Zufuhr von Edukten und Lösen von Methanol im Lösungsmittel wird das Gleichgewicht zwischen Edukten und Produkten in der Gasphase kontinuierlich gestört. ♦ Nach Le Chatelier führen diese Prozesse zur Begünstigung der Hinreaktion und damit zu einer ständigen Nachbildung von Methanol. ♦ Das Stoffgemisch aus Lösungsmittel, Methanol (und Wasser) wird in den Verdampfer transportiert und dort werden die Produkte vom Lösungsmittel getrennt. <u>Diskussion zur Wahl des Lösungsmittels:</u> ♦ aufgrund der Löslichkeit: ♦ Methanol ist ein hydrophiler Stoff. ♦ Hexan ist hydrophob, d. h. Methanol löst sich nicht in Hexan. ♦ Tetraethylenglycol ist hydrophil, d. h. Methanol löst sich darin gut. ♦ aufgrund der Siedetemperatur: ♦ Im Verdampfer soll eine Abtrennung des Lösungsmittels erfolgen, daher muss die Siedetemperatur des Lösungsmittels höher sein, als die von Methanol. ♦ Die Siedetemperatur von Hexan entspricht ungefähr der Siedetemperatur von Methanol, d. h. es ist keine Abtrennung des Lösungsmittels im Verdampfer möglich. ♦ Die Siedetemperatur von Tetraethylenglycol liegt über der von Methanol, d. h. im Verdampfer geht nur Methanol in die Gasphase über. ♦ Tetraethylenglycol ist als Lösungsmittel geeignet, Hexan ist nicht geeignet.	1	1	
4	<u>Berechnung der Masse an Kohlenstoffdioxid:</u> ♦ Methanol $2 \text{CH}_3\text{OH} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$ $\frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{CH}_3\text{OH})} = \frac{1}{1}$ $n(\text{CO}_2) = n(\text{CH}_3\text{OH})$ $m(\text{CO}_2) = n(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2)$ $= n(\text{CH}_3\text{OH}) \cdot M(\text{CO}_2)$ $= \frac{m(\text{CH}_3\text{OH})}{M(\text{CH}_3\text{OH})} \cdot M(\text{CO}_2)$ $= \frac{1.000 \text{ g}}{32,0 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot 44,0 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ $= 1,38 \text{ kg}$	1	1	2

¹ Bei jeder Aufgabe liegen die Anzahlen der Bewertungseinheiten – abhängig vom Anforderungsniveau – in den Bereichen, die der folgenden Tabelle zu entnehmen sind:

9

4 Standardbezug²

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	8, 16		8, 10	
2	8, 17		8	
3	2		8, 10	6
4	17			
5		8	10	1, 13

5 Bewertungshinweise

Die Bewertung der erbrachten Prüfungsleistungen hat sich für jede Teilaufgabe nach der am rechten Rand der Aufgabenstellung angegebenen Anzahl maximal erreichbarer Bewertungseinheiten (BE) zu richten.

Für die Bewertung der Gesamtleistung eines Prüflings ist ein Bewertungsraster³ vorgesehen, das angibt, wie die in den drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

² Zu jeder Teilaufgabe sind zu jedem Kompetenzbereich die Nummern der Standards gemäß den Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife genannt, die zur Bearbeitung der Aufgabe erforderlich sind.

³ Das Bewertungsraster ist Teil des Dokuments „Beschreibung der Struktur“, das auf den Internetseiten des IQB zum Download bereitsteht.