

# MOVE: THE FUTURE MOBILITY DEMONSTRATOR

## SYNTHETISCHE TREIBSTOFFE AUS ERNEUERBAREM STROM

Für die Umsetzung der vom Bundesrat beschlossenen Energiewende können synthetische Treibstoffe in zweierlei Hinsicht eine wesentliche Rolle spielen. Durch deren Herstellung mithilfe von «Power-to-Gas/Liquid»-Anlagen ergibt sich die Möglichkeit der Speicherung von Energie, die mit der Zunahme von erneuerbaren fluktuierenden Stromquellen an Signifikanz gewinnen. Synthetische Treibstoffe wiederum, die aus erneuerbarem Strom hergestellt werden, bieten ein hohes Potenzial zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Mobilität.

*Urs Cabalzar\*; Brigitte Buchmann; Christian Bach, Empa*

### RÉSUMÉ

#### MOVE: THE FUTURE MOBILITY DEMONSTRATOR – CARBURANTS SYNTHÉTIQUES À BASE D'ÉLECTRICITÉ RENOUVELABLE

Le Conseil fédéral s'est prononcé pour la transition énergétique en 2011. D'ici 2050, l'énergie nucléaire doit être remplacée progressivement ainsi: 50% par des économies et 50% par le développement de l'utilisation d'électricité renouvelable. Ce projet comporte de nombreux défis, mais aussi d'importantes opportunités économiques et de politique énergétique. Les carburants synthétiques liquides et gazeux devraient avoir un impact positif sur l'augmentation de la production d'électricité renouvelable ainsi que sur l'exploitation de l'énergie hydraulique et représenter une source d'approvisionnement en énergie pour les véhicules conforme aux principes de la nature. L'accroissement de la part d'énergies renouvelables entraînera la décentralisation de la production d'électricité et une augmentation des fluctuations dans le réseau. Il est possible de répondre à ce nouveau défi par le biais de technologies de stockage et de transformation de l'électricité générée à partir de sources renouvelables. Pour ce faire, la technologie «Power-to-Gas/Liquid» est une option très prometteuse. Elle permet de transformer l'électricité renouvelable en agent énergétique chimique. Sur le campus de l'Empa à Dübendorf, une installation de démonstration, actuellement en cours de réalisation, doit montrer les possibilités que recèle cette technologie, dans le cadre du projet «MOVE». L'énergie renouvelable excédentaire est transformée en hydrogène via un électrolyseur et stockée sur place. L'hydrogène

### ENERGIEWENDE MIT SYNTHETISCHEN TREIBSTOFFEN

#### STROMPRODUKTION IM WANDEL

Heute wird die in der Schweiz produzierte Elektrizität zu 26% in Laufwasserkraftwerken, zu 29% in Pumpspeicherkraftwerken, zu 6% in thermischen Kraftwerken und zu 39% in Kernkraftwerken produziert [1]. Der letztgenannte Anteil soll in den nächsten Jahrzehnten durch Photovoltaik, Windkraft, Geothermie, Biomasse/Biogas und Abwasserreinigungs- und Kehrlichtverbrennungsanlagen sowie durch Einsparungen ersetzt werden, wobei die Produktion dieser Strommengen vermutlich das geringste Problem darstellt. Wesentlich herausfordernder wird es sein, die elektrische Energie zeitgerecht bereitzustellen und von zentralen Kraftwerken auf dezentrale Stromproduktion mit bi-direktionalem Stromfluss zu wechseln. Bereits heute erfordert die zeitgerechte Bereitstellung von Elektrizität ein hohes Mass an Planungs- und Marktinstrumenten. Mit zunehmendem Ausbau erneuerbarer, fluktuierender Elektrizität muss dieses mit intelligenten Stromnutzungskonzepten, um beispielsweise Stromverbraucher nach übergeordneten Interessen ein- und auszuschalten, mit Netzausbauten, um die vermehrt dezentral erzeugten Strommengen verteilen zu können, sowie mit Stromspeichertechnologien, um eine Flexibilisierung der Stromverteilung zu erreichen, ergänzt werden.

\* Kontakt: [urs.cabalzar@empa.ch](mailto:urs.cabalzar@empa.ch)

Aufgrund von saisonalen Schwankungen bei der Produktion erneuerbarer Elektrizität wird es sich selbst bei idealem Stromverbrauchs- und -netzmanagement nicht vermeiden lassen, dass im Sommerhalbjahr temporär überschüssige erneuerbare Elektrizität anfällt (Fig. 1). Die Nutzbarmachung dieser Überschussenergie ist nicht so einfach. Entweder muss sie über grosse Distanzen in Regionen mit Strommangel transportiert werden, was einen teuren Netzausbau erfordert, oder sie muss gespeichert und so in Perioden mit geringerer Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen verschoben werden, was den Einsatz von saisonalen Speichern erfordert, die es in der Realität aber nicht gibt.

Alternativ – und das soll im Folgenden etwas detaillierter ausgeführt werden – könnte sie für andere Energiesektoren nutzbar gemacht werden, wo sie ebenfalls fossile Energie substituieren kann. Dies gilt sowohl für temporär überschüssige erneuerbare Elektrizität wie auch für erneuerbare Elektrizität, die aufgrund von Netzengpässen nicht transportierbar ist, oder für die Wasserkraft, die im Strommarkt über weite Strecken des Jahres nicht mehr kostendeckend vermarktet werden kann.

**NATUR ALS VORBILD**

Die Grundidee basiert dabei auf der Transformation temporär überschüssiger oder nicht wirtschaftlich nutzbarer erneuerbarer Elektrizität in einen chemischen Energieträger (zum Beispiel Wasserstoff, Methan, Methanol), der zeitlich und örtlich flexibel eingesetzt werden kann.

Die Natur macht uns genau dies mit der Photosynthese, die zwar keinen hohen Wirkungsgrad hat, aber auf einem geschlossenen Kohlenstoff-Kreislauf basiert, auf eindruckliche Weise vor: Das Chlorophyll in den Pflanzen absorbiert Sonnenenergie, die für die Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff genutzt wird. Der Sauerstoff steht Mensch und Tier für die Atmung zur Verfügung und der Wasserstoff wird in der Pflanze zur Umwandlung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre in Kohlenhydrate genutzt. Diese sind die Energiespeicher der Pflanze.

Die Herstellung synthetischer Treibstoffe weist ähnliche Teilschritte auf: Anstelle von Chlorophyll treten Photovoltaikanlagen, die Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff erfolgt nicht biologisch in den Pflanzen, sondern elek-

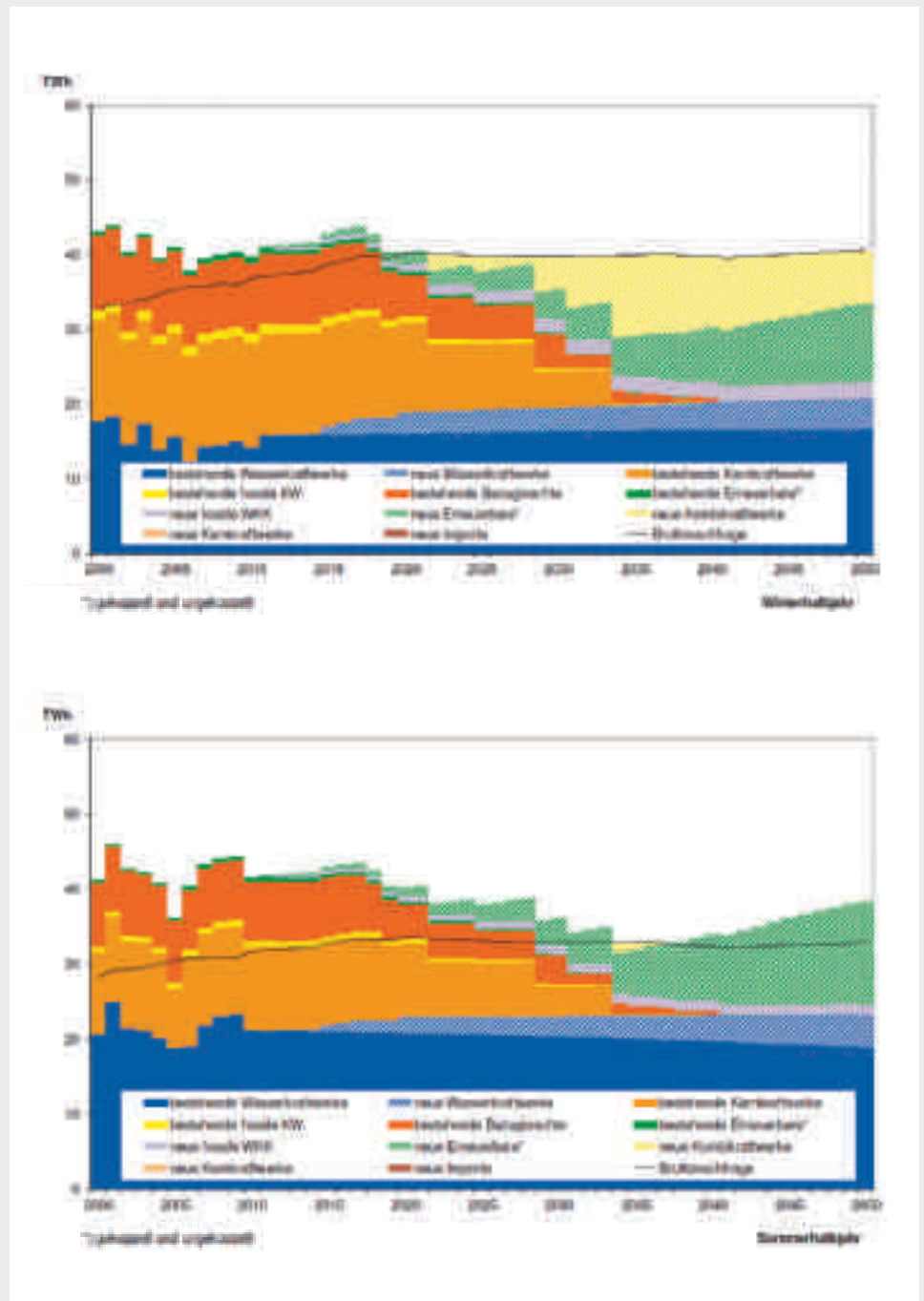


Fig. 1 Energieperspektiven von Prognos zu saisonalen Unterschieden in der Stromproduktion und im Stromverbrauch a: Winterhalbjahr, b: Sommerhalbjahr [2]

Perspectives énergétiques de Prognos relatives aux différences saisonnières dans la production et la consommation d'électricité a: semestre d'hiver, b: semestre d'été [2]

trochemisch in Elektrolyseanlagen und die chemische Umwandlung von CO<sub>2</sub> in Kohlenwasserstoffe (anstelle von Kohlenhydraten in Pflanzen) erfolgt je nach gewünschtem Ausgangsprodukt durch entsprechende katalytische Prozesse. Natürlich sind diese Umwandlungsprozesse alle verlustbehaftet, was auf den ersten Blick dem Gedanken der Effizienzsteigerung widerspricht. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich aber, dass für die Zukunft nicht ein maximaler Wirkungs-

grad, sondern die Minimierung der fossilen Energie das Ziel sein muss, was die Sache in ein anderes Licht rückt. Wie in der Natur basieren synthetische Treibstoffe auf erneuerbarer Energie und einem geschlossenen Kohlenstoff-Kreislauf, was für die zukünftige Energieversorgung ein absolut zentrales Anliegen sein wird. Des Weiteren gibt es für synthetische Treibstoffe keine physikalischen Limitierungen wie bei Energieträgern aus Biomasse. Es ist deshalb auch denkbar, dass synthe-

tische Treibstoffe langfristig die fossilen Treibstoffe vollständig ablösen könnten. Neben der CO<sub>2</sub>-Minderung in der Mobilität würden synthetische Treibstoffe durch die Kopplung des Strommarkts mit der Mobilität auch die Energiewende sowohl energetisch wie auch systemisch positiv beeinflussen. Energetisch, indem beliebig viel erneuerbare, temporär überschüssige oder im Strommarkt nicht wirtschaftliche Elektrizität nutzbar gemacht werden kann, und systemisch, weil das Stromnetz durch die Kopplung mit diesen chemischen Stromspeichern flexibler wird.

Wie fast immer bei erneuerbarer Energie übernehmen auch hier wirtschaftliche Fakten die Rolle des Spielverderbers. Berechnet man beispielsweise die Gesteungskosten von synthetischem Methan aus temporär überschüssiger Elektrizität, das als CO<sub>2</sub>-freier Treibstoff für Gasfahrzeuge genutzt werden kann, so resultiert heute ein rund doppelt so hoher Preis wie beim vergleichbar sauberen, aber energetisch begrenzten Biogas. Berücksichtigt man aber die Verbrauchsreduktionspotenziale der Fahrzeugantriebe, die technologischen Entwicklungspotenziale für die Herstellung synthetischer Treibstoffe und die erwarteten Preissteigerungen bei fossiler Energie, so ist vorstellbar, dass der Einsatz synthetischer Treibstoffe bereits mittelfristig wirtschaftlich interessant werden könnte.

## DEMONSTRATIONSANLAGE «MOVE»

Für die Durchführung verschiedener Forschungsaktivitäten im Bereich der Herstellung von synthetischen Treibstoffen wird an der Empa derzeit die Power-to-Gas-Anlage «Move» aufgebaut. *Figur 2* zeigt die Hauptkomponenten der Anlage.

### ELEKTROLYSEUR

Der Elektrolyseur des Herstellers *Proton OnSite* (Vertrieb *Diamond Lite*) weist eine Nennleistung von knapp 0,2 MW auf und produziert maximal 30 Nm<sup>3</sup>/h Wasserstoff. Dank einer Remote-Start/Stop-Funktion und der Fähigkeit, innerhalb von Sekundenbruchteilen vorgegebenen Laständerungen zu folgen, ist der Elektrolyseur prädestiniert zur Aufnahme von stark fluktuierenden Stromquellen. Gemäss Herstellerangaben sind Entwicklungen bezüglich der Lebensdauer mittlerweile so weit fortgeschritten, dass nach einer Betriebszeit von 60 000 Stunden keine nachweisbare Degradation der Zellstapeln festzustellen ist. Dabei haben die gewählten Betriebsmodi keinerlei Einfluss, sodass weder statische noch dynamische Lasten zu erhöhter Degradation führen. Die Komponenten des Elektrolyseurs sind in einem Gehäuse mit Heizlüfter untergebracht, die verhindern, dass die Zellstapel im Winter Frosttemperaturen ausgesetzt sind.

### VERDICHTER

Der luftgekühlte 30-kW-Kolbenverdichter des Typs DM stammt von *Atlas Copco* und erreicht eine Förderleistung von 65 Nm<sup>3</sup>/h. Der Wasserstoff wird in fünf Stufen komprimiert und zwischengekühlt und verlässt den Verdichter bei einem maximalen Enddruck von 44 MPa. Die Kolben werden über eine Magnetkupplung durch einen Elektromotor angetrieben, um den Eintrag von Abriebpartikeln und Öldämpfen in den Wasserstoffpfad auf ein Minimum zu reduzieren. Mithilfe eines Frequenzumrichters kann die Drehzahl des Elektromotors variiert werden, sodass für den Betrieb der Gesamtanlage eine erhöhte Flexibilität gewährleistet werden kann. *Figur 2* zeigt einen zweiten Verdichter für die Kompression des Wasserstoffs auf 90 MPa. Genauere Spezifikationen für diese Komponente sind derzeit noch nicht verfügbar.

### ZAPFSÄULEN

Die Zapfsäule für Erdgas/Biogas besteht bereits und ermöglicht die Betankung von Gasfahrzeugen bei einem Standard-Druck von 20 MPa. Daneben wird eine Zapfsäule errichtet, die entsprechend adaptierte Fahrzeuge mit einem Gemisch aus Wasserstoff und Erdgas/Biogas versorgen kann. Dieses Gemisch wird als HCNG oder Hythane bezeichnet und kann einen Wasserstoffanteil im Bereich von 2...30 Vol.-% enthalten.

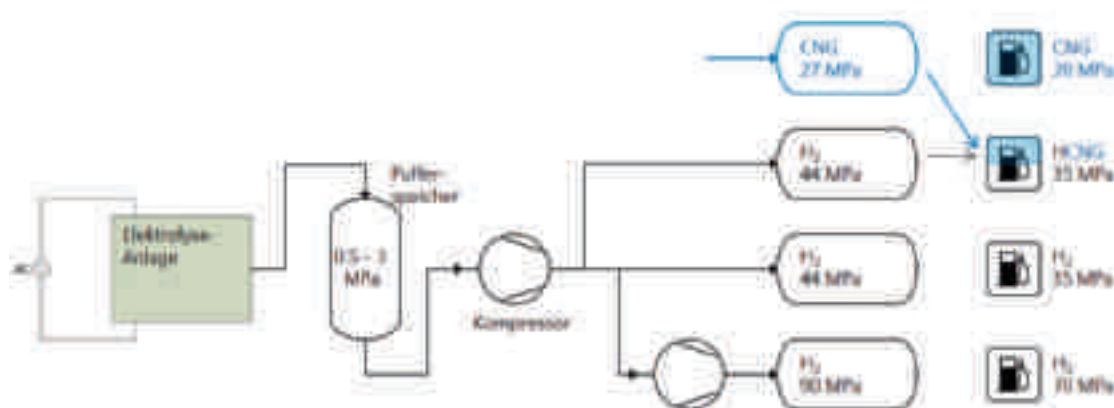


Fig. 2 Die Hauptkomponenten der Power-to-Gas-Anlage «MOVE»

Les principaux composants de l'installation Power-to-Gas «MOVE»

Der reine Wasserstoff kann bei einem Standard-Druck von 35 MPa (Nutzfahrzeuge) oder 70 MPa (Personenwagen) bezogen werden. Die Betankung verläuft dabei nach dem SAE-Standard J2601, der vorgibt, dass der Wasserstoff während des Betankungsprozesses auf  $-40\text{ °C}$  vorgekühlt werden muss [3]. Die Vorkühlung ist notwendig, um eine unzulässige Temperaturerhöhung im Tank zu verhindern, die aufgrund der Entstehung von Kompressionswärme resultiert. Die Temperaturerhöhung wird durch die maximal zulässige Temperatur des im Fahrzeugtank verwendeten Materials (z. B. Kohlenstofffasern) limitiert. Dank der Vorkühlung weist ein Brennstoffzellen-Fahrzeug in etwa die gleiche Betankungsdauer wie ein konventionelles Fahrzeug auf.

## SYNTHETISCHE TREIBSTOFFE FÜR GASFAHRZEUGE

### CNG: ERDGAS, BIOGAS, SYNTHETISCHES METHAN

Bis zur Einführung der Euro-4-Abgasvorschriften im Jahr 2006 wurden Erdgasfahrzeuge nur von wenigen Automobilherstellern angeboten. Sie wurden damals hauptsächlich von Garagetrieben «nachgerüstet». Während diese Fahrzeuge früher durchaus gut funktionierten, stieß die Nachrüstung mit strenger werdenden Abgasvorschriften ab 2000 zunehmend an Grenzen, was sich teilweise in mangelhaftem oder spürbar leistungsreduziertem Betrieb ausgewirkt hat. Die Erdgasnachrüstung ist heute im Personen- und Lieferwagenbereich 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 he-

rangezogen wurde [4]. Als ca. 2005 die Einführung von  $\text{CO}_2$ -Vorschriften absehbar wurde, wurde Erdgas als Treibstoff aufgrund des um 20 bis 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 Erdgasfahrzeugen 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  $\text{CO}_2$ -Gesetzgebung für Personenwagen und des angekündigten Wachstums 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; Fig. 3). 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 mit heutigen Benzinfahrzeugen, wobei die Reichweite im Gasbetrieb im Bereich von 350 bis 500 km liegt.

### Brennverfahren von Erdgas/Biogasmotoren

Erdgas/Biogas ist ein sehr klopfester Treibstoff (bis 130 Oktan), was insbesondere für Turbomotoren interessant ist. Turbomo-

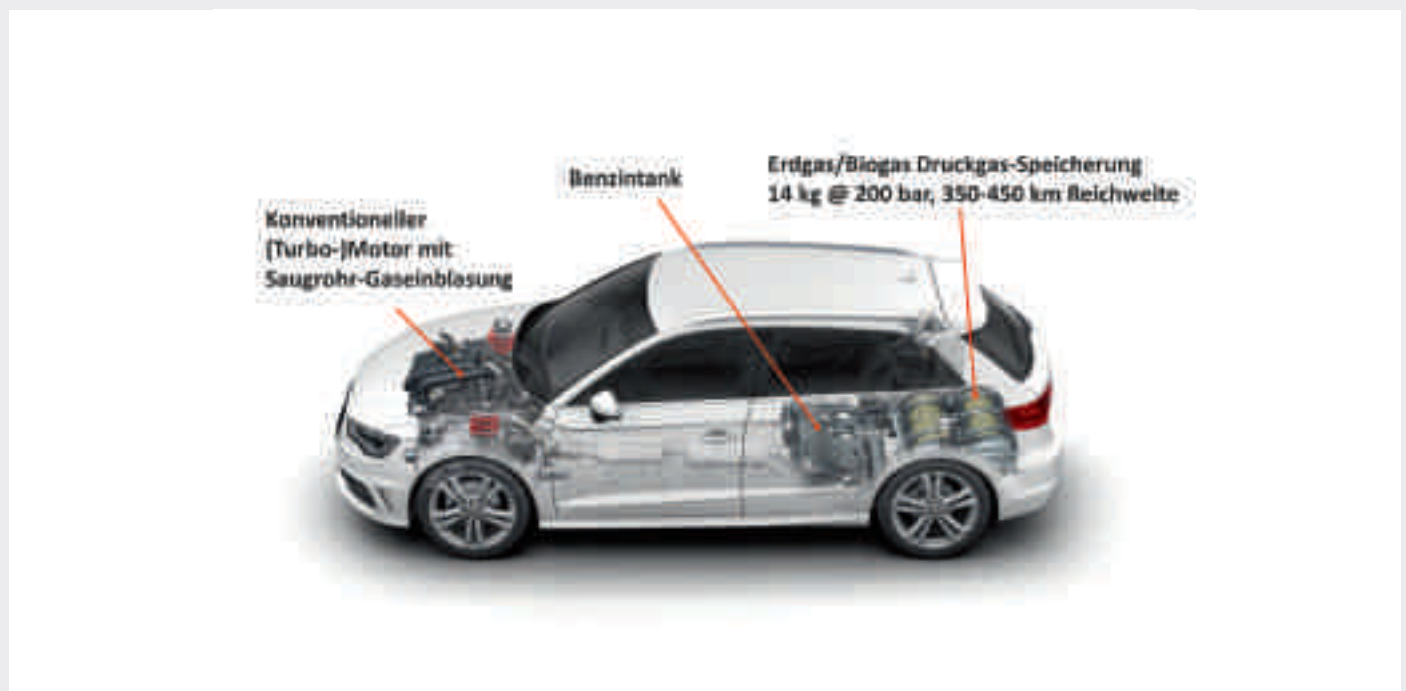


Fig. 3 Beispiel-Erdgasfahrzeug mit üblicher Unterflur-Gasspeicherung

Exemple de véhicule au gaz naturel avec stockage habituel du gaz sous le plancher

(Quelle: audi-technology-portal.de)

toren weisen im Erdgas/Biogasbetrieb teilweise höhere Leistungen auf als im Benzinbetrieb. Die Klopfestigkeit eines Treibstoffes ist für die Auslegung von Ottomotoren 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/biogasbetriebene 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. Die Empa arbeitet gemeinsam mit der ETH und Automobilherstellern an der Entwicklung neuer Brennverfahren für Erdgas/Biogasmotoren, die im Vergleich zu aktuellen Fahrzeugen einen um 20% geringeren Verbrauch aufweisen sollen sowie eine Reichweite von mindestens 600 km erreichen sollen [5].

#### HCNG: WASSERSTOFF-BEIMISCHUNG ZUM ERDGAS/BIOGAS

Neben Projekten zu reinem Erdgas/Biogas als Kraftstoff werden an der Empa derzeit auch Untersuchungen zum Gasgemisch HCNG durchgeführt. Bei diesem Gemisch wird dem Erdgas/Biogas (CNG) ein volumetrischer Anteil von 2 bis 30% Wasserstoff (H) beigemischt. Dank der Zugabe von Wasserstoff kann die Ent-

flammbarkeit von Erdgas/Biogas begünstigt werden, woraus ein beschleunigter Verbrennungsprozess mit erhöhtem Wirkungsgrad resultiert. Die Steigerung der Zündwilligkeit des Gemischs ermöglicht zudem eine Verbesserung des Magerbetriebs, was insbesondere bei Teillast zu einer Reduktion des Kraftstoffverbrauchs führt.

Auch bezüglich CO<sub>2</sub>-Emissionen hilft die Beimischung von Wasserstoff, da dem HCNG gemessen am Energiewert ein niedrigerer Kohlenstoffanteil inhärent ist. Vorangehende Versuche an der Empa haben gezeigt, dass der CO<sub>2</sub>-Ausstoss bei einer Beimischung von 25 Vol.-% Wasserstoff um mehr als 10% gesenkt werden kann. Die Emission von Schadstoffen wie CO, HC und NO<sub>x</sub> können ebenfalls stark vermindert werden. Dies bedingt jedoch, dass die Motorsteuerung auf die beschleunigte Verbrennung angepasst wird.

Ein entscheidender Nachteil des Gemischs HCNG liegt in der volumetrischen Energiedichte, die bei steigendem Wasserstoffanteil abnimmt. In einem laufenden Projekt der Empa (*Renerg<sup>2</sup>*) werden eine CNG-Zapfsäule und ein CNG-Testfahrzeug deshalb so auf HCNG umgerüstet, dass die Speicherung des Gases im Fahrzeug bei höherem Druck ermöglicht wird. Auf diese Weise ergibt sich eine Speicherkapazität, die dem konventionellen CNG-Fahrzeug äquivalent ist.

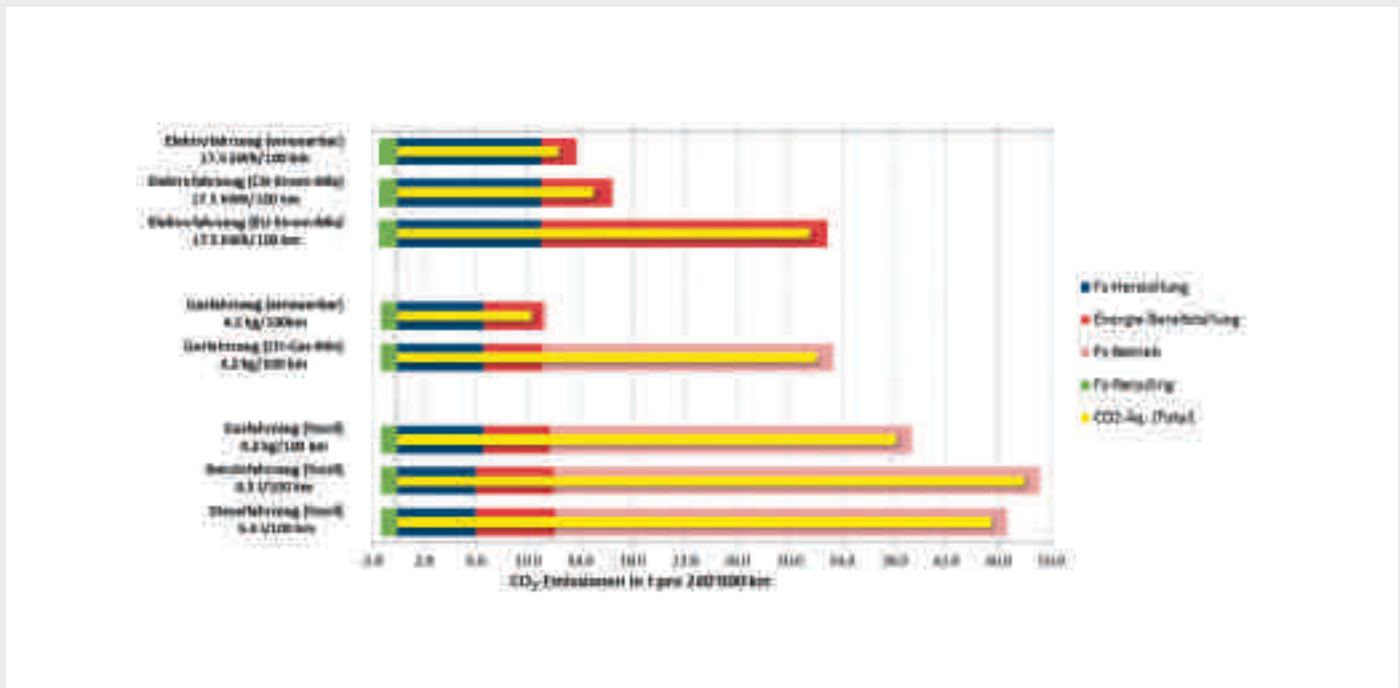


Fig. 4 Vergleich der Lebenszyklusemissionen für ein Kompaktfahrzeug mit verschiedenen Antrieben basierend auf verschiedenen LCA-Studien [6, 7]  
 Comparaison des rejets dans l'atmosphère sur l'ensemble du cycle de vie d'un véhicule compact avec différents systèmes de transmission, fondée sur études LCA différentes [6, 7]

## ÖKOBILANZ: VERGLEICH VERSCHIEDENER FAHRZEUGANTRIEBE

Der Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen unterschiedlicher Antriebskonzepte ergibt nur Sinn, wenn dieser die gesamte Energiekette umfasst, inkl. Fahrzeugherstellung und Energiebereitstellung. Solche Lebenszyklusanalysen zeigen, dass die Fahrzeugherstellung bei konventionellen, fossil betriebenen Fahrzeugen einen Viertel der CO<sub>2</sub>-Lebenszyklusemissionen ausmacht, bei mit EU-Mix-Strom betriebenen Elektrofahrzeugen jedoch deutlich mehr. Bei mit sauberer, erneuerbarer Energie betriebenen Fahrzeugen ist die Fahrzeugherstellung für über 90% der CO<sub>2</sub>-Lebenszyklusemissionen verantwortlich; der Betrieb der Fahrzeuge ist dann hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Emissionen nur noch von untergeordneter Bedeutung.

Figur 4 zeigt eine Auswertung der CO<sub>2</sub>-Lebenszyklusemissionen verschiedener Antriebe basierend auf Veröffentlichungen von Bauer et. al. in *Applied Energy* [6], Fuchs et. al. in der *Automobiltechnischen Zeitschrift* [7] und Audi an einer Vortragstagung an der Empa (2015) mit Verbrauchsdaten gemäss *spritmonitor.de* für VW Golf Modelljahr 2014–2015 mit Benzin, Diesel, Erdgas und Elektroantrieb. Dieses Fahrzeug weist für alle Antriebskonzepte vergleichbare Motorleistungen von 81 bis 85 kW auf. Dabei ist ersichtlich, dass alle Antriebskonzepte, die hauptsächlich auf fossiler Energie

basieren (Benzin, Diesel, fossiles Erdgas, Erdgasfahrzeug CH-Gas-Mix, Elektrofahrzeug mit EU-Mix-Strom), vergleichbar hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweisen. Demgegenüber weisen Antriebskonzepte, die auf erneuerbarer Energie basieren (Erdgasauto mit Biogasbetrieb, Elektrofahrzeug mit CH-Strom oder erneuerbarem Strom), eine ebenfalls vergleichbare CO<sub>2</sub>-Emission auf. Niedrige CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Mobilität werden nicht durch den Wechsel von Antriebssystemen, sondern durch den Wechsel von fossiler auf erneuerbare Energie erzielt. Das mit Biogas (oder synthetischem Methan) betriebene Gasfahrzeug steht mit dem mit erneuerbarer Elektrizität betriebenen Elektrofahrzeug diesbezüglich auf der Poleposition.

### BIBLIOGRAPHIE

- [1] BFE (2014): *Schweizerische Elektrizitätsstatistik*
- [2] Prognos (2012): *Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050*
- [3] SAE International Standard J2601 (2014): *Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles*
- [4] Bach, C. et al. (1998): *Wirkungsorientierte Bewertung von Automobilgasen; Motortechnische Zeitschrift MTZ*
- [5] Horizon 2020 (2013): *Work Programme 2014–2015, Smart, green and integrated transport*
- [6] Bauer, C. et al. (2015): *The environmental performance of current and future passenger vehicles: Life Cycle Assessment based on a novel scenario analysis framework, Applied Energy 2/15*

- [7] Fuchs, S. et al. (2014): *Parametrische CO<sub>2</sub>-Emissionsmodellierung für neue Fahrzeugkonzepte, Automobiltechnische Zeitschrift 5/14*

## > SUITE DU RÉSUMÉ

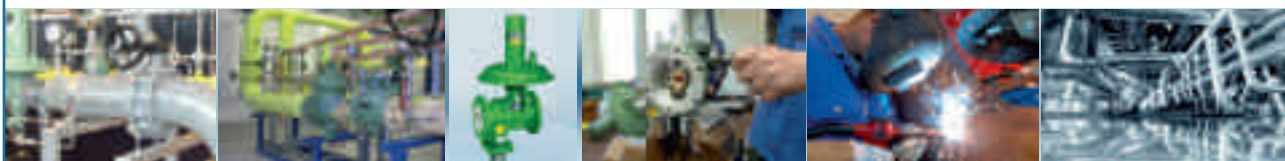
peut être utilisée pour l'approvisionnement des véhicules à pile à combustible ou être transformée en méthane synthétique par le biais d'une méthanisation planifiée dans le cadre d'un projet d'extension. Ce carburant renouvelable peut être utilisé sans restriction dans des véhicules conventionnels au gaz naturel/biogaz, ou stocké dans le réseau de gaz naturel. En collaboration avec des partenaires industriels, un poste de distribution est en développement, lequel permettra l'approvisionnement des véhicules avec un mélange d'hydrogène et de gaz naturel/biogaz. Des enquêtes à l'Empa ont montré que l'incorporation d'hydrogène dans le gaz naturel/biogaz a des effets très positifs sur la consommation de carburant et les rejets dans l'atmosphère. Le MOVE sert à l'Empa et à ses partenaires industriels de plate-forme pour des activités de recherche garantissant la croissance des énergies durables grâce à la gestion intégrée des secteurs de l'électricité et de la mobilité.



BWB Engineering

## Eine Empfehlung für Gastechnik sowie Anlagen- u. Rohrleitungsbau

Führend in der Herstellung von Gasdruckreduzier- u. messanlagen und im Anlagen- u. Rohrleitungsbau



GASDRUCKREDUZIER- U. MESSANLAGEN

ARMATUREN

SERVICE & UNTERHALT

FERTIGUNG

ROHRLEITUNGSBAU

CH 4127 BIRSFELDEN | + 41 61 326 37 37 | WWW.BWB-ENG.COM | ISO 9001