

# Alternative Kraftstoffe in Deutschland

*Gerhard Goldmann, Jens Zinsig*

## Vorbemerkung

Rasante Preissteigerungen von Benzin- und Dieselmotorkraftstoff und vehemente politische Forderungen nach einer Senkung der Schadstoffemission von Kraftfahrzeugen zwingen Käufer und Hersteller sowie Mineralölversorger zum Handeln. Nennenswerte Alternativen existieren jedoch nur in Form des Hybridantriebs mit Otto- und Elektromotor und den gasförmigen Kraftstoffen Erdgas (CNG) und Flüssiggas (Autogas). Beide Kraftstoffe und entsprechende Antriebstechniken haben eine Vielzahl an Vor- und Nachteilen. Die Entwicklung der Kraftstoffkosten in Abhängigkeit der Veränderung der Kosten der Kraftstoffe sowie bundesdeutsche und europäische Rahmenveränderungen gestalten die Nachfrage an spezifischen Kraftstoffen und entsprechenden Antriebstechniken, die im Falle von CNG und LNG bereits in wirtschaftlicher, ökologischer und technischer Sicht erfolgreich in Anwendung sind.

## 1. Zur Situation in Deutschland allgemein

Der Anteil alternativer Kraftstoffe in Deutschland ist bis zum heutigen Tag als gering einzustufen. 2007 hatten diese einen Anteil von unter 1% bei den neu zugelassenen Fahrzeugen. Dagegen besteht in Deutschland die Besonderheit eines besonders hohen Dieselanteils von ca. 48% bei Neuwagen (Kraftfahrtbundesamt 2008). Der hohe Bestand an Dieselfahrzeugen ist auch Ergebnis der spezifischen Anforderungen auf dem deutschen Markt in Bezug auf hohe Leistung und Zuverlässigkeit der Motoren, aber auch steuerlicher Förderungsinstrumente des Kraftstoffes. Entgegen der Verbreitung in weiten Teilen Europas konnte beispielsweise Autogas in Deutschland bis heute nicht nachhaltig Fuß fassen. Gründe sind einerseits die schlechte Performance der Nachrüstätze und die fehlende Infrastruktur. Gleichfalls bleibt der Absatz an Hybridfahrzeugen zurück, während in Japan und USA aufgrund des hohen Anteils an Stadtfahrten und des Tempolimits die Nachfrage seit Jahren steigt.

Durch die Preissteigerung von Benzin und Diesel haben sich andererseits die Rahmenbedingungen für alternative Energieträger und Antriebstechnik auch in Deutschland spürbar geändert. So werden zunehmend Fahrzeuge mit CNG-

und Autogas-Antrieb von Herstellern angeboten, verbunden mit einem steigenden Tankstellenangebot.

## 2. Anforderungen an moderne Kraftstoffe

Die modernen Anforderungen an den idealen Kraftstoff können auf Fahrzeugtechnik, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit sowie auf die Wirkung auf Mensch und Umwelt bezogen werden. Fahrzeug und Motor beanspruchen die Mischung eines technisch einfach handhabbaren Kraftstoffs, der gewisse Anforderungen an Zündwilligkeit, Klopfestigkeit und Kaltstartvermögen sowie eine gute Schmierwirkung erfüllt. In seiner Zusammensetzung sollten schädliche Bestandteile fehlen, die Schadstoffemission von NO<sub>x</sub>, HC und Ruß fördern oder mit geringem Aufwand per Abgasnachbehandlung gemindert werden können. Weiterhin ist eine chemische und physikalische Neutralität gegenüber Antriebsbauteilen und Schmierölen gefragt. Bei der Betrachtung des Gesamtsystems Fahrzeug erfolgt eine Wertung nach dem massen- und volumenspezifischen Energieinhalt, der Auskunft über technischen Aufwand (Speicherung und Gemischaufbereitung) und Wirtschaftlichkeit (Reichweite, Tankvolumen) gibt. Für die Sicherheit sind eine problemlose Lagerung und Transport sowie ein für den Nicht-Fachmann einfach zu tätiger Tankvorgang gefragt. Eine Erfüllung der Forderung nach niedrigster Explosions- und Umweltgefährdung ist Voraussetzung.

Ein momentan sehr stark in der Diskussion stehender Anspruch an den Kraftstoff von Morgen ist die Wirtschaftlichkeit, die neben geringen Kosten und der Tankstellendichte auch die künftige Preiskalkulation und Versorgungssicherheit beinhaltet. Die Beschränkungen der schädlichen Wirkung auf Mensch und Umwelt nehmen zunehmend größeren Raum ein. So müssen bei der ökologischen Bewertung neben der direkten (Tank To Wheel) auch die Emissionen der Erzeugungs- und Bereitstellungsprozesse (Well To Tank) betrachtet werden, da dabei ebenso Energie verbraucht und Emission in jeglicher Form (Smog, Ozonbildung, Treibhausgase etc.) verursacht werden. Kraftstoffe und ihre Gase sollten weiterhin frei von Gefahr für den Menschen und neben Geruchsneutralität auch biologisch abbaubar sein (Schindler 2008). Diese wesentlichen Punkte eines umfangreichen Anforderungskatalogs machen eine Analyse alternativer Kraftstoffe nötig, um das wahre Potenzial darstellen zu können.

Ein alternativer Kraftstoff wird immer mit den in Gebrauch befindlichen Kraftstoffen verglichen werden. Eine Gegenüberstellung erfolgt in der Regel unter wirtschaftlichen Kriterien (Herstellung, Distribution) und zuletzt unter ökologischen Aspekten (Umweltverschmutzung). Die prinzipiellen Nachteile der alternativen Energieträger aufgrund ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften zeigen sich im schlechten massen- und volumenspezifischen Energie-

inhalt. Hinzuzurechnen ist der technische Aufwand, der beispielsweise zur Abkühlung von Erdgas auf ca.  $-160^{\circ}\text{C}$  (LNG) notwendig ist, um ein entsprechendes Fahrzeug alltagstauglich zu machen.

### 3. Autogas

Der Autogas-Antrieb ist trotz geringen Angebots an Neufahrzeugen momentan am meisten verbreitet, was vor allem durch die problemlose Nachrüstung erreicht wurde. Autogas ist ein Gasgemisch aus Propan und Butan sowie weiteren minimalen Mengen an Propen und Buten und fällt als Nebenprodukt bei der Erdöl- und Erdgasförderung und beim Raffinerieprozess an. Es ist als Kraftstoff für Otto-, aber auch Dieselmotor geeignet (Geitmann 2005). Das Mischungsverhältnis von Propan und Butan ist schwach genormt und in Europa sehr unterschiedlich. In wärmeren Gebieten überwiegt der Butan-Anteil, was eine Erhöhung des Heizwertes mit sich bringt, aber auch ein „Gelieren“ im Verdampfer bei kalten Außentemperaturen. Die Zusammensetzung beeinflusst die Klopfestigkeit, den Kraftstoffverbrauch und die Kosten. Während in Deutschland der Anteil von Propan mit ca. 95% angegeben wird, erreicht er beispielsweise in Frankreich nur 45%. Wegen der Temperaturabhängigkeit erfolgen Schwankungen auch saisonal. Durch die Komprimierung auf nur ca. 5–8 bar kann die Energiedichte von Autogas mit relativ geringem technischem Aufwand erhöht und eine konkurrenzfähige Reichweite erzeugt werden. Aufgrund des geringen Speicherdrucks können die Tanks bei Pkws torusförmig sein und anstelle des Ersatzrades verbaut werden. Dadurch steigt die Gesamtreichweite des Fahrzeugs bei unverändertem Kofferraum deutlich, da der originale Benzintank erhalten bleibt. Die Gemischbildung erfolgt überwiegend durch Einblasen in das Ansaugrohr. Eine Direkteinspritzung (DI) macht vor allem beim Umbau von Dieselmotoren Sinn, wird aber wegen der hohen Umbaukosten nur in Nutzfahrzeugen ausgeführt. Im Unterschied zu den flüssigen Kraftstoffen zeigt das Gas ein verändertes Verbrennungsverhalten, was vor allem am nachteiligen Heizwert und der geringeren Dichte sowie der besseren Durchmischung des Gases mit der Luft liegt. Als Folge benötigt der Motor zur Erzielung mit Benzin vergleichbarer Leistungswerte mehr Kraftstoff (Geitmann 2005). Nach dem Kaltstart im Benzinbetrieb erfolgt bei Erreichen einer bestimmten Temperatur (ca.  $60^{\circ}\text{C}$ ) ein Umschalten auf Autogasbetrieb. Aufgrund der hohen Klopfestigkeit und der homogenen Gemischbildung soll der Motor deutlich leiser und gleichmäßiger laufen, wodurch auch ein geringerer Verschleiß entsteht. Durch hohe Abgastemperaturen entstehen kaum Rückstände, die wiederum kaum Abrieb im Schmieröl hinterlassen und so längere Ölwechselintervalle zulassen könnten (BMU/UBA 2003). Durch die bessere Verbrennung werden jedoch besonders Ventile und

Ventilsitze stärker beansprucht. Durch Zugabe eines Additivs in beide Tanks im Abstand von 10.000 km soll ein konstanter Schmierfilm gegen erhöhten Verschleiß aufgebaut werden.

Aus ökologischer Sicht hat Autogas als Brennstoff große Vorteile gegenüber Benzin. Neben der ungiftigen Einstufung werden erheblich weniger Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Stickoxide sowie weiter gesundheitschädliche Bestandteile (z.B. Benzol, PAH) emittiert (Geitmann 2005). Autogas erzeugt ca. 10% weniger CO<sub>2</sub> und erfüllt problemlos die EURO 4-Norm. Aufgrund der geringen Energiedichte des Gemisches liegt die Motorleistung theoretisch um ca. 5% unter und der Verbrauch um 10% über dem Benzinäquivalent. Da die benzin-optimierten Motoren nicht die Klopfestigkeit von Autogas umsetzen können, kann bei Umbauten mit einem Mehrverbrauch von bis zu 25% gerechnet werden (Bosch 2007). Autogas ist mit  $\approx 2 \text{ kg/m}^3$  schwerer als Luft ( $\approx 1,2 \text{ kg/m}^3$ ) und kann sich so bei Entweichen am Boden ablagern, was zur Bildung eines explosiven Gemisches beitragen kann. Ein Fahr- oder Parkverbot in öffentlichen Parkhäusern und Garagen besteht jedoch gesetzlich nicht (BMU/UBA 2003).

Ein großer Vorteil der gasförmigen Kraftstoffe ist, dass sie im abgeschlossenen System betankt und gespeichert werden. Dabei treten keine Kraftstoffdämpfe und Emissionen auf, eine Be- und Entlüftung der Tanks ist nicht vorhanden. Durch den Zusatztank für das Autogas erhöht sich das zu bewegende Gewicht des Fahrzeugs um bis zu 50 kg. Der Nachteil von Autogas bleibt seine Herkunft aus fossilen Rohstoffen, was die künftige ökologische und wirtschaftliche Kalkulation erschwert. Weiterhin sind die CO<sub>2</sub>-Einsparungen nur sehr gering (Braess/Seiffert 2007). Weiterhin nachteilig bleibt, dass z.B. beim Opel Zafira Autogas mit Benzin gestartet werden muss und so in der Startphase den höchsten Verbrauch verzeichnet. Allgemein wird von einem bis zu 50%-prozentigen Mehrverbrauch ausgegangen.

Die Umrüstung ist mit ca. 2.500 € relativ preiswert und problemlos möglich, was als nachhaltige Wertsteigerung dem Auto zugute kommt. Der Motor kann bei bivalenter Ausführung auch weiterhin mit Benzin betrieben werden, es ist sogar die Wahl des Kraftstoffes während der Fahrt möglich (Geitmann 2005). Ein großes Hindernis bereiten noch die Nichtanerkennung des Umbaus durch den Autohersteller und der damit verbundene Wegfall der Garantie. Ein sehr wichtiger positiver Aspekt liegt im Kostenvorteil, der sich im ermäßigten Steuerersatz ausdrückt. Autogas ist bereits seit längerer Zeit Marktführer unter den alternativen Kraftstoffen. Deutschland hat am gesamten EU-Fahrzeugbestand von geschätzten 5,5 Mio. einen eher geringen Anteil mit ca. 240.000 Kfz. Mit insgesamt über 5.000 Tankstellen (inkl. 1.200 gewerblich geführten Tankstellen) existiert zwar mittlerweile ein zunehmend dichtes Netz, aber im Gegensatz zu

den Niederlanden, Frankreich, Italien und Polen noch keine flächendeckende Versorgungsstruktur.

Die Verfügbarkeit von Autogas wird zunehmend problemloser. Mitte Juli 2009 wurden 3.950 Tankstellen in Deutschland gezählt, noch im August soll die 4.000er Marke überschritten werden (www.gas-tankstellen.de, Stand 2009).

Beim Tanken im Ausland muss damit gerechnet werden, dass die Zapfanschlüsse zum Betanken variieren und ein Adapter benötigt wird. Insgesamt gibt es drei Systeme sowie einen geplanten Euro-Standard (www.autogas-online.de 2009). Gemäß Deutscher Verband Flüssiggas (DFV) sind Zulassung, Umbau und Versorgung von 1 Mio. Fahrzeugen bis zum Jahr 2015 realisierbar (www.dvfg.de 2009). Die große Masse an Autogas-Fahrzeugen in Deutschland wurde nachträglich umgebaut, Neufahrzeuge werden von Lada, Subaru und Chevrolet angeboten (ADAC-Motorwelt 2009).

Eine Förderung von Autogasfahrzeugen existiert nur in Form der verminderten Mineralölsteuer. Als Folge kostet der Liter Autogas nur ca. die Hälfte von Benzin und Diesel. Weiterhin werden durch Versicherungen spezielle Tarife angeboten.

#### 4. Erdgas

Während Erdgas als Brennstoff für die Strom- und Wärmeerzeugung einen festen Platz einnimmt, ist es als Kraftstoff nur gering verbreitet. Mit den teilweise besseren verbrennungstechnischen Eigenschaften, wie minimale Zündenergie, hoher Heizwert, hohe Klopffestigkeit und hohe Reinheit, verfügt es über günstige Voraussetzungen als Alternative zu den etablierten Kraftstoffen. Erdgas kann in zwei Qualitätsstufen getankt werden, die sich hauptsächlich im Methangehalt unterscheiden. Dieser liegt bei 80 bis 87 Volumen-Prozent bei Erdgas-L (low) und 87 bis 99 Volumen-Prozent beim energetisch hochwertigeren Erdgas-H (high). Unter realen Bedingungen unterliegt die Zusammensetzung keiner exakten Normung, so dass es wie bei Autogas zu herkunftsbedingten und saisonalen Schwankungen kommt.

Herkunft und Mischungsverhältnis verändern Brenn-, Heizwert und Methanzahl und haben somit Einfluss auf Leistung und Verbrauch im Fahrzeug. Erdgas besitzt grundsätzlich einen höheren Energiegehalt als Benzin ( $\approx 1,5$ -fach) und Diesel ( $\approx 1,33$ -fach). Entscheidend ist jedoch der Gemischheizwert. Dieser ist mit  $0,8 \text{ kg/m}^3$  (bei 1 bar) gegenüber  $4,0 \text{ kg/m}^3$  bei Benzin nur sehr gering.

Um eine konkurrenzfähige Reichweite erreichen zu können, müssen das Gasvolumen verringert und große Mengen im Fahrzeug bevorratet werden. Zur Volumenreduktion des Gases stehen prinzipiell drei Verfahren zu Verfügung:

- Liquide Natural Gas (LNG); der Einsatz von LNG erfordert die Abkühlung und Lagerung bei Temperaturen von ca.  $-161^{\circ}\text{C}$ .
- Compressed Natural Gas (CNG)
- Gas To Liquide (GTL).

GTL entsteht durch Umwandlung sowohl pflanzlicher als auch mineralischer Grundstoffe in flüssige Kohlenwasserstoffe (Puls 2006). Des Weiteren kann Biogas (Biomethan) als regenerativer Kraftstoff im Erdgasmotor verwendet werden (BMU/UBA 2003). CNG gilt momentan als Standard in Erdgasautos. Dabei wird das Gas bei einem Druck von 270 bar verflüssigt, so dass ein sehr günstiges Wasserstoff/Kohlenstoff-Verhältnis von 4:1 entsteht. Vergleichbar mit Autogas können Fahrzeuge umgerüstet werden, Aufwand und Kosten für die Hochdruck- und Sicherungstechnik sind jedoch deutlich höher (Puls 2006).

Das Verbrennungsverhalten ist ebenfalls mit dem von Autogas vergleichbar. Gleichfalls steigt der Kraftstoffverbrauch im Vergleich zu Benzin an, verursacht durch den geringeren Heizwert und Wirkungsgrad. Die homogene Kombination Gas-Gas bedeutet einerseits eine sehr gute Gemischbildung. In Verbindung mit der sehr guten Klopfestigkeit verbrennt das Gemisch „weich“, was zu Geräusch- und Verschleißminderung führt (ebd.). Das Betanken erfolgt bei einem Druck von bis zu 300 bar, um eine Speicherung bei ca. 200 bar zu erreichen (Berner 2008). Entgegen der Betankung und Speicherung von flüssigen Kraftstoffen können durch den hermetischen Abschluss keine Dämpfe entweichen.

Ein wichtiger, mit Vorurteilen beladener Punkt betrifft die Sicherheit des Systems. An die aus Stahl oder Verbundstoffen bestehenden Druckbehälter bestehen strengere Sicherheitsanforderungen als für Benzin- und Dieseltanks. Entsprechend werden ein Berstdruck des 3-fachen Speicherdrucks (600 bar) und verschiedene Berst- und Sicherheitsventile durch den TÜV vorgeschrieben (BMU/UBA 2003). Die guten Verbrennungseigenschaften bringen jedoch auch einen erhöhten Verschleiß der Teile im Brennraum mit sich. So werden besonders die Ventile, Ventilsitze und Kolben sowie die damit verbundenen Abdichtungen (Kolbenringe, Kopfdichtung) stärker beansprucht. Bei nachträglichen Umrüstungen müssen Anpassungen diesbezüglich vorgenommen werden (Avramopoulos 2004).

Die Anschaffungskosten für Erdgasfahrzeuge liegen um ca. 1.500–3.500 € über denen der Benzinvariante. Anbieter sind u.a. Citroen, Fiat, Mercedes-Benz, Nissan, Opel und VW. Besonders Fiat setzt mit den Modellen Panda, Punto, Multipla und Dobló auf eine Vielzahl von Fahrzeug- und Motorengrößen. Das leistungsstärkste Fahrzeug ist der Mercedes E 200 NGT 1,8 mit 120 kW (163 PS) und einem Verbrauch von 6,1 kg/100 km (DAT 2008).

Die Entwicklung erdgasoptimierter Motoren bietet vielfältige Angriffspunkte. Wie beim Ottomotor führen die Wege zum Angleich an dieselmotori-

sche Charakteristiken. Ziele sind ebenfalls ein Magerlauf, Leistungsoptimierung und Schadstoffsenkung. Neben der Verdichtungserhöhung und Aufladung wird an der Veränderung der Brennraumgeometrie, Einsatz von Direkt- oder Vorkammereinspritzung, Erhöhung der Zündenergie geforscht (Getzlaff 2004).

Bei den Fahrzeugen mit Gasantrieb müssen die Gastanks und die verbundene Technik überprüft werden, womit nur zugelassene Werkstätten betraut werden dürfen. Speziell für ab 01.04.2006 zugelassene Serienfahrzeuge mit Erdgasantrieb (Zulassung nach ECE R110) gelten folgende Prüfvorschriften:

- Visuelle Gastank- und Anlagenprüfung im Rahmen der TÜV-Prüfung (HU).
- Ein Drucktest sowie eine endoskopische Untersuchung der Gastanks erfolgt nach jeweiliger Vorschrift des Herstellers – typischerweise erst nach zehn Jahren (BMU/UBA 2003).

Da CNG hauptsächlich aus Methan besteht, verursacht es im Vergleich zu Benzin bis zu 25% weniger klimabelastendes Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ). Darüber hinaus können die Kohlenmonoxid-Emissionen ( $\text{CO}$ ) um 50–75% gegenüber Diesel und Benzin reduziert werden. Der Gesamtausstoß aller Kohlenwasserstoffe (THC) und Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) liegt bei Erdgasfahrzeugen in der Summe um ca. 20% unter den Werten von Benzinfahrzeugen und um etwa 80% unter denen von Dieselfahrzeugen. Außerdem können durch den Einsatz von Erdgasfahrzeugen die Emissionen von reaktiven Kohlenwasserstoffen (NMHC) um bis zu 80% reduziert werden, was zu einer deutlichen Minderung der bodennahen Ozonbildung („Sommersmog“) führt. Aufgrund der guten Durchmischung bei der Verbrennung ist der Ausstoß von Benzol sowie von Ruß und Partikeln praktisch zu vernachlässigen. Ein weiterer Vorteil liegt in vermindert auftretender Lärmemission durch eine „weiche“ Verbrennung (Geitmann 2005).

Methan ( $\text{CH}_4$ ) ist der Kohlenwasserstoff, der mit dem geringsten C-H-Verhältnis (1:4) auch die geringste Klimawirksamkeit in Bezug auf den  $\text{CO}_2$ -Ausstoß besitzt. Unverbranntes  $\text{CH}_4$  hingegen gilt als noch stärkeres Treibhausgas. Durch das geschlossene System bleibt die Methanemission aus undichten Leitungen und Anschlüssen gering. Die Emission von unverbranntem Gas aus Erdgasmotoren erreicht mit Werten von ca. 0,04 bis 0,06 g/km nur einen Bruchteil des  $\text{CO}_2$ -Ausstoßes (138 g/km) (www.erdgas.ch 2008). Methan stellt durch seine stabile Molekülstruktur hohe Anforderungen an die Abgasnachbehandlung, um die katalytische Umwandlung zu gewährleisten. Spezifisch ist eine höhere Temperatur notwendig, die durch eine motornahe Konstruktion (Vorkatalysator), Keramikträger und erhöhte Edelmetallbeladung (Paladium) unterstützt wird. Durch Einsatz spezieller Methan-Katalysatoren werden Emissionsminderungen von 50% erreicht. Neben dem geringeren  $\text{CO}_2$ -Ausstoß besteht ein natürlicher Mangel an Benzol, Blei und Schwefelbestandteilen (Braess/Seiffert 2007).

Aufgrund verschiedener Untersuchungen hat CNG die beste Ökoeffizienz durch geringste Kosten und Umweltbelastung vor Diesel und Benzin. Die Umweltbelastung von Flüssiggas wird gegenüber CNG als höher und etwa identisch mit Diesel eingestuft (Mischner 2007).

Momentan nutzbare Förderungen bestehen aus der verminderten Mineralölsteuer auf Erdgas sowie durch die Gasanbieter in Form von Tankgutscheinen. Andere Fördermaßnahmen wie der einmalige Zuschuss über 2.058 € bei Kauf eines Erdgasfahrzeugs durch die KfW-Bank liefen zwischen 2001 bis 2006 und wurden nicht verlängert (BMU/UBA 2003). Erdgasversorger bzw. Mineralölunternehmen fördern mit Blick auf einen prognostizierten Aufschwung von Erdgas als Kraftstoff die Tankstellen-Infrastruktur und den Fahrzeugkauf. Für Fahrzeuge können so eine einmalige Förderung und ein Werbekostenzuschuss für Werbung am Fahrzeug beantragt werden, die insgesamt den Umfang von ca. 1.000 € haben kann.

Aufgrund der nicht flächendeckenden Infrastruktur besteht auch die Möglichkeit der Installation einer eigenen Tankstelle. Aufgrund der mit den hohen Sicherheitsanforderungen verbundenen Kosten von ca. 300.000 € (www.erdgasfahrzeuge.de 2009) ist diese Option nur für Betreiber großer gewerblicher Fahrzeugflotten interessant. Im Rahmen des ERP-Umwelt- und Energiesparprogramms wird die Installation von Gastankstellen oder Betankungsanlagen für Erd- oder Biogasfahrzeuge durch die KfW-Bank gefördert (<http://www.kfwfoerderbank.de> 2009).

In der Summe der Anschaffungskosten und Zuschüsse erweisen sich Diesel- und Autogas-Variante mit über 2.000 € Mehrkosten als die teuersten. Der Zafira Erdgas liegt durch die Förderung in Summe nur noch 1.000 € über der Benzin-Ausführung, die finanzieller Maßstab bleibt.

Die Höhe der Mineralölsteuer ist in Deutschland von der Kraftstoffsorte abhängig; der Liter Diesel wird mit ca. 32 ct und Benzin mit ca. 50 ct besteuert zuzüglich der Ökosteuer, die mit 15,35 ct/l veranschlagt ist. Die ökologischen Vorteile der schadstoffarmen Emission von Biokraftstoffen sowie Erd- und Autogas werden durch steuerliche Anreize unterstützt. Auf Autogas wird eine Mineralölsteuer von 180,32 € je 1.000 kg erhoben, wodurch eine steuerliche Belastung von 9,45 ct/l entsteht. Die Steuererminderung ist bis 2020 garantiert und steigt danach um das sechsfache auf 61 ct/l, was einer Besteuerung von 1.217 € je 1.000 kg Autogas entspricht. Die Mineralölsteuer auf Erdgas bleibt ebenfalls bis 31.12.2020 abgesenkt. Während die Besteuerung vermindert noch bei 13,9 € MWh liegt, wird sie sich dann voraussichtlich auf 31,80 € MWh mehr als verdoppeln. Entsprechend der gelten für Erdgas Heizwerte von 11,89 kWh/kg (CNG-H) bzw. 10,96 kWh/kg (CNG-L) (www.bundesfinanzministerium.de 2009).

Am Heizwert gemessen ist Erdgas am preiswertesten. Autogas hat den günstigsten Tankstellenpreis, kostet jedoch aufgrund des schlechten Heizwertes



mehr als Erdgas. Um die Preise vergleichbar zu machen, wird der Heizwertpreis von Erdgas in ein Benzinäquivalent umgewandelt. Bezogen auf den Heizwert von Benzin entspricht der Erdgas einem Preis von 0,571 €/l. Das sind ca. 40% der momentanen Benzinkosten von 1,318 €/l.

Rückblickend kann ein relativ konstanter Anstieg der Gaspreise im Gegensatz zum Benzinpreis festgestellt werden. Die Koppelung der Weltmarktpreise von Erdöl und -gas wird in der gleichen prozentualen Kostensteigerung während der vergangenen fünf Jahre deutlich. Autogas kostet hingegen nur knapp 30% mehr. Der Abstand zum Benzin hat sich nicht verringern können.

Voraussagen über künftige Entwicklungen sind schwierig, wobei ein starkes Absinken der Kosten sicher auszuschließen ist. Erd- und Autogas als preiswerte Alternative werden ihren Status nur behalten, solange der Umsatz im Verhältnis zu Benzin gering ist und die Versorger ein Interesse an der Vergrößerung der Fahrzeugflotten haben. Wahrscheinlicher ist, dass die Preissteigerungen von Benzin und Diesel nicht in vollem Umfang von Auto- und Erdgas übernommen werden und die Differenzen zumindest konstant bleiben.

Die künftige Entwicklung der Kfz-Steuer nach CO<sub>2</sub>-Ausstoß ist noch nicht vollständig geregelt. Eines der Modelle sieht eine Besteuerung von 1,44 € für Benzin- und 3,86 € für Diesel-Fahrzeuge für jedes Gramm ab einer Emission von 100 g/km vor. Daraus folgt, dass steuerfreie Fahrzeuge mit einer CO<sub>2</sub>-Emission von bis zu 100 g/km einen Kraftstoffverbrauch von 3,8 l/100 km (Diesel) bzw. 4,2 l/100 km (Benzin) hätten.

Aufgrund der relativ geringen Leistung und des geringen Verbrauchs könnte die CO<sub>2</sub>-Steuer für alle Fahrzeugen im Vergleich eine Beitragssenkung bedeuten. Die Differenz zwischen Benziner und Diesel würde von 139 € auf 102 € sinken. Großer Gewinner wäre der Erdgasantrieb, dessen jährliche Steuerbelastung auf 55 € fast halbiert würde.

## 5. Fazit

Die alternativen Antriebstechniken in Deutschland werden weiter diversifizieren, bis durch elementare Faktoren wie Rohstoffknappheit und wirtschaftspolitische Rahmenvorgaben aus deutscher und europäischer Richtung einzelne Rohstoffe durch Wirtschaftlichkeit die maßgebliche Marktposition einnehmen werden. Daran anschließend wird sich die entsprechende Antriebstechnik durchsetzen. Welche Antriebstechnologie dies in Deutschland sein wird, kann zum derzeitigen Zeitpunkt nicht prognostiziert werden. Insgesamt wird von verschiedenen Marktbeobachtern und den Vertretern unterschiedlicher bundesdeutscher Automobilkonzerne gemutmaßt, dass wir uns in einem Zwischenstadium befinden, in

so genannten „Brückentechnologien“ hin zum Brennstoffzellenfahrzeug, das als Fahrzeug der Zukunft angesehen wird.

## Literatur

- Avramopoulos, I./Sprysch, A./Holthaus, U. 2004: Welche Anforderungen stellt die Serienentwicklung an Gasfahrzeuge? In: Dingel, O.: Gasfahrzeuge. Essen
- Bosch 2007: Kraftfahrtechnisches Handbuch, 26. Auflage. Plochingen
- Braess, H.-H./Seiffert, U. 2007: Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik (5. Auflage). Wiesbaden
- Bundesumweltministerium/Umweltbundesamt (BMU/UBA) 2003: Gasfahrzeuge von A bis Z (3. Auflage). Bonn, Berlin
- Geitmann, S. 2005: Erneuerbare Energien & Alternative Kraftstoffe: Mit neuer Energie in die Zukunft (2. Auflage). Kremmen
- Getzlaff, J./Dingel, O./Kahrstedt, J./Kuhnert, D./Latsch, R. 2004: Mageres Brennverfahren für minimale CO<sub>2</sub>-Emission. In: Dingel, O.: Gasfahrzeuge. Essen
- Mischner, J./Förster, F./Kraft, B./Heimann, S. 2007: Zur Ökoeffizienz von Erdgasfahrzeugen. München
- Puls, T. 2006: Alternative Antriebe und Kraftstoffe: Was bewegt das Auto von morgen? Köln
- Stan, C. 2005: Alternative Antriebe für Automobile: Hybridsysteme, Brennstoffzellen, alternative Energieträger. Berlin, Heidelberg
- VDI-Berichte 2000–2006: Innovative Fahrzeugantriebe. Düsseldorf

## Internetverzeichnis

- ADAC-Konzept zur Reform der Kfz-Steuer (online: [http://www.adac.de/images/ADAC-Konzept%20zur%20Reform%20der%20Kfz-Steuer\\_tcm8-139868.pdf](http://www.adac.de/images/ADAC-Konzept%20zur%20Reform%20der%20Kfz-Steuer_tcm8-139868.pdf); Zugriff am 15.07.2008)
- Autogas (online: <http://www.autogas-online.de/fachbegriffe.php>; Zugriff am 15.04.2009)
- DAT: Leitfaden zu Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emission, Ausgabe 2008, 3. Quartal (online: <http://www.dat.de/leitfaden/LeitfadenCO2.pdf>; Zugriff am 20.07.2008)
- Gastankstellen (online: <http://gas-tankstellen.de/menu.php?jump=tankstellen>; Zugriff am 15.07.2008)
- EMPA, Clean Engine Vehicle: Ein niedrigstemittierendes und verbrauchsarmes Erdgas-Antriebskonzept, Zürich 2004 (online: [http://www.empa.ch/plugin/template/empa/\\*/32337/---/l=1](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/32337/---/l=1); Zugriff am 15.07.2008)

- Das Erdgasfahrzeug: Düsseldorfer Taxiunternehmer errichtet Erdgastankstelle (online: <http://www.erdgasfahrzeuge.de/01integer/WebObjects/Erdgas2004.woa/1/wa/DirectoryWithId/1000754.html?wosid=AEBsw7XEbtntlAK8zaHHG0>; Zugriff am 15.05.2008)
- Deutscher Verband Flüssiggas e.V. (online: <http://www.dvfg.de/de/infothek/anwendungsbereiche/autogas.html>; Zugriff am 15.07.2008)
- ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm (online: <http://www.kfw-foerderbank.de/Applications/PrintContent.jsp?oid=15581>; Zugriff am 17.07.2008)
- <http://www.gas-tankstellen.de/>; Zugriff am 15.07.2008
- Kraftfahrtbundesamt 2008: Fahrzeugzulassungen Neuzulassungen Emissionen, Kraftstoffe Jahr 2007 (online: [http://www.kbashop.de/wcsstore/KBA/Attachment/Kostenlose\\_Produnkte/n\\_emissionen\\_kraftstoffe\\_2007.pdf](http://www.kbashop.de/wcsstore/KBA/Attachment/Kostenlose_Produnkte/n_emissionen_kraftstoffe_2007.pdf); Zugriff am 15.07.2008)
- Ökologische Steuerreform (online: [http://www.bundesfinanzministerium.de/nm\\_54338/DE/BMF\\_\\_Startseite/Service/Downloads/Abt\\_IV/061,templateId=raw,property=publicationFile.pdf#search=%22Mineral%F6lsteuer%22](http://www.bundesfinanzministerium.de/nm_54338/DE/BMF__Startseite/Service/Downloads/Abt_IV/061,templateId=raw,property=publicationFile.pdf#search=%22Mineral%F6lsteuer%22); Zugriff am 15.03.2009)

## Ebenfalls bei edition sigma – eine Auswahl

Gerhard Banse, A. Grunwald, I. Hronszky, G. Nelson (eds.)

### Assessing Societal Implications of Converging Technological Development

*Gesellschaft – Technik – Umwelt, Neue Folge, Bd. 11*

2007 336 S. ISBN 3-89404-941-6 € 24,90

Gotthard Bechmann, Vitaly Gorokhov, Nico Stehr (eds.)

### The Social Integration of Science

Institutional and Epistemological Aspects of the Transformation of Knowledge in Modern Society

*Gesellschaft – Technik – Umwelt, Neue Folge, Bd. 12*

2009 311 S. ISBN 978-3-89404-942-3 € 24,90

Peter H. Feindt, M. Gottschick, T. Mölders, F. Müller, R. Sodtke, S. Weiland

### Nachhaltige Agrarpolitik als reflexive Politik

Plädoyer für einen neuen Diskurs zwischen Politik und Wissenschaft

2008 331 S. ISBN 978-3-89404-556-2 € 24,90

Jürgen Kopfmüller (Hg.)

### Ein Konzept auf dem Prüfstand

Das integrative Nachhaltigkeitskonzept in der Forschungspraxis

*Global zukunftsfähige Entwicklung – Nachhaltigkeitsforschung in der Helmholtz-Gemeinschaft, Bd. 12*

2006 330 S. ISBN 3-89404-582-5 € 22,90

Oliver Parodi, Gerhard Banse, Axel Schaffer (Hg.)

### Wechselspiele: Kultur und Nachhaltigkeit

Annäherungen an ein Spannungsfeld

*Global zukunftsfähige Entwicklung – Nachhaltigkeitsforschung in der Helmholtz-Gemeinschaft, Bd. 15*

2010 386 S. ISBN 3-89404-585-2 € 24,90

In dieser Schriftenreihe erschienen zuletzt:

Andrea-Hilla Carl, Friederike Maier, Dorothea Schmidt

### Auf halbem Weg

Die Studien- und Arbeitsmarktsituation von Ökonominnen im Wandel

*fhw forschung, Bd. 48/49*

2008 189 S. ISBN 3-89404-794-8 € 15,90

Susanne Meyer, Bernd Pfeiffer (Hg.)

### Die gute Hochschule

Ideen, Konzepte und Perspektiven. Festschrift für Franz Herbert Rieger

*HWR-Forschung, Bd. 52/53*

2010 464 S. ISBN 3-89404-796-2 € 29,90

edition sigma  
Karl-Marx-Str. 17  
D-12043 Berlin

Tel. [030] 623 23 63  
Fax [030] 623 93 93  
verlag@edition-sigma.de

www.  
edition-sigma.de