

Empa-Bericht Nr. 5'214'007'094



Erdgas/Biogasfahrzeuge im Kontext der Energiestrategie 2050 und der CO₂-Gesetzgebung

Eine Übersicht

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa)
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf

Abteilung Verbrennungsmotoren

Christian Bach, Patrik Soltic, Thomas Bütler

Dübendorf, den 23. September 2014

Inhalt

1. Zusammenfassung.....	4
2. Die Schweizerische Energiestrategie 2050 und das CO ₂ -Gesetz	5
3. Stromspeicherung und synthetisches Methan.....	7
4. Erdgas und Biogas als Treibstoff.....	9
5. Mengemässige Abschätzung von Biogas und synthetischem Methan	11
6. Erdgas/Biogasfahrzeuge	12
7. CO ₂ -Lebenszyklusemissionen	14
8. Energieeffizienz verschiedener Antriebskonzepte	15
9. Wirtschaftlichkeit der Erdgas/Biogas-Mobilität.....	16
10. Sicherheit.....	18

Motivation der Empa für diesen Übersichtsbericht

Die Empa befasst sich schwerpunktmässig mit Verbrauchs-, Schadstoff- und CO₂-Minderungen an Fahrzeugen. Dazu zählt die Optimierung herkömmlicher Verbrennungsmotoren, die Brennverfahrensentwicklung für neue Treibstoffe, Entwicklung und Erprobung neuer Batterietechnologien, Leichtbau sowie insbesondere auch die Integration erneuerbarer Energie im Fahrzeugbereich.

In Zusammenarbeit mit Forschungs- und Industriepartnern wurden verschiedene Erdgas/Biogas-, Wasserstoff- und Elektroantriebskonzepte und -projekte realisiert und solche Fahrzeuge hinsichtlich ihres Verbrauchs- und Abgasverhaltens untersucht. Aus Sicht der Empa spielen Gasfahrzeuge für eine CO₂-Reduktion in der Realität aufgrund der hohen einheimischen Potentiale für erneuerbare Treibstoffe und ihrer besonderen Eignung für Mittelklassefahrzeuge und VielfahrerInnen eine wichtige Rolle, was aber noch wenig diskutiert wird.

Um die CO₂-Emissionen im Fahrzeugbereich zu mindern, vertritt die Empa eine diversifizierte Strategie entsprechend den Stärken der jeweiligen Antriebskonzepte: Elektroantriebe für Klein-, Kompakt- und Lieferfahrzeuge im Pendler- und Stadtverkehr; Erdgas/Biogasantriebe für Kompakt- und Mittelklassefahrzeuge sowie für Lieferwagen und Wasserstoffantriebe im Bereich grösserer Personenwagen, Lieferfahrzeuge, Stadtbusse und Kommunalfahrzeuge. Diese Fahrzeuge können eine signifikante CO₂-Minderung bewirken, wenn sie mit erneuerbarer Energie betrieben werden.

Für den Inhalt dieses Papiers sind alleine die Autoren verantwortlich. Es wurde im Rahmen eines Stakeholder-Dialogs zu Erdgas/Biogas als Treibstoff erarbeitet. Der Dialog startete Mitte 2013 und umfasste insgesamt vier Treffen mit nachfolgenden Stakeholdern sowie bilaterale Gespräche mit allen beteiligten Organisationen.

Der Dialog wurde initiiert und koordiniert von:

- Empa Christian Bach, Abteilungsleiter Verbrennungsmotoren
- Sustainserv GmbH Dr. Stephan Lienin, Managing Partner

Folgende Organisationen und Personen haben am Stakeholderdialog teilgenommen und/oder Inputs/Feedbacks eingebracht:

- Bundesamt für Energie (BFE) Silas Hobi, Fachspezialist Mobilität
Dr. Stephan Walter, Fachspezialist Mobilität
- Auto-schweiz Andreas Burgener, Direktor
- AMAG Tobias Lukas, Leiter Dealer Operations
- Opel Suisse Samuel Duc, Carline Marketing Manager
- Fiat Group Automobiles Switzerland Rudolf Schoch, Product Marketing Manager
- FPT Motorenforschung Meinrad Signer, ehem. Direktor
- Migrol AG Simon Jossi, Leiter Tankstellengeschäft
- Agentur Erneuerbare Energie (AEE) Dr. Oliver Wimmer, Stv. Geschäftsführer AEE SUISSE
- Autoumweltliste VCS Kurt Egli, Projektleiter Autoumweltliste
- Biofuels Schweiz Ulrich Frei, Geschäftsführer
- Kompetenzzentrum Energie und Mobilität im ETH-Bereich (CEEM) Urs Elber, Geschäftsführer
- TCS Roger Löhner, Vizedirektor/Leiter Mobilitätsberatung
- Gasmobil Walter Lange, Geschäftsführer
- Gasverbund Mittelland (GVM) Hans Wach, Geschäftsführer
- Empa Dr. Patrik Soltic, Leiter Forschungsgruppe Effiziente Antriebe
Thomas Bütler, Leiter Forschungsgruppe Motorfahrzeuge

1. Zusammenfassung

Die Schweizerische Energiestrategie 2050 und die CO₂-Gesetzgebung haben zum Ziel, Effizienzpotentiale konsequent zu erschliessen und die Produktion erneuerbarer Energie zur Substitution fossiler Energieträger ausgewogen auszuschöpfen. Die individuelle Mobilität ist einer der grössten Energieverbraucher mit einem vergleichsweise grossen Potential bei der Effizienzsteigerung und der Integration von erneuerbarer Energie. Der Erfolg einer Umsetzung der Energiestrategie hängt deshalb auch von der Entwicklung im Bereich der Mobilität ab.

Erdgas/Biogasfahrzeuge werden in der Regel als Alternative unter „verbrennungsmotorischen Antriebe“ subsummiert, obschon sich deren Möglichkeit zum Einsatz erneuerbarer Energie stark von Benzin- und Dieselmotoren unterscheiden. Dadurch werden ihre Potentiale zur CO₂-Reduktion und der Integration erneuerbarer Energie oft unterschätzt. Zudem werden durch diese Betrachtungsweise wichtige Eigenschaften oder Möglichkeiten dieses Antriebskonzeptes nicht erfasst, wie zum Beispiel die Nutzung von synthetischem Methan, das aus temporär überschüssigem Solarstrom oder aus im Strommarkt zunehmend unter wirtschaftlichem Druck stehender Wasserkraft erzeugt wird, sowie die systembedingte Fokussierung auf verbrauchsarme Fahrzeuge aufgrund der voluminösen Gasspeicherung im Fahrzeug.

Das vorliegende Dokument zu „Erdgas/Biogasfahrzeuge im Kontext der Energiestrategie 2050 und der CO₂-Gesetzgebung“ listet die Fakten zu Erdgas/Biogasfahrzeugen auf.

Insgesamt kann gezeigt werden, dass moderne Erdgas/Biogasfahrzeuge:

- ... bereits heute eine in vielen Fällen alltagstaugliche Alternative zu Benzin- und Dieselfahrzeugen darstellen. Mit Reichweiten aktueller Fahrzeuge von 350 – 500 km sind die betrieblichen Einschränkungen in vielen Fällen gering. Erdgas/Biogasfahrzeuge haben auch im „worst case“ (rein fossiler Betrieb) eine niedrigere Umweltbelastung als Benzin- und Dieselfahrzeuge.
- ... beim Betrieb mit erneuerbarer Energie aufgrund der niedrigen Emissionen bei der Fahrzeug-Herstellung insgesamt die niedrigsten CO₂-Emissionen aller Fahrzeugkonzepte aufweisen. In der Schweiz liegen energetische Potentiale für den Betrieb von weit über 100'000 Gasfahrzeugen in Form von ungenutzter Biomasse (Biogas) brach. Zudem entstehen durch den Ausbau der erneuerbaren Elektrizität grosse Mengen an temporär überschüssiger, erneuerbarer Elektrizität, die für die synthetische Methanproduktion und den Betrieb mehrerer 100'000 Gasfahrzeuge genutzt werden könnte.
- ...zwar heute noch einen um rund 15% höheren Anschaffungspreis als Benzinfahrzeuge aufweisen, aber bereits ab einer Verdoppelung der heutigen Anzahl Gasfahrzeuge für 1.-Besitzer in der gesamten Wertschöpfungskette (Energieversorger, Tankstelle, Fahrzeuge) wirtschaftlich betrieben werden können.
- ... in der gesamten Wertschöpfungskette ab einer Marktpenetration von ca. 2% (>80'000 Fahrzeuge) und 260 Tankstellen für 1.-Besitzer auch mit Normalsteuersatz wirtschaftlich betrieben werden können. Damit sind Erdgas/Biogasfahrzeuge nur während der allerersten Marktaufbauphase auf eine steuerliche Entlastung angewiesen.
- ... vergleichbar sicher sind, wie Benzinfahrzeuge.

2. Die Schweizerische Energiestrategie 2050 und das CO₂-Gesetz

Bundesrat und Parlament haben 2011 einen sukzessiven Umbau des schweizerischen Energiesystems bis ins Jahr 2050 beschlossen (Energiestrategie 2050). Dabei soll auf den Neubau von Atomkraftwerken verzichtet, die Effizienzpotentiale konsequent erschlossen und die erneuerbare Stromproduktion ausgewogen ausgeschöpft werden¹.

Mit 30% Anteil am inländischen Endenergieverbrauch gehört die Mobilität zu den grössten Endenergieverbrauchern und zu den Energiesektoren mit einem grossen Potential zur Effizienzsteigerung und zur Integration von erneuerbarer Energie². Das Szenario „Neue Energiepolitik (NEP)“ beinhaltet denn auch folgende Veränderungen in der individuellen Mobilität³:

- Erhöhung des Anteils Elektrofahrzeuge bis 2050 (41% Personenwagen mit 46% Fahrleistung, 29% leichte Nutzfahrzeuge mit 22% Fahrleistung, 26% schwere Nutzfahrzeuge mit 28% Fahrleistung, 80% Motorräder mit 70% Fahrleistung).
- Verbrauchsreduktion der Fahrzeuge (bei verbrennungsmotorischen Personenwagen von 8.5 l_{Benzin-Äq}/100 km im Jahr 2010 auf 4.0 l_{Benzin-Äq}/100 km im Jahr 2050 bzw. bei leichten Nutzfahrzeugen von 9.1 l_{Diesel}/100 km im Jahr 2010 auf 4.2 l_{Diesel}/100 km).
- Starke Erhöhung des Anteils erneuerbare Treibstoffe bis 2050.

Der Bundesrat hat gleichzeitig entschieden, die Ziele des CO₂-Gesetzes aufrecht zu erhalten. Dieses sieht vor, den Ausstoss von Treibhausgasen bis 2020 im Vergleich zu 1990 um mindestens 20% zu senken, was einer Reduktion von rund 11 Mio-t CO₂-Äquivalenten entspricht⁴. Im Verkehrsbereich ist die Verschärfung der ab 2015 geltenden CO₂-Grenzwerte für neu inverkehrgesetzte Personen- und Lieferwagenflotten von 130 auf 95 g/km bzw. von 175 auf 147 g/km sowie die Kompensation eines Teils der CO₂-Emissionen importierter fossiler Treibstoffe in der Schweiz vorgesehen.

Die Ziele der Energiestrategie im Treibstoffbereich sind in Abb. 1 dargestellt^{5,2}:

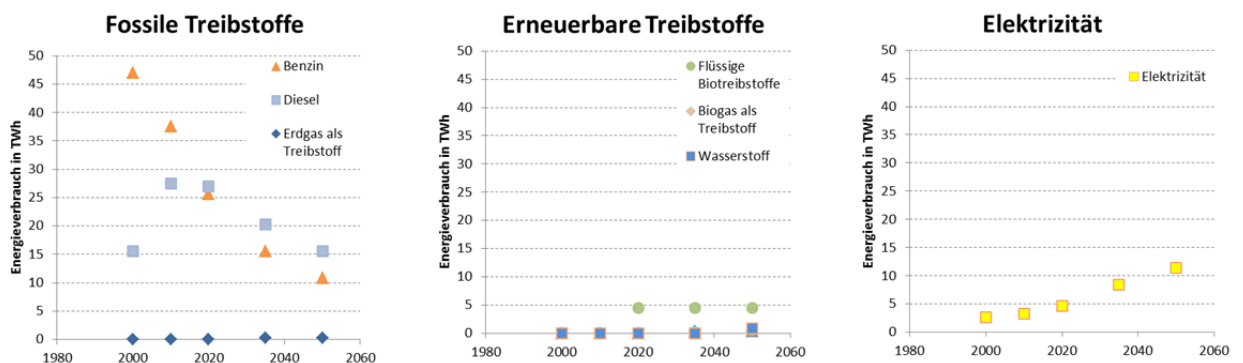


Abb. 1: Ziele der Energiestrategie 2050 im Treibstoffbereich

¹ www.uvek.admin.ch/energiestrategie

² Prognos, INFRAS, TEP Energy, Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 – 2012 nach Verwendungszwecken; September 2013

³ Prognos; Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 – 2050, Ergebnisse der Modellrechnungen für das Energiesystem (2012)

⁴ Bundesgesetz vom 23. Dezember 2011 über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz); Stand am 1. Jan. 2013

⁵ Botschaft zur Energiestrategie 2050: Ziele und Massnahmen in der Übersicht; Faktenblatt zur Medienmitteilung vom 04.09.2013

Stromspeicherung

Der in der Energiestrategie 2050 geplante Ausbau an erneuerbarer Stromerzeugung führt aufgrund der Entkopplung von Verbrauch und Produktion zu temporär überschüssiger, erneuerbarer Elektrizität im Sommerhalbjahr. Simulationen zeigen Stromüberschüsse je nach Regelfähigkeit der fossilen Stromerzeugung von jährlich 4.5 - 9 TWh³.

In der Schweiz fallen diese Stromüberschüsse aufgrund des geplanten starken Ausbaues an Photovoltaik künftig hauptsächlich auf der untersten Netzebene und dezentral an. Bei einem schnellen Zubau treten bereits ab 2024 Erzeugungsüberschüsse auf, die nicht mehr in Pumpspeicherkraftwerken gespeichert werden können⁶. Als Lösungsoption wird unter anderem der Ausbau weiterer (alternativer) Stromspeichermöglichkeiten aufgeführt (siehe dazu auch weitere Ausführungen in Kapitel 3).

Elektrofahrzeuge in der Energiestrategie 2050

Die o.g. Marktpenetration von Elektrofahrzeugen mit 46% Fahrleistung durch Personenwagen, 22% durch leichte Nutzfahrzeuge, 28% durch schwere Nutzfahrzeuge und 70% durch Motorräder beträgt 2050 gemäss Botschaft zur Energiestrategie rund 11.4 TWh_{el} (siehe Abb. 1), was – aufgrund des höheren Wirkungsgrads elektrischer Fahrzeuge - rund 25 TWh fossile Endenergie (als Benzin-Äquivalent) bzw. rund 30 TWh fossile Primärenergie (Erdöl) substituiert.

Der Ausbau der Elektromobilität bewirkt allerdings auch, dass zwischen 6.0 TWh_{el} (Neue Energiepolitik, Variante C&E) und 10.2 TWh_{el} (Neue Energiepolitik, Variante C) Strom durch fossile Kraftwerke erzeugt (oder importiert) werden muss, weil Elektroautos auch dann betrieben werden, wenn kein erneuerbarer Strom vorhanden ist, wie zum Beispiel im Winter (wo sie aufgrund des Heizbetriebs zudem noch einen wesentlich höheren Verbrauch aufweisen, als im Sommer)³. Je nach Herkunft dieses Stroms ändert sich die energetische und ökologische Bilanz von Elektrofahrzeugen stark. Im Szenario „Neue Energiepolitik, Variante C&E“ zeichnet sich insgesamt noch eine klare Reduktion des Primärenergieverbrauchs ab, während dies bereits beim Szenario „Neue Energiepolitik, Variante C“ in Frage gestellt ist.

Elektrofahrzeuge weisen für die Erfüllung der Vorgaben der CO₂-Gesetzgebung keine CO₂-Emission auf, da die Emissionen bei der Stromherstellung nicht berücksichtigt werden.

Erdgas/Biogasfahrzeuge in der Energiestrategie 2050

Die Erdgas/Biogasmobilität kommt in der Energiestrategie 2050 nicht separat vor; diese Fahrzeuge werden unter „verbrennungsmotorische Fahrzeuge“ subsummiert. Die Energiestrategie 2050 geht nur von einem geringen Anteil an Erdgas/Biogasfahrzeugen aus. Das Szenario „Neue Energiepolitik“ beinhaltet für 2050 einen Energieverbrauch von 0.55 TWh (wovon 50% Erdgas und 50% Biogas), was einem Bestand von ungefähr 100'000 Erdgas/Biogasfahrzeugen entspricht.

Der in einer Selbstverpflichtung der Gasindustrie festgehaltene Mindest-Biogasanteil von 10% im Erdgas als Treibstoff wird in der Schweiz bei der Berechnung der mittleren CO₂-Emissionen von Erdgasfahrzeugen angerechnet⁷ (wobei die reale Beimischung aktuell bei über 20% liegt)⁸. Erdgasfahrzeuge weisen somit für die Erfüllung der Vorgaben der CO₂-Gesetzgebung rund 30% geringere CO₂-Emissionen auf, als Benzinfahrzeuge (in der Realität gegen 40%).

⁶ Prognos, Energieperspektiven 2050: Sensitivitätsanalysen Photovoltaik – Ergebnisse der Modellrechnungen; April 2013

⁷ CO₂-Verordnung, Art. 26

⁸ Verband der Schweizerischen Gasindustrie, Jahresbericht 2013

3. Stromspeicherung und synthetisches Methan

Wie in Kapitel 2 erwähnt, führt der Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion, wie er in der neuen Energiestrategie geplant ist, im Sommerhalbjahr zu bis zu 9 TWh an temporär überschüssiger Elektrizität³. Das entspricht ungefähr 12% der 2050 in der Schweiz verbrauchten Elektrizität.

Bisher verfügt die Schweiz lediglich über Pumpspeicherkraftwerke zur Stromspeicherung, die in der Nacht überschüssigen (hauptsächlich fossilen) Strom auf der höchsten Netzebene aufnehmen und am folgenden Tag als höherpreisigen Tagstrom wieder absetzen. Stromüberschüsse, die von den bestehenden und geplanten Pumpspeicherkraftwerken nicht mehr aufgenommen werden können, müssen je nach Ausbau der Photovoltaik bereits ab 2024 erwartet werden⁹.

Saisonale Stromspeicherung oder Nutzbarmachung als Treibstoff?

Da der Strombedarf der Schweiz im Winterhalbjahr gemäss Energiestrategie 2050 (Szenarien „Neue Energiepolitik“) auch künftig nicht durch erneuerbare Energien abgedeckt werden kann, bietet sich - auf den 1. Blick - die saisonale Stromspeicherung als eine der Möglichkeiten zur Nutzung temporär überschüssiger Elektrizität an. Dafür müsste diese mittels Elektrolyse in Wasserstoff (H₂) und anschliessend in einem katalytischen Prozess mit Kohlendioxid (CO₂) in synthetisches Methan (CH₄) umgewandelt werden, was oft als „Power-to-Gas“ (PtG) bezeichnet wird. Dieses synthetische Methan könnte dann – analog dem Biogas – ins Erdgasnetz eingespiesen, über Monate gespeichert und im Winterhalbjahr in Gaskombikraftwerken rückverstromt werden. Allerdings führt dieser Pfad mit Gesamtwirkungsgraden um 30% zu einer starken Verteuerung des zurückgewandelten Stroms und damit zu einem kaum wirtschaftlich darstellbaren Geschäftsmodell, weshalb auch andere Arten der Nutzbarmachung von Überschusselektrizität betrachtet werden müssen.

Anders als bei der saisonalen Stromspeicherung ist bei einer Nutzbarmachung temporär überschüssiger Elektrizität als Treibstoff ein wirtschaftlicher Fall in der gesamten Wertschöpfungskette absehbar. Dies deshalb, weil die Rückverstromungsverluste wegfallen und Treibstoffe aufgrund ihrer Besteuerung ein höheres Preisniveau aufweisen, als Strom. Bei der Herstellung von synthetischem Methan in dezentralen Power-to-Gas-Anlagen fallen Produktionskosten von 15 – 30 Rp/kWh an¹⁰, die preislich bereits in der Nähe besteuert fossiler Treibstoffe (Benzin: ca. 20 Rp/kWh; Erdgas: ca. 15 Rp/kWh) liegen. Neben der chemischen Stromspeicherung gibt es weitere Verfahren, die den Strom kurz- und mittelfristig speichern können (elektrochemische Speicher, Druckluftspeicher).

Stromspeicher-Anlagen können zudem einen Beitrag zur Verminderung des Netzausbaubedarfs oder der Stromnetzstabilisierung auf den untersten Netzebenen (<16 kV) leisten, was die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen verbessert. Solche Ansätze werden zurzeit in verschiedenen Forschungsprojekten untersucht (RENERG²-Projekt von Empa, PSI, ETH, EPFL, ZHAW; SCCER Grids; Future Mobility Demonstrator der Empa; usw.).

Die Wasserkraft steht im Strommarkt wirtschaftlich stark unter Druck¹¹. Gasfahrzeuge könnten zu einem neuen Markt für Wasserkraft werden, indem diese für die Produktion von synthetischem Methan genutzt wird. Die Wirtschaftlichkeit bleibt dabei zwar eine Herausforderung, allerdings – verglichen mit dem Strommarkt - voraussichtlich in deutlich geringerer Masse. Voraussetzung ist allerdings die Anrechenbarkeit der entsprechenden CO₂-Einsparung.

⁹ BFE/Prognos; Energieperspektiven 2050: Sensitivitätsanalysen Photovoltaik – Ergebnisse der Modellrechnungen (2013)

¹⁰ Entwicklung von modularen Konzepten zur Erzeugung, Speicherung und Einspeisung von Wasserstoff und Methan ins Erdgasnetz; DVGW Forschung (2013)

¹¹ BFE; Perspektiven für die Grosswasserkraft in der Schweiz (2013)

Abb. 2 zeigt das von Audi entwickelte und als „e-Gas“ benannte Konzept einer CO₂-neutralen Mobilität mit Gasfahrzeugen, das auf der Nutzbarmachung erneuerbarer Elektrizität in „Power-to-Gas“-Anlagen basiert.

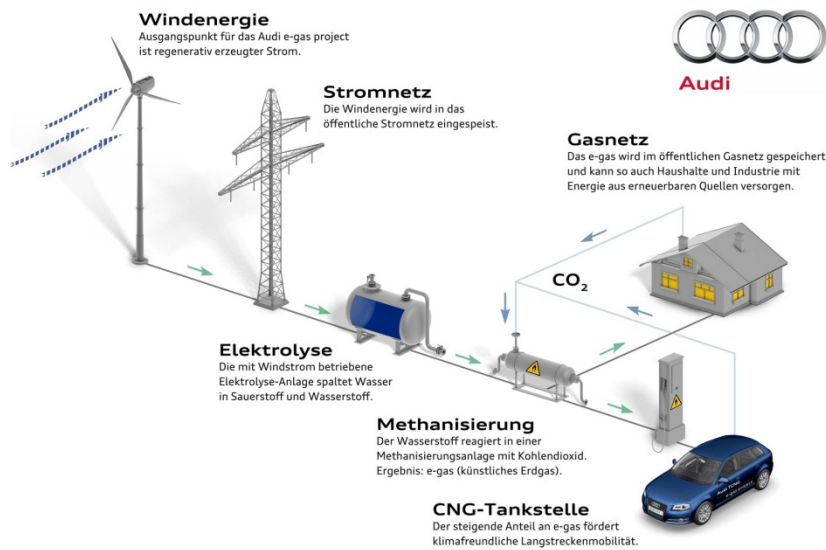


Abb. 2: Audi e-Gas-Konzept (Quelle: Audi AG, Internet)

Die Pilotanlage von Audi wurde in Werlte (Norddeutschland) aufgebaut, einem Landteil mit viel überschüssiger Windenergie. Die Anlage umfasst eine 6 MW-Elektrolyseanlage mit Nutzung des abgeschiedenen CO₂ aus einer Biogas-Anlage. Sie ist in der Lage, synthetisches Methan für 1'500 Gasfahrzeuge herzustellen und in das Gasnetz einzuspeisen.

In der Schweiz sind bereits verschiedene PtG-Anlagen in Planung, beispielsweise bei:

- Empa Dübendorf
- Paul Scherrer Institut, Villigen
- EPFL, Energy Science Center, Sion
- Regio Energie Solothurn

Das Paul Scherrer Institut (PSI) forscht an der Optimierung von Elektrolysetechnologien und Methanisierungsverfahren mit dem Ziel, die Kosten zu senken und die Wirkungsgrade zu erhöhen. An der Empa wird der Einsatz von PtG in der Mobilität untersucht, wobei – neben Brennverfahrensstudien im Labor - in Zusammenarbeit mit dem Fahrzeugflottenbetreiber Mobility Solutions AG auch wasserstoffangereichertes Erdgas/Biogas als Treibstoff in der Praxis erprobt wird.

4. Erdgas und Biogas als Treibstoff

Erdgas ist der sauberste fossile Energieträger. Es besteht zu ca. 90% aus Methan und zu etwa gleichen Teilen aus Inertgasen (Kohlendioxid und Stickstoff) und höheren Kohlenwasserstoffen. Neben Kohle ist Erdgas der zweithäufigste fossile Energieträger der Welt. Konventionelles Erdgas wird hauptsächlich in Russland und dem Mittleren Osten gefördert. Die Verteilung geschieht grösstenteils über Pipelines, wofür ein weltweites Netz existiert. Neben dem Pipeline-gebundenen Verteilsystem etabliert sich seit einigen Jahren ein Flüssigerdgas-Verteilsystem (LNG = Liquefied Natural Gas), das die Verbreitung aus Quellen ohne Gasnetzanschluss bzw. die Versorgung von Ländern/ Regionen ohne Gasnetzanschluss ermöglicht.

Heute werden gut 30'000 GWh Erdgas in die Schweiz importiert, wovon rund 90 GWh als Treibstoff verbraucht werden¹². Das in die Schweiz importierte Erdgas stammte 2012 zu 41% aus der EU, zu 24% aus Norwegen, zu 23% aus Russland und zu 12% aus anderen Ländern¹³. Der weltweite Handel mit Erdgas ist komplex und basiert auf langfristigen Verträgen, in denen der Gaspreis in der Vergangenheit an den Ölpreis gekoppelt war. Aufgrund revidierter Verträge konnte in den letzten Jahren die Ölpreisbindung reduziert werden, so dass gegenwärtig nur noch ein geringer Teil der für die Schweiz beschafften Erdgasmenge an die Preise der Ölprodukte gebunden ist (ca. 33%)¹³.

Die Ökobilanz von Erdgas unterscheidet sich je nach Herkunft und Transportdistanz. Die Europäischen Kommission (JRC) hat in Zusammenarbeit mit dem Verband der Europäischen Mineralölindustrie (Concawe) und dem Europäischen Verband der Fahrzeugentwickler (EuCar) verschiedenste Treibstoffpfade hinsichtlich deren „Well-to-Wheel“-Bilanzen analysiert¹⁴. Für den EU-Erdgasmix weist die Studie einen mittleren Energieaufwand von 2% für Förderung und Aufbereitung auf. Zusätzlich zu diesem Energieaufwand werden bei der Förderung und Aufbereitung Treibhausgasemissionen von 1 Vol% CO₂ und 0.4 Vol% CH₄ emittiert, die in den Treibhausgasbilanzen erfasst werden. Das nach Europa geförderte Erdgas weist im Mittel eine Transportdistanz von 4'000 km auf. Dafür wird das Erdgas auf einen Druck von 60 – 80 Bar verdichtet, was einen mittleren energetischen Aufwand von 9.6% der geförderten Energie verbraucht.

Die Erdgasverteilung weist eine Methanleckrate auf, die Gegenstand verschiedener Studien ist. In der JRC/Concawe/EuCar-Studie wurden diese ausgewertet und eine Leckrate von 0.13% des transportierten Gases pro 1'000 km ermittelt. Das bedeutet, dass die Methanlecks in der Erdgasverteilung die Treibhausgasemissionen von Erdgasfahrzeugen im Bereich 5 g CO₂-Äq./km erhöhen.

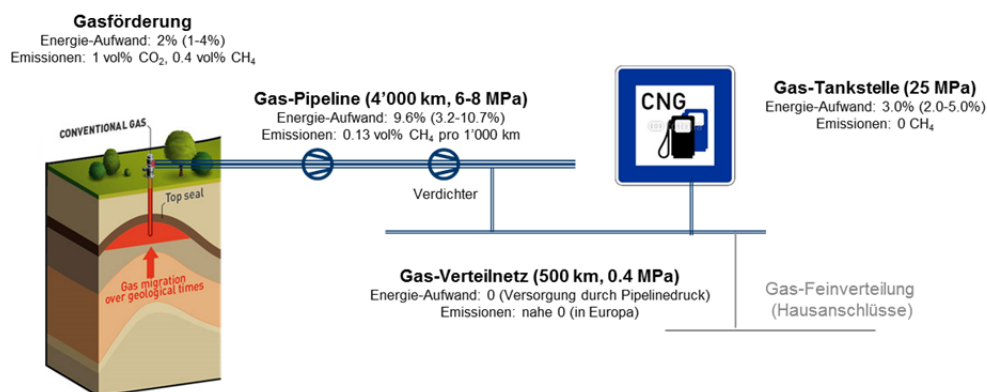


Abb. 3: Energieaufwand und Treibhausgasemissionen der Erdgas-Förderung und Verteilung („Well-to-Tank“)

¹² BFE Gesamtenergiestatistik 2012

¹³ Swissgas, Geschäftsbericht 2012

¹⁴ JRC Technical Reports; Well-to-Tank Report Version 4.0 (2013)

Biogas

Dem Erdgas kann ohne Anpassungen am Fahrzeug aufbereitetes Biogas (Bio-Methan) beigemischt werden. Die Schweiz hat diesbezüglich eine Pionierrolle eingenommen, indem 1997 erstmals in Samstagen aufbereitetes Biogas in das Gasnetz eingespeist und die Richtlinie G13 zur Einspeisung von aufbereitetem Biogas erarbeitet wurde. Gemäss Gesamtenergiestatistik des BFE werden heute in der Schweiz knapp 600 GWh Biogas erzeugt und genutzt (davon ca. 90 GWh zur Einspeisung in das Gasnetz)¹⁵.

Die Schweiz weist ein nachhaltiges Biomassepotenzial von ca. 23'000 GWh_{Biomasse} für die energetische Nutzung auf, das heute zu gut 50% genutzt wird¹⁶. Die restlichen knapp 50% werden zurzeit nicht genutzt. Dies sind zur einen Hälfte Gülle, Mist, Bioabfälle und Klärschlamm und zur anderen Hälfte Holz. Dieses freie Potential ist aufgrund verschiedener Rahmenbedingungen (z.B. Verfügbarkeit von Ko-Substraten) jedoch nur sehr eingeschränkt zugänglich.

Die Ökobilanz für Biogas aus Abfallrohstoffen weist bei Ökobilanzen wie auch bei den meisten anderen Wirkungskategorien beste Beurteilungen auf¹⁷. Abb. 4 zeigt, dass ein mit Bio-Methan aus modernen Biogasanlagen angetriebenes Gasfahrzeug über 80% niedrigere Treibhausgase emittiert, als ein mit fossilem Erdgas angetriebenes Fahrzeug.

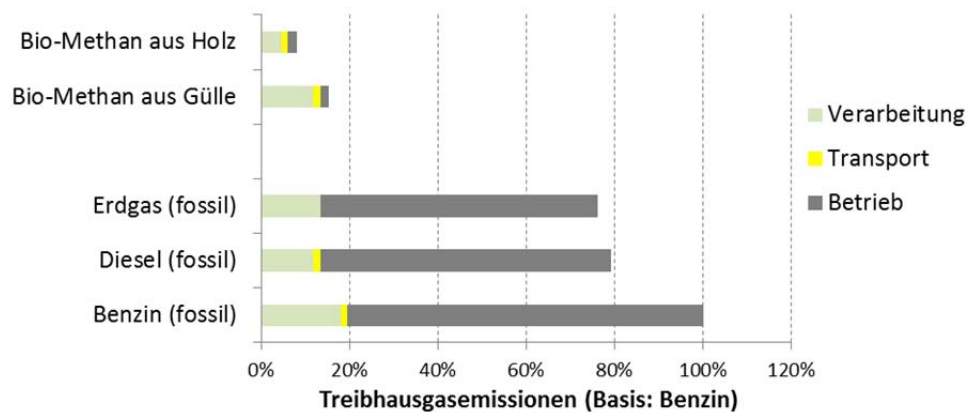


Abb. 4: Relativer Vergleich der Treibhausgasemissionen für einen PW-Mittelklassefahrzeug mit Euro3 Emissionsstandard, bezogen auf Benzin. Quelle: Empa (2012)

¹⁵ BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2012

¹⁶ Steubing B, et al; Bioenergy in Switzerland: Assessing the domestic sustainable biomass potential; Renew Sustain Energy Rev (2010)

¹⁷ Faist Emmenegger M. et al; Harmonisation and extension of the bioenergy inventories and assessment (Empa, ART, PSI, Doka Ökobilanzen 2012)

5. **Mengenmässige Abschätzung von Biogas und synthetischem Methan**

Für den Einsatz in Fahrzeugen stehen in der Schweiz als Rohstoffe nur die aktuell nicht genutzte Biomasse (siehe Kap. 4) sowie die künftige, in Kapitel 3 beschriebene, temporär überschüssige, erneuerbare Elektrizität zur Verfügung. Alle anderen/weiteren Energien für Fahrzeuge müssen importiert oder fossil hergestellt werden.

Mengenmässig können diese wie folgt abgeschätzt werden:

Die in Kapitel 4 beschriebenen, ungenutzten Biomasse-Ressourcen betragen ca. 11'000 GWh. Wird aufgrund der teilweise schwierigen Rahmenbedingungen angenommen, dass nur 1/5 dieses ungenutzten Biomasse-Potentials wirklich zugänglich ist und für die Biogasproduktion genutzt werden kann, könnten damit rund 1'300 GWh Biogas erzeugt werden, was für den Betrieb von rund 160'000 heutigen Gas-Fahrzeugen mit einem Realverbrauch von 4.4 kg/100 km bzw. 200'000 künftigen Gasfahrzeugen mit einem Realverbrauch von 3.5 kg/100 km reichen würde.

Diese Biogasproduktion erzeugt neben dem eigentlichen Energieträger „Bio-Methan“ auch biogenes CO₂, das in Verbindung mit temporär überschüssiger Elektrizität für die Produktion von synthetischem Methan genutzt werden kann. Wird die Hälfte der 2050 erwarteten, minimalen Überschuss-Elektrizität für die Produktion von synthetischem Methan eingesetzt, könnten damit weitere 430'000 künftige Gasfahrzeuge mit einem Verbrauch von angenommenen 2.8 kg/100 km mit einheimischem, CO₂-neutralem Treibstoff betrieben werden.

Wird die Energiestrategie umgesetzt, verfügt die Schweiz somit über einheimische Ressourcen, um mehrere 100'000 Gasfahrzeuge mit erneuerbarem Treibstoff zu versorgen. Erdgas/Biogasfahrzeuge stellen die kostengünstigste Lösung für die Nutzung dieser erneuerbaren Energie dar.

6. Erdgas/Biogasfahrzeuge

Bis zur Einführung der Euro-4 Abgasvorschriften im Jahr 2006 wurden Erdgasfahrzeuge nur von wenigen Automobilherstellern angeboten. Sie wurden damals hauptsächlich im Aftersales-Bereich von Werkstattbetrieben „nachgerüstet“. Während diese Fahrzeuge früher durchaus gut funktionierten, stiess die Nachrüstung mit strenger werdenden Abgasvorschriften zunehmend an Grenzen, was sich teilweise in mangelhaftem oder spürbar leistungsreduziertem Betrieb ausgewirkt hat. Die Erdgas-Nachrüstung ist heute im Personen- und Lieferwagen-Bereich nahezu verschwunden, weil die aktuellen Abgas- und Diagnosevorschriften mit Nachrüstsystemen fast nicht mehr eingehalten werden können. Heute sind praktisch nur noch direkt von Automobilherstellern entwickelte und vertriebene Erdgasfahrzeuge erhältlich, die technisch in jeder Hinsicht deutlich besser sind, als umgerüstete Fahrzeuge.

Die Motivation für Erdgasfahrzeuge basierte früher auf niedrigen Treibstoffkosten und/oder dem schadstoffarmen Betrieb, insbesondere, wenn eine wirkungsorientierte Bewertung wie Ozonbildung, Gesundheitsgefährdung oder Versauerung herangezogen wurde¹⁸. Als ca. 2005 die Einführung von CO₂-Vorschriften absehbar wurde, wurde Erdgas als Treibstoff aufgrund des um 20 - 25% geringeren Kohlenstoffgehalts pro Energieeinheit gegenüber Benzin und Diesel wie auch aufgrund des international niedrigen Preises für Automobilhersteller zunehmend interessant. Dies hat dazu geführt, dass diese selber mit der Entwicklung und dem Vertrieb von Erdgasfahrzeuge begannen. Diese Fahrzeuge wiesen anfänglich noch ältere Motoren mit entsprechend verminderter Leistungsfähigkeit auf, konnten dafür aber zuverlässig, sicher und sauber betrieben werden. Seit ca. 2009 setzen Automobilhersteller zunehmend auch modernste Motoren- und Antriebstechnologien wie turboaufgeladene Motoren für ihre Erdgasfahrzeuge ein.

Es kann erwartet werden, dass Erdgasfahrzeuge in Europa bis 2020 aufgrund der anspruchsvollen CO₂-Gesetzgebung für Personenwagen und dem angekündigten Wachstum der Modellpalette ein deutliches Marktwachstum erleben. Dieser Trend wird durch die erhöhte Nachfrage in Märkten wie China und den USA verstärkt.

Unterschiede zu Benzinfahrzeugen

Sichtbar unterscheiden sich Erdgasfahrzeuge nur durch die zusätzliche Unterflur-Gasspeicherung, die Gasleitungen mit Absperrventilen und Druckregler sowie den zusätzlichen Einspritzventilen im Saugrohr (und einem teilweise kleineren Benzintank). Erdgas/Biogas und Benzin können im gleichen Motor genutzt werden. Deshalb ist ein bivalenter Betrieb mit Erdgas/Biogas und Benzin möglich und heute üblich. Damit ist die Gesamtreichweite mit beiden Treibstoffen mindestens vergleichbar zu heutigen Benzinfahrzeugen, wobei die Reichweite im Gasbetrieb im Bereich von 350 – 500 km liegt.



Abb. 5: Beispiel-Erdgasfahrzeug mit üblicher Unterflur-Gasspeicherung (Quelle: Audi, Internet)

¹⁸ Bach C., Heeb N., Mattrel P., Mohr M.; Wirkungsorientierte Bewertung von Automobilabgasen; Motortechnische Zeitschrift MTZ (1998)

Brennverfahren von Erdgas/Biogasmotoren

Erdgas/Biogas ist ein sehr klopfester Treibstoff (bis 130 Oktan), was insbesondere für Turbomotoren interessant ist. Turbomotoren weisen im Erdgas/Biogasbetrieb teilweise höhere Leistungen auf als im Benzinbetrieb. Die Klopfestigkeit eines Treibstoffes ist für die Auslegung von Otto-Motoren ein wichtiges Kriterium. Erdgas/Biogas ist deshalb für moderne, hubraumkleine Motoren mit Turboaufladung (Downsizing Konzepte) sehr gut geeignet.

Die hohe Klopfestigkeit bedeutet umgekehrt aber auch eine höhere Zündunwilligkeit als Benzin. Dies wirkt sich bei Turbomotoren mit höherem Zylinderinnendruck stärker aus als bei Saugmotoren. Deshalb benötigen Erdgas/Biogasbetrieene Turbomotoren oftmals verstärkte Zündsysteme. In diesem Bereich wird viel geforscht. Es darf erwartet werden, dass in den nächsten Jahren weiterentwickelte Zündsysteme für Gasmotoren auf dem Markt erhältlich sein werden.

Um eine zu hohe thermische Belastung der Auslassventile und des Katalysators zu vermeiden, wird das Treibstoff-Luftgemisch bei hohen Motorleistungen im Benzinbetrieb teilweise „angefettet“. Diese Anfettung führt zu einer erhöhten Verdampfungskühlung des Benzins im Brennraum, was die Temperatur an den Auslassventilen und am Katalysator entsprechend reduziert, aber den Verbrauch erhöht. Bei gasförmigen Treibstoffen werden keine solchen Anfettungen vorgenommen, da kein kühlender Phasenübergang des Treibstoffs (Vergasung) stattfindet. Erdgas/Biogas-Motoren müssen deshalb temperaturfest ausgeführt werden. Diese Effekte sind im Normverbrauchstest nicht spürbar, führen aber dazu, dass Erdgas/ Biogasfahrzeuge im Realbetrieb gegenüber dem Normbetrieb einen geringeren energetischen Mehrverbrauch aufweisen, als Benzinfahrzeuge.

Die energetischen Verbräuche von Erdgas/Biogas-Fahrzeugen im Personen- und Lieferwagenbereich entsprechen heute noch nahezu denjenigen von Benzinfahrzeugen. Dies deshalb, weil sie auf Benzinmotoren mit nur wenigen Änderungen basieren. Es kann aber erwartet werden, dass sie ab 2020 wesentlich bessere Wirkungsgrade erreichen. Im Forschungsprogramm „Horizon 2020“ der EU ist die Entwicklung neuer Brennverfahren für Erdgas/Biogasmotoren ausgeschrieben, die einen um 20% geringeren Verbrauch aufweisen sollen, als die aktuell besten Erdgas/Biogas-Fahrzeuge sowie eine Reichweite von mindestens 600 km¹⁹. Zurzeit werden verschiedene Ansätze diskutiert, um dieses Ziel zu erreichen.

Abgasemissionen

Die Abgasemissionen moderner Erdgas/Biogasmotoren liegen im gesamten Betriebsbereich bei sehr niedrigen Werten (teilweise im Bereich der Aussenluftkonzentration). Dies gilt insbesondere für ozonreaktive oder kanzerogene Verbindungen, wie auch bei den NO_x-, NO₂- oder Partikelanzahlemissionen. Die Einhaltung künftiger Abgasgrenzwerte ist deutlich einfacher als bei Benzin- und Dieselmotoren.

Den Methanemissionen muss jedoch genügend Beachtung geschenkt werden, da sie ein 21 Mal höheres Treibhausgaspotential aufweisen, als CO₂. Dies geschieht, indem auf Methankonversion optimierte Katalysatorbeschichtungen eingesetzt werden. Die Methanemissionen aktueller Erdgas/Biogasfahrzeuge kompensieren lediglich 1-2 %-Punkte des 20 - 25%-igen CO₂-Vorteils gegenüber Benzinfahrzeugen²⁰.

¹⁹ Horizon 2020, Work Programme 2014 – 2015, Smart, green and integrated transport, December 2013

²⁰ Der aktuelle Euro-6 T.HC-Grenzwert von 0.1 g/km entspricht – bei 100% CH₄-Anteil – einem CO₂-Äquivalent von 2.1 g/km, was bei einem Fahrzeug mit 120 g CO₂/km einer Verminderung des CO₂-Vorteils um 1%-Punkt entspricht.

7. CO₂-Lebenszyklusemissionen

Der Vergleich unterschiedlicher Antriebskonzepte macht nur Sinn, wenn dieser die Fahrzeugherstellung und -entsorgung sowie die gesamte Energiekette umfasst. Eine Studie der Technischen Universität München zeigt den Einfluss von verwendeten Materialien auf die Lebenszyklusemissionen von Elektro- und Dieselfahrzeugen²¹. Dabei zeigt sich dass die Fahrzeugherstellung bei konventionellen, fossil betriebenen Fahrzeugen einen Viertel der CO₂-Lebenszyklusemissionen ausmacht, bei mit EU-Mix-Strom betriebenen Elektrofahrzeugen jedoch die Hälfte. Bei mit sauberer, erneuerbarer Energie betriebenen Fahrzeugen ist die Fahrzeugherstellung für über 90% der CO₂-Lebenszyklusemissionen verantwortlich; der Betrieb der Fahrzeuge ist dann hinsichtlich CO₂-Emissionen nur noch von untergeordneter Bedeutung.

Abb. 6 zeigt die von der TU München modellierten CO₂-Lebenszyklusemissionen eines mit fossilem Diesel betriebenen Fahrzeugs sowie eines mit EU-Strom und mit erneuerbarem Strom betriebenen Elektrofahrzeugs. Diese wurden in Abb. 6 ergänzt mit Daten der Empa für den Betrieb des Elektrofahrzeugs mit CH-Mix-Strom sowie zu Benzin- und Gasfahrzeugen, wobei für Gasfahrzeuge der rein fossile Betrieb, der Betrieb mit CH-Gas-Mix und mit erneuerbarem Gas dargestellt wurde.

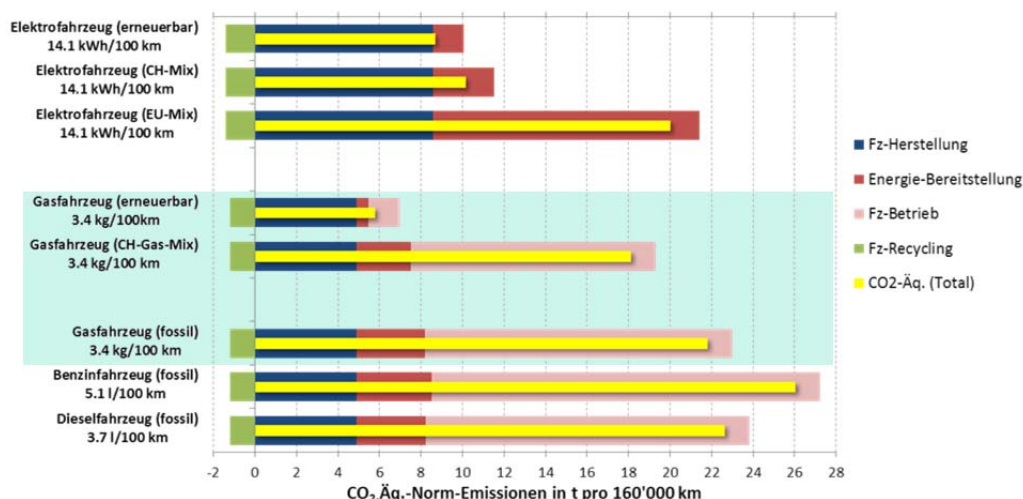


Abb. 6: CO₂-Lebenszyklusemissionen aktueller verbrennungsmotorischer und elektrischer Antriebe über 160'000 km basierend auf Verbrauchswerten im Europäischen Normzyklus (NEFZ)
(Quelle: Diesel- und Elektrofahrzeug: TU München; CH-Strom, Gas- und Benzinfahrzeug: Empa)

Der Vergleich in Abb. 6 zeigt, dass Erdgas/Biogasfahrzeuge mit CH-Gas-Mix (d.h. 23% Biogasanteil²²) heute gegenüber Benzin- und Dieselfahrzeugen im Normzyklus eine CO₂-Reduktion von 22 - 30% aufweisen. Elektrofahrzeuge, die mit CH-Strom-Mix betrieben werden, erreichen eine CO₂-Minderung um 45 - 60%. Die Daten beruhen auf den Normverbrauchsangaben. Nicht berücksichtigt dabei ist die stärkere Verbrauchszunahme von Elektroautos gegenüber verbrennungsmotorischen Fahrzeugen im realen Betrieb (z.B. aufgrund der Heizenergie oder der Wirkungsgradabnahme bei höheren Leistungen).

Vergleicht man den Betrieb mit erneuerbarer Energie, stellen Gasfahrzeuge das hinsichtlich CO₂-Emissionen sauberste Antriebskonzept dar. Dies deshalb, weil die Herstellung verbrennungsmotorischer Fahrzeugen nur halb so viel CO₂ erzeugt, wie bei der Herstellung elektrischer Fahrzeuge.

²¹ Fuchs S. et al; Parametrische CO₂-Emissionsmodellierung für neue Fahrzeugkonzepte; Automobiltechnische Zeitschrift ATZ (2014)

²² Verband der Schweizerischen Gasindustrie, Jahresbericht 2013

8. Energieeffizienz verschiedener Antriebskonzepte

Die Effizienz verschiedener Antriebskonzepte kann anhand der Bewertungsmethodik der Energieetikette für Personenwagen ermittelt werden²³. Dabei wird der Normverbrauch in ein Benzinäquivalent (Tab. 1) und in einen Primärenergie-Normverbrauch (Tab. 2) umgerechnet. Unter Berücksichtigung der Fahrzeugmasse wird aus dem Primärenergie-Normverbrauch eine Bewertungszahl ermittelt, die für die Einteilung in die Effizienzkategorien A (höchste Effizienz) bis G (niedrigste Effizienz) verwendet wird.

Anhand der Normverbrauchsangaben für den VW Golf, der mit modernem Euro-6 Diesel-, Benzin-, Erdgas- und Elektroantrieb angeboten wird, kann die Energieeffizienz wie folgt dargestellt werden:

	VW Golf 1.6 TDI Diesel (81 kW)	VW Golf 1.2 TSI Benzin (81 kW)	VW Golf 1.4 TGI Erdgas (81 kW)	VW Golf E Elektro (85 kW)
Normverbrauch	3.9 l/100 km	4.9 l/100 km	3.4 kg/100 km	12.7 kWh/100 km
Normverbrauch (Benzinäquivalent)	4.7 l B-Äq./100 km	4.9 l B-Äq./100 km	5.4 l B-Äq./100 km	1.4 l B-Äq./100 km
Norm-CO₂	102 g/km	115 g/km	92 g/km	0 g/km
Leergewicht	1'339 kg	1'251 kg	1'395 kg	1'765 kg

Tab. 1: Normwerte gemäss Produktbroschüren der Volkswagen AG

Der Primärenergie-Normverbrauch und die Bewertungszahl für die Energieetikette betragen dann:

	VW Golf 1.6 TDI Diesel (81 kW)	VW Golf 1.2 TSI Benzin (81 kW)	VW Golf 1.4 TGI Erdgas (81 kW)	VW Golf E Elektro (85 kW)
Primärenergie- Normverbrauch (Benzinäquivalent)	4.1 l B-Äq./100 km	4.9 l B-Äq./100 km	4.4 l B-Äq./100 km	3.2 l B-Äq./100 km
Bewertungszahl	396.7	448.8	408.0	329.4
Kategorie Energieetikette	A	C	A	A

Tab. 2: Primärenergie-Normverbrauch (als Benzin-Äquivalent), Bewertungszahl und Effizienz-Kategorie der Energieetikette

Umgerechnet in energetische Verbräuche ergeben sich für die verschiedenen Antriebe des VW Golf folgendes Werte:

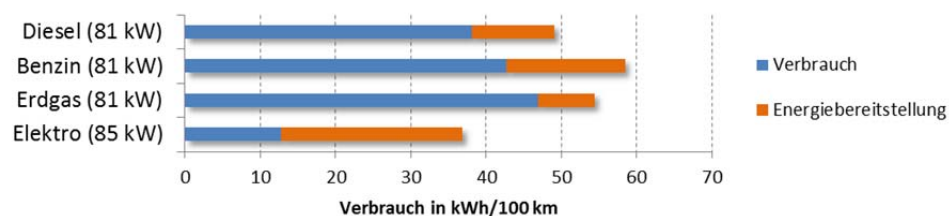


Abb. 7: Normverbrauch und Energiebereitstellung der verschiedenen Antriebsarten des VW Golf

Abb. 7 zeigt, dass die Energieeffizienz des Erdgasfahrzeugs im Normzyklus (und ohne Berücksichtigung der Fahrzeugherstellung) zwischen dem Benzin- und Dieselfahrzeug liegt und etwa 50% niedriger ist, als diejenige des Elektrofahrzeugs.

²³ Verordnung des UVEK über Angaben auf der Energieetikette von neuen Personenwagen (VEE-PW) vom 5. Juli 2011 (Stand am 1. August 2014)

9. Wirtschaftlichkeit der Erdgas/Biogas-Mobilität

Der Kostenvergleich unterschiedlicher Fahrzeugkonzepte ist komplex und hängt von verschiedenen Faktoren ab. Für die folgenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen werden nur die Kapitalkosten der Fahrzeuganschaffung für 1.-Besitzer mit einem Wertverlust von 60% (Benzinfahrzeuge) bzw. 62% (Erdgasfahrzeuge) in 4 Jahren und die Treibstoffkosten für eine jährliche Laufleistung von 15'000 km betrachtet, da diese die mit Abstand wichtigsten Kostenpositionen darstellen.

Kosten heutiger Erdgas/Biogas-Fahrzeuge und Tankstellen (mit Steuererleichterung)

Für ein Benzinfahrzeug mit einem Anschaffungspreis von 30'000 CHF und einem Realverbrauch von 7.6 l/100 km sind die Kapitalkosten mit 4'725.-/a (inkl. 5% Verzinsung) gut doppelt so hoch wie die Treibstoffkosten (2'064.-/a bei einem Benzinpreis von 1.80 CHF/l).

Kompakt- und Mittelklassefahrzeuge mit Erdgas/Biogasantrieb sind heute in der Anschaffung ca. 15% teurer als Benzinfahrzeuge²⁴ (bzw. vergleichbar teuer wie Dieselfahrzeuge) und haben einen etwas höheren Wertverlust. Dadurch steigen die Kapitalkosten für 1.-Besitzer um 19% (+890.-/a) an. Diese Kapital-Mehrkosten können heute bei einer Fahrleistung von 15'000 km/a über geringere Treibstoffkosten zu 75% (-660.-/a) kompensiert werden. Somit verbleiben Mehrkosten von rund 230.-/a, die oftmals durch einen Förderbeitrag der Gaswirtschaft und/oder aufgrund tieferer Fahrzeugbesteuerung abgedeckt werden können. Erdgas/Biogasfahrzeuge verursachen somit heute bei einer Laufleistung von 15'000 km/a für 1.-Besitzer vergleichbare Kosten wie Benzinfahrzeuge. Je grösser die Laufleistung, desto günstiger werden sie bereits für 1.-Besitzer. Für 2.- und 3.-Besitzer sind sie dank geringerer Betriebskosten bereits heute deutlich billiger als Benzinfahrzeuge.

Erdgastankstellen benötigen einen minimalen Umsatz, um wirtschaftlich betrieben werden zu können. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass nicht nur die Tankstelle wirtschaftlich betrieben, sondern auch weiterhin 75% der Kapital-Mehrkosten von Gasfahrzeugen durch Treibstoff-Minderkosten kompensiert werden sollen. Unter den heutigen Bedingungen wird das erreicht, wenn eine Erdgastankstelle einen Umsatz von ca. 130 t CNG pro Jahr erreicht, bzw. pro Tankstelle gut 150 Erdgas/Biogasfahrzeuge im Verkehr sind (Abb. 8).

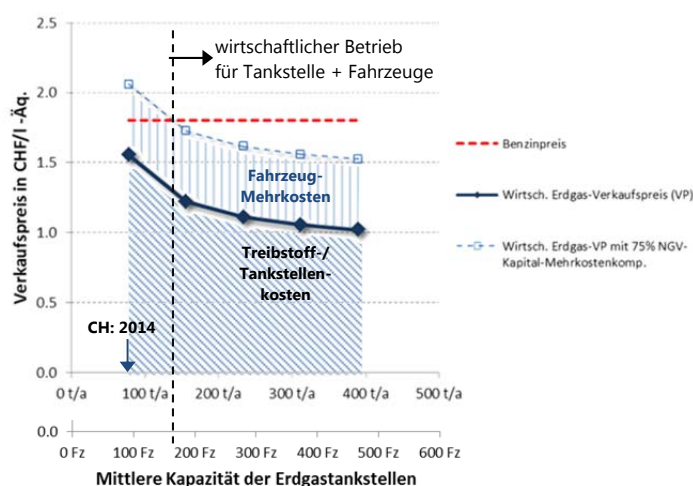


Abb. 8: Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Erdgastankstellen in Abhängigkeit des Umsatzes mit Berücksichtigung der Kompensation von 75% der Kapital-Mehrkosten für 1.-Besitzer von Gasfahrzeugen durch Treibstoffminderkosten

²⁴ Mehrkosten der Erdgasausführung ausgewählter Beispiele gegenüber Benzinausführung: Audi g-Tron: +2'790.- (+9%); Fiat Panda: +2'350.- (+17%); Opel Zafira Tourer: +4'000.- (+12%); VW Golf TGI: +4'150 CHF (+17%).

Heute üblich sind Erdgas/Biogas-Verkaufspreise an der Tankstelle von ca. 1.80 CHF/kg bzw. 1.22 CHF/l_{Benzin}-Äq. Damit sind durchschnittlich frequentierte Tankstellen nicht und selbst überdurchschnittlich frequentierte Tankstellen nur knapp wirtschaftlich betreibbar.

Der Betrieb von Erdgas/Biogasfahrzeugen mit Normalsteuersatz

Ab einer „spürbaren“ Marktpenetration muss davon ausgegangen werden, dass die steuerlichen Fördermassnahmen reduziert bzw. aufgehoben werden und ein wirtschaftlicher Betrieb mit einer Fahrenergie-Besteuerung, wie sie heute pro Fahrzeug in Form der Mineralölsteuer erhoben wird, möglich sein muss. Dies muss für die gesamte Wertschöpfungskette wie auch für die Teilbereiche Fahrzeuge und Tankstellen möglich sein.

Die folgenden Ausführungen zeigen, dass ein wirtschaftlicher Betrieb für die Erdgas/Biogas-Mobilität bei Aufhebung des reduzierten Steuersatz von 22.22 Rp/kg und Wiedereinführung des Normalsteuersatz von 80.92 Rp/kg erreicht wird, wenn eine Marktpenetration von mindestens 300 Fahrzeugen pro Tankstelle erreicht wird (Abb. 9). Den Berechnungen liegen folgende Annahmen zugrunde:

- Die Marktpenetration Erdgas/Biogasfahrzeugen beträgt 3% (ca. 120'000 Erdgas/Biogasfahrzeuge) bei 300 Tankstellen, was im Mittel eine Auslastung von 400 Fahrzeugen pro Tankstelle ergibt. Dabei wurde angenommen, dass der Verbrauch pro Fahrzeug von 5.2 kg/100 km auf 4.75 kg/100 km zurückgeht.
- Erdgastankstellen werden aufgrund der Marktgrösse und der zentralisierten Beschaffung durch Tankstellenbetreiber 10% billiger.
- Die Anschaffungskosten von Erdgas/Biogasfahrzeugen nähern sich denjenigen von Benzinfahrzeugen an. Denkbar ist, dass Erdgas/Biogasfahrzeuge dann aufgrund von Skaleneffekten nur noch rund 10% teurer sind, als Benzinfahrzeuge (und rund 5% billiger als Dieselfahrzeuge).

Unter der Annahme konstanter Benzin-, Erdgas- und Biogaspreise stellt sich mit Normalsteuersatz ab ca. 380 Fahrzeugen pro Tankstelle ein gegenüber dem Benzinbetrieb wirtschaftlicher Betrieb ein (Abb. 9). Im vorliegenden Falle wird zudem angenommen, dass 100% der Fahrzeug-Mehrkosten des 1.-Besizers durch Treibstoffminderkosten abgedeckt werden.

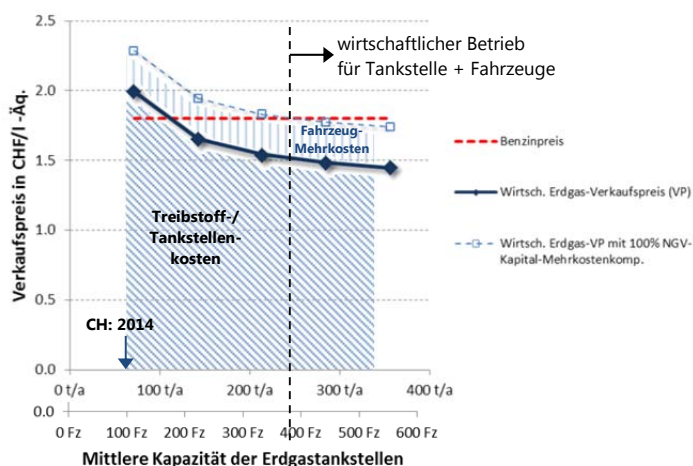


Abb. 9: Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Erdgastankstellen in Abhängigkeit des Umsatzes mit Berücksichtigung der Kompensation von 100% der Kapital-Mehrkosten von Gasfahrzeugen durch Treibstoffminderkosten

10. Sicherheit

Erdgas/Biogas-Anlagen in Fahrzeugen müssen hohen Anforderungen genügen, die von der Europäischen Wirtschaftskommission (ECE) in der Regelung ECE-R110 festgelegt wurden. Gasbehälter müssen beispielsweise einen Mindestberstdruck von 45 MPa (Betrieb bis 20 MPa) aufweisen, mindestens 45'000 Betankungszyklen aushalten, Beschleunigungen von 20 g in Fahrtrichtung und 8 g rechtwinklig zur Fahrtrichtung einhalten und die Gasbehälter müssen automatisch geschlossen werden und geschlossen bleiben, wenn der Motor nicht läuft.

Erdgas/Biogas-Tankstellen müssen ebenfalls strengen Anforderungen genügen. Die vom SVGW herausgegebene und für die Anwendung in der Schweiz entwickelte Richtlinie G9 für Erdgastankstellen definiert die Vorgaben für Ex-Zonen im Bereich der Abgabereinrichtung.

In Europa sind heute rund 1.8 Mio Erdgas/Biogasfahrzeuge und 4'000 Erdgas/Biogas-Tankstellen in Betrieb. In der Schweiz sind es rund 11'000 Erdgas/Biogasfahrzeuge und 140 Tankstellen²⁵. Die meisten Erdgas/Biogas-Zapfsäulen (oder CNG-Tankstellen für Compressed Natural Gas) sind in öffentlichen Tankstellen integriert. Erdgas/Biogasfahrzeuge weisen keine häufigeren Brände oder Störfälle auf, als Benzinfahrzeuge. Sie gelten deshalb als mindestens gleich sicher.

Der ADAC hat Crash- und Brandversuche mit einem Erdgasfahrzeug durchgeführt²⁶. Als Resultat wurde festgehalten: „Entwarnung, das Brandrisiko bei Erdgasfahrzeugen ist nicht erhöht. Auch bei Unfällen verhält sich das Gasmodell kaum anders als die Standard-Version. Wer sich für den umweltfreundlichen Kraftstoff entscheidet, muss diesbezüglich keine Bedenken haben!“

Können Gasflaschen in Erdgas/Biogasfahrzeuge „explodieren“?

Nein – In den Gasflaschen hat es keine Luft und somit auch keinen Sauerstoff. Selbst in einem Brand ist es nicht möglich, dass das Feuer in die Gasflasche eindringen und diese zur Explosion bringen kann.

Können Erdgas/Biogasfahrzeuge „brennen“?

Ja – wie alle anderen Fahrzeuge können auch Gasfahrzeuge abbrennen. Dazu ist aber – wie bei den anderen Fahrzeugen – ein entsprechendes Ereignis (z.B. ein schwerer Unfall oder eine Brandstiftung) erforderlich. Wenn ein Erdgas/Biogasfahrzeug brennt, steigt der Druck in den Gasflaschen an. Ab einem bestimmten Druck, öffnen sich Schmelz- oder Drucksicherungen, die das Gas abblasen. Beim Ausströmen kann sich dieses Gas entzünden und in einer lokalen Flamme abbrennen. Dies sieht dann so aus, wie wenn ein Schweissbrenner entzündet wird (z.B. 50 – 200 cm Stichflamme). Anders als bei flüssigen Treibstoffen breitet sich Erdgas/Biogas nicht am Boden aus, sondern verflüchtigt sich nach oben, da es leichter ist als Luft.

Können Erdgas/Biogasfahrzeuge in Tiefgaragen geparkt werden?

Ja – Erdgas/Biogasfahrzeuge dürfen genau gleich wie Benzinfahrzeuge betrieben werden. Einschränkungen für Tiefgaragen, Parkhäuser oder Unterführungen/Tunnels gibt es nicht.

²⁵ <http://www.ngvaeurope.eu/european-ngv-statistics>

²⁶ http://www.adac.de/infotestrat/tests/crash-test/crash_gasauto/Crash_Erdgas.aspx?tabid=tab1