

Energetik chemischer Reaktionen – Die SABATIER-Reaktionen

Ein Beitrag von Dr. Dietmar J. Abt und Dr. Verena Jannack



© vchal/iStock/Getty Images Plus

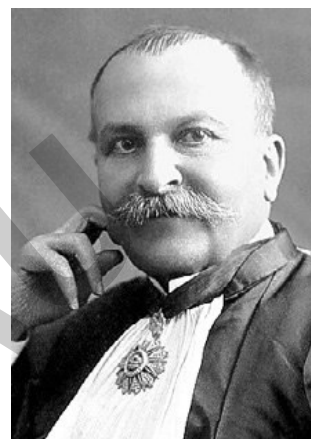
Die SABATIER-Reaktionen, auch Methanisierungen genannt, beschreiben die Umsetzung von Kohlenstoffmonooxid oder Kohlenstoffdioxid mit Wasserstoff zu Methan und Wasser. Die Bedeutung der Reaktionen, vor allem für die Energiewende und in der Raumfahrt-technik, wird in einer kurzen Hintergrund-Information für die Lehrkräfte umrissen. Es schließen sich Aufgaben für den Unterricht der Kursstufe an, mit einer Schwerpunktsetzung in den Bereichen chemische Energetik und Gleichgewichtsreaktionen. Aus der Mittelstufe werden das stöchiometrische Rechnen sowie der Nachweis von Redoxreaktionen mithilfe von Oxidationszahlen wiederholt. Die Aufgaben können direkt als Übungsaufgaben zur Klausur- und/oder Abiturvorbereitung eingesetzt werden. Sie können aber auch zu einer Klausuraufgabe umgestaltet werden.

Energetik chemischer Reaktionen – Die SABATIER-Reaktionen

Methodisch-didaktische Hinweise

Informationen zu den SABATIER-Reaktionen

Der SABATIER-Prozess, auch SABATIER-Reaktion oder Methanisierung genannt, ist nach dem französischen Chemiker PAUL SABATIER benannt. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts entdeckten PAUL SABATIER und JEAN-BAPTISTE SENDERENS die Reaktion von Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff mittels eines Katalysators zu Methan und Wasser. Im Jahre 1922 erhielten PAUL SABATIER und VICTOR GRIGNARD gemeinsam den Nobelpreis für Chemie. SABATIER für seine Forschungen zur metallkatalysierten Hydrierung. Da für die ersten Experimente häufig ein Kohlenstoffdioxid-Kohlenstoffmonoxid-Gemisch verwendet wurde, wird häufig auch die Methanisierung von Kohlenstoffmonoxid als SABATIER-Reaktion bezeichnet. Die Reaktionen wurden um 1910 in England versuchsweise bei der Stadtgas-Reinigung eingesetzt, setzten sich aber in diesem Bereich nicht durch. Auch zur großtechnischen Methanproduktion sind sie noch ungeeignet, da Methan derzeit kostengünstiger aus Erdgas gewonnen werden kann. Die Methanisierung spielt heute beispielsweise eine Rolle beim Entfernen von Kohlenstoffmonoxid-Spuren, die in manchen Prozessen als Katalysatorgift wirken. Dies ist zum Beispiel bei der Ammoniaksynthese im HABER-BOSCH Verfahren der Fall.



PAUL SABATIER
(1854–1941)

© Nobel Foundation/
wikimediacommens/
gemeinfrei gestellt

Der Beitrag des SABATIER-Prozesses zur Energiewende

Ein zentrales Problem bei der angestrebten Energiewende und der Umstellung von fossilen auf erneuerbare Energien ist die Speicherung von überschüssiger Energie, die durch die natürlichen Wind- und Wetterverhältnisse unabhängig vom Bedarf erzeugt wird. Mit Technologien die allgemein Power-to-X (PtX) genannt werden, wird versucht, überschüssigen elektrischen Strom zu speichern oder ihn anderweitig zu nutzen. Eines dieser

Teilprojekte wird mit dem Begriff Power-to-Gas (PtG) umschrieben. Es wird dabei das Ziel verfolgt, die elektrische Energie in ein speicherbares und brennbares Gas umzuwandeln. Hierbei wird beispielsweise der SABATIER-Prozess verwendet, um Methan zu produzieren, das dann als sogenanntes synthetisches Erdgas (Substitute Natural Gas SNG) ins vorhandene Erdgasnetz eingespeist werden kann. Methan kann in verschiedenen Bereichen verwendet werden, wie beispielsweise zum Betrieb von Gas-Fahrzeugen oder zu Heizzwecken. Der beim SABATIER-Prozess benötigte Wasserstoff wird durch Elektrolyse von Wasser erzeugt, wobei die hierfür benötigte elektrische Energie von regenerativen Energiequellen (z. B. Windenergie) zur Verfügung gestellt wird.

Die Bedeutung des SABATIER-Prozesses in der Raumfahrttechnik

Der SABATIER-Prozess wird derzeit auf der Internationalen Raumstation ISS eingesetzt. Dabei wird das von den Astronauten ausgeatmete Kohlenstoffdioxid mit Wasserstoff, der bei der Elektrolyse von Wasser entsteht, zur Reaktion gebracht. Das beim SABATIER-Prozess entstehende Wasser wird zurückgewonnen und erhöht so die Autarkie der Raumstation. Außerdem wurde die SABATIER-Reaktion als Möglichkeit identifiziert, um (bemannte) Mars-Missionen kostengünstiger zu gestalten. Für die Expeditionen vor Ort, und vor allem für den Rückflug bei bemannten Mars-Missionen, wird (Raketen-)Treibstoff benötigt, der ein Gemisch aus Methan und Sauerstoff darstellen kann. Mit dem SABATIER-Prozess und einer nachgeschalteten Wasserelektrolyse kann dieses Gemisch erzeugt werden. Der entscheidende Vorteil ist, dass das benötigte Kohlenstoffdioxid aus der Mars-Atmosphäre gewonnen werden kann und somit nur der wesentlich leichtere Wasserstoff von der Erde mitgebracht werden muss. Die Forschung ist jedoch noch damit beschäftigt diesen Prozess zu optimieren, da das beschriebene Verfahren nicht das benötigte stöchiometrische Verhältnis im Raketentreibstoff liefert. An den Polkappen des Mars befinden sich gefrorenes Kohlenstoffdioxid („Trockeneis“) und gefrorenes Wasser („Wassereis“). Es könnte auch sein, dass flüssiges Wasser auf dem Mars existiert. Alle Atome, die für die Herstellung von Raketentreibstoff benötigt werden, dürften demnach in ausreichender Menge auf dem Mars vorhanden sein und müssten deshalb nur für den Hinflug mitgenommen werden.

M 2 Anwendung in der Raumfahrt

Aufgaben

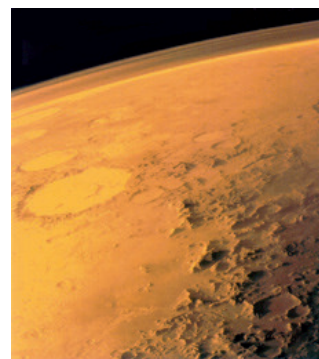
1. Der SABATIER-Prozess wird zurzeit auf der Internationalen Raumstation ISS eingesetzt. Dabei wird das von den Astronauten ausgeatmete Kohlenstoffdioxid mit Wasserstoff, der bei der Elektrolyse von Wasser entsteht, zur Reaktion gebracht. Das beim SABATIER-Prozess entstehende Wasser wird zurückgewonnen und erhöht so die Autarkie der Raumstation.



Hinweis: Für die Berechnungen werden $T = 20\text{ °C}$ und $p = 1013\text{ hPa}$ zugrunde gelegt. Für eine Mission soll eine ISS-Besatzung mit 3 Astronauten 90 Tage auf der Raumstation sein. Es wird angenommen, dass jeder Mensch täglich 500 l Kohlenstoffdioxid ausatmet ($\rho(\text{CO}_2) = 1,83\text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$).

- a) **Berechnen** Sie das Volumen an flüssigem Wasser ($\rho = 998\text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$), das aus der Atemluft zurückgewonnen werden kann.
- b) Das beim SABATIER-Prozess auf der ISS entstehende Methangas wird als „Abfall-Stoff“ ins All abgelassen. **Berechnen** Sie die Masse des bei dieser Mission ins All abgegebenen Methans.
2. Als entscheidender Faktor zur Kostenreduktion von (bemannten) Mars-Missionen wurde der SABATIER-Prozess mit nachgeschalteter Wasser-Elektrolyse identifiziert. Damit kann ein Gemisch aus Methan und Sauerstoff erzeugt werden, das als (Raketen-)Treibstoff für Expeditionen vor Ort, aber vor allem für den Rückflug benötigt wird.

- a) **Formulieren** Sie die Reaktionsgleichungen zur Herstellung des (Raketen-)Treibstoff-Gemisches aus Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff.
- b) Der nebenstehende Info-Kasten beinhaltet die Zusammensetzung der Mars-Atmosphäre. **Geben** Sie **an**, welche Edukte für die Treibstoff-Synthese vorhanden sind und welche von der Erde mitgebracht werden müssen. **Erläutern** Sie, inwiefern dieser Sachverhalt eine Kostenreduktion für Mars-Missionen darstellen kann.



© NASA/ wikimediacommens/
gemeinfrei gestellt

Die Atmosphäre des Mars besteht hauptsächlich aus Kohlenstoffdioxid (ca. 95 %), Stickstoff (ca. 2 %) und Argon (ca. 2 %). Außerdem enthält sie geringe Mengen an Wasser (gasförmig), Sauerstoff, Kohlenstoffmonooxid, Wasserstoff und weitere Edelgase.