

Audi-e-gas-Anlage Werlte



Name: Madlon Helena Herok

Fachlehrer: Herr Kossen

Inhalt

1 Einleitung	- 3 -
2 Anlage in Werlte	- 3 -
3 Elektrolyseverfahren.....	- 4 -
3.1 Regenerativer Strom.....	- 4 -
3.1.1 Strom durch Windenergie.....	- 5 -
3.1.2 Strom durch Photovoltaik.....	- 5 -
3.2 Aufbau der Elektrolyse	- 6 -
4 Methanisierung	- 8 -
4.1 Biogasanlagen	- 9 -
4.1.1 Aufbau der Biogasanlagen	- 9 -
5 Energetische Berechnungen	- 10 -
6 Zukunftspotenzial und Alltagstauglichkeit	- 11 -
7 Fazit	- 12 -
8 Quellenverzeichnis	- 13 -

1 Einleitung

Forscher versuchen schon seit vielen Jahrzehnten, neue erneuerbare Energiequellen zu schaffen. Dabei liegt der Fokus oft auf Strom beziehungsweise elektrischer Energie, die zum Beispiel aus Windkraft- oder Photovoltaikanlagen gewonnen wird. Dabei ist Elektrizität nur eine Art von Energie. Flüssige Energieträger, wie Erdöl und Erdgas machen ebenso einen großen Teil des Endenergieverbrauchs aus, weshalb es weiterhin zur Förderung von fossilem Erdöl und Erdgas kommt. Bei der Verbrennung dieser Energieträger gelangt das vor vielen Jahrtausenden gespeicherte Kohlenstoffdioxid wieder in die Atmosphäre und trägt zum Klimawandel bei. Zudem ist es bereits möglich, diese Energieträger synthetisch herzustellen. Eines dieser Verfahren ist das power-to-gas-Verfahren, welches in der Audi-e-gas-Anlage in Werlte durchgeführt wird¹.

2 Anlage in Werlte

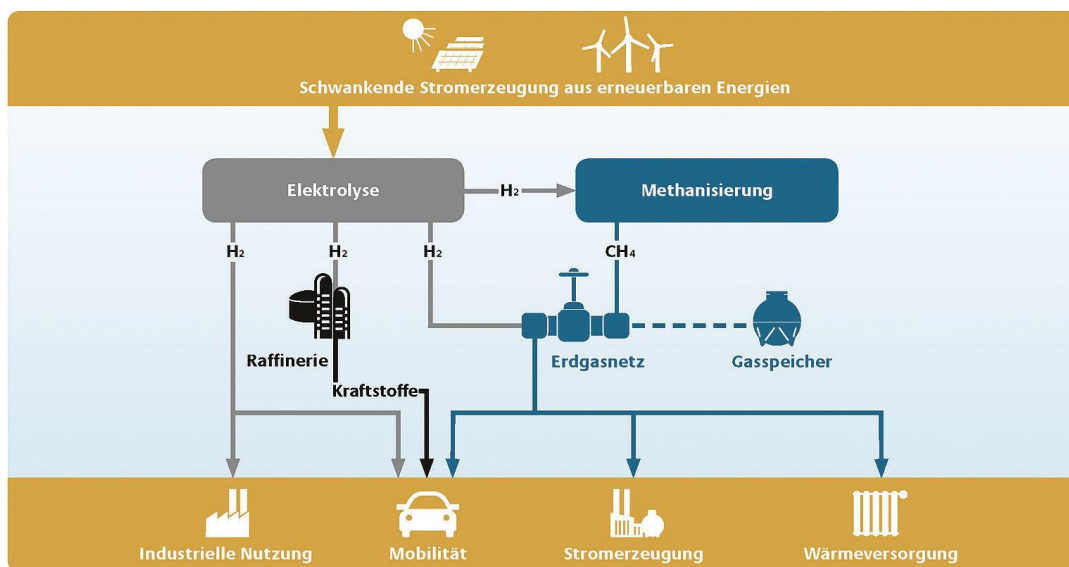


Abb.1: Überblick Audi-e-gas-Anlage

In der Audi-e-gas-Anlage in Werlte in Niedersachsen, die im Juni 2013 eröffnet wurde, wird Methan synthetisiert und in das Erdgasnetz wieder eingeleitet oder in einem speziellen Gasspeicher gespeichert, um es zu einem späteren Zeitpunkt wieder durch Verbrennung in elektrische Energie umzuwandeln. Die Herstellung erfolgt in zwei Schritten: Zuerst wird Wasserstoff mittels einer Elektrolyse hergestellt, das im Folgeschritt mit Kohlenstoffdioxid zu Methan reagiert (siehe Abb.1). Dieses Verfahren ist techno-

¹ Vgl. Audi-e-gas-project: Internetseite

logisch sehr innovativ, da man aus Kohlenstoffdioxid wieder Methan herstellt. Insgesamt werden so etwa 1000 Tonnen Methan pro Jahr produziert, wodurch ungefähr 2800 Tonnen Kohlenstoffdioxid umgewandelt werden.² Dieses wird nach dem Verbrauch zwar wieder in die Atmosphäre freigesetzt, hat aber seinen Zweck als Energielieferant damit erfüllt und wurde nicht direkt ausgestoßen, sondern noch verwendet. Das Ziel ist es, CO₂-neutral Energie zur Verfügung zu stellen. Außerdem können so die Überangebote durch regenerative elektrische Energie effizient genutzt und vor allem gespeichert werden und zu einem späteren Zeitpunkt, wenn nur wenig regenerativer Strom entsteht, wieder in Elektrizität umgewandelt werden. Auf langfristige Sicht soll der Energieträger, zumindest in der Automobilbranche, Wasserstoff werden, da bei dessen Verbrennung im Brennstoffzellen-Motor gar kein Kohlenstoffdioxid frei wird. Momentan ist das Wasserstoffnetz allerdings noch nicht so weit ausgebaut, dass dies möglich wäre. Außerdem wird auch immer weiter Methan gebraucht, nicht zwangsläufig als Treibstoff für Kraftfahrzeuge, sondern vor allem auch um Wärme oder Strom zu gewinnen.³

3 Elektrolyseverfahren

Der erste Schritt in der Audi-e-gas-Anlage in Werlte ist die Elektrolyse, mittels welcher notwendiges Wasserstoff erzeugt wird.

3.1 Regenerativer Strom

Eine Elektrolyse funktioniert nur mit Elektrizität, da man einen Plus- und einen Minuspol anlegen muss. Am Pluspol herrscht ein relativer Elektronenmangel und am Minuspol ein relativer Elektronenüberschuss, dies wird durch eine Stromquelle erzeugt. Der Strom für gewöhnliche Elektrolyseanlagen wird oft einfach aus dem allgemeinen Stromnetz bezogen, welcher sowohl aus regenerativen Quellen, als auch aus konventionellen Quellen gewonnen wird⁴, nicht aber bei der Elektrolyseanlage in Werlte. Hier wird der Strom aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen. Diese sind zum Beispiel Wind- und Sonnenenergie, welche die Anlage in Werlte dann bezieht, wenn ein Überangebot vorliegt.⁵ Das heißt, dass mehr Strom erzeugt wird, als benötigt wird. Dies ist

² Vgl. Audi-e-gas-project: Internetseite

³ Ebd.

⁴ Vgl. Stromaufteilung nach Energieträgern: Internetseite

⁵ Vgl. Audi-e-gas-project: Internetseite

zum Beispiel in windigen Nächten der Fall, da nachts allgemein nur wenig Strom genutzt wird, jedoch durch den Wind viel Energie erzeugt werden kann.

3.1.1 Strom durch Windenergie

In Windkraftanlagen wird mithilfe von Wind Strom erzeugt. Die meisten dieser Windkraftanlagen findet man in den sogenannten Windparks, die sich oft in Küstennähe oder im offenen Meer (Offshore-Anlagen) befinden. Um Strom zu gewinnen, muss die kinetische Energie (Bewegungsenergie), die durch den Wind auf die Rotorblätter der Windkraftanlage wirkt, in elektrische Energie (Strom) umgewandelt werden. Dies geschieht, indem die kinetische Energie des Windes auf die Rotorblätter wirkt, die durch diese Energie einen innenliegenden Rotor zum Drehen bringen. Im Folgeschritt wird die umgewandelte Energie des Rotors (Rotationsenergie) an einen Generator weitergeleitet, der die eingehende Energie in elektrische Energie umwandelt, welche dann in das Stromnetz eingespeist werden kann.⁶

3.1.2 Strom durch Photovoltaik

Bei Photovoltaikanlagen wird die Energie der Sonne genutzt, um Strom zu erzeugen. Einfach gesagt entsteht der Strom, indem Licht auf die Solarzellen fällt. Mehrere Solarzellen sind dabei zu größeren Solarmodulen verschaltet. Bei allen entsteht zunächst Gleichstrom. Da aber Wechselstrom von größerem Nutzen ist, muss der Gleichstrom durch den Wechselrichter im Solargenerator zu Wechselstrom umgewandelt werden. Fast alle Photovoltaikanlagen bestehen aus Silizium, welches in der Erdschicht als eines der häufigsten natürlich vorkommenden Elemente gilt. Die Ober- und Unterseite der Scheibe müssen mit anderen Elementen, wie Bor oder Phosphor, beschichtet werden. Wenn Licht auf die Siliziumscheibe fällt, werden dabei Elektronen frei. Durch die Beschichtungen werden die abgespaltenen Elektronen und Atomkerne (Protonen und Neutronen) voneinander getrennt. So entstehen ein Plus- und ein Minuspol, wodurch der Strom quasi wie aus einer Batterie fließen kann.⁷

⁶ Vgl. Strom aus Windkraftanlagen: Internetseite

⁷ Vgl. Photovoltaikanlagen: Internetseite

3.2 Aufbau der Elektrolyse

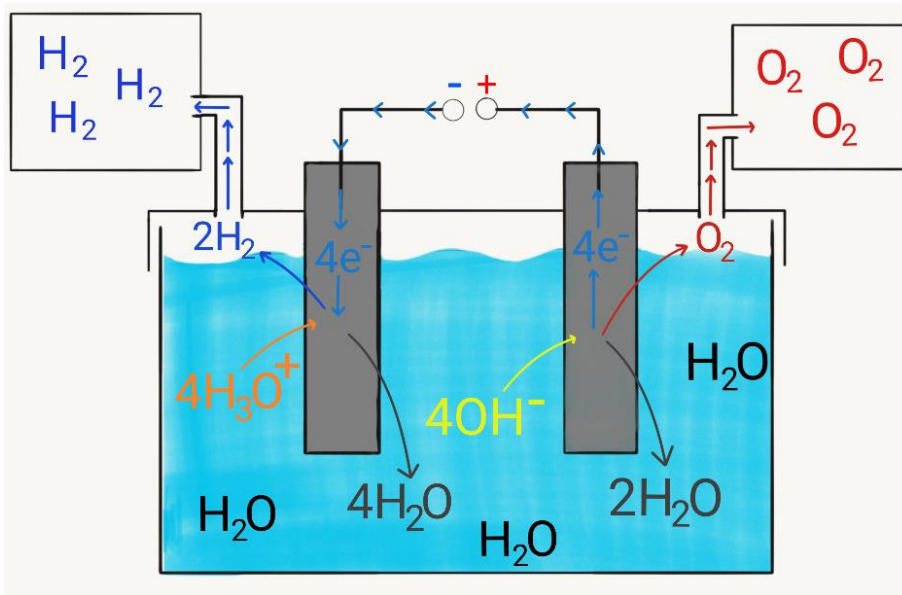
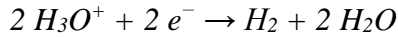


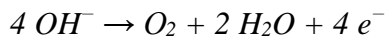
Abb. 2: Elektrolyse von Wasser

In der Audi-e-gas-Anlage in Werlte wird Wasserstoff benötigt, der durch die Elektrolyse von Wasser hergestellt wird. Dabei entstehen gasförmiger Wasserstoff und gasförmiger Sauerstoff. Da ein Wasser-Molekül aus zwei Wasserstoffatomen und nur einem Sauerstoffatom besteht, entsteht auch bei der Elektrolyse immer doppelt so viel Wasserstoff wie Sauerstoff. Damit sich überhaupt Wasserstoff und Sauerstoff bilden, muss man eine Spannungsquelle anlegen, das heißt einen Plus- und einen Minuspol anlegen. Allerdings ist reines Wasser sehr reaktionsträge und reagiert kaum bis gar nicht. Dies liegt vor allem an der mangelnden Leitfähigkeit. Deshalb müssen noch andere Bestandteile hinzugefügt werden. Wenn man ausschließlich Wasserstoff herstellen möchte, könnte man dazu Kochsalz als Elektrolyt einsetzen. Dann entsteht nämlich Wasserstoff an der Kathode, an der Anode allerdings auch Chlor, wodurch der Sauerstoff nicht als reines Gas vorliegt und nicht zur Weiterverarbeitung genutzt werden kann. Deshalb wird in großtechnischen Anlagen, wie der in Werlte, hochkonzentrierte Kaliumhydroxid-Lösung verwendet. Wenn sich dieses Salz in Wasser löst, entstehen Kalium-Ionen, die relativ reaktionsträge sind und somit nicht an der Reaktion teilnehmen und Hydroxid-Ionen, die an der Anode dafür sorgen, dass Sauerstoff entsteht. Wasser besteht nie nur aus Wasser-Molekülen, da durch die Autoprotolyse des Wassers immer auch Oxonium-Ionen und Hydroxid-Ionen vorliegen. Die Oxonium-Ionen werden dank ihrer positiven Ladung im elektrischen Feld zur Kathode gezogen und reagieren während der Elektrolyse am Minuspol zu Wasserstoff und Wasser, indem

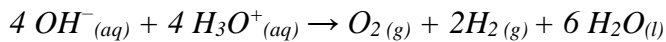
sie ihre positive Ladung ausgleichen und jeweils ein Elektron aufnehmen. An der Kathode findet eine Reduktion statt, die mit folgender Teilgleichung beschrieben werden kann:



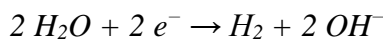
Der dabei entstehende gasförmige Wasserstoff, geht in die Gasphase über und wird aufgefangen, damit man ihn weiterverwenden kann. Das dabei entstehende flüssige Wasser beziehungsweise die dabei entstehenden Hydroxid-Ionen gelangen zurück in die Lösung. Im Anodenraum werden negativ geladene Hydroxid-Ionen im elektrischen Feld zur Anode gezogen. Der Elektronenmangel an der Elektrode sorgt dafür, dass die Hydroxid-Ionen jeweils ein Elektron abgeben. Dadurch entsteht Sauerstoff und Wasser. An der Anode findet eine Oxidation statt, die mit folgender Teilgleichung beschrieben werden kann:



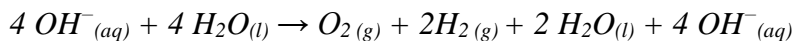
Als Gesamtgleichung ergibt sich dann Folgendes:



Da es sich aber um eine alkalische Lösung handelt, da hochkonzentrierte Kaliumhydroxid-Lösung als Leitmittel hinzugegeben wurde, liegen weniger Oxonium-Ionen vor. Deshalb kommt es an der Kathode außerdem dazu, dass ein Wasser-Molekül ein Elektron aufnimmt und zu einem Hydroxid-Ion und einem Wasserstoffatom reduziert wird. Diese Reduktion an der Kathode kann mit folgender Teilgleichung beschrieben werden:



Dadurch würde sich die Gesamtgleichung wie folgt ändern:



Zwei Produkte aus der Elektrolyse sind folglich gasförmiger Wasserstoff und gasförmiger Sauerstoff.⁸ Der entstandene Wasserstoff wird für die Methanisierung benötigt (siehe Kapitel 4). Der Sauerstoff, der bei der Elektrolyse entsteht, wird allerdings nicht

⁸Vgl. Elektrolyse von Wasser: Internetseite

im Zuge des power-to-gas-projects benötigt. Damit trotzdem ein Nutzen daraus gezogen wird, setzt man ihn nicht einfach in die Atmosphäre frei, sondern verwendet ihn für andere Zwecke, wie zum Beispiel zutreffend die Beatmung in der Medizin.

4 Methanisierung

Der zweite Schritt in der Audi-e-gas-Anlage in Werlte ist die Methanisierung. Hier wird Kohlenstoffdioxid mit Wasserstoff zu Methan umgesetzt, welches erneut als Kraftstoff und Energieträger dient.

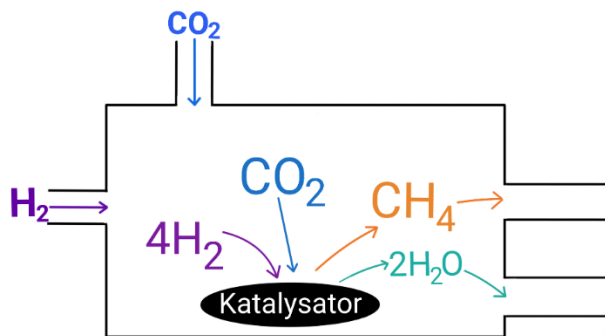
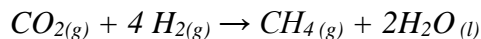


Abb. 3: Methanisierungsanlage

Um aus Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid Methan zu synthetisieren, ist ein Katalysator erforderlich. Dieser bewirkt, dass sich die beiden Sauerstoffatome des Kohlenstoffdioxid-Moleküls an jeweils zwei Wasserstoffatome binden und damit jeweils ein Wasser-Molekül bilden. Dazu müssen zuerst die Wasserstoff-Moleküle in die einzelnen Wasserstoffatome aufgespalten werden, wofür ebenfalls Katalysatoren genutzt werden. An das somit freie Kohlenstoffatom lagern sich dann vier Wasserstoffatome an, wodurch sich ein Methan-Molekül bildet. Dieser Vorgang kann durch folgende Reaktionsgleichung beschrieben werden:



Das Methan ist dann der fertige Treibstoff, der in das Erdgasnetz eingespeist werden kann. Das dabei entstehende Wasser kann erneut elektrolysiert werden, wodurch sich auch hier eine Art Kreislauf bildet. Das zur Methanisierung verwendete Kohlenstoffdioxid stammt aus einer Biogasanlage, da bei der Herstellung von Methan in Biogasanlagen immer etwa ein Drittel Kohlenstoffdioxid entsteht und nur zwei Drittel Methan.

4.1 Biogasanlagen

In Biogasanlagen werden organische Materialien, wie Pflanzenreste und vor allem Energiepflanzen oder Gülle in methanhaltiges Biogas umgewandelt, aus dem Strom, Wärme und Treibstoff gewonnen werden können. Vor allem werden auch Energiepflanzen wie zum Beispiel Mais beigefügt, um den Energieertrag zu erhöhen. In der Biogasanlage, die als Kohlenstoffdioxid-Lieferant für die Methanisierung in der Audi-e-gas-Anlage in Werlte dient, werden ausschließlich Reste verwendet, die ohnehin nicht gebraucht werden und keine ausschließlich dafür angebauten Pflanzen. Das liegt daran, dass es als ethisch nicht vertretbar gehalten wird, Pflanzen zu benutzen, um Treibstoff herzustellen, wenn man die Pflanzen oder die dafür benötigte Ackerfläche ebenfalls zur Nahrungsmittelproduktion verwenden kann.⁹

4.1.1 Aufbau der Biogasanlagen

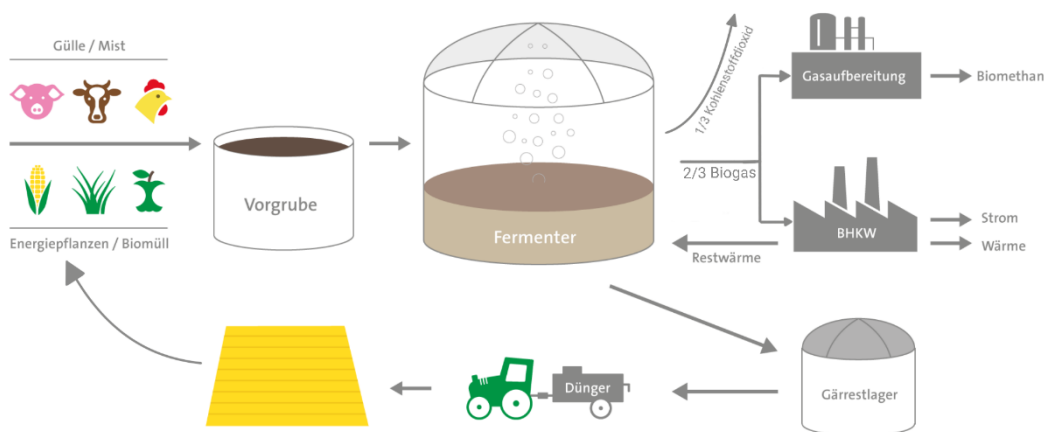


Abb. 4: Aufbau von Biogasanlagen

In Biogasanlagen wird Biomasse benötigt. Diese ist zumeist Reststoffe aus organischem Material, welches in der Landwirtschaft in großen Mengen anfällt, da sowohl tierische Abfälle wie Gülle, als auch pflanzliche Abfälle wie Pflanzenreste als Substrat geeignet sind. Wichtig dabei ist nur, dass das Substrat unter anaeroben Bedingungen, also unter Ausschluss von Sauerstoff, vergären kann. Oft werden auch speziell für Biogasanlagen Pflanzen, wie Mais oder Getreide, gezüchtet, die dann als Ganzes verarbeitet werden. Dadurch erhöht sich der Energieertrag aus den Biogasanlagen. In jedem Fall wird das verwendete Substrat zuerst in der sogenannten Vorgrube gesammelt. Diese Vorgruben können Silos, Güllegruben oder andere Annahmestellen sein, die mit

⁹ Vgl. Audi-e-gas-project: Internetseite

Sortierungs- und Reinigungssystemen für die jeweiligen Substrate verbunden sind. Die Vorgruben haben nicht nur die reine Lagerfunktion, sondern dienen ebenso zur Trennung und Aufbereitung der Biomasse. Am Beispiel der Gülle, die ein tierisches Produkt ist und Krankheitserreger enthalten kann, heißt das, dass zunächst alle potentiellen Erreger abgetötet werden müssen. Dies ist ein Schritt, der der Vorgrube nebenschaaltet ist. Der wichtigste Schritt bei einer Biogasanlage findet in Fermenter statt. Hier wird die Biomasse aus der Vorgrube möglichst gleichmäßig eingeleitet. Im Fermenter wird das Substrat dazu gebracht unter Ausschluss von Sauerstoff und mithilfe von Bakterien und Enzymen zu vergären. Damit die Biomasse vergärt, muss der Fermenter verschiedene Anforderungen erfüllen, und zwar, dass er gas- und wasserdicht und lichtundurchlässig ist, da die Bakterien und Enzyme das Substrat sonst nicht zersetzen können. Werden diese Bedingungen erfüllt, kann der Gärungsprozess stattfinden. Dieser läuft mithilfe der Mikroorganismen ab, die das Gärsubstrat zersetzen, wodurch das Biogas als Produkt anfällt.¹⁰

5 Energetische Berechnungen

Wie bereits erwähnt, wird für die Elektrolyse Energie in Form von elektrischer Energie benötigt, da man eine Spannung anlegen muss, damit die Reaktion überhaupt stattfindet. Dies zeigt sich auch in der Reaktionsenthalpie:

Bei der Reaktion die durch folgende Reaktionsgleichung beschrieben werden kann $4OH^-_{(aq)} + 4H_3O^+_{(aq)} \rightarrow O_{2(g)} + 2H_{2(g)} + 6H_2O_{(l)}$ wird die Reaktionsenthalpie wie folgt berechnet:

$$\Delta H_R = 6 \cdot (-286 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - (4 \cdot (-230 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) + 4 \cdot (-286 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1})) = 348 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Da das Ergebnis positiv ist, handelt es sich um eine endotherme Reaktion, das heißt, dass Energie zugeführt werden muss. Hier sieht man, dass es wichtig ist, dass der Strom für die Elektrolyse aus regenerativen Quellen stammt, da die genutzte Energie andernfalls nicht nachhaltig produziert würde und das Verfahren des Audi-e-gas-projects somit weniger nachhaltig wäre, als direkt Erdöl zu verwenden. Das liegt vor allem daran, dass der Strom aus konventionellen Quellen zum Teil durch die Verbrennung von Erdöl und Kohle erzeugt wird¹¹, weshalb es nicht nachhaltig und nicht sinnvoll wäre, diesen zu beziehen.

¹⁰ Vgl. Biogasanlagen: Internetseite

¹¹ Vgl. Stromaufteilung nach Energieträgern: Internetseite

Bei der Methanisierung wird in der Bilanz Energie frei. Die Reaktionsenthalpie für die Reaktion $CO_{2(g)} + 4 H_{2(g)} \rightarrow CH_{4(g)} + 2H_2O_{(l)}$ lässt sich wie folgt berechnen:

$$\Delta H_R = -74,85 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 2 \cdot (-286 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - (-393,5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) \approx -253 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Das Ergebnis ist negativ, das heißt, dass es sich um eine exotherme Reaktion handelt. Dabei wird also Energie, hier in Form von Wärme, frei. Diese Wärme wird ebenfalls genutzt, um zum Beispiel die Biogasanlage mit Wärme zu versorgen. Insgesamt wird aber weniger Energie frei, als bei der Elektrolyse hinzugeführt werden muss, denn um bei der Elektrolyse vier Wasserstoffmoleküle zu erhalten, welche bei der Methanisierung benötigt werden, muss die Reaktion zweimal ablaufen. Es muss also die doppelte Menge an Energie zugeführt werden. Es werden also $696 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ benötigt, um so viel Wasserstoff herzustellen, dass die Methanisierung ablaufen kann. Dabei werden aber nur $253 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ frei. In der Bilanz werden also $443 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ benötigt.

6 Zukunftspotenzial und Alltagstauglichkeit

Der in der Audi-e-gas-Anlage in Werlte stattfindende Prozess ist sehr innovativ, da es fast möglich ist Energie in Form von Methan CO_2 – neutral zu verbrauchen. Auf langfristige Sicht kann so der allgemeine CO_2 – Ausstoß erheblich verringert werden. Das Verringern von Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre würde dazu führen, dass dem Klimawandel entgegengewirkt wird, da dieses Gas ein Treibhausgas ist und deshalb zur Erwärmung der Luft auf der Erde führt, wodurch der Klimawandel gefördert wird. Dadurch, dass in der Theorie nicht noch mehr Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre abgegeben wird, sondern eine Art Kohlenstoff-Kreislauf entsteht, würde der Klimawandel zumindest nicht weiter gefördert werden. Wenn man also zum Beispiel mit einem Auto fährt, dessen Treibstoff e-gas ist, wird zwar Kohlenstoffdioxid ausgestoßen, allerdings wird es von den Pflanzen, die für die Zersetzung in der Biogasanlage anfallen, wiederaufgenommen und dann zunächst in der Biogasanlage in Methan umgewandelt. Das restliche Kohlenstoffdioxid, welches ebenfalls als Produkt in der Biogasanlage anfällt, wird in der Audi-e-gas-Anlage in Werlte dann ebenfalls wieder zu Methan umgewandelt. Das gesamte Methan wurde dann quasi aus Kohlenstoffdioxid gewonnen und kann erneut als Treibstoff oder Ähnliches dienen. Momentan gibt es jedoch nicht nur Kraftfahrzeuge, die mit Methan betrieben werden, sondern vor allem solche, die Benzin oder Diesel als Treibstoff benötigen. Diese lassen sich aber ebenfalls synthetisch herstellen. Dann spricht man von den sogenannten e-fuels. Vor allem

e-gas beziehungsweise Methan wird aber auch für andere Zwecke genutzt, wie zum Beispiel für die Erzeugung von Wärme oder Strom. Selbst wenn irgendwann alle Kraftfahrzeuge elektrisch oder mit Brennstoffzellen-Motoren fahren sollten, gäbe es dennoch einen Nutzen für Methan. Hier muss allerdings die Bedingung sein, dass der Strom für die Elektrolyse aus regenerativen Quellen stammt.

7 Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Umwandlung von Kohlenstoffdioxid in Methan ein sehr sinnvoller und vor allem nachhaltiger Schritt in Richtung Klimaneutralität ist. Auch wenn dieses Verfahren komplexer ist, als die einfache Förderung von Erdgas, ist es in Bezug auf die Zukunft notwendig. Gerade auch, da immer mehr Elektrizität aus regenerativen Quellen gewonnen wird, ist dies eine sinnvolle Möglichkeit, Überkapazitäten effektiv zu nutzen. Außerdem wird in diesem Verfahren mit bereits vorhandenen Mitteln gearbeitet und es ist zunächst nicht nötig, komplexe Versorgungsnetze zu errichten. Wenn man nun noch bedenkt, dass auch größere Moleküle, wie die des Benzins synthetisiert werden können, lässt sich sagen, dass zukünftig möglicherweise gar kein Erdgas beziehungsweise Erdöl mehr gefördert werden muss.

8 Quellenverzeichnis

8.1 Internetquellen

- „Audi-e-gas-project“
<https://www.audi-technology-portal.de/de/mobilitaet-der-zukunft/audi-future-lab-mobility/audi-future-energies/audi-e-gas>, aufgerufen am 08.02.2021;
13.02.2021
- „Stromaufteilung nach Energieträgern“
<https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/Erzeugung/Tabellen/bruttostromerzeugung-laender.html>, aufgerufen am
10.02.2021
- „Strom aus Windkraftanlagen“
<https://www.welt.de/wirtschaft/energie/specials/wind/article8780757/So-erzeugen-Windkraftanlagen-Strom-aus-Wind.html>, aufgerufen am 10.02.2021
- „Photovoltaikanlagen“
<https://www.solaranlagen-abc.de/funktion-photovoltaik/>, aufgerufen am
18.02.2021
- „Elektrolyse von Wasser“
<https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Wasserelektrolyse>, aufgerufen am
14.02.2021
- „Biogasanlagen“
https://www.exacon-gmbh.de/genius_lounge/Biogasanlage_Aufbau_und_Funktion/, aufgerufen am 19.02.2021

8.2 Abbildungen

- Titelblatt Bild: „Erdgas / e-gas“, eigene Darstellung
- Titelblatt Logo: „Marianum Logo“, <https://iserv-marianum.de/iserv/logo/logo.png>
- Abb.1: „Überblick Audi-e-gas-Anlage“, zugeschnitten nach: https://media.energie-stellenmarkt.de/uploads/2017/06/dena_Anwendungsfelder_PowertoGas-696x419.jpg
- Abb.2: „Elektrolyse von Wasser“, eigene Darstellung
- Abb.3: „Methanisierungsanlage“, eigene Darstellung
- Abb.4: „Aufbau von Biogasanlagen“, verändert nach: https://www.sw-kassel.de/fileadmin/_processed_/f/f/csm_biogasanlage-01_69d30e5b31.png