

Nachhaltige Möglichkeiten für den automotiven Antrieb

Daniel Schneider

Kurzfassung – In dieser wissenschaftlichen Publikation werden verschiedene Möglichkeiten alternativer Energieträger vor allem im Automobilbereich vorgestellt und miteinander bezüglich Schadstoffausstoß, Speicherung, Gesamtwirkungsgrad und Infrastruktur verglichen. Aufgrund des hohen Potenzials von Methan als alternativem Energieträger wird genauer auf die Modifizierung des Verbrennungsmotors bei Verwendung von Methan als Kraftstoff eingegangen. Da für die Gewinnung der meisten hier vorgestellten Energieträger elektrische Energie benötigt wird, spielt die Energiequelle eine große Rolle für die Zukunft des automotiven Antriebs.

I Einleitung

Durch die immer bemerkbareren Auswirkungen der anthropogenen Emissionen auf die Umwelt ist mittlerweile die Umweltbeeinflussung das Hauptkriterium bei der Bewertung einer Energiegewinnung und eines Energieträgers. Die Automobilbranche bietet keine Ausnahme. Aus diesem Grund versuchen Forscher weltweit eine Lösung für das Umweltproblem zu finden und zwar die Entwicklung eines Fahrzeugs, welches sowohl bei der Herstellung als auch im Betrieb kaum Schadstoffe ausstößt. Auch die Vorgaben der Pariser Klimaziele erfordern eine Reduzierung der Kohlenstoffdioxidemissionen und somit eine Weiterentwicklung der Antriebstechnologien und Energieträger. Es existieren bereits viele Lösungsmöglichkeiten, jedoch konnte sich noch kein alternativer Energieträger durchsetzen.

II Alternative Energieträger

A Gewinnung und Einsatz der Energieträger

A1. Wasserstoff

Das Grundprinzip der Brennstoffzelle besteht darin, chemische Energie in elektrische Energie umzuwandeln. Die Wasserstoffmoleküle geben jeweils 2 Elektronen an die Anode ab (Abbildung 1, links im Bild), welche über einen Draht zur Kathode (rechts im Bild) fließen. Durch den Elektronenfluss entsteht elektrischer Strom. Die übrig gebliebenen positiv geladenen Wasserstoffionen gelangen auf die andere Seite der Brennstoffzelle. An der Kathode nehmen Sauerstoffmoleküle die Elektronen wieder auf, wodurch negativ geladene Sauerstoffionen entstehen.

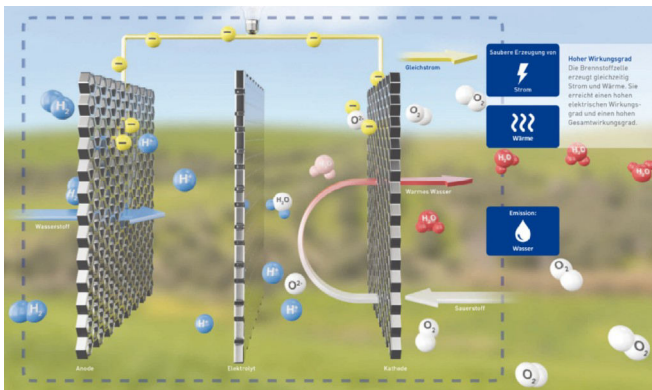


Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung einer Brennstoffzelle

Diese Sauerstoffionen reagieren mit den positiv geladenen Wasserstoffionen, welche durch die mittlere Membran (Polymer-Elektrolyt-Membran) in Richtung Kathode gelangt sind. Dabei entsteht Wasser, welches als Wasserdampf aus der Brennstoffzelle herausströmt [5]. Der für die Brennstoffzelle benötigte Wasserstoff kann z.B. durch die in Kapitel A3 erläuterte Power2Gas Methode umweltschonend hergestellt werden.

A2. Lithium-Ionen Akkus

Beim Elektroauto wird der Elektromotor durch Lithium-Ionen Akkus mit Strom versorgt. Die Art des Antriebs ist dieselbe wie beim wasserstoffbetriebenen E-Auto, nur dass beim batteriebetriebenen E-Auto der Strom für den Motor direkt aus den Akkus bereitgestellt wird.

A3. Methan

Methan ist ein gasförmiger Kohlenwasserstoff mit der Halbstrukturformel CH_4 . Zur Methangewinnung werden hauptsächlich drei verschiedene Methoden eingesetzt. 1. Die Power2Gas Methode. 2. Vergärung von Stroh. 3. Synthetisches Methan aus Biomasse. Aufgrund neuer effizienter Verfahren und dem größten Zukunftspotential des Power2Gas Prinzips wird nachfolgend ausschließlich diese Art der Methanherstellung berücksichtigt.

Das Power2Gas Prinzip funktioniert genau umgekehrt wie die Brennstoffzelle. Hier wird elektrische Energie genutzt, um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zu spalten. Die Methansynthese erfolgt durch Zufuhr des Wasserstoffs mit Kohlenstoffdioxid [9]. Wird der benötigte Strom für die Wasserelektrolyse aus z.B. überschüssigem Strom aus erneuerbaren Energiequellen genutzt, stellt die Power2Gas Methode eine sehr umweltschonende Variante der Methanherstellung dar.

Das Methan kann mit geringen Modifizierungen im gängigen Hubkolbenmotor eingesetzt werden was im Kapitel III näher erläutert wird. Der Antrieb funktioniert wie bei diesel- und benzinbetriebenen Kraftfahrzeugen ebenfalls durch Verbrennung.

A4. Methanol

Methanol ist eine flüssige organisch-chemische Verbindung mit der Halbstrukturformel CH_3OH . Der Großteil des Methanols wird aus Synthesegas hergestellt, welches meist aus Erdgas gewonnen wird. Das Synthesegas wird dabei vor allem durch Steamreforming und die partielle Oxidation von Erdgas und Kohlevergasung gewonnen. Die durch diese Verfahren verbrauchte CO_2 -Menge und die Endlichkeit der dafür benötigten fossilen Energiequellen stellen keine zukunftsorientierte Lösung der Methanolherstellung dar. Ähnlich wie bei der Methanherstellung kann die Herstellung von Methanol mit Hilfe von CO_2 und H_2 oder CO und H_2 erfolgen [3].

In Abbildung 2 ist das Funktionsprinzip der Methanolherstellung grob dargestellt.

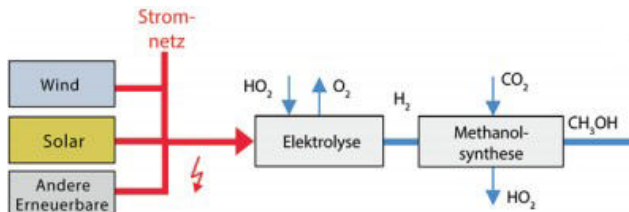


Abbildung 2: Power2Liquid (Methanol) Prinzip [3]

Ein Katalysator auf der Basis von Indiumoxid erzeugt die notwendige chemische Reaktion und als Produkte entstehen ausschließlich Methanol und Wasser. Der Einsatz einer geringen Menge Palladium erhöht die Wirtschaftlichkeit des Katalysators, sodass diese Art der Methanolherstellung sowohl finanziell rentabel als auch umweltfreundlich ist. Methanol kann ebenfalls wie Methan in den bereits vorhandenen Hubkolbenmotoren eingesetzt werden und treibt das Fahrzeug durch die Verbrennungsenergie an.

A5. Biodiesel

Biodiesel ist ein aus Pflanzenöl gewonnener Kraftstoff, welcher dem mineralischem Dieseldieselkraftstoff in der Verwendung gleichkommt. Wird der Biodiesel dem mineralischen Diesel mit bis zu 7% zugesetzt, ist keine Anpassung des Motors nötig. Ab einem Biodieselanteil von >7% ist eine Freigabe durch den Hersteller erforderlich. Für die Herstellung mischt man das Pflanzenöl mit Methanol im Verhältnis 9:1. Durch Rühren des Gemisches bei Temperaturen von 50 – 80°C laufen chemische Reaktionen ab, wodurch das im Pflanzenölmolekül befindliche Glycerin gegen Methanol getauscht wird und sich mit den drei Fettsäureketten des Moleküls zu Biodiesel verbindet [2].

A6. Bioethanol

Das Bioethanol wird ausschließlich aus Biomasse hergestellt. Die enthaltene Stärke wird enzymatisch in Glukose aufgespalten, welche durch Zusetzen von Hefepilzen zu Ethanol vergoren wird. Chemisch gesehen unterscheiden sich Bioethanol und Ethanol aus fossilen Kohlenstoffträgern nicht [2].

B Gegenüberstellung der Energieträger

Da jeder Energieträger individuelle Vor- und Nachteile aufweist, werden diese anhand einiger für die Zukunft relevanter Anforderungen miteinander verglichen und bewertet. Für die Herstellung des Biodiesels werden enorme Mengen an Rohstoffen verwendet, welche große Anbauflächen beanspruchen. Die Stickstoffemissionen steigen bei Verwendung des Biodiesels als Kraftstoff und große Mengen an Pflanzenschutz- und Düngemitteln müssen eingesetzt werden. Der um ca. 25% höhere Verbrauch von Bioethanol im Vergleich zu Benzin, die notwendige Umrüstung des Kraftfahrzeugs, der erheblich steigende Wasserverbrauch und der erhöhte Einsatz von Pestiziden stehen dem alternativem Kraftstoff im Weg. Biodiesel und Bioethanol stehen in Konkurrenz zu Nahrungsmitteln, was sie ökonomisch und moralisch fragwürdig macht. Aus dem Grund werden diese Energieträger im weiteren Verlauf nicht berücksichtigt.

B1. Schadstoffausstoß in Herstellung und Betrieb

Der Vergleich des Schadstoffausstoßes alternativer Energieträger erfolgt sowohl untereinander als auch mit den momentan in Verwendung befindlichen Energieträgern. Um z.B. den CO₂ Verbrauch alternativer Energieträger mit dem der Otto- und Dieselmotoren zu vergleichen, muss man nicht nur den Verbrauch während des Fahrzeugbetriebs, sondern ebenso die Kohlenstoffdioxidemissionen bei der Herstellung des Fahrzeugs und deren Komponenten miteinbeziehen.

Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge

Sowohl die Entsorgung der Komponenten als auch die Generierung der elektrischen Energie bzw. die Herstellung des Energieträgers müssen miteinbezogen werden. Eine Studie [14] kam zu dem Ergebnis, dass ein Fahrzeug mit Ottomotor erst nach 60.000km Fahrstrecke die CO₂-Ausstoßmenge erreicht, welche bei der Herstellung des Elektrofahrzeugs, der Batterien und des benötigten Stroms erzeugt wird. Ein Fahrzeug mit Dieselmotor kann ca. 80.000km fahren, um dieselbe CO₂-Menge wie ein Elektrofahrzeug zu verbrauchen [6]. Diese Werte treffen bei der momentanen Verwendung von größtenteils generiertem Strom aus Kohlekraftwerken zu. Wird der für batteriebetriebene Elektrofahrzeuge benötigte Strom in Zukunft jedoch vollständig aus regenerativen Quellen erzeugt, sinkt der CO₂-Verbrauch im Gesamtlebenszyklus deutlich (siehe Abbildung 3).

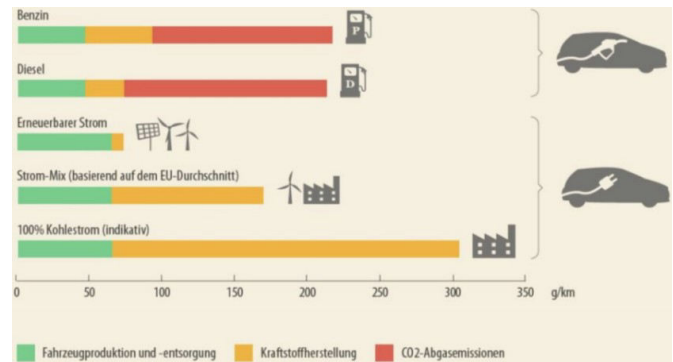


Abbildung 3: Vergleich der CO₂ Emissionen von Automobilen mit Otto-, Diesel- und Elektromotoren [6]

Wasserstoffbetriebene Elektrofahrzeuge

Bei wasserstoffbetriebenen E-Autos ist der CO₂-Ausstoß in der Herstellungsphase zwar geringer als beim batteriebetriebenen E-Auto, aber dennoch zu hoch. Die nicht vorhandenen Emissionen im Betrieb gleichen den höheren CO₂-Verbrauch der Herstellung aus. Auch hier gilt, kommt der Strom für die Wasserelektrolyse aus Kohlekraftwerken, verschlechtert sich die CO₂ Bilanz des Gesamtlebenszyklus deutlich im Vergleich zur Verwendung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen.

Methanbetriebene Kraftfahrzeuge

Wie in Kapitel A3 bereits erwähnt, kann Methan mit Hilfe der Power2Gas Methode synthetisiert werden. Da dieselbe Menge CO₂ für die Methanisierung z.B. aus Industrieprozessen, aus Biogas- und Kläranlagen oder aus der Umgebungsluft genutzt wird, welche bei Verbrennung des Methans zum Antrieb des Kraftfahrzeugs entsteht, erzeugt dieser Energieträger kein zusätzliches Kohlenstoffdioxid [1].

Wird überschüssiger Strom aus erneuerbaren Energiequellen für die Wasserelektrolyse genutzt, ist die bei der Methanisierung benötigte Energie die einzige CO₂ Quelle, welche vernachlässigbar gering ist.

Methanolbetriebene Kraftfahrzeuge

Da die Herstellung von Methanol der Herstellung von Methan sehr ähnelt, treffen die Aussagen über die CO₂ Bilanz des Methans auch für den Energieträger Methanol zu. Die Synthetisierung des Methanols ist etwas aufwändiger, jedoch ist die dadurch verursachte Menge an CO₂ ebenfalls verschwindend gering.

Feinstaubbelastung

In Regionen überdurchschnittlichen KFZ Betriebs geht es nicht nur um die Umweltbelastung, sondern auch um die direkte Gefahr der Schadstoffe für die Gesundheit. Aus diesem Grund sollten in Großstädten nur bzw. überwiegend lokal emissionsfreie Kraftfahrzeuge betrieben werden. Die batterie- und wasserstoffbetriebenen Elektroautos könnten daher vor allem in solchen Regionen Einsatz finden.

Der Großteil der Feinstaubbelastung (siehe Abbildung 4) entsteht durch den Abrieb des Straßenbelags, der Bremsen und der Reifen. Dennoch würden bei Verwendung von batterie- und wasserstoffbetriebenen Elektroautos 40,23% der Feinstaubbelastung entfallen. Bei dieser Studie wurden „PM_{2,5}-Emissionen“ (Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 2,5µm) betrachtet. Zieht man z.B. PM₁₀-Emissionen in Betracht, erhöht sich der Anteil des durch Abrieb entstehenden Feinstaubs, da die Partikel der Auspuffemissionen meist kleiner sind als die durch Abrieb entstehenden Partikel [8].

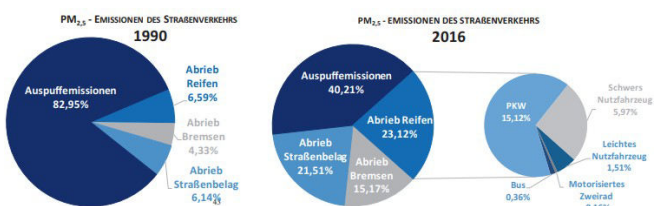


Abbildung 4: Anteil der Ursachen von Feinstaubemissionen der Partikelgröße <2,5µm [8]

B2. Speicherung der Kraftstoffe

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Realisierung alternativer Energieträger ist die unkomplizierte Speicherung. Methan hat eine sehr geringe Dichte, welche durch einen Druck von ca. 200 bar ausgeglichen werden muss. Dadurch fallen die Druckbehälter groß und schwer aus. Häufig werden Druckbehälter aus Vergütungsstahl verwendet, jedoch stellen faserverstärkte Kunststofftanks die bessere Speicheroption dar, da diese zwar höhere Herstellungskosten aufweisen, im Gegenzug aber die Nachteile des Vergütungsstahls, wie das hohe Gewicht und die Korrosionsanfälligkeit ausgleichen [1].

Für Methanol als Kraftstoff können die bisherigen Tanks weiterverwendet werden. Die Reichweite würde jedoch darunter leiden, da die Energiedichte von Methanol der von beispielsweise Diesel unterliegt wie in Abbildung 5 zu erkennen ist. Die Abbildung zeigt, welche Masse oder Volumen verschiedene Energieträger benötigen würden, um

über dieselbe Energiemenge wie 37l Dieseldieselkraftstoff zu verfügen. Z.B. würde das Gewicht der Li-Ion-Akkus 830kg betragen, um die Reichweite von 37l Dieseldieselkraftstoff zu erreichen. Die Akkus sind zwar sehr schwer und nehmen viel Platz ein, jedoch ist die Speicherung an sich unkompliziert.

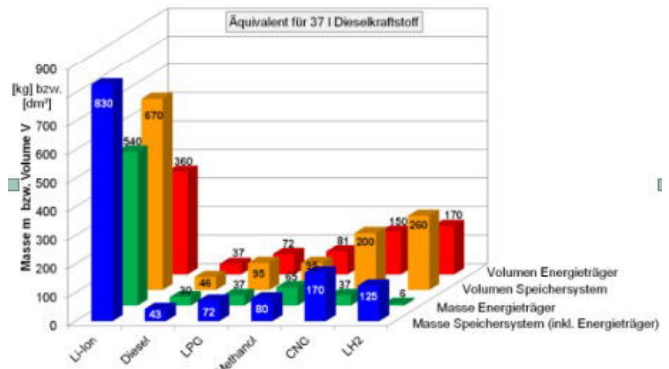


Abbildung 5: Massen- und Volumenvergleich verschiedener Energieträger für eine bestimmte Energiemenge

Wasserstoff ist das Element mit der geringsten Dichte, was sich durch die Verflüssigung bei -253°C ändert, jedoch liegt sie selbst bei flüssigem Aggregatzustand nur bei einem Zehntel der Dichte des Dieseldieselkraftstoffes. Um den flüssigen Wasserstoff speichern zu können, sind kryogene Tanks mit einer sehr guten Isolation notwendig. Um die Wärmeleitfähigkeit so gering wie möglich zu halten, besteht der ideale Wasserstofftank aus mehreren festen Behälterwänden, welche ineinander bei sehr geringen Abständen schweben. Das Schweben, was die Verwendung von festen Verbindungselementen vermeidet und somit die Wärmeleitung niedrig hält, wird in manchen Ausführungen durch Magnetkräfte realisiert [7].

Die Speicherung von Wasserstoff kann ebenfalls durch sehr hohen Druck erfolgen, wodurch es zwar zu keiner Verflüssigung kommt, die Energiedichte jedoch zwischen 350 und 900 bar in einem anwendbaren Bereich liegt. Da das Wasserstoffmolekül das kleinste aller Elemente ist, besitzt es die Eigenschaft durch die meisten Materialstrukturen leicht durchdringen zu können. Die hohen Drücke verstärken dabei das Ausströmungspotenzial ebenfalls. Dies führt zu einer komplexen Bauweise des Wasserstofftanks, welcher mehrschichtig aufgebaut werden muss.

B3. Gesamtwirkungsgrad

Beim wasserstoffbetriebenen Elektroauto gehen bereits ungefähr 45% der Energie bei der Wasserelektrolyse verloren. Weitere 55% gehen bei der Umwandlung von Wasserstoff in elektrischen Strom verloren. Daraus resultiert ein Gesamtwirkungsgrad von 25% – 35% [5].

Da der Strom für den Elektromotor bei batteriebetriebenen Elektroautos direkt aus den Li-Ion-Akkus verwendet wird und nicht erst umgewandelt werden muss, ist der Wirkungsgrad deutlich höher als bei wasserstoffbetriebenen Elektroautos. Beim Transport des Stroms, bevor dieser in den Akkus des Fahrzeuges gespeichert wird, geht ca. 8% der Energie verloren. Weitere 18% fallen bei der Umwandlung der elektrischen Energie zum Antrieb des Motors weg. Der Gesamtwirkungsgrad liegt zwischen 70 - 80% [6].

Der Gesamtwirkungsgrad eines Verbrenners schwankt je nach Einsatz sehr stark. Bei Vollast werden Wirkungsgrade von 35%, mit Direkteinspritzung und Turboaufladung können auch über 40% erreicht werden. Bei niedriger Auslastung hingegen wie z.B. im Stadtverkehr kann der Wirkungsgrad unter 10% fallen. Bei häufigen Stadtfahrten können Hybridantriebe für eine Effizienzsteigerung sorgen. Hierbei übernimmt der Elektromotor mit seinem hohen Wirkungsgrad die Arbeit falls niedrige Leistung notwendig ist.

Der Wirkungsgrad monovalenter methan- und methanolbetriebener Kraftfahrzeuge ähnelt mittlerweile dem der Verbrenner. Es befinden sich bereits serientaugliche methanbetriebene Kraftfahrzeuge auf dem Markt, welche Wirkungsgrade von 40% erreichen und auch im Teillastbetrieb den Verbrennern nicht unterliegen [1].

B4. Infrastruktur

Um den Schadstoffausstoß der Kraftfahrzeuge zu minimieren und die allgemeine Umweltbelastung zu reduzieren, ist es unumgänglich, den Einsatz alternativer Energieträger schnellstmöglich zu erhöhen. Für die meisten Kraftstoffe bzw. Energieträger fehlt die nötige Infrastruktur. Aus dem Grund kommt diesem Kapitel eine große Bedeutung bei der Bewertung alternativer Energieträger zu.

Für batteriebetriebene Elektroautos müssen extra Ladestationen errichtet werden, um die Akkus der Kraftfahrzeuge aufzuladen. Der Strom wird aus dem lokalen Stromnetz genutzt, somit kann ein Teil der bereits vorhandenen Infrastruktur verwendet werden. Der Energiefluss beim Schnellladen eines batteriebetriebenen Elektroautos beträgt ca. 90 bis 135kW. Das entspricht etwa einem Zweihundertstel des Energieflusses beim Betankungsvorgang eines Dieselfahrzeugs (20.000kW) [1]. Schon bei einem Anteil von 10% an batteriebetriebenen Elektroautos wären die Wartezeiten unzumutbar. Das Stromnetz wäre vor allem bei Langstreckenverwendung der Elektroautos überlastet, da diese genau zu den Zeiten geladen werden, wenn der Strombedarf sowieso schon sehr hoch ist. Bei Verwendung im Nahbereich und Aufladung über Nacht bietet das batteriebetriebene Elektroauto durch den hohen Wirkungsgrad und der lokalen Emissionsfreiheit erhebliche Vorteile.

Die Infrastruktur für wasserstoffbetriebene Elektroautos muss noch deutlich ausgebaut werden. Momentan gibt es in Deutschland 92 Tankstellen bei welchen Wasserstoff getankt werden kann (Stand 07.2021) [10]. Um flächendeckend Kraftfahrzeuge mit Wasserstoff versorgen zu können, muss sich die Anzahl an Tankstellen um das hundertfache erhöhen, was mit einem enormen Zeit- und Kostenaufwand verbunden ist.

Da Erdgas aus ca. 85 Volumenprozent Methan besteht, muss die Infrastruktur durch die weltweit sehr gut ausgebaute Infrastruktur an Erdgaspipelines bei Verwendung von Methan als alternativem Kraftstoff nur geringfügig modifiziert werden. Sowohl der Transport als auch die Speicherung von Methan könnten in großen Mengen in kürzestem Zeitraum umgesetzt werden.

Bei Verwendung von Methanol als zukünftigem alternativen Energieträger für Automobile kann die bereits vorhandene Infrastruktur des Transports, der Speicherung und der Betankung genutzt werden.

III Modifizierung des Verbrennungsmotors für Methan als Kraftstoff

Da vor allem die CO₂ Minimierung bei Verwendung von Methan/Methanol eine große Rolle spielt und diese bei bivalenten Systemen nur geringfügig zum Tragen kommt, wird in diesem Kapitel ausschließlich auf den monovalenten Betrieb eingegangen. Die Anforderungen an die Energieträger lauten: 1. Sicherheit garantieren 2. Störungsfreien Betrieb gewährleisten 3. Für ausreichende Reichweite im Vergleich zu anderen Energieträgern sorgen, ohne bei Innen- und Gepäckraum sowie Nutzlast eingeschränkt zu sein [4].

In Abbildung 6 ist ein Teil eines Verbrennungsmotors auf Methanbasis dargestellt.



Abbildung 6: Darstellung der Injektorlage im geschnittenen Zylinderkopf [4]

In den folgenden beiden Unterkapiteln werden Beispiele zur Werkstoff- und Gestaltanpassung einzelner Komponenten des Verbrennungsmotors für den Methanbetrieb aufgezeigt. Es wurde Methan gewählt, da sich dieser Energieträger bei umweltschonender Herstellung wie der Power2Gas Methode als gute Alternative herausstellt. Die Anpassungen des Verbrennungsmotors an einen Betrieb mit Methanol ähneln bezüglich des Zeit- und Kostenaufwands den Anpassungen für den Methanbetrieb.

A Zündkerze

Grundsätzlich sind die Anforderungen an das Zündsystem eines Gasmotors dieselben wie die eines Ottomotors. Jedoch ist der Energiebedarf bei Gasmotoren zur Ionisierung des Kraftstoff-Luft-Gemisches durch die hohe Molekülstabilität von Methan höher als bei Benzin oder Diesel. Der Zündspannungsbedarf bei Methanbetrieb wird von ca. 14 kV bei Benzinbetrieb auf ungefähr 16 kV erhöht, was sich jedoch weder auf die Gestaltung noch auf den Werkstoff der Zündkerze auswirkt.

Gelangt Benzin in den Brennraum entsteht Verdampfungskälte, welche die Zündkerze und weitere Brennraumteile abkühlen. Durch die trockene Verbrennung des Methans fehlt der kühlende Effekt, wodurch höhere Temperaturen im Brennraum entstehen. Aufgrund bei der Verbrennung im Vergleich zu Benzin und Diesel entstehenden höheren Temperaturen sollten zur Verschleißreduzierung kältere Zündkerzen eingesetzt werden. In Abbildung 7 stellt die Nr. 1 eine „heiße“ Zündkerze dar, die Nummer 2 eine Zündkerze mit mittlerer Wärmewertkennzahl und die Nr. 3 eine Zündkerze mit niedriger Wärmewertkennzahl, also eine „kalte“ Zündkerze. Die „kalte“ Zündkerze besitzt eine kleine Isolatorfußfläche und somit eine kleine wärmeaufnehmende Oberfläche,

während die „heiße“ Zündkerze eine große Isolatorfußfläche aufweist [11].

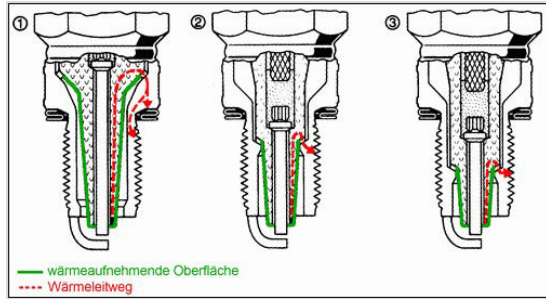


Abbildung 7: Zündkerzen mit unterschiedlich großen Isolatorfußflächen [11]

Trotz des Einsatzes kälterer Zündkerzen müssen entweder höhere Wechselintervalle der Zündkerzen in Kauf genommen oder z.B. Elektroden aus Platin verwendet werden. Dadurch kann die Lebensdauer der Zündkerzen von etwa 15.000km auf ca. 30.000km erhöht werden. Im Vergleich: Bei Benzinbetrieb wird für Zündkerzen kein Platin eingesetzt und diese weisen eine Lebensdauer von ca. 30.000 - 60.000km auf [12].

B Turbolader

Für Turbolader können prinzipiell dieselben Werkstoffe für den Methanbetrieb genutzt werden, welche auch bei Ottomotoren Verwendung finden. Da Methan wie bereits erwähnt eine höhere Verbrennungstemperatur aufweist, kann, um die Langlebigkeit der Bauteile zu gewährleisten, zu austenitischem Stahlguss anstatt ferritischem Material gegriffen werden.

Für Turbinenrad und Turbinengehäuse finden aufgrund der temperaturfesten Eigenschaften hauptsächlich Legierungen mit höherem Nickelanteil Anwendung [1].

IV Zusammenfassung und Ausblick

Methan und Methanol stellen durch ihre bereits erwähnten Vorteile eine sehr gute Alternative zu herkömmlichen Kraftstoffen dar, dennoch ist in Großstädten der Einsatz lokal emissionsfreier Energieträger durchaus zielführender.

Um an einer kurz- bis mittelfristig umsetzbaren Lösung eines alternativen Energieträgers zu arbeiten, ist es exorbitant wichtig, die vorhandene Infrastruktur am besten vollständig verwenden zu können oder geringfügig auszubauen. Eine neue Infrastruktur aufzubauen würde Jahrzehnte benötigen, was bei der bereits vorhandenen Umweltbelastung nicht zu akzeptieren wäre.

Abschließend lässt sich festhalten, dass Kraftstoffe aus Bioerzeugnissen nur sinnvoll sind, wenn sie nicht extra für den Zweck als Energieträger hergestellt werden müssen, sondern Abfallprodukte darstellen. Somit erscheint nur ein geringer Prozentsatz an mit Biodiesel und Bioethanol betriebenen Kraftfahrzeugen sinnvoll.

Ob alternative Energieträger nützlich und realisierbar sind, ist letztlich eine Frage des Energiebedarfs und der Energiequelle. Je höher der Anteil erneuerbarer Energiequellen für die Herstellung alternativer

Energieträger, desto besser fällt die CO₂ – Bilanz im Gegensatz zu fossilen Energieträgern aus. Da die fluktuierenden Strommengen bei z.B. Windkraft- und Photovoltaikanlagen zeitweise zu Stromüberschüssen führen, kann dieser durch die bereits erwähnte Power2Gas Methode in Form von Wasserstoff oder Methan in Drucktanks oder im Gasnetz gespeichert werden. Dabei muss die Elektrolyseleistung bei Verwendung von 100% erneuerbarer Energiequellen in Deutschland mindestens 50 - 120GW betragen, um überschüssig produzierten Strom in Form von Gas zu speichern. Bei Energieengpässen durch beispielsweise Windstille und weniger täglicher Sonnenstunden kann eine Rückverstromung, eine Weiterverarbeitung zu synthetischen Kraftstoffen oder eine stoffliche Nutzung in der chemischen Industrie erfolgen [13]. Die Speicherkapazität müsste bei einer vermehrten Nutzung erneuerbarer Energiequellen stark erhöht werden.

Wird das mit Hilfe der Power2Gas Methode produzierte Methan und Methanol direkt als Kraftstoff im Verkehrssektor verwendet, entfällt der Wirkungsgradverlust einer Rückverstromung und der Aufwand einer längerfristigen Speicherung.

V Literaturverzeichnis

- 1 Van Basshuysen, „Erdgas und erneuerbares Methan für den Fahrzeugantrieb“, Springer Vieweg, 2015
- 2 Kaltschmitt & Hartmann & Hofbauer, „Energie aus Biomasse“, Springer Vieweg, 2016
- 3 Sterner & Stadler, „Energiespeicher“, Springer Vieweg, 2017
- 4 Van Basshuysen, „Ottomotor mit Direkteinspritzung und Direkteinblasung“, Springer Vieweg, 2017
- 5 Töpler & Lehmann, „Wasserstoff und Brennstoffzelle“, Springer Vieweg, 2017
- 6 Stan, „Alternative Antriebe für Automobile“, Springer Vieweg, 2018
- 7 Stan, „Energie versus Kohlendioxid“, Springer Vieweg, 2018
- 8 Zapf & Pengg & Bütler & Bach & Weindl, „Kosteneffiziente und nachhaltige Automobile“, Springer Vieweg, 2019
- 9 Regett & Pellingner & Eller, „Power2Gas – Hyper oder Schlüssel zur Energiewende?“, Energiewirtschaftliche Tagesfragen 64. Jg. Heft 10, 2014
- 10 <https://h2.live> (Stand 28.06.2021)
- 11 <http://home.datacomm.ch/mad-/zuendkerzen.htm#Wärmewert> (Stand 10.07.2021)
- 12 Bosch, „Wegweisender Einsatz – Bosch-Technik für gasbetriebene Motoren“, 2012
- 13 Wirth, „Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland“, Fraunhofer ISE, 2021
- 14 Agora Verkehrswende, „Klimabilanz von Elektroautos - Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial“, 2019