
STUDIE

“CNG AS AUTOMOTIVE
FUEL FOR EUROPE /
CEE IS IT POSSIBLE TO
ACHIEVE 5% + X MARKET
SHARE FOR CNG?
NECESSARY STEPS AND
ACTIONS TO ACHIEVE?”

von

CAR-Center Automotive Research
Universität Duisburg-Essen

Prof. Dr. Ferdinand Dudenhöffer
Dipl. Wirt-Ing. Kai Pietron

September 2010



INHALTSVERZEICHNIS

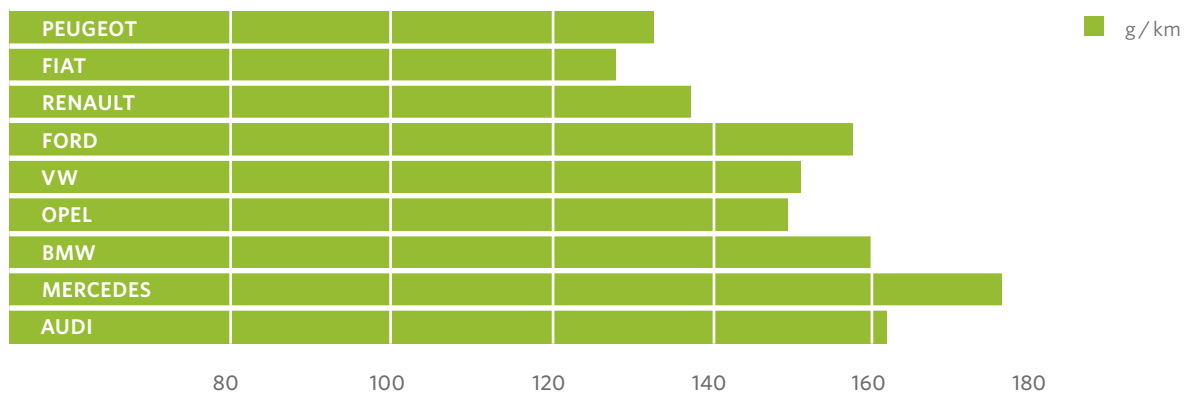
1.	Einleitung	1
2.	Erdgas als Kraftstoff	6
	2.1. Beispiel: VW Passat 1.4 TSI EcoFuel	10
	2.2. Biomethan (Biogas)	13
	2.3. CNG-Modellpalette in Europa	16
	2.4. Dual-Fuel-Technologie	19
3.	Weltweite Marktentwicklung von CNG-Fahrzeugen	20
	3.1. Marktentwicklung von CNG-Fahrzeugen am Beispiel Italien	22
4.	Gründe für den geringen Marktanteil von erdgasbetriebenen Fahrzeugen	23
5.	CO₂-Emissionsreduzierungspotential der Automobilflotten unter Verwendung von Erdgas und Biogas als Automobilkraftstoff	24
	5.1. Strafzahlungen wegen Emissionsüberschreitung	24
	5.2. Potentielle Entwicklung des durchschnittlichen CO ₂ -Emissionsausstoßes der deutschen Pkw-Neuzulassungen	26
	5.3. CO ₂ -Reduzierungspotential der deutschen Pkw-Neuzulassungen durch Erdgas und Biogas als Automobilkraftstoff	28
6.	Expertengespräche mit ausgewählten Automobilherstellern	32
7.	Maßnahmen zur schnellen Marktdurchdringung von erdgasbetriebenen Fahrzeugen in Deutschland	34
8.	Fazit	37
	Quellen	39
	Anhang 1	41

1. EINLEITUNG

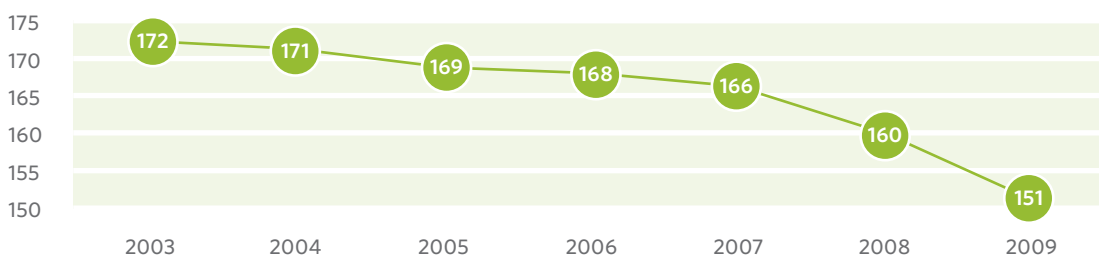
CO₂ und NO_x werden zu wesentlichen Treibern der individuellen Mobilität, gesetzliche Vorgaben der EU erhöhen den Druck auf die Hersteller. Das Ziel der Hersteller muss es sein, die negativen Auswirkungen der Motorisierung auf Mensch und Umwelt zu minimieren und die positiven Aspekte wie Komfort und Annehmlichkeit, sowie Freude und Leidenschaft zu maximieren. Die Automobilhersteller müssen derzeit hohe Entwicklungskosten für die Effizienzsteigerung von konventionellen Verbrennungsmotoren sowie für die Entwicklung von alternativen Antriebstechnologien aufbringen. Im Vergleich hat die deutsche Automobilindustrie im Jahr 2009 – trotz Weltwirtschaftskrise – die Rekordsumme von 20,9 Milliarden Euro (+ 4,4 Prozent gegenüber 2008) für Forschung und Entwicklung ausgegeben. Diese Summe wurde unter anderem für die Optimierung der Verbren-

nungsmotoren, Weiterentwicklung der Elektroautos und für die Entwicklung der zweiten Generation von Biokraftstoffen aufgewendet. [Vgl. 1; 2] Eine der Hauptursachen für diese Entwicklung ist vor allem die zunehmend strengere EU-Gesetzgebung zur Beschränkung des CO₂-Ausstoßes. Die europäischen Automobilhersteller sind verpflichtet, ihren durchschnittlichen CO₂-Ausstoß von Neuwagen ab 2012 bis 2015 schrittweise auf 130 Gramm je Kilometer zu reduzieren. Ab dem Jahr 2020 soll der durchschnittliche CO₂-Ausstoß von Neuwagen nur noch 95 Gramm je Kilometer betragen. [Vgl. 3] Die nachfolgende Abbildung zeigt die Entwicklung des durchschnittlichen CO₂-Ausstoßes von deutschen Pkw-Neuzulassungen von 2003 bis 2009, sowie den Flottendurchschnitt ausgewählter Hersteller im Jahr 2009.

Abbildung 1: Durchschnittlicher CO₂-Ausstoß deutscher Pkw-Neuzulassungen



Flottendurchschnitt ausgewählter Hersteller im Jahr 2009



Es wird deutlich, dass die Automobilhersteller noch weit von den EU-Grenzwertvorgaben entfernt sind. Alternative, lokal-emissionsfreie Antriebskonzepte, wie z. B. das Elektrofahrzeug, werden – wenn überhaupt – erst nach dem Jahr 2020 einen bedeutenden Marktanteil aufweisen können, um dann den durchschnittlichen CO₂-Ausstoß der europäischen Automobilflotten zu reduzieren, sofern der Strom aus erneuerbarer Energie erzeugt wird.

In der vorliegenden Studie sollen die Chancen und Möglichkeiten von Erdgas (CNG) als zukünftiger alternativer Automobilkraftstoff analysiert werden. Dabei werden nicht nur ökologische-, sondern auch

ökonomische Faktoren berücksichtigt. Erdgas (CNG) als alternativer Automobilkraftstoff kann dazu beitragen, die oben genannten Herausforderungen in der Automobilindustrie zu bewältigen.

EFFIZIENZSTEIGERUNG DER VERBRENNUNGSMOTOREN

Die folgende Tabelle – die auf den Pkw-Neuzulassungen von 2009 in Deutschland basiert – verdeutlicht, wie weit einige Autohersteller derzeit von den EU-Grenzwerten entfernt sind.

Tabelle 1: Durchschnittlicher CO₂-Ausstoß von ausgewählten Automobilflotten in Deutschland (2009)

MARKTANTEIL (IN %)	MARKE	Ø CO ₂ -EMISSIONEN (g/km)*	VERBESSERUNG ZUM VORJAHR	VERBESSERUNG ZUM JAHR 2003	NOTWENDIGE VERBESSERUNG BIS ZUM JAHR 2013 (2019)
21,1	VW	151	- 4 %	- 6 %	- 14 % (-37 %)
9	Opel	149	- 3 %	- 11 %	- 13 % (-36 %)
7,6	Ford	146	- 7 %	- 10 %	- 11 % (-35 %)
7,3	Mercedes	170	- 6 %	- 12 %	- 24 % (-44 %)
6,1	Audi	161	- 6 %	- 10 %	- 19 % (-41 %)
5,8	BMW	156	- 1 %	- 20 %	- 17 % (-39 %)
0,4	Porsche	255	- 9 %	- 15 %	- 49 % (-63 %)

*Basierend auf den Pkw-Neuzulassungen in Deutschland 2009

Quelle: [Vgl. 16]

„Grundsätzlich gilt, dass nur etwa 23 Prozent der im Kraftstoff enthaltenen Energie in Vortrieb umgesetzt werden können. 31 Prozent gehen – auch bei idealer Energieumwandlung – durch die Thermodynamik der Verbrennung im Motor verloren, weitere 19 Prozent durch Verluste in den Bereichen Reibung, Brennverfahren und Ladungswechsel im Motor. Noch einmal 19 Prozent schluckt der Antriebsstrang – daran beteiligen sich das Getriebe, die Servopumpe der Lenkung, die Radlager und die Reifen. Schließlich beansprucht die Elektrik, die Kühlung und die Klimatisierung acht Prozent für sich.“ [Vgl. 4]

Um dennoch effizientere Verbrennungsmotoren zu realisieren, versucht man kleinere Motoren mit

Aufladung zu entwickeln. Der derzeitige Trend in der Automobilindustrie zur Effizienzsteigerung von Verbrennungsmotoren heißt „Downsizing“ (Hubraumverkleinerung). Darunter wird verstanden, dass man statt konventioneller Saugmotoren kleinere, leistungsgleiche Motoren mit Turboladern einsetzt. [Vgl. 5]

Downsizing bildet dabei eine ideale Basis für den Einsatz von CNG als Kraftstoff. CNG erhöht noch einmal das Einsparpotential beim Ausstoß von CO₂. Dies ist besonders vor dem Hintergrund des Drucks auf die Hersteller zur Erreichung der EU-Flotten-Emissionsziele von elementarer Bedeutung.

Tabelle 2: Downsizing-Prinzip und BlueMotion Technology von VW

MOTORISIERUNG	1.6 ¹	1.2 TSI	1.2 TSI BLUEMOTION TECHNOLOGY
LEISTUNG (kW / PS)	75/102	77/105	77/105
HUBRAUM (cm ³)	1.595	1.197	1.197
MOTOR-BAUART	4-Zylinder Ottomotor	4-Zylinder Ottomotor	4-Zylinder Ottomotor
EINSPRITZUNG	Multi Point Injektion	Direkteinspritzung/ Turbocharger	Direkteinspritzung/ Turbocharger
EMISSIONSKLASSE	Euro 5	Euro 5	Euro 5
CO ₂ -EMISSIONEN (g/km)	166	134	121
KRAFTSTOFFVERBRAUCH (l/100 km)	7,1	5,7	5,2
GRUNDPREIS (€)	18.075	18.475	18.900
MTL. GESAMTKOSTEN (€) ²	480/532/659	456/501/612	451/493/600

¹ Der Golf wird ab 2010 nicht mehr mit diesem Motor angeboten.

² ADAC Autokosten 2010 (Haltedauer: 4 Jahre; Fahrleistung/ Jahr: 15.000/20.000/30.000 km)

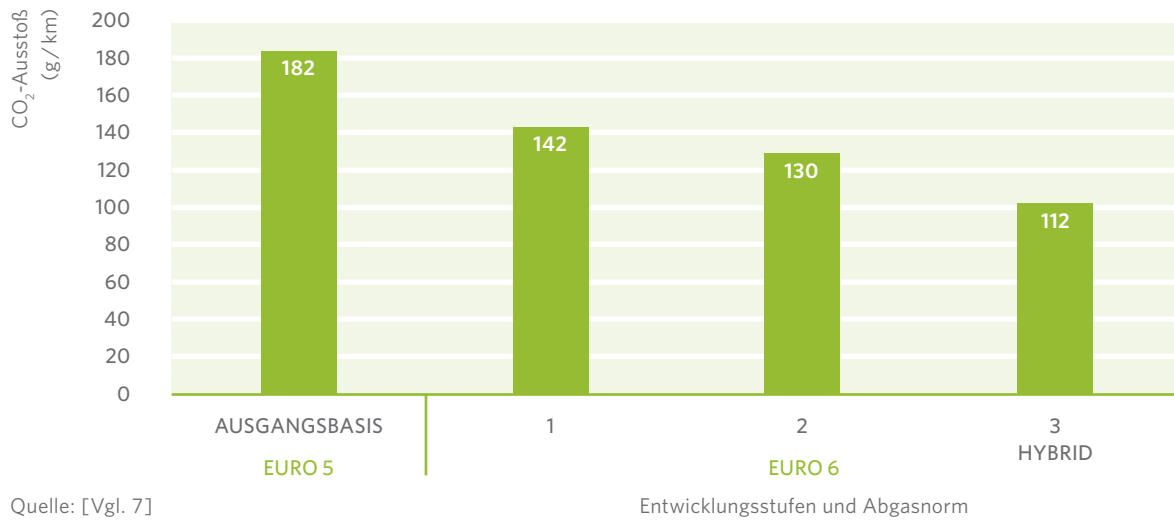
Quelle: [Vgl. 45; 20]

Die Tabelle zeigt, dass der 1.2-Liter-TSI Motor, trotz kleineren Hubraums, eine geringfügig höhere Motorleistung aufweist als der 1.6-Liter Motor. Außerdem reduzieren sich der Kraftstoffverbrauch sowie die CO₂-Emissionen des 1.2-Liter-TSI Motors mit Direkteinspritzung und Turbolader um 19 Prozent im Vergleich zu dem 1.6-Liter Motor mit Sauginspritzung. Die Zusatzkosten für den Golf mit dem TSI-Motor liegen bei 400 Euro.

Durch motortechnische Maßnahmen können die Kraftstoffverbräuche und somit die CO₂-Emissionen

der Benzin- und Dieselmotoren zukünftig um insgesamt 29 bis 33 Prozent reduziert werden. Für die entsprechenden Mildhybridversionen kann sogar mit einem Einsparpotential von 40 Prozent gerechnet werden. [Vgl. 7]

Die nächsten beiden Abbildungen und die dazugehörigen Tabellen zeigen das Kraftstoff- und CO₂-Reduzierungspotential eines 1.400 Kilogramm schweren und 136 PS starken Mittelklassewagens getrennt für Benzin- und Diesel-Fahrzeuge unter Zugrundelegung zukünftiger technischer Möglichkeiten.

Abbildung 2: CO₂-Reduzierungspotential von benzinbetriebenen Ottomotoren durch Downsizing und Hybridtechnologie

Quelle: [Vgl. 7]

Tabelle 3: CO₂-Reduzierungsstufen von benzinbetriebenen Ottomotoren durch Downsizing und Hybridtechnologie

TECHNIKPAKET	TECHNOLOGIE	KRAFTSTOFFREDUZIERUNG
AUSGANGS-BASIS	Mittelklasse-Pkw (1.400 kg) mit Saugrohreinspritzung, 2,0 Liter Hubraum, 100 kW, 200 Nm, Verbrauch 7,7 L/100 km Benzin	100 % (7,7 L/100 km)
1	Direkteinspritzung, Downsizing auf 1,4 Liter, Start-Stopp-System, Thermomanagement und Aufladung	-22 % (6,1 L/100 km)
2	Weiteres Downsizing von vier auf drei Zylinder und 1,1 Liter, Ladedrucksteigerung von 1,8 auf 2,4 bar und variable Ventilverstellung	-29 % (5,5 L/100 km)
3	Plus Mildhybridantrieb mit zusätzlichem 25-kW-Elektromotor und einer Batterie von 1 kWh Energieinhalt	-39 % (4,7 L/100 km)

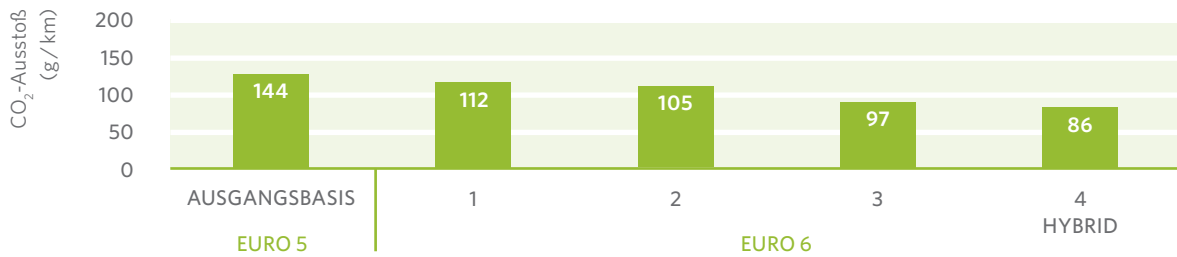
Quelle: [Vgl. 7]

Anhand der Tabelle ist zu erkennen, dass sich der oben beschriebene benzinbetriebene Golf 1.2 TSI mit der BlueMotion Technology in der ersten Entwicklungsstufe befindet. Mit weiteren motortechnischen Maßnahmen (Stufe 2) könnte man die CO₂-

Emissionen des Golfs um weitere 7 Prozent auf 112 Gramm pro Kilometer senken.

Nachfolgend sind die CO₂-Reduzierungspotentiale von dieselbetriebenen Fahrzeugen dargestellt.

Abbildung 3: CO₂-Reduzierungspotential von dieselbetriebenen Motoren durch Downsizing und Hybridtechnologie



Quelle: [Vgl. 7]

Entwicklungsstufen und Abgasnorm

Tabelle 4: CO₂-Reduzierungsstufen von dieselbetriebenen Motoren durch Downsizing und Hybridtechnologie

TECHNIKPAKET	TECHNOLOGIE	KRAFTSTOFFREDUZIERUNG
AUSGANGS-BASIS	Mittelklasse-Pkw (1.400 kg) mit Common-Rail-Turbodiesel, 2,0 Liter Hubraum, 100 kW, 340 Nm, Verbrauch 5,4 L/100 km Diesel	100 % (5,4 L/100 km)
1	Optimiertes Brennverfahren mit erhöhtem Einspritz- und Ladedruck, erhöhter Abgasrückführung, Start-Stopp, Downsizing auf 1,6 Liter	-22 % (4,2 L/100 km)
2	Plus NO _x -Abgasnachbehandlung	-28 % (3,9 L/100 km)
3	Weiteres Zylinder-Downsizing von vier auf drei Zylinder und 1,2 Liter	-33 % (3,6 L/100 km)
4	Plus Mildhybridantrieb mit zusätzlichem 25-kW-Elektromotor und einer Batterie von 1 kWh Energieinhalt	-40 % (3,2 L/100 km)

Quelle: [Vgl. 7]

Der Nachteil von extremen Downsizing-Konzepten im Dieselmotorbereich ist jedoch, dass bei Verbrennungsmotoren mehr Stickoxid-Emissionen entstehen, die dann eventuell kostenintensivere Technologien, wie z. B. die Harnstoff-Nachbehandlungen (SCR) notwendig machen, um die zukünftigen Anforderungen der europäischen Abgasgesetzgebung zu erfüllen. Somit entsteht ein Dreifachzielkonflikt zwischen der Reduzierung der NO_x- und CO₂-Emissionen sowie deren Kosten. Dies gilt insbesondere für Dieselmotoren. [Vgl. 8]

Um den durchschnittlichen CO₂-Ausstoß der Automobilflotten erheblich zu reduzieren, muss jedoch fast jeder benzin- und dieselbetriebene Neuwagen in

Europa mit den oben genannten Technologien ausgestattet werden. Die zusätzlichen Kosten, die bei der Effizienzsteigerung der Verbrennungsmotoren entstehen, werden die Anschaffungspreise für Benzin- und Dieselfahrzeuge erhöhen. [Vgl. 9]

Welche Rolle spielt CNG in den Überlegungen der OEMs bei der Umsetzung der Ziele und wie passt Erdgas in die EU-Vorgaben 2020 hinein? Zielsetzung dieser Studie ist daher die Klärung der Frage: kann CNG vor diesem Hintergrund bis zum Jahr 2020 in Europa einen Marktanteil von 5+x% am Flüssigkraftstoffmarkt erreichen und welche Rahmenbedingungen sind dazu erforderlich?

2. ERDGAS ALS KRAFTSTOFF

Aufgrund der ähnlichen Verbrennungseigenschaften von Erdgas und Benzin (Heizwert, Luftbedarf und somit Gemischheizwert) werden zumeist konventionelle Ottomotoren zu Erdgasmotoren umgerüstet. Einer der Hauptunterschiede von Erdgas zu konventionellen Kraftstoffen ist die niedrige Energiedichte pro Volumen. Aus diesem Grund wird Erdgas im Fahrzeug unter hohem Druck (ca. 200 bar) in dafür vorgesehenen Druckgasbehältern (ein oder mehrere Druckbehälter) gespeichert, um akzeptable Reichweiten im Erdgasbetrieb zu ermöglichen. Erdgas in gasförmiger, komprimierter Form wird als CNG (Compressed Natural Gas) bezeichnet. Aufgrund des hohen Druckes, den die Druckbehälter aushalten müssen, sind diese oft groß und schwer und werden bei den meisten erdgasbetriebenen Pkw-Serienmodellen am hinteren Fahrzeugboden (Unterflurtanks) positioniert. Somit wird die Fahrdynamik aufgrund der tieferen Schwerpunktage sowie der räumliche Inhalt des Kofferraums nicht beeinträchtigt.

Eine positive Eigenschaft von Erdgas als Automobilkraftstoff im Vergleich zu den anderen Ottokraftstoffen ist die hohe Klopfestigkeit. Aus der nächsten Abbildung kann man die Klopfestigkeit von verschiedenen Ottokraftstoffen entnehmen.

Tabelle 5: Oktanzahl verschiedener Kraftstoffe

KRAFTSTOFF	OKTANZAHL
Superbleifrei	95 ROZ
Autogas	103 - 111 ROZ
E85	104 ROZ
Erdgas	120 - 130 ROZ

Quelle: [Vgl. 13]

Die Oktanzahl ist ein Maß für die Klopfestigkeit eines Ottokraftstoffes. Je höher die Oktanzahl, desto kontrollierter verbrennt der Kraftstoff durch den Zündfunken und ergibt somit die maximale mögliche Verdichtung des Motors. Je höher das Verdichtungspotential, umso mehr kann der Wirkungsgrad des Motors und somit der Kraftstoffverbrauch verbessert werden. [Vgl. 14]

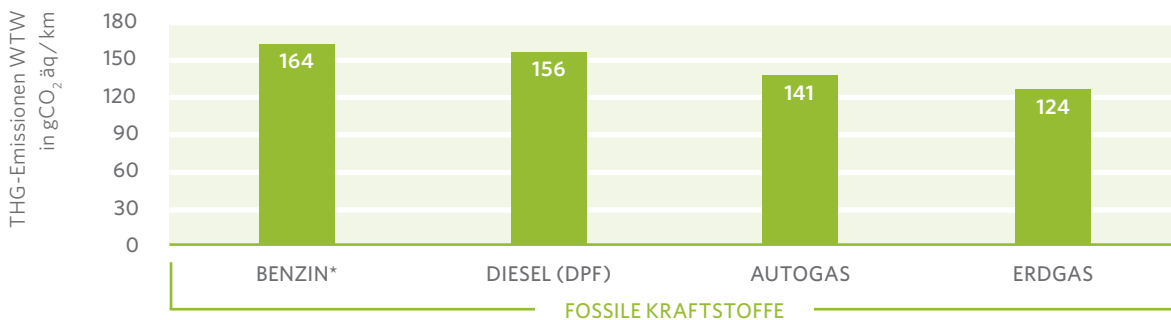
Aufgrund der hohen Klopfestigkeit von Erdgas lässt sich das Kraftstoff-Luft-Gemisch höher verdichten. Deshalb ist das Potential zur Kraftstoff- und Schadstoffreduzierung bei der Verwendung von erdgasbetriebenen Ottomotoren mit Turboaufladung höher als bei der Verwendung von benzinbetriebenen Ottomotoren mit Turboaufladung. [Vgl. 15]

Aus diesem Grund kann gerade der Wirkungsgrad von erdgasbetriebenen Ottomotoren durch den derzeitigen Trend zum „Downsizing“ in der Automobilindustrie (Hubraumverkleinerung und Turboaufladung) weiter verbessert werden. Daraus folgt, dass in der Zukunft der Kraftstoffverbrauch und somit die CO₂-Emissionen von Erdgasfahrzeugen weiter reduziert werden können. [Vgl. 16]

Anhand der Gegenüberstellung verschiedener Treibhausgasbilanzen von unterschiedlichen Fahrzeugantrieben kann man das Schadstoffreduzierungspotential von Erdgas als Automobilkraftstoff erkennen.

„In der Treibhausgasbilanz (THG-Bilanz) von Fahrzeugantrieben werden die Emissionen von Treibhausgasen wie Methan oder CO₂ von der Rohstoffquelle (englisch: „well“) über den Fahrzeugtank („tank“) bis zum Antrieb („wheel“) bilanziert, also Well-to-Wheel (WTW). Die Treibhausgasemissionen werden anschließend in CO₂-Äquivalente (CO₂äq) umgerechnet.“ [Vgl. 12]

Abbildung 4: Treibhausgasemissionen unterschiedlicher fossiler Kraftstoffe



*Referenzfahrzeug: Ottomotor (Benzin, Saugmotor) - Verbrauch: 7 Liter / 100 km

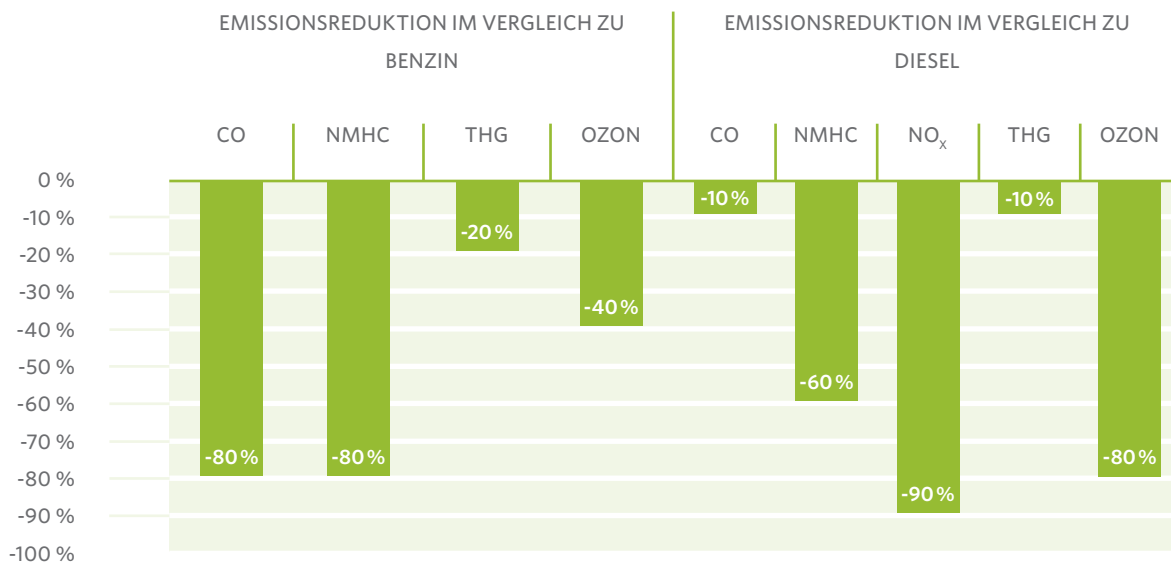
Quelle: [Vgl. 12]

Bei der Gegenüberstellung der verschiedenen Kraftstoffe wird deutlich, dass Erdgas innerhalb der Gruppe der fossilen Kraftstoffe das größte Potential zur Reduzierung von THG-Emissionen besitzt. Im Vergleich zu Benzin können die THG-Emissionen um bis zu 24 Prozent, im Vergleich zu Diesel um bis zu 21 Prozent und im Vergleich zu LPG (Liquified Petroleum Gas) um bis zu 14 Prozent gesenkt werden. Weitere erhebliche CO₂-Emissionsreduzierungs-

potentiale können durch die Beimischung von Biogas in das bestehende Erdgasnetz entstehen. Das Potential von Biogas als Automobilkraftstoff wird im nächsten Kapitel näher erläutert.

Des Weiteren lassen sich bei der Verwendung von Erdgas als Automobilkraftstoff auch andere klimaschädliche Schadstoffe deutlich reduzieren, wie aus der nachfolgenden Abbildung ersichtlich ist.

Abbildung 5: Schadstoffreduzierung beim Einsatz von CNG-Fahrzeugen im Vergleich zu Benzin- und Dieselfahrzeuge



Quelle: [Vgl. 15]

Erdgasbetriebene Pkw emittieren im Vergleich zu benzinbetriebenen Pkw der Abgasnorm Euro 4: [Vgl. 15]

- ▶ bis zu 80 Prozent weniger Kohlenmonoxid (CO)
- ▶ bis zu 80 Prozent weniger Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC)

und bewirken ein

- ▶ bis zu 20 Prozent geringeres Treibhausgaspotential (THG)
- ▶ bis zu 40 Prozent geringeres Ozonbildungspotential (Ozon)

Erdgasbetriebene Pkw emittieren im Vergleich zu dieselbetriebenen Pkw der Abgasnorm Euro 4 mit Partikelfilter: [Vgl. 15]

- ▶ bis zu 60 Prozent weniger Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC)
- ▶ bis zu 90 Prozent weniger Stickoxide (NO_x)
- ▶ Praktisch keine Partikel-Emissionen (Ruß)

und bewirken ein

- ▶ bis zu 10 Prozent geringeres Treibhausgaspotential (THG)
- ▶ bis zu 80 Prozent geringeres Ozonbildungspotential (Ozon)

„Zu den Emissionen zählen aber nicht nur Schadstoffe, sondern auch Lärm, der die Umwelt maßgeblich beeinflusst. Diese Geräuschemissionen sind bei CNG-Fahrzeugen um bis zu 50 Prozent niedriger als bei konventionellen Fahrzeugen.“ [Vgl. 10]

Die Verwendung von Erdgas als Automobilkraftstoff ist nicht nur umweltfreundlicher, sondern kann je nach länderspezifischer Besteuerung auch deutlich

kostengünstiger für den Nutzer sein, da beim Tanken von Erdgas nicht der volle Energiesteuersatz wie bei Benzin- und Dieselmotoren anfällt. Laut Energiesteuergesetz bleibt diese Begünstigung beispielsweise in Deutschland bis 2018 bestehen. [Vgl. 17]

Der Preis von Erdgas wird an den Tankstellen in Euro pro Kilogramm angegeben und nicht wie bei allen anderen Kraftstoffen in Euro pro Liter. Aus diesem Grund ist der direkte Preisvergleich von Erdgas mit anderen Kraftstoffen nicht ohne weiteres möglich. Aufgrund des höheren Energiegehaltes entspricht 1 Kilogramm Erdgas (H-Gas) ca. 1,5 Liter Benzin, 1,3 Liter Diesel und 2,0 Liter Autogas. [Vgl. 15] Hier sollte zukünftig über eine entsprechend geänderte Preis-Auszeichnung nachgedacht werden.

Durch die erheblichen Kosteneinsparungen beim Kraftstoff lassen sich die in der Regel höheren Anschaffungskosten für ein Erdgasfahrzeug gegenüber dem entsprechenden benzinbetriebenen Modell innerhalb kurzer Zeit amortisieren, wie man anhand der folgenden Gegenüberstellung erkennen kann. Zu beachten ist dabei, dass die EU6-Abgas-Norm durch die aufwendigere Abgasreinigung Dieselfahrzeuge noch einmal verteuern wird, so dass diese bereits in der Anschaffung über dem Erdgas-Fahrzeug liegen werden und sich der Preisvorteil in der Vollkostenrechnung noch weiter zugunsten des Erdgas-Modells verschieben wird. Weiterhin kann man anhand der Gegenüberstellung die Umwelt- sowie Verbrauchreduzierungs-potentiale von Erdgasfahrzeugen im Vergleich zu leistungsgleichen Benzin- und Dieselfahrzeugen erkennen.

Tabelle 6: Opel Zafira mit Benzin-, Diesel- und Erdgasantrieb

	OPEL ZAFIRA 2.2 DIRECT EDITION	OPEL ZAFIRA 1.9 CDTI (DPF) EDITION	OPEL ZAFIRA 1.6 CNG TURBO ECOFLEX EDITION
LEISTUNG (kW / PS)	110 / 150	110 / 150	110 / 150
HUBRAUM (cm ³)	2.198	1.910	1.598
EMISSIONSKLASSE	Euro 4	Euro 4	Euro 4
CO ₂ -EMISSIONEN (g / km)	197	165	139
KRAFTSTOFFVERBRAUCH (pro/100 km)	8,2 l	6,1 l	5,1 kg
GRUNDPREIS (€)	26.480	28.080	27.300
MTL. GESAMTKOSTEN (€)*	659 / 738 / 876	616 / 683 / 781	556 / 611 / 707

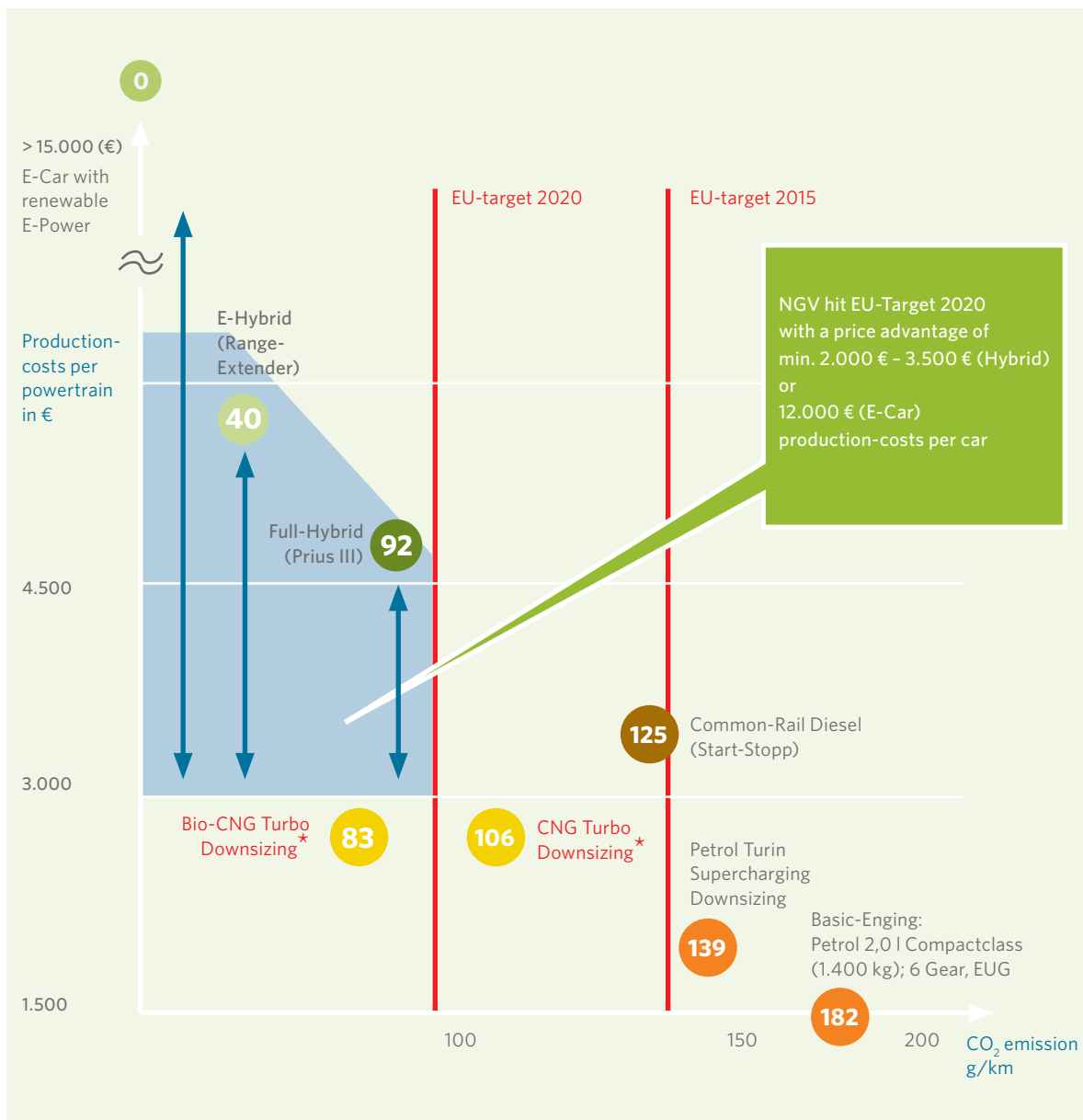
*ADAC Autokosten 2010 (Haltedauer: 4 Jahre; Fahrleistung / Jahr: 15.000 / 20.000 / 30.000 km)

Quelle: [Vgl. 20; 21]

Beim Vergleich von leistungsgleichen Opel Zafira Modellen mit unterschiedlichen Antriebsarten erkennt man, dass der Grundpreis für den erdgas betriebenen Zafira niedriger ist als für den dieselbetriebenen Zafira und lediglich 820 Euro höher liegt als für den benzinbetriebenen Zafira. Somit sind die monatlichen Gesamtkosten für den Opel Zafira mit Erdgasantrieb im Durchschnitt 17 Prozent niedriger als für den Zafira mit Benzinantrieb und 10 Prozent niedriger als für den Zafira mit Dieselantrieb. Es zeigt

sich, dass man beim Erdgasbetrieb ca. 29 Prozent weniger CO₂-Emissionen als im Benzinantrieb und ca. 26 Prozent weniger als im Dieselantrieb ausstößt. Betrachtet man die Kosten unterschiedlicher Antriebsquellen im Hinblick auf die CO₂-Flottenziele der EU-Kommission wird deutlich wie einfach und kostengünstig diese mit der CNG-Technologie erreicht werden können. Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht dies in einer Gegenüberstellung von Kosten pro Antriebsquelle und dem jeweiligen CO₂-Ausstoß.

Abbildung 6: Verhältnis Kosten/CO₂-Reduzierung bei unterschiedlichen Antriebsarten



* incl. additional charge for CNG-tank-system

Data-Source: Bosch/CAR

Basis dieses Vergleichs ist ein 2.0l Otto-Motor, der die Euro 6 Norm erfüllt und in ein Fahrzeug der Kompaktklasse installiert wird. Dieser Basis-Motor kostet 1.500 Euro, liegt aber im CO₂-Ausstoß bei über 180g/km. Die heutige Technologie der Erdgas-Fahrzeuge reicht bereits aus um die Zielvorgaben 2015 deutlich zu unterbieten (gelber Punkt rechts) und das bei einem moderaten Mehrpreis von 1.000 Euro, inkl. der erforderlichen CNG-Tanksysteme. Eine zwanzigprozentige Biogas-Beimischung würde mit aktueller Technologie bereits zur Unterbietung der Ziele für das Jahr 2020 führen (gelber Punkt links). Um dies mit Hybrid und/oder Elektro-Technologie zu erreichen, wären Aufpreise von 2.000 bis 3.500 Euro für Hybrid bzw. 12.000 Euro für Elektro-Fahrzeuge zu zahlen.

Zusammengefasst ist die Verwendung von Erdgas als Automobilkraftstoff nicht nur umweltfreundlicher, sondern auch wirtschaftlicher als die Verwendung von Benzin und Diesel als Automobilkraftstoff. Die Technologie ist bereits Stand der Technik, kann sofort eingesetzt werden und ist deutlich kostengünstiger

als andere wesentlich aufwendigere, umweltfreundliche Technologien, wie Hybrid oder Elektro. Im Verkehrssektor kann zudem durch die Verwendung von Erdgas als Automobilkraftstoff die Abhängigkeit vom Erdöl und dessen Preisschwankungen deutlich reduziert werden. Die Umwelt- und Ressourcenvorteile können durch die Beimischung von Biogas noch weiter verbessert werden.

2.1. BEISPIEL: VW PASSAT 1.4 TSI ECOFUEL

Die Automobilhersteller Opel und Volkswagen sind die ersten in Deutschland, die im Pkw-Bereich aufgeladene Motoren in ihren CNG-Modellen anbieten. Mit Hilfe der aufgeladenen CNG-Motoren können die bisherigen Leistungs Nachteile von Erdgas-Motoren gegenüber vergleichbaren Ottomotoren, die zwischen 10 und 15 Prozent lagen, kompensiert werden. Aus der folgenden Tabelle können die relevanten Fahrzeugdaten des VW Passats in der jeweiligen gewählten Modellvariante entnommen werden.

Tabelle 7: Vergleich des VW Passat im Benzin-, Diesel- und Erdgasbetrieb

MOTORISIERUNG	VW PASSAT TRENDLINE		
	1.8 TSI	2.0 TDI (DPF)	1.4 TSI ECOFUEL
EINSPRITZUNG/ AUFLADUNG	Direkteinspritzung/ Turbocharger	Common Rail/ Abgasturbolader	Direkteinspritzung/ Twincharger
KRAFTSTOFFART	Super	Diesel	Erdgas Super
HUBRAUM (cm ³)	1.798	1.968	1.390
LEISTUNG (kW/ PS)	118/160	103/140	110/150
BESCHLEUNIGUNG (s) - 0-100 km/h	10,5	9,8	9,8
HÖCHSTGESCHWINDIGKEIT (km/h)	220	209	210
VERBRAUCH (Liter o. kg auf 100 km/h)	7,4	5,6	4,5 7,2
CO ₂ -AUSSTOSS (g/km)	180	146	123 166
EMISSIONSKLASSE	EURO 5	EURO 5	EURO 5
KRAFTSTOFFBEHÄLTERVOLUMEN (Liter o. kg)	70	70	21 31
REICHWEITE (km)	946	1.250	467 431
KOFFERRAUMVOLUMEN (Liter)	565	565	485
LEERGEWICHT (kg)	1.469	1.527	1.602
GRUNDPREIS (€)	27.675	28.150	30.525

Quelle: [Vgl. 46; 44; 20]

Alle im Vergleich stehenden Passat-Varianten sind mit den neuesten Motorentypen (TSI und TDI), die Volkswagen derzeit im Angebot hat, ausgerüstet.

Der 1,4-l-TSI-EcoFuel-Ottomotor basiert auf dem 1,4-l-TSI-Ottomotor des VW-Konzerns und verfügt über eine Direkteinspritzung und eine Doppelaufladung durch Kompressor und Turbolader („Twincharger“). Für solch hochaufgeladene Motoren bietet sich – aufgrund der hohen Klopffestigkeit – Erdgas als Automobilkraftstoff besonders an. [Vgl. 22]

Am Motor wurden der Ventiltrieb sowie die Kolben und Kolbenringe des 1,4-l-TSI für den für den Erdgasbetrieb angepasst. Verdichtet ist der Motor im Hinblick auf einen ebenfalls uneingeschränkten Benzinbetrieb mit 10:1.“ [Vgl. 23]

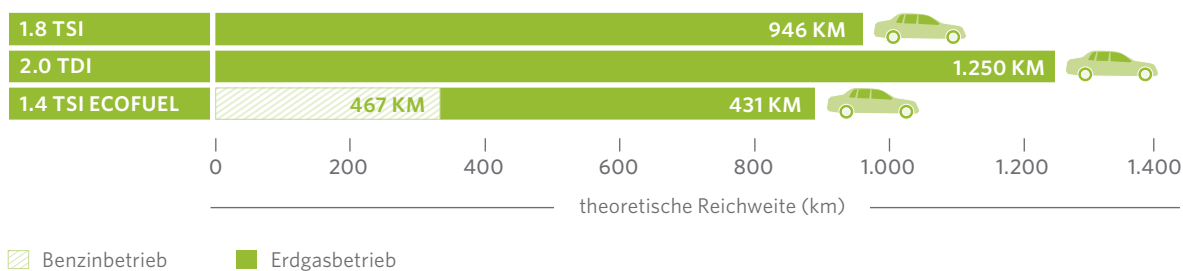
Durch diese Modifikationen kann der Passat sowohl im Erdgasbetrieb als auch im Benzinbetrieb 110 kW (150 PS) leisten. Der TSI-EcoFuel Motor mit seinen 220 Newtonmeter Drehmoment beschleunigen den Passat in 9,8 Sekunden auf 100 Kilometer in der

Stunde bei einem sehr sparsamen Verbrauch von durchschnittlich 4,4 Kilogramm auf 100 Kilometer. [Vgl. 24]

Im Vergleich dazu verfügt der 1,8-l-TSI-Benzinmotor über eine Direkteinspritzung und Turboaufladung und leistet 118 kW (160 PS). Auch der 2,0-l-TDI-Dieselmotor hat eine Direkteinspritzung und eine Turboaufladung und leistet 103 kW (140 PS). Außerdem ist er mit einem Dieselpartikelfilter ausgestattet. Somit erfüllt nicht nur die benzin- und erdgasbetriebene Passat-Variante, sondern auch die dieselpetriebene Passat-Variante die Abgasnorm Euro 5.

Der Passat TSI EcoFuel hat mit 21 Kilogramm Erdgas eine Reichweite von 467 km. Der zusätzliche Benzintank sorgt für eine Reichweite von 431 Km. Im Vergleich dazu kann man in der nachfolgenden Abbildung die Reichweiten des benzinbetriebenen 1,8-l-TSI-Ottomotors sowie des 2,0-TDI-Dieselmotors erkennen, die jeweils ein Tankvolumen von 70 Litern besitzen.

Abbildung 7: Der VW Passat mit unterschiedlichen Reichweiten im Benzin-, Diesel- und Erdgasbetrieb



Eindrucksvoll zeigt das nachstehende Beispiel, wie schnell mit CNG bereits heute die CO₂-Ziele des Jahres 2020 erreicht werden könnten. In der Motorisierung mit 1,8 Liter TSI-Motor leistet ein VW-Passat 160 PS und emittiert bei einem Kraftstoffverbrauch von 7,4 Liter Superbenzin 172 g CO₂/km. In der etwa vergleichbaren Dieselausführung kann der Kraftstoffverbrauch auf 5,6 Liter oder 146 g CO₂/km reduziert werden. Nutzt man jetzt den 1,4 Liter TSI-

EcoFuel Motor werden bei einem Verbrauch von 4,5 kg CNG nur mehr 123 g CO₂ emittiert. Geht man weiter und mixt zu 75 Prozent Erdgas 25 Prozent Bio-Methan, werden 93 g CO₂/km netto emittiert. Damit könnten quasi über Nacht unsere Fahrzeuge auf die CO₂-Norm des Jahres 2020 gebracht werden. Für das Jahr 2020 plant die EU-Kommission die Auflage, dass Neuwagen im Schnitt nicht mehr als 95 g CO₂/km emittieren dürfen.

Abbildung 8: Der VW Passat mit unterschiedlicher Motorisierung

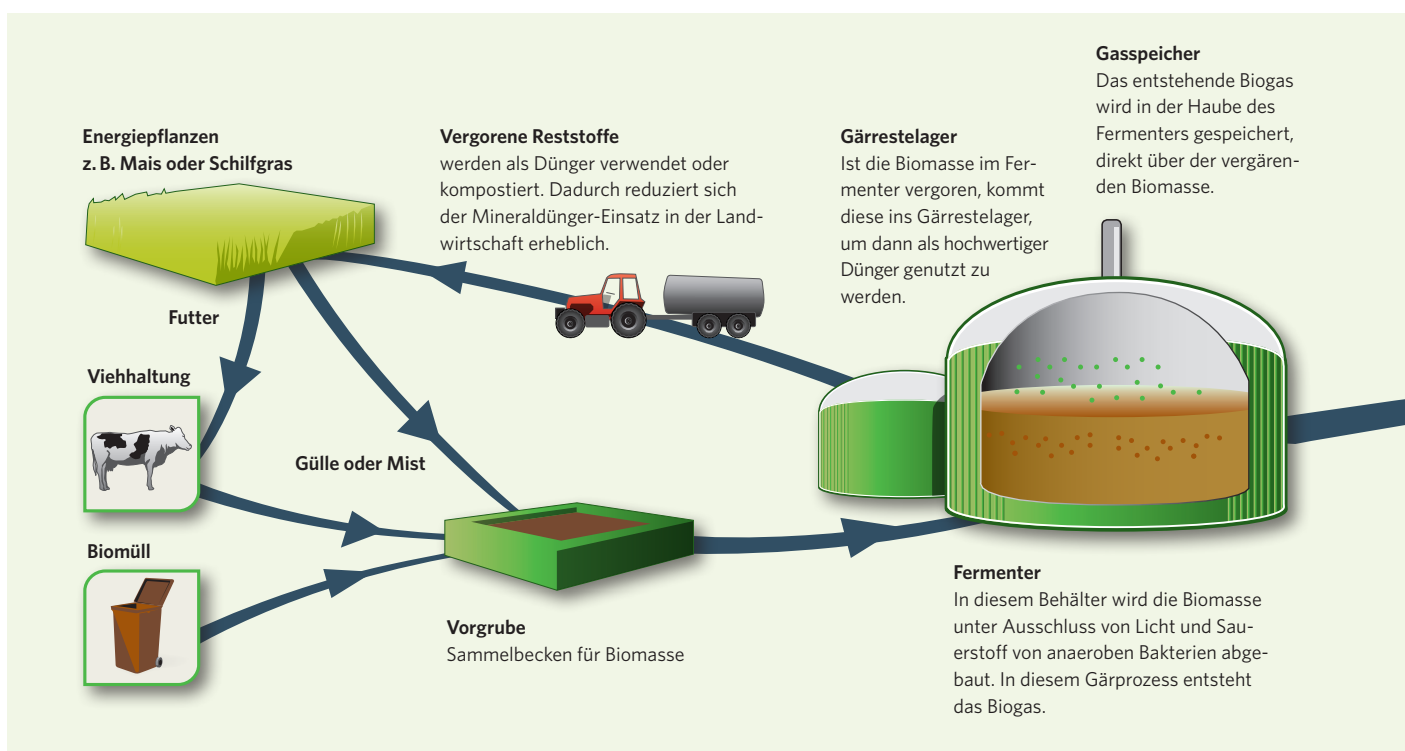
VW PASSAT	1.8 TSI	2.0 TDI (DPF)	1.4 TSI ECOFUEL	1.4 TSI ECOFUEL
KRAFTSTOFF	Super-Benzin	Diesel	CNG	Bio-CNG-Mix (75 % / 25 %)
HUBRAUM (cm ³)	1.798	1.968	1.390	1.390
LEISTUNG (PS)	160	140	150	150
0-100 km/h (s)	8,6	9,8	9,8	9,8
NETTO-CO ₂ -EMISSIONEN (g/km)	172	146	123	93
VERBRAUCH PER 100 km	7,4 l	5,6 l	4,5 kg	4,5 kg

Trotz der Mehrkosten für Bio-Methan gegenüber dem fossilen Erdgas gibt es heute keine kostengünstigere Technologie um die CO₂-Ziele des Jahres 2020 zu erreichen.

„Diese technologische Entwicklung zeigt Parallelen zum Dieselboom bei Pkw in den 90er Jahren. Durch die Kombination von Turboaufladung und Hochdruck-Direkteinspritzung erreichten Dieselmotoren

hohe spezifische Leistungen und insbesondere hohe spezifische Drehmomente. Erst damit waren Dieselfahrzeuge auf breiter Basis marktfähig. Heute liegt ihr Anteil bei rund 50 Prozent der Pkw-Neuzulassungen in Westeuropa. Ein ähnlicher Trend könnte künftig auch bei Fahrzeugen mit CNG-Motoren einsetzen.“ [Vgl. 22]

Abbildung 9: Schema einer zweistufigen Biogasanlage mit Gasaufbereitung



2.2. BIOMETHAN (BIOGAS)

Biogas ist wie die anderen Biokraftstoffe ein erneuerbarer Energieträger, der die gleiche Qualität besitzt wie das fossile Erdgas (siehe oben). Dabei verfügt Biogas über hervorragende Eigenschaften bezüglich Umweltschutz und Energieeffizienz. [Vgl. 25]

In Deutschland erfolgt seit 2006 die Aufbereitung von Biogas und dessen Einspeisung in das Erdgasnetz. Mittlerweile sind 26 Biogasanlagen an das Erdgasnetz in Deutschland angeschlossen. [Vgl. 12]

Somit kann Biogas in Deutschland, aber auch in anderen europäischen Ländern, über ein flächendeckendes Erdgasnetz zu den Tankstellen transportiert werden, wo es verdichtet wird und als Automob

ilskraftstoff verwendet werden kann. In Deutschland gibt es bereits rund 100 Tankstellen, die bilanziertes, beigemischtes Biomethan verkaufen. [Vgl. 12] Erdgasbetriebene Fahrzeuge können problemlos und ohne Beeinträchtigung mit Biogas betrieben werden. Dabei kann eine stufenlos vornehmbare Beimischung zum fossilen Erdgas oder die vollständige Substitution erfolgen. [Vgl. 26]

Die Verwendung von Biomethan als Kraftstoff ist gegenüber den anderen Biokraftstoffen am flächeneffizientesten, wie aus der nachfolgenden Abbildung ersichtlich ist. Im Gegensatz zu anderen Biokraftstoffen stellt sich bei Biogas nicht die bekannte „tanken oder Teller“-Frage, da die benötigten Pflanzen nach Aberntung der eigentlichen Nutzpflanzen angebaut werden können.

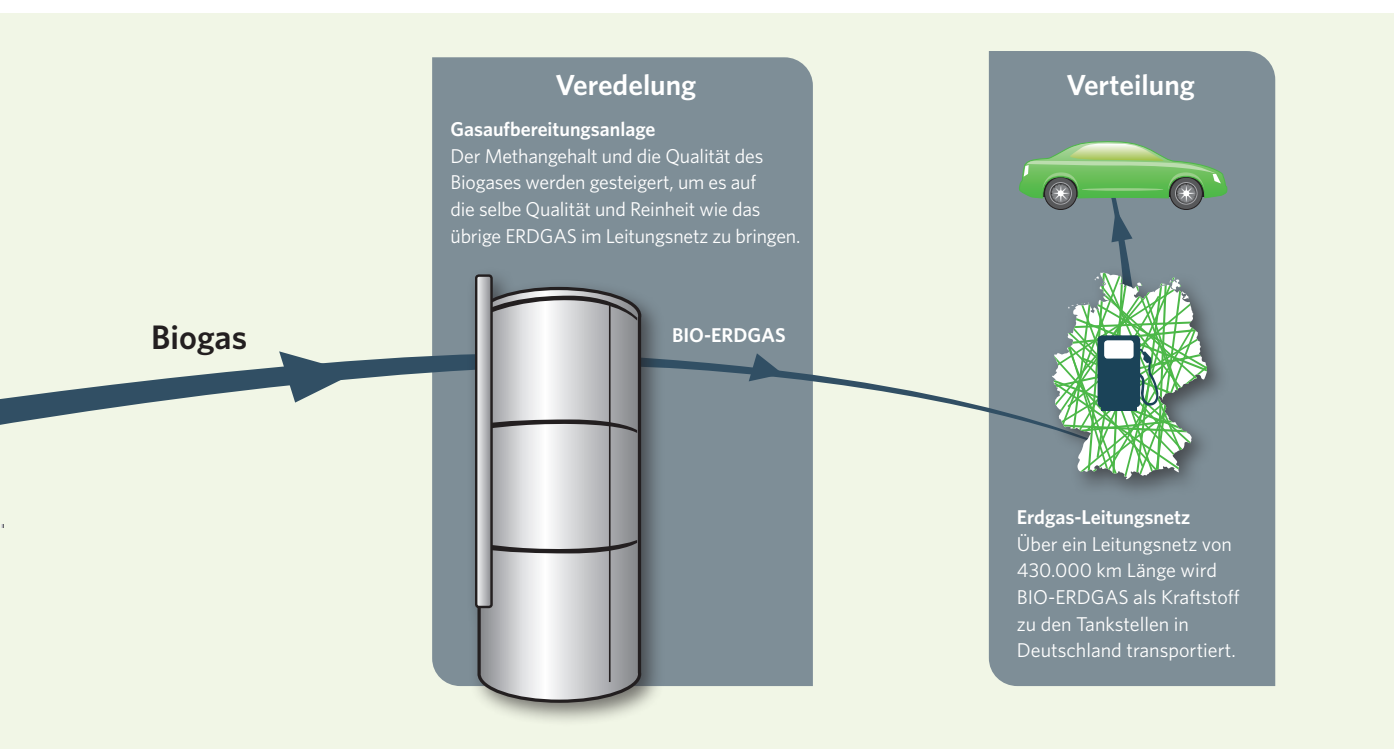
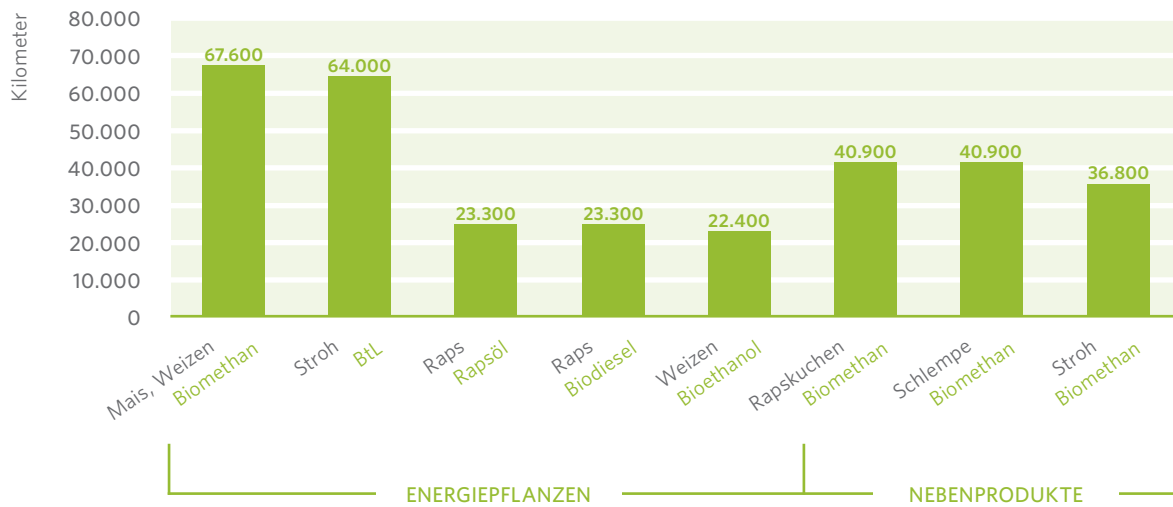


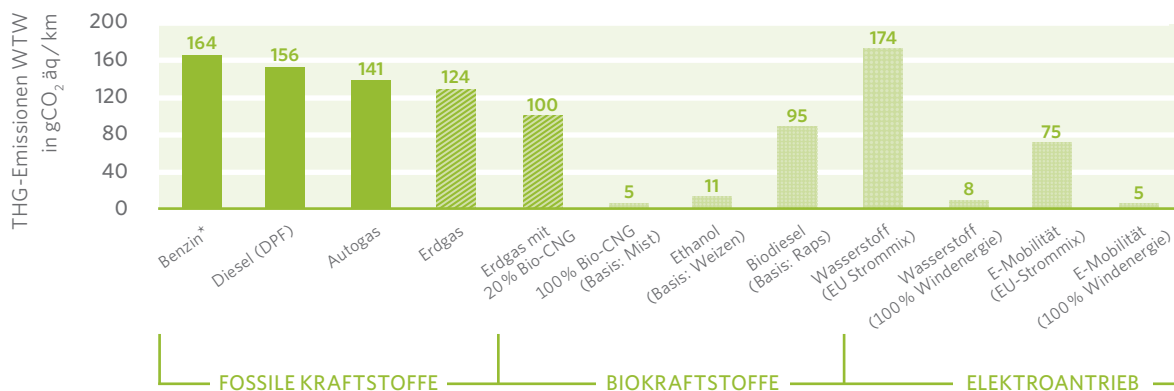
Abbildung 10: Flächeneffizienz von Biokraftstoffen im Vergleich



Durch die Einspeisung von Biogas in das bestehende Erdgasnetz und die Möglichkeiten der Verwendung als Automobilkraftstoff lassen sich die ohnehin besseren Umwelteigenschaften von erdgasbetriebenen Fahrzeugen im Vergleich zu benzin-, diesel- und autogasbetriebenen Fahrzeugen nochmals stark verbessern.

In der nachfolgenden Abbildung werden Treibhausgasemissionen unterschiedlicher Kraftstoffe im Fahrzeugbetrieb dargestellt. Außerdem kann man die CO₂-Emissionen von unterschiedlichen Elektroantriebskonzepten erkennen. Dabei werden die Treibhausgase von der Rohstoffquelle über den Fahrzeugtank bis zum Antrieb berücksichtigt.

Abbildung 11: Treibhausgasemissionen unterschiedlicher Kraftstoffe



Quelle: [Vgl. 12]

* Referenzfahrzeug: Ottomotor (Benzin, Saugmotor) - Verbrauch: 7l/100 km

Reine biogasbetriebene Fahrzeuge verursachen die niedrigsten CO₂-Emissionen. Dies gilt nicht nur im Vergleich zu den fossilen und biogenen Kraftstoffen, sondern auch im Vergleich zu den elektrisch betriebenen Fahrzeugkonzepten.

Bereits bei der Verwendung von Erdgas mit einer 20-prozentigen Biogas-Beimischung ist ein erhebliches CO₂-Einsparpotential im Fahrzeugbetrieb zu er-

reichen. Bei einer 20-prozentigen Biogasbeimischung reduzieren sich die CO₂-Emissionen von erdgasbetriebenen Fahrzeugen im Vergleich zu benzinbetriebenen Fahrzeugen um 40 Prozent und im Vergleich zu dieselbetriebenen Fahrzeugen um 36 Prozent. Verglichen mit reinen erdgasbetriebenen Fahrzeugen kann eine 19-prozentige CO₂-Emissionenreduzierung erreicht werden.

Die erheblichen CO₂-Reduzierungspotentiale von erdgasbetriebenen Fahrzeugen durch eine 20-prozentige Beimischung von Biogas zum fossilen Erdgas kann man an der nachfolgenden Gegenüberstellung am Beispiel des VW Passat erkennen. Die Einsparpotentiale des fiktiven Bio-Erdgas VW Passat 1.4 TSI EcoFuel wurden anhand der o.a. CO₂-Reduzierungspotentiale von Biogas vorgenommen.

Aus der Gegenüberstellung kann man erkennen, dass sich unter Verwendung von 20 Prozent Biogas und 80 Prozent fossilem Erdgas die CO₂-Emissionen des

VW Passats 1.4 TSI Eco-Fuel nochmals stark reduzieren lassen. Unter der Annahme, dass bei dem VW Passat 1.4 TSI Eco-Fuel auch die BlueMotion Technology eingesetzt wird, lassen sich die CO₂-Emissionen auf 94 Gramm pro Kilometer reduzieren, welches für einen Mittelklassewagen mit einer Motorleistung von 110 kW (150 PS) sehr umweltfreundlich wäre. Zum Vergleich stößt der deutlich kleinere und leistungsschwächere Smart Fortwo (45 kW/61 PS) im Benzinbetrieb 103 Gramm CO₂ pro Kilometer aus (siehe Tabelle 3.2.).

Tabelle 8: Verbrauchs- und Emissionsreduzierungspotential von Bio-CNG

MOTORISIERUNG	VW PASSAT TRENDLINE			
	1.4 TSI ECOFUEL	1.4 TSI ECOFUEL BLUEMOTION TECHNOLOGY*	1.4 TSI ECOFUEL	1.4 TSI ECOFUEL BLUEMOTION TECHNOLOGY*
KRAFTSTOFF	100 % CNG	100 % CNG	80 % CNG, 20 % Bio-CNG	80 % CNG, 20 % Bio-CNG
HUBRAUM (cm ³)	1.390	1.390	1.390	1.390
LEISTUNG (kW / PS)	110 / 150	110 / 150	110 / 150	110 / 150
VERBRAUCH (kg / 100 km / h)	4,5	4,1 ¹	3,7 ¹	3,3 ¹
CO ₂ -AUSSTOSS (g / km)	123	116 ¹	100 ¹	94 ¹
EMISSIONSKLASSE	Euro 5	Euro 5	Euro 5	Euro 5
GRUNDPREIS (€)	30.525	31.125	30.525	31.125

Quelle: [Vgl. 46]

*wird derzeit nicht von VW angeboten

¹ eigene Berechnung

Zusammenfassend hat Biogas unter den oben beschriebenen Biokraftstoffen das höchste Potential, um die umweltpolitischen Kriterien wie Nachhaltigkeit und Klimafreundlichkeit im Verkehr, zu erfüllen.

Des Weiteren können die Ressourcen der endlichen Energieträger (Erdöl und Erdgas) durch die zunehmende Verwendung von Biogas als Automobilkraftstoff geschützt werden.

2.3. CNG-MODELLPALETTE IN EUROPA

Betrachtet man das derzeitige, werksseitige Angebot an CNG-Modellen in Europa, so ist dieses Angebot im Verhältnis zu der Anzahl aller am Markt verfügbaren Modelle sehr überschaubar, wie die nachfolgende Übersicht verdeutlicht.

Zwar finden sich in der Übersicht gängige Modelle, wie der VW Passat, der Opel Zafira oder der VW

Touran, Volumenmodelle, wie der VW Golf, der VW Polo, der Opel Astra oder der Opel Corsa werden derzeit nicht als Erdgas-Variante angeboten. Auch im Bereich der Premium-Marken findet sich aktuell nur die Mercedes B-Klasse (die neue E-Klasse folgt noch in diesem Jahr). Audi und BMW beispielsweise sind derzeit gar nicht vertreten.



Aus der nachfolgenden Gegenüberstellung kann man die erdgasbetriebenen Serienfahrzeugmodelle der 12 absatzstärksten Automobilmarken in Deutschland (2009) nach dem jeweiligen Fahrzeugsegment

erkennen. Dabei werden nicht nur erdgasbetriebene Pkw-Modelle, sondern auch erdgasbetriebene Nutzfahrzeuge, Busse und Lkw berücksichtigt.

Tabelle 9: Absatzstärkste Pkw-Hersteller und ihre Erdgasserienmodelle in 2009

HERSTELLER	VOLKSWAGEN	OPEL	FORD	MERCEDES-BENZ	AUDI	BMW	SKODA	FIAT	RENAULT	TOYOTA	PEUGEOT	CITROEN	
MARKTANTEIL (IN %)	21,1	9,0	7,6	7,3	6,1	5,8	5,1	4,4	3,8	3,6	3,5	2,7	
SEGMENT	MINI	-	-	-	-	-	-	Panda	-	-	-	-	
	KLEINWAGEN-KLASSE	-	-	-	-	-	-	Punto Evo	-	-	-	C3	
	KOMPAKT-WAGENKLASSE	-	-	Focus	B-Klasse	-	-	-	-	-	-	-	
	KASTENWAGEN	Caddy	Combo	-	-	-	-	Fiorino/Qubo	-	-	-	-	
	VAN/MINIVAN	Touran	Zafira	C-Max	-	-	-	Doblo	-	-	-	-	
	MITTELKLASSE/OBERE MITTELKLASSE	Passat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	OBERKLASSE	-	-	-	E-Klasse*	-	-	-	-	-	-	-	
	NUTZFAHRZEUGE	-	-	Transit	Sprinter	-	-	-	Ducato	-	-	-	-
	BUSSE	-	-	-	Citaro	-	-	-	-	-	-	-	
	LKW	-	-	-	Econic	-	-	-	-	-	-	-	

Quelle: [Vgl. 12; 42]

*Ende 2010 verfügbar

- keine Erdgasvariante verfügbar

In den meisten Fahrzeugklassen gibt es lediglich ein bis zwei Erdgasfahrzeugmodelle zur Auswahl. Gerade die Kleinwagenmodelle, die 2009 eine hohe Nachfrage hatten und auch in Zukunft eine hohe Nachfrage verzeichnen können, werden lediglich von einem Hersteller als Erdgasvariante angeboten. Dass auch Kleinwagen mit der Erdgastechnologie ausgestattet werden können, zeigen der Fiat Panda und Punto Evo. Mit dem neuen Multiair-Triebwerk

im Fiat 500 hat Fiat zudem eine ideale Basis für ein weiteres CNG-Modell geschaffen. Dieser aufgeladene 600ccm 2-Zylinder-Motor würde mit CNG betrieben einen CO₂-Ausstoß von unter 70g/km ermöglichen.

Die neue Generation kleiner, hochaufgeladener Motoren nutzt auch Volkswagen und bereitet die Plattformen aller zukünftigen Modelle für den Einsatz von CNG vor. [Vgl. 12]

In der nächsten Tabelle werden die Anschaffungskosten und die monatlichen Gesamtkosten der acht absatzstärksten Erdgasmodelle mit denen der jewei-

ligen Benzin- und Dieselvariante verglichen. Bei dem Vergleich wurden leistungsgleiche bzw. leistung-ähnliche Fahrzeugvarianten miteinander verglichen.

Tabelle 10: Anschaffungskosten und monatliche Gesamtkosten für leistungähnliche Benzin-, Diesel- und Erdgasfahrzeuge

MODELL	KRAFTSTOFFART	MOTORLEISTUNG (kW/PS)	GRUNDPREIS (€)	DIFFERENZ ZUM ERDGASFAHRZEUG (€)	MTL. GESAMTKOSTEN* (€)			Ø EINSPARUNGEN IN VIER JAHREN (€)
					15.000 Km	20.000 Km	30.000 Km	
VW CADDY LIFE	Benzin	75/102	18.862	3.504	517	593	730	-3.680
	Diesel	77/105	20.843	1.523	515	568	665	-2.208
	Erdgas	80/109	22.366	-	468	523	619	-
VW PASSAT TRENDLINE	Benzin	118/160	27.675	2.850	649	712	857	-5.040
	Diesel	103/140	28.150	2.375	618	662	770	-2.352
	Erdgas	110/150	30.525	-	575	616	712	-
OPEL ZAFIRA EDITION	Benzin	110/150	26.480	820	659	738	876	-6.384
	Diesel	110/150	28.080	-780	616	683	781	-3.296
	Erdgas	110/150	27.300	-	556	611	707	-
MB B-KLASSE	Benzin	85/109	25.645	3.689	576	634	762	-1.968
	Diesel	80/115	27.608	1.726	561	609	713	-544
	Erdgas	85/115	29.334	-	554	598	697	-
VW TOURAN TRENDLINE	Benzin	103/140	26.325	3.675	588	649	793	-3.264
	Diesel	103/140	28.525	1.475	578	630	750	-2.112
	Erdgas	110/150	30.000	-	544	587	695	-
OPEL COMBO COMBI	Benzin	66/90	15.460	3.830	467	528	626	-1.104
	Diesel	74/100	17.430	1.860	492	545	629	-1.824
	Erdgas	69/94	19.290	-	459	508	585	-
DURCHSCHNITT	Benzin		3.100	3.100	533	596	721	-3.128
	Diesel		1.216	1.216	526	576	673	-1.938

Quelle: [Vgl. 20]

*ADAC Autokosten 2010 (Haltedauer: 4 Jahre; Fahrleistung/Jahr: 15.000/20.000/30.000 km)

Man erkennt, dass Erdgasfahrzeuge in der Anschaffung im Durchschnitt 3.100 Euro mehr kosten als vergleichbare Benzinfahrzeuge und 1.216 Euro mehr als vergleichbare Dieselfahrzeuge. Betrachtet man aber die monatlichen Gesamtkosten der jeweiligen Fahrzeugmodelle, so lässt sich feststellen, dass die Erdgasfahrzeuge bei einer Fahrleistung von 15.000, 20.000 und 30.000 Kilometern im Jahr immer kostengünstiger sind als vergleichbare Benzin- und Dieselfahrzeuge, da die Betriebskosten der erdgasbetriebenen Fahrzeuge niedriger sind. Somit kann man im

Durchschnitt bei einer Haltedauer von vier Jahren 3.128 Euro im Vergleich zu Benzinfahrzeugen und 1.938 Euro im Vergleich zu Dieselfahrzeugen einsparen. Dieser wirtschaftliche Vorteil erdgasbetriebener Fahrzeuge ist den meisten Autofahrern nicht bekannt. Hinzu kommt, dass bei der Kaufentscheidung zumeist der Verkaufspreis und nicht die monatlichen Gesamtkosten des Fahrzeuges ausschlaggebend sind. [Vgl. 12] Aus diesem Grund ist die Attraktivität von Erdgasfahrzeugen, die in der Anschaffung kostenintensiver sind, bei vielen Autokäufern eher gering.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass nicht alle Volumenhersteller in Europa in den Erdgasmarkt eingestiegen sind. Die Hersteller, die Erdgasfahrzeuge anbieten, bedienen nicht alle Fahrzeugklassen. Deshalb ist die Modellauswahl von Serienfahrzeugen mit Erdgasantrieb – vor allem von erdgasbetriebenen Volumenmodellen – sehr gering. Topseller wie beispielsweise der VW Golf oder VW Polo sind derzeit noch nicht in einer Erdgas Variante erhältlich. Eine Ausweitung des Angebotes auf eben solche Modelle würde sehr schnell eine erhebliche Steigerung der Absatzzahlen mit sich bringen.

2.4. DUAL-FUEL-TECHNOLOGIE

Gerade im Bereich der NFZ ist bisher ein Einsatz von CNG nur bei sehr begrenzten und regionalen Einsatzzwecken möglich. Linienbusse oder Kommunalfahrzeuge sind typische Einsatzgebiete. Das Problem liegt einerseits in der geringen Reichweite, auf der anderen Seite in der eingeschränkten Leistung. Die Otto-Motor basierten Nutzfahrzeuge verfügen nicht über das erforderliche Drehmoment für den Einsatz im Vollast-Betrieb auf der Autobahn. Das Drehmoment ist deutlich zu niedrig um beispielsweise schwere Sattelzüge an Steigungen die erforderliche Kraft zu liefern.

Ein Konzept welches die Vorteile des Diesel-Motors mit den Vorteilen des umweltfreundlichen CNG-Antriebs verbinden soll ist die Dual-Fuel-Technologie, die sich bei Volvo Trucks und Mercedes-Benz-Trucks derzeit in der Versuchsphase befindet. Die Dual-Fuel-Technologie setzt dabei auf einem Standard-Diesel-

motor, der in der Grundstruktur unverändert bleibt, auf. Hierbei wird der hohe Wirkungsgrad des Dieselmotors mit den Vorteilen des Gasbetriebs kombiniert. Verglichen mit früheren Generationen von Gasmotoren ist beispielsweise der Wirkungsgrad bei den aktuellen Volvo-Versuchs-NFZ um 30 bis 40 Prozent verbessert worden. Der Gasantrieb im NFZ-Bereich ist damit nicht mehr auf den städtischen Verkehr begrenzt, sondern eignet sich auch für größere Entfernungen.

Da das Erdgas-Gemisch in Otto-Motor basierten CNG-Modellen per Zündkerze fremdgezündet werden muss und sich im Diesel-Motor nicht selbstständig unter Druck entzündet, nutzt das Dual-Fuel-System eine kleine Injektion von Dieselmotorkraftstoff um rund 10 Prozent der gesamten Energie des Brennstoffs zu entzünden. Diese kleine Injektion wirkt wie eine Vielzahl von mikroskopischen Zündkerzen und sorgt so für eine saubere und effiziente Verbrennung des mageren Gas-Luft-Gemischs. Erdgas verbrennt aufgrund seines niedrigen Kohlenstoffgehalts sauberer als Diesel.

Beim Dual-Fuel-Diesel-Motor können so bis zu 90 Prozent des Diesel durch CNG ersetzt und die CO₂-Emissionen um bis zu 25 Prozent reduziert werden. Die Leistung bleibt dabei gegenüber dem konventionellen Diesel gleich.

In der Erprobung befindet sich diese Technologie auch schon im PKW Bereich (z.B. Opel). Hier vor dem Hintergrund, so zukünftig eine aufwendige Abgasreinigung zu vermeiden und weiterhin auf einen hocheffizienten, dabei aber umweltfreundlichen Antrieb, zurückgreifen zu können.

3. WELTWEITE MARKTENTWICKLUNG VON CNG-FAHRZEUGEN

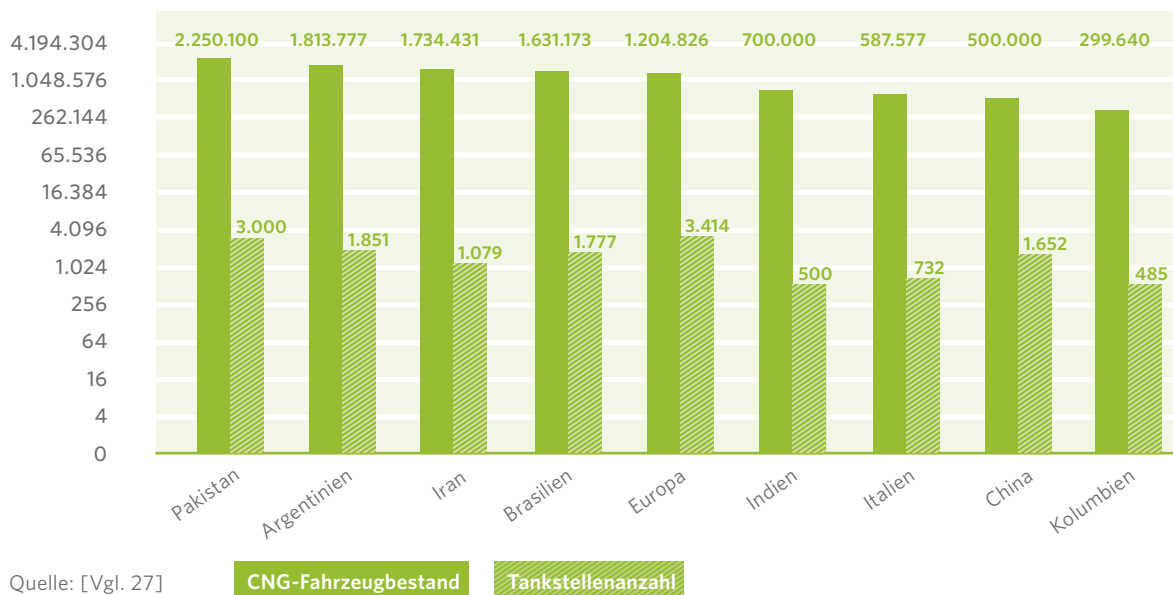
Anfang 2010 gab es weltweit rund 10 Millionen Erdgasfahrzeuge und etwa 16.300 Erdgas tankstellen. Den größten Anteil weisen dabei die Personenkraftwagen mit 93 Prozent auf. Mittelschwere, schwere Lkw und Busse sind mit sechs Prozent vertreten, spezielle Fahrzeuge, wie z. B. Gabelstapler, Traktoren, Flughafen-Schlepper und Kehrmaschinen haben einen Anteil von einem Prozent. [Vgl. 27]

Im Jahr 2008 wurden weltweit rund 2 Millionen Erdgasfahrzeuge neu zugelassen und 2.325 Erdgas tank-

stellen erbaut. Im Jahr 2009 kamen jedoch weltweit 1,3 Millionen Erdgasfahrzeuge und 1.700 Erdgas tankstellen hinzu. Dieser zwischenzeitliche Rückgang lässt sich auf die Finanz- und Weltwirtschaftskrise und die damit verbundenen gesunkenen Erdölpreise zurückführen. [Vgl. 27]

In Abbildung 12, die eine logarithmische Skalierung besitzt, werden die wichtigsten, weltweiten Erdgasfahrzeug-Nationen und deren Tankstellenanzahl dargestellt.

Abbildung 12: Bestandsstatistik von CNG-Fahrzeugen und -Tankstellen weltweit (2010)



Pakistan kann mit über 2,2 Millionen Fahrzeugen den höchsten Bestand an Erdgasfahrzeugen weltweit aufweisen, gefolgt von Argentinien mit über 1,8 Millionen Fahrzeugen, Iran mit über 1,7 Millionen Fahrzeugen und Brasilien mit über 1,6 Millionen Fahrzeugen. Danach erst folgt Europa mit über 1,2 Millionen Erdgasfahrzeugen. Die Länder Indien, China und Kolumbien weisen einen Bestand weit unter einer Million Erdgasfahrzeuge auf.

Somit liegt der Schwerpunkt von erdgasbetriebenen Fahrzeugen in Südamerika und Asien. Die

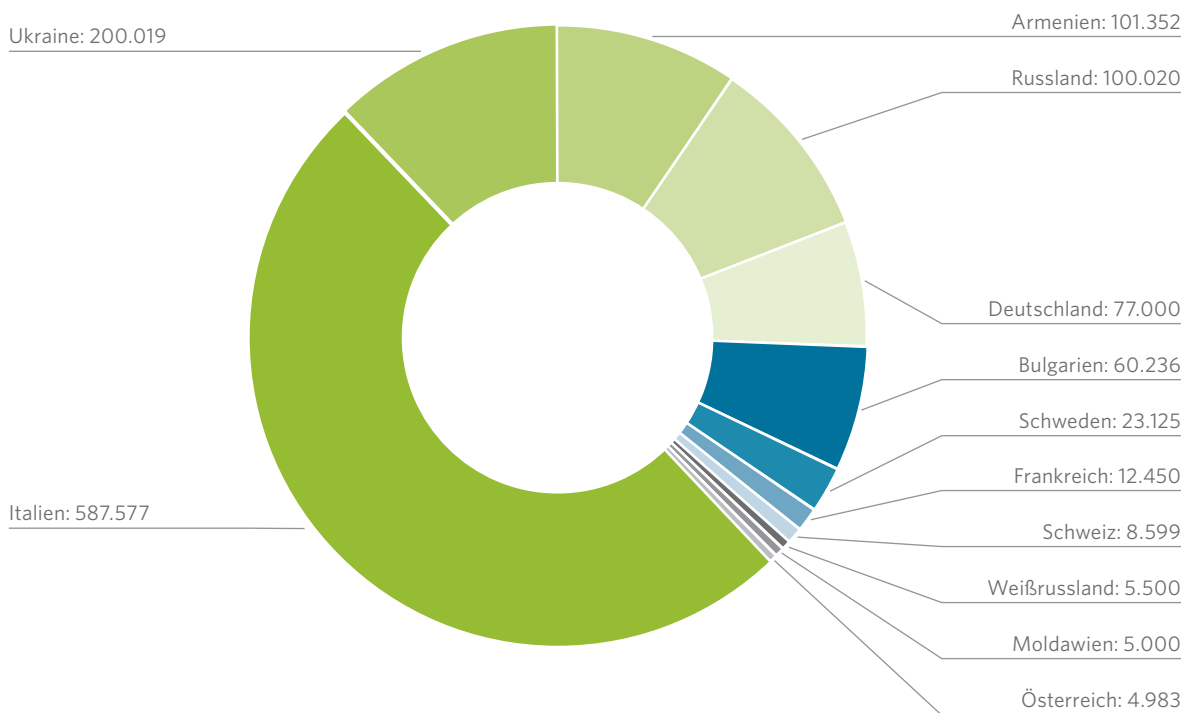
häufigsten Gründe für den hohen Bestand von Erdgasfahrzeugen in diesen Ländern sind zum einen Umweltgesichtspunkte und zum anderen die Minderung der Importabhängigkeit von Rohstoffen. „In allen Ländern, die Erdgas in nennenswertem Umfang als Kraftstoff einsetzen, wurden zunächst Investitionen in die notwendige Infrastruktur geleistet sowie spezielle Förderungsmaßnahmen entwickelt. Nur aufgrund besonderer Anreize haben sich Fahrzeughalter für Erdgasfahrzeuge entschieden.“ [Vgl. 28]

In Europa gibt es aktuell etwa 3.500 Erdgastankstellen. Im Vergleich dazu kommt Pakistan auf rund 3.000, Argentinien auf fast 1.900, Iran auf über 1.000 und Brasilien auf fast 1.800 Tankstellen. Betrachtet man die Tankstellen in Relation zum Fahrzeugbestand verfügt Europa - mit einem Anteil von 11 Prozent am weltweiten Erdgasfahrzeugbestand und 20 Prozent der weltweiten Erdgastankstellen - über das beste Verhältnis. [Vgl. 27]

Unter den Erdgasfahrzeugen ist der Anteil der Pkw mit 76 Prozent am höchsten, jedoch haben die mittelschweren und schweren Lkw sowie Busse im Vergleich zu anderen Ländern auf der Welt mit jeweils 12 Prozent einen hohen Anteil. [Vgl. 29]

In der nachfolgenden Abbildung sind die europäischen Länder mit den höchsten Beständen an Erdgasfahrzeugen dargestellt.

Abbildung 13: Bestandsstatistik von CNG-Fahrzeugen und -Tankstellen weltweit



Quelle: [Vgl. 27]

Es zeigt sich, dass 2010 (Stand: Jahresanfang) Italien mit rund 600.000 Erdgasfahrzeugen den höchsten Bestand hat, gefolgt von der Ukraine mit über 200.000 Fahrzeugen, Armenien mit über 101.000 Fahrzeugen, Russland mit über 100.000 Fahrzeugen und Deutschland mit 77.000 Fahrzeugen. Weitere Länder, die zwischen 5.000 und 70.000 Erdgasfahrzeuge verzeichnen können, sind Bulgarien, Schweden, Frankreich, die Schweiz, Weißrussland, Moldawien und Österreich. Alle anderen europäischen Länder haben einen Bestand, der weit unter 5.000 Erdgasfahrzeugen liegt. [Vgl. 27]

Die Anzahl der Erdgastankstellen ist aber nicht in Ita-

lien, sondern in Deutschland am Höchsten. Anfang 2010 hat Deutschland 835 Tankstellen, gefolgt von Italien mit 732 Tankstellen. Alle anderen europäischen Länder haben weniger als 300 Erdgastankstellen. [Vgl. 27]

Gemessen an dem Gesamtfahrzeugbestand der jeweiligen europäischen Länder ist der Anteil an erdgasbetriebenen Fahrzeugen äußerst gering. Selbst in Italien, dem europäischen Land mit dem größten Bestand an Erdgasfahrzeugen gemessen am gesamten Fahrzeugbestand bei nur 1,6 Prozent. In Deutschland liegt dieser Anteil sogar nur bei rund 0,2 Prozent.

3.1. MARKTENTWICKLUNG VON CNG-FAHRZEUGEN AM BEISPIEL ITALIEN

Italien ist mit einem Bestand von derzeit rund 600.000 Erdgasfahrzeugen und einem Anteil von 1,6 Prozent am Gesamtfahrzeugbestand die wichtigste Erdgasfahrzeug-Nation in Europa. Von dem derzeitigen Erdgasfahrzeugbestand in Italien sind 99 Prozent erdgasbetriebene Pkw.

Im Jahr 2003 lagen die erdgasbetriebenen Fahrzeug-Neuregistrierungen noch bei 0,09 Prozent in Bezug auf die Gesamtneuzulassungen in Italien. Aufgrund von Förderungsprogrammen (siehe unten) erhöhte sich dieser Anteil sukzessive und lag im Jahre 2008 bei 3,7 Prozent. Im Jahr 2009 wurden in Italien fast 116.000 erdgasbetriebene Serienfahrzeuge neu zugelassen, dies entspricht über 5,3 Prozent aller verkauften Autos. [Vgl. 29]

Der italienische Automobilhersteller Fiat hat in Italien den höchsten CNG-Marktanteil. Zur Verdeutlichung: Fiat verzeichnete im Zeitraum Oktober 2008 bis Oktober 2009 einen 90-prozentigen Marktanteil an den CNG-Neuzulassungen in Italien. [Vgl. 31] Insgesamt bietet Fiat Anfang 2010 sieben unterschiedliche CNG-Modelle in Italien an. Die Modelle Punto Evo, Qubo, Grande Punto, Panda, Doblo, Multipla und Punto Classic sind als Erdgasvariante in Italien zu kaufen. Im Vergleich dazu bietet Fiat in Deutschland nur drei CNG-Modelle an (siehe unten). [Vgl. 32] Weitere Automobilhersteller, die CNG-Modelle in Italien anbieten, sind Citroën, Opel und Volkswagen. [Vgl. 33]

Des Weiteren gibt es in Italien die zweithöchste Erdgastankstellenanzahl in Europa. Insgesamt können die rund 600.000 Erdgasfahrzeuge an 732 Erdgastankstellen tanken (Stand: April 2010). [Vgl. 27]

Die stetig steigenden Absätze von erdgasbetriebenen Fahrzeugen sowie die hohe Anzahl von Tankstel-

len sind auf die systematische Förderung von Erdgas als Kraftstoff zurückzuführen. Im Jahre 2001 wurde ein Vertrag zwischen dem Umweltministerium, dem Mineralölverband und dem Automobilhersteller Fiat geschlossen, um die Marktdurchdringung von Erdgas als Kraftstoff zu fördern. Dabei verpflichtete sich die Mineralölindustrie, in allen Städten mit mehr als 150.000 Einwohnern Erdgastankstellen zu errichten. Fiat verpflichtete sich, neue erdgasbetriebene Serienmodelle in das italienische Produktportfolio zu integrieren und die Regierung sagte zu, langfristige Förderprogramme zu etablieren.

Unter anderem wurden von der Regierung die folgenden Maßnahmen umgesetzt:

- ▶ Steuervorteile für Erdgas als Kraftstoff: deutliche Ermäßigung der Energiesteuer für Erdgas (siehe Abbildung 27)
 - ▶ Staatliche Förderung seit 2006: Prämie von 1.500 Euro bei Neukauf eines Erdgasfahrzeuges
 - ▶ Zusätzlich 500 Euro bei Neukauf eines Fahrzeuges mit CO₂-Emissionswert weniger als 120 Gramm pro Kilometer
 - ▶ Verschrottungsprämie von 800 Euro für Fahrzeuge der EU-Abgasnorm 1 oder schlechter
 - ▶ Die Anfang 2009 eingeführte Umwelt- bzw. Verschrottungsprämie in Höhe von zusätzlich 700 Euro für den Kauf eines Erdgasfahrzeuges bei gleichzeitiger Verschrottung eines 10 Jahre alten Fahrzeuges.
- Insgesamt konnte man somit bis Dezember 2009 bis zu 3.500 Euro staatliche Förderung für einen erdgasbetriebenen Neuwagen bekommen. [Vgl. 27; 34]

4. GRÜNDE FÜR DEN GERINGEN MARKTANTEIL VON ERDGAS-BETRIEBENEN FAHRZEUGEN

Im Wesentlichen lassen sich acht Gründe festhalten, die für den geringen Anteil von Erdgas als Automobilkraftstoff in wichtigen Märkten in Europa verantwortlich sind.

1. Anschaffungskosten und Amortisierung von Erdgasfahrzeugen: Der Anreiz zum Kauf eines Erdgasfahrzeuges ist gering, da die Anschaffungskosten für erdgasbetriebene Fahrzeuge im Vergleich zu benzin- und dieselbetriebenen Fahrzeugen höher sind. Von potentiellen Käufern wird kaum berücksichtigt, dass die Mehrkosten schon bei geringen Fahrleistungen amortisierbar sind.

2. Tankstelleninfrastruktur: Es gibt kein europaweit einheitliches und flächendeckendes Erdgastankstellennetz. Deutschland, Österreich und Italien verfügen bereits über Infrastruktur, die noch optimiert und ausgebaut werden muss, in anderen europäischen Ländern gilt es aber noch deutlich mehr „Weiße Flecken“ auf der Landkarte zu füllen.

3. Unkenntnis der Erdgastechnologie: Die meisten Autofahrer haben keine Kenntnis über die Vorteile von Erdgas als Automobilkraftstoff. Die Umweltfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit von erdgasbetriebenen Fahrzeugen sind der breiten Öffentlichkeit nicht bekannt. Außerdem gibt es Schwierigkeiten bei der Differenzierung von Erdgas zu Autogas als Kraftstoff. Dabei kennen viele Autofahrer nicht den Unterschied und denken zudem, dass gasförmige Kraftstoffe ein erhöhtes Sicherheitsrisiko aufweisen. [Vgl. 12]

4. Vertrieb von Erdgasfahrzeugen: Die zuvor beschriebenen Unkenntnisse über die Erdgastechnologie sind nicht nur bei den Kunden verbreitet, sondern auch bei den Fahrzeughändlern, die durch ihre Unkenntnis den Absatz von Erdgasfahrzeugen hemmen. Außerdem haben die Händler häufig nur ein eingeschränktes Interesse, speziell Erdgasfahrzeuge zu verkaufen. Es fehlt in der Regel an Vorführfahrzeu-

gen, die dem potentiellen Kunden diese Technologie im Verkaufsprozess näher bringen könnten. [Vgl. 12; 38] Bedingt durch die fehlenden Angebote im Neufahrzeugbereich spielt diese Technologie auch im Gebrauchtwagenmarkt so gut wie keine Rolle. Schwierige Restwerteinordnung stellen für den Handel/ die Leasinggesellschaften ein zusätzliches Hemmnis dar.

5. Transparente Auszeichnung der Kraftstoffpreise an den Tankstellen: Der Kostenvorteil von Erdgas gegenüber anderen Kraftstoffarten wird für den Autofahrer an den Tankstellen nicht transparent dargestellt. Somit ist der breiten Öffentlichkeit nicht bekannt, dass Erdgas im Vergleich zu den anderen Kraftstoffarten der kostengünstigste Kraftstoff ist.

6. Erdgasbetriebene Serienfahrzeugmodelle: Für den Autokäufer ist beim Kauf eines Fahrzeuges ein möglichst differenziertes Fahrzeugangebot von besonderer Bedeutung, jedoch ist die Modellauswahl von erdgasbetriebenen Fahrzeugen sehr gering. [Vgl. 12] Außerdem werden attraktive Modelle bzw. Volumenmodelle (z. B. VW Polo oder Golf) nicht als Erdgasvariante angeboten, obwohl dieses technisch möglich ist.

7. Besteuerung von Erdgas als Kraftstoff: Die Energiesteuer auf Erdgas ist oftmals höher als auf Autogas, obwohl Erdgas im Fahrzeugbetrieb deutlich umweltfreundlicher ist als Autogas. Eine einheitliche und unbefristete Steuervergünstigung für den umweltfreundlichen Kraftstoff Erdgas, etwa nach Vorbild der in Deutschland bis 2018 geltenden Regelung, würde allen Beteiligten Planungssicherheit geben.

8. Keine Förderungen von Erdgasfahrzeugen: Es gibt keine einheitlichen Förderungsmaßnahmen für den Kauf von Erdgasfahrzeugen. In einigen europäischen Ländern, wie Italien oder Schweden, wird der Kauf oder Betrieb von Erdgasfahrzeugen gefördert, in anderen nicht.

5. CO₂-EMISSIONSREDUZIERUNGSPOTENTIAL DER AUTOMOBILFLOTTEN UNTER VERWENDUNG VON ERDGAS UND BIOGAS ALS AUTOMOBILKRAFTSTOFF

Eines der zentralen Handlungsfelder in der Automobilbranche ist derzeit die Senkung der CO₂-Emissionen von Fahrzeugen, um die gesetzlichen CO₂-Emissionsanforderungen, die 2012 in Europa eingeführt werden, zu erreichen. Die momentan stark in der Öffentlichkeit stehende Elektromobilität wird erst in einigen Jahren (eine Quantifizierung ist derzeit aufgrund zu vieler Unwägbarkeiten, insbesondere im Bereich der Batterie-Technologie kaum möglich) großserienreif und konkurrenzfähig zur Verfügung stehen, um die durchschnittlichen CO₂-Emissionswerte der Automobilflotten zu reduzieren. Die Automobilhersteller versuchen kurzfristig (2010 bis 2020), die durchschnittlichen CO₂-Emissionswerte ihrer Automobilflotten durch die Effizienzsteigerung der Verbrennungsmotoren sowie der Hybridisierung des Antriebsstranges zu reduzieren.

Erdgas bzw. Biogas ist das derzeit effektivste Antriebskonzept, um die gesteckten Ziele kurzfristig und mit praxiserprobter Technologie zu erreichen. Aus diesem Grund soll nun dargestellt werden, inwieweit die Automobilhersteller die durchschnittlichen CO₂-Emissionswerte ihrer Automobilflotten

unter Verwendung von Erdgas und Biogas als Automobilkraftstoff senken könnten.

5.1. STRAFZAHLUNGEN WEGEN EMISSIONSÜBERSCHREITUNG

Die Europäische Union etabliert ab dem Jahr 2012 strenge CO₂-Grenzwerte für die durchschnittlichen CO₂-Emissionswerte der Pkw-Neuzulassungen von europäischen Automobilherstellern. Das EU-Recht sieht vor, dass der durchschnittliche CO₂-Emissionsausstoß der Automobilflotten ab dem Jahr 2012 lediglich 130 Gramm pro Kilometer und ab dem Jahr 2019 nur noch 95 Gramm pro Kilometer aufweisen darf. Dabei wird die Regelung von 2012 bis 2015 stufenweise eingeführt.

Die nachfolgenden Daten stammen aus der Verordnung vom 23. April 2009 zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO₂-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen. [Vgl. 3]

Wenn die Automobilhersteller die oben genannten CO₂-Grenzwerte in den jeweiligen Jahren nicht vorweisen können, drohen hohe Bußgelder.

Ab dem Jahr 2012 gelten die folgenden Formeln zur Berechnung der Bußgelder:

A. von 2012 bis 2018:

- ▶ 1. übersteigen die durchschnittlichen spezifischen CO₂-Emissionen eines Herstellers die Zielvorgaben für die spezifischen Emissionen um mehr als 3 g/km kommt folgende Berechnung zur Anwendung:

$$\text{Strafzahlung} = \{(\Delta - 3) \times 95 \text{ €} + 25 \text{ €} + 15 \text{ €} + 5 \text{ €}\} \times \text{Sales}$$

Δ = Überschreitung des Zielwertes in g/km

- ▶ 2. übersteigen die durchschnittlichen spezifischen CO₂-Emissionen eines Herstellers die Zielvorgaben für die spezifischen Emissionen um mehr als 2 g/km kommt folgende Berechnung zur Anwendung:

$$\text{Strafzahlung} = \{(\Delta - 2) \times 25 \text{ €} + 15 \text{ €} + 5 \text{ €}\} \times \text{Sales}$$

Δ = Überschreitung des Zielwertes in g/km

- ▶ 3. übersteigen die durchschnittlichen spezifischen CO₂-Emissionen eines Herstellers die Zielvorgaben für die spezifischen Emissionen um mehr als 1 g/km kommt folgende Berechnung zur Anwendung:

$$\text{Strafzahlung} = \{(\Delta - 1) \times 15 \text{ €} + 5 \text{ €}\} \times \text{Sales}$$

Δ = Überschreitung des Zielwertes in g/km

- ▶ 4. übersteigen die durchschnittlichen spezifischen CO₂-Emissionen eines Herstellers die Zielvorgaben für die spezifischen Emissionen um nicht mehr als 1 g/km kommt folgende Berechnung zur Anwendung:

$$\text{Strafzahlung} = (\Delta \times 5 \text{ €}) \times \text{Sales}$$

Δ = Überschreitung des Zielwertes in g/km

B. ab 2019 kommt dann folgende Berechnungsgrundlage zur Anwendung:

- ▶ **Strafzahlung = $(\Delta \times 95 \text{ €}) \times \text{Sales}$ [Vgl. 3]**
 Δ = Überschreitung des Zielwertes in g/km

Dabei fließen die nachfolgend aufgeführten Prozentsätze der Pkw-Neuzulassungen in Europa in die Berechnungsformeln ein:

- ▶ Im Jahr 2012: 65 Prozent der Pkw-Neuzulassungen in Europa
- ▶ Im Jahr 2013: 75 Prozent der Pkw-Neuzulassungen in Europa
- ▶ Im Jahr 2014: 80 Prozent der Pkw-Neuzulassungen in Europa
- ▶ Im Jahr 2015: 100 Prozent der Pkw-Neuzulassungen in Europa

Somit müssen die Automobilhersteller hohe CO₂-Bußgelder in den jeweiligen Jahren zahlen, die eine hohe CO₂-Überschreitung in Verbindung mit hohen Pkw-Neuzulassungen in Europa aufweisen.

Im folgenden Unterkapitel wird anhand einer CO₂-Simulation für den europäischen Pkw-Neuzulassungsmarkt erläutert, wie hoch die Strafzahlungen für die Automobilkonzerne in Zukunft sein könnten.

5.2. POTENTIELLE ENTWICKLUNG DES DURCHSCHNITTLICHEN CO₂-EMISSIONSAUSSTOSSES DER DEUTSCHEN PKW-NEUZULASSUNGEN

Der durchschnittliche CO₂-Emissionswert deutscher Pkw-Neuzulassungen lag im Jahr 2009 bei 151 Gramm pro Kilometer und somit 21 Gramm höher als der gesetzlich vorgeschriebene CO₂-Emissionswert für das Jahr 2012.

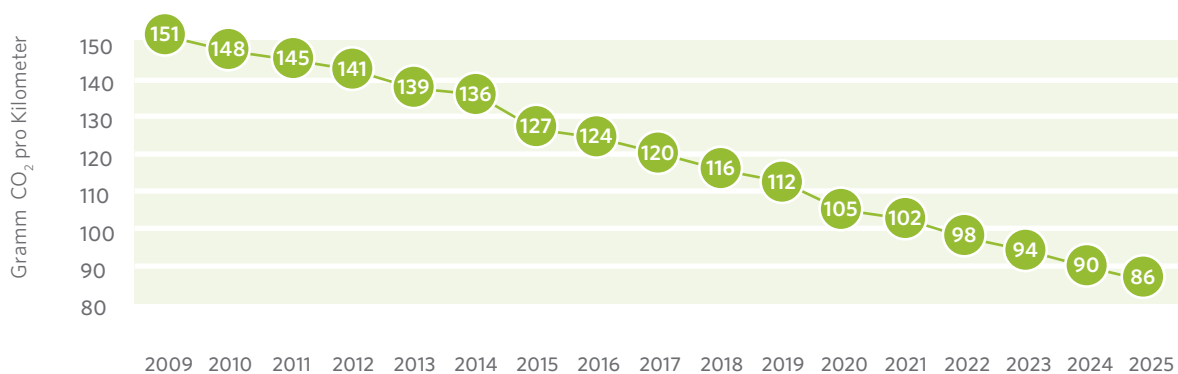
Um die potentiellen zukünftigen CO₂-Strafzahlungen der Automobilkonzerne zu bestimmen, muss zuerst prognostiziert werden, inwieweit sich die durchschnittlichen CO₂-Emissionswerte der deutschen Pkw-Neuzulassungen entwickeln werden.

Es wurde bei der folgenden CO₂-Emissionsprognose

für die kommenden 15 Jahre angenommen, dass die Automobilkonzerne die durchschnittlichen CO₂-Emissionswerte durch die Effizienzsteigerung der Verbrennungsmotoren und der Hybridtechnologie reduzieren werden. Elektrofahrzeuge, die lokal keine CO₂-Emissionen verursachen, werden nur einen kleinen Beitrag zur CO₂-Reduzierung leisten.

Der nachfolgenden Abbildung ist der prognostizierte durchschnittliche CO₂-Emissionswert der Pkw-Neuzulassungen in Deutschland von 2010 bis 2025 zu entnehmen.

Abbildung 14: Potentielle Entwicklung des durchschnittlichen CO₂-Emissionswertes deutscher Pkw-Neuzulassungen



Quelle: CAR

Man erkennt, dass die durchschnittlichen CO₂-Emissionswerte deutscher Pkw-Neuzulassungen von 151 Gramm pro Kilometer im Jahr 2009 auf 105 Gramm pro Kilometer im Jahr 2020 sinken. Im Jahr 2025 wird angenommen, dass ein CO₂-Emissionswert von 86 Gramm pro Kilometer zu erreichen ist.

Durch die Effizienzsteigerung der Verbrennungsmotoren sowie die Hybridisierung des Antriebsstranges können erhebliche CO₂-Emissionsreduzierungen erreicht werden. Es wurde bereits zuvor erläutert, dass ein benzinbetriebenes Mittelklassefahrzeug mit Mildhybridtechnologie in Zukunft rund 112 Gramm CO₂ pro Kilometer und ein dieselbetriebenes Mittelklassefahrzeug mit Mildhybridtechnologie rund 86 Gramm CO₂ pro Kilometer ausstoßen könnte. Unter der Annahme, dass der Dieselanteil weiter sinkt und sich in den kommenden Jahren bei 30 Prozent

einpendeln wird, könnte man durch die Effizienzsteigerung der Verbrennungsmotoren und die Hybridisierung des Antriebsstranges einen theoretischen durchschnittlichen CO₂-Emissionswert zwischen 104 und 110 Gramm pro Kilometer erreichen. Somit kann der angenommene durchschnittliche CO₂-Emissionswert von 105 Gramm pro Kilometer im Jahr 2020 durch die Effizienzsteigerung der Verbrennungsmotoren sowie die Hybridisierung des Antriebsstranges theoretisch erreicht werden.

Weitere CO₂-Verbesserung kann man durch die Elektrifizierung des Antriebsstranges erreichen. Dabei wurde hier angenommen, dass der Marktanteil von Elektrofahrzeugen von derzeit null Prozent auf drei Prozent im Jahr 2020 steigen wird und im Jahr 2025 fünf Prozent erreichen wird. Somit könnte man den durchschnittlichen CO₂-Emissionswert deut-

scher Pkw-Neuzulassungen ab dem Jahr 2023 unter den gesetzlichen Grenzwert von 95 Gramm pro Kilometer bringen.

Bei der Effizienzsteigerung der Verbrennungsmotoren sowie der Hybridisierung und Elektrifizierung des Antriebsstranges ist jedoch anzumerken, dass diese Technologieverbesserungen Zusatzkosten verursachen, die an den Autokäufer weitergegeben werden und sich somit negativ auf den Absatz auswirken könnten. Gerade die Hybrid- und Elektrotechnologie ist aufgrund der benötigten Batterie derzeit noch sehr kostenintensiv. Aus diesem Grund bleibt abzuwarten, ob die Autokäufer in Zukunft bereit sind, die höheren Anschaffungskosten für diese Technologieverbesserungen zu tragen.

Trotz des optimistisch angenommenen jährlichen CO₂-Reduzierungspotentials erkennt man, dass der durchschnittliche CO₂-Emissionsgrenzwert von 130 Gramm pro Kilometer erst im Jahr 2015 erreicht wird. Des Weiteren wird auch der CO₂-Grenzwert von 95 Gramm pro Kilometer erst im Jahr 2023 erreicht. Deshalb müssen die Automobilkonzerne in den Jahren 2012, 2013 und 2014 sowie zwischen 2019 und 2023 CO₂-Bußgelder bezahlen, die in der nachstehenden Tabelle aufgeführt werden.

Die für die Berechnung der Strafzahlungen benötigte Anzahl von Pkw-Neuzulassungen bezieht sich

auf ganz Europa, wohingegen die oben genannten durchschnittlichen CO₂-Werte sich lediglich auf den Daten für den deutschen Markt basieren. Aufgrund der nur geringfügig abweichenden Verkaufsstruktur des Gesamteuropäischen Marktes im Vergleich zum deutschen PKW-Markt 2009 können die ermittelten CO₂-Emissionswerte auf Europa übertragen werden. Darüber hinaus wird unterstellt, dass sich das Pkw-Neuzulassungsniveau von Europa bis zum Jahr 2025 nicht wesentlich verändern wird.

Man erkennt, dass bei der prognostizierten durchschnittlichen CO₂-Emissionsentwicklung von 2012 bis 2014 den Automobilkonzernen in Europa Bußgelder in Höhe von insgesamt mehr als 18,7 Milliarden Euro drohen. In den Jahren zwischen 2019 und 2022 könnten sogar fast 52,7 Milliarden Euro an Bußgeldern in Europa anfallen.

Dabei werden zukünftig nicht nur in Europa, sondern z. B. auch in USA, strenge CO₂-Grenzwertregelung eingeführt. Für die Automobilhersteller ist es deshalb existenziell notwendig, ihre Fahrzeugflotten verbrauchsärmer zu entwickeln. Ein Antriebskonzept, welches heute schon serienreif zur Verfügung steht, um die durchschnittlichen CO₂-Emissionen der Automobilflotten deutlich zu reduzieren, ist die Erdgastechnologie bzw. Erdgas und Biogas als Automobilkraftstoff.

Tabelle 11: Potentielle CO₂-Strafzahlungen (1)

	2012	2013	2014	2019	2020	2021	2022
PROGNOSTIZIERTE Ø CO ₂ -EMISSIONEN (g/km)	141	139	136	112	105	102	98
PKW-NEUZULASSUNGEN IN EUROPA* (in Tsd.)	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
BERECHNETE NEUZU- LASSUNGEN (in Tsd.)	9.750 (65%)	11.250 (75%)	12.000 (80%)	15.000 (100%)	15.000 (100%)	15.000 (100%)	15.000 (100%)
ÜBERSCHREITUNG DES CO ₂ -ZIELWERTES (g/km)	11	9	6	17	10	7	3
CO ₂ -STRAFZAHLUNGEN DER AUTOMOBILKONZERNE IN EUROPA (in Milliarden €)	7,85	6,92	3,96	24,23	14,25	9,98	4,28
STRAFZAHLUNG PRO PKW (IN €)	523	461	264	1.615	950	665	285

Quelle: CAR

*Annahme: gleichbleibender Absatz

Im folgenden wird simuliert, inwieweit sich der durchschnittliche CO₂-Emissionswert der deutschen Pkw-Neuzulassungen verändert, wenn sich der Anteil von erdgasbetriebenen Fahrzeugen sukzessive von 0,4 Prozent im Jahr 2009 auf 8 Prozent bis zum Jahr 2020 erhöht.

5.3. CO₂-REDUZIERUNGSPOTENTIAL DER DEUTSCHEN PKW-NEUZULASSUNGEN DURCH ERDGAS UND BIOGAS ALS AUTOMOBILKRAFTSTOFF

Erdgas und Biogas als Automobilkraftstoff verfügen über ein erhebliches CO₂-Reduzierungspotential. Außerdem kann ohne Weiteres die Hybridtechnologie bei erdgasbetriebenen Fahrzeugen zum Einsatz kommen, um weitere CO₂-Reduzierungen zu erreichen.

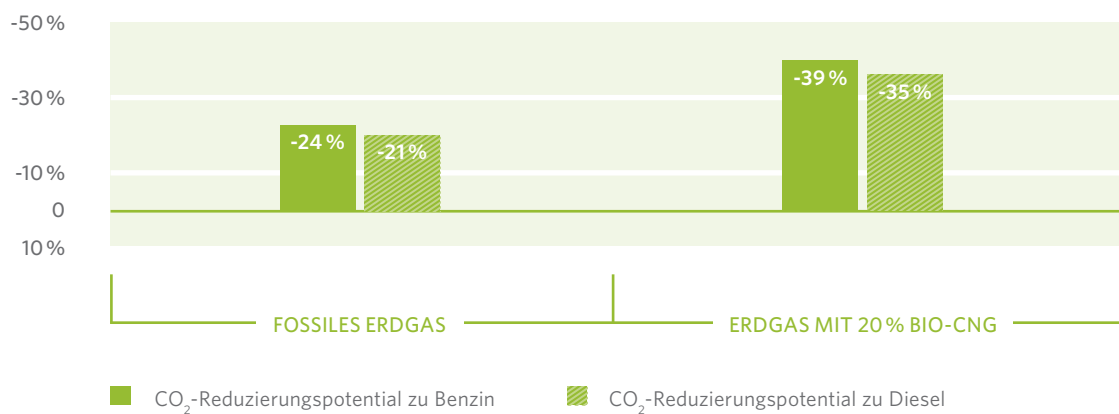
Die Simulation soll verdeutlichen, dass die Automobilkonzerne durch die Verwendung der serienreifen Erdgastechnologie potentielle CO₂-Strafzahlungen vermeiden könnten.

Um eine aussagekräftige CO₂-Simulation von 2010 bis 2025 zu erreichen, benötigt man die folgenden Daten:

- ▶ Die potentielle CO₂-Emissionsentwicklung durch die Effizienzsteigerung der Verbrennungsmotoren und Hybridisierung sowie Elektrifizierung des Antriebsstranges.
- ▶ Die CO₂-Reduktionspotentiale von Erdgas und Biogas.
- ▶ Die potentiellen zukünftigen Marktanteile von Benzin-, Diesel-, Elektro- und Erdgasfahrzeugen.

In der nachfolgenden Abbildung kann man zusammenfassend die CO₂-Emissionsreduzierungspotentiale von erdgasbetriebenen Fahrzeugen sowie Erdgasfahrzeugen unter Berücksichtigung einer 20-prozentigen Biogas-Beimischung im Vergleich zu benzin- und dieselbetriebenen Fahrzeugen erkennen.

Abbildung 15: CO₂-Reduzierungspotential von Erdgas und Biogas als Automobilkraftstoff



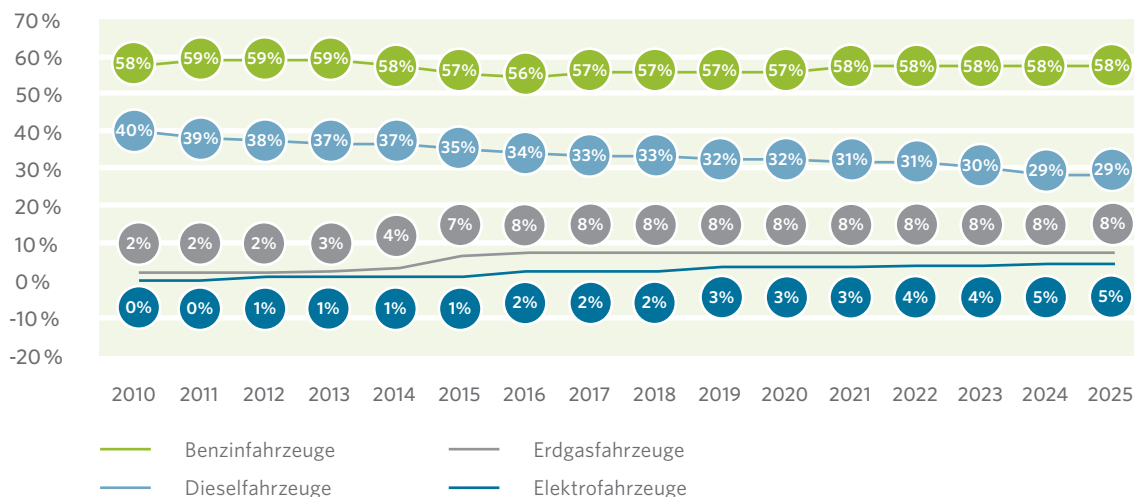
Referenzfahrzeug: Ottomotor (Saugmotor) – Verbrauch: 7 Liter/100 km – CO₂-Emissionen 167 g/km

Quelle: [Vgl. 12]

Des Weiteren kann man davon ausgehen, dass sich in Zukunft die Verbrauchs- und CO₂-Emissionswerte von Erdgasfahrzeugen weiter verbessern werden. Aufgrund des derzeitigen Trends zum „Downsizing“ von Verbrennungsmotoren lässt sich gerade der Wirkungsgrad von erdgasbetriebenen Ottomotoren stei-

gern, da Erdgas als Kraftstoff ein höheres Verdichtungspotential als z. B. Benzin hat. In der folgenden Abbildung kann man den prognostizierten Marktanteil der Benzin-, Diesel-, Erdgas- und Elektrofahrzeuge von 2010 bis 2025 am Simulationsbeispiel Deutschland erkennen.

Abbildung 16: Potentielle Marktentwicklung von Benzin-, Diesel-, Erdgas- und Elektrofahrzeugen in Deutschland (2010 bis 2025)

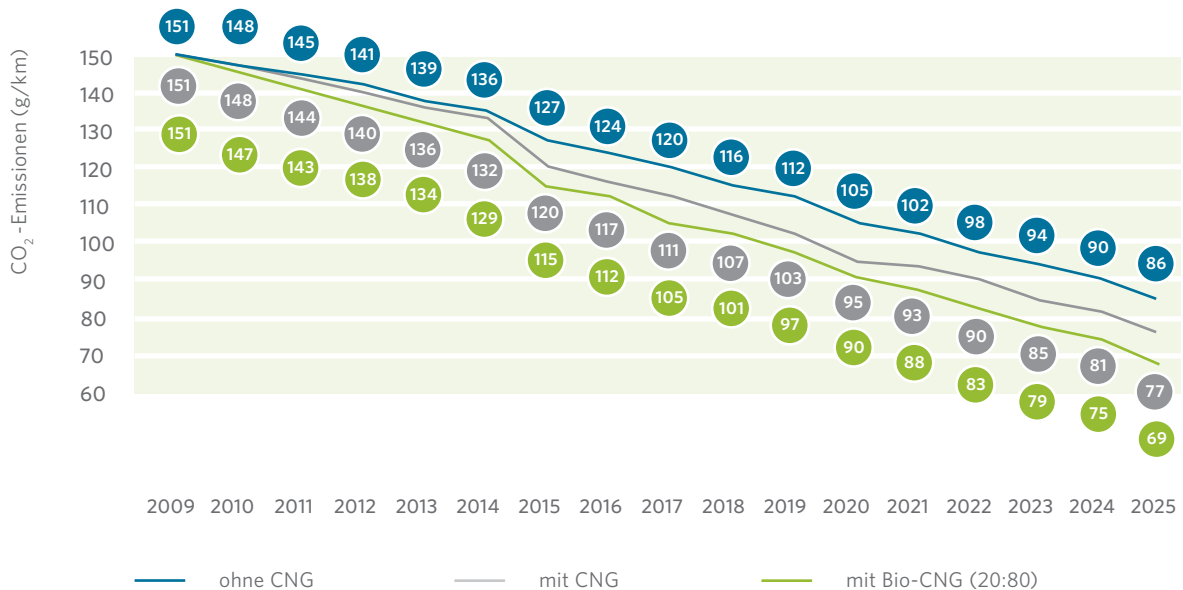


Quelle: CAR

Es wird deutlich, dass sich der Dieselanteil weiter rückläufig entwickelt, da die europäischen Abgasregelungen (Abgasnorm Euro 5 und 6) für Dieselfahrzeuge immer aufwändigere und kostenintensivere Abgasfiltertechnologien notwendig machen. Dadurch werden die Anschaffungskosten eines dieselbetriebenen Fahrzeuges im Vergleich zu einem benzinbetriebenen Fahrzeug in Zukunft tendenziell noch höher ausfallen. Außerdem sind die ohnehin schon höheren Fixkosten für dieselbetriebene Fahrzeuge aufgrund der seit 2009 gültigen, höheren Kfz-Steuer für Dieselfahrzeuge noch weiter gestiegen. Aus diesen Gründen wird angenommen, dass der Dieselanteil von 40 Prozent im Jahr 2010 sukzessive auf 29 Prozent bis zum Jahr 2025 sinken wird. Im Gegensatz zum Dieselanteil kann sich der Benzinanteil behaupten und verändert sich im betrachteten Zeitraum nicht wesentlich. Aufgrund des weiterhin hohen prognostizierten Benzin- und Dieselanteiles von 2010 bis 2025 wird auch bei der nachfolgenden CO₂-Simulation die Effizienz-

steigerung der Benzin- und Dieselmotoren und die Hybridisierung des Antriebsstranges existentiell notwendig sein, um die CO₂-Emissionswerte deutscher Pkw-Neuzulassungen zu reduzieren. Neben den weiterhin hohen Benzin- und Dieselanteilen wird prognostiziert, dass sich der Anteil von Erdgasfahrzeugen sukzessive von 0,4 Prozent im Jahr 2009 auf 8 Prozent bis 2020 steigern lässt. Weiterhin wird angenommen, dass elektrisch betriebene Fahrzeuge, die keine CO₂-Emissionen verursachen, bis 2020 nur einen dreiprozentigen Marktanteil aufweisen können und somit kurzfristig nur geringfügig zur CO₂-Reduzierung beitragen können. Auf Grundlage der dargestellten potentiellen zukünftigen Anteile von Benzin-, Diesel-, Erdgas- und Elektrofahrzeugen sowie des CO₂-Emissionsreduzierungspotentials von Erdgas und Biogas als Kraftstoff kann man nachfolgend die jeweilige durchschnittliche CO₂-Emissionsreduzierung der deutschen Pkw-Neuzulassungen von 2010 bis 2025 erkennen. Die detaillierte Berechnung wird im Anhang erläutert.

Abbildung 17: Potentielle durchschnittliche CO₂-Emissionsreduzierung der deutschen Pkw-Neuzulassungen bei der Verwendung von Erdgas und Biogas als Kraftstoff



Quelle: CAR

In der Abbildung erkennt man drei unterschiedliche CO₂-Emissionskurven, die nachfolgend kurz differenziert werden:

1. Die blaue Kurve stellt die durchschnittliche CO₂-Emissionsverbesserung durch die alleinige Effizienzsteigerung der Verbrennungsmotoren und Hybridisierung sowie Elektrifizierung des Antriebsstranges dar (analog Abbildung 19). Sie ist die Grundlage für die Berechnung der anderen beiden CO₂-Emissionskurven.
2. Die grüne Kurve stellt die durchschnittliche CO₂-Emissionsverbesserung durch die Effizienzsteigerung der Verbrennungsmotoren und Hybridisierung sowie Elektrifizierung des Antriebsstranges sowie durch den in Abbildung 21 dargestellten stetig steigenden Anteil von Erdgasfahrzeugen dar.
3. Die braune Kurve stellt die durchschnittliche CO₂-Emissionsverbesserung durch die Effizienzsteigerung der Verbrennungsmotoren und Hybridisierung sowie Elektrifizierung des Antriebsstranges sowie durch den in Abbildung 21 dargestellten stetig steigenden Anteil von Erdgasfahrzeugen dar. Außerdem wird davon ausgegangen, dass dem fossilen Erdgas 20 Prozent Biogas beigemischt wird.

Die braune Kurve zeigt, dass unter den genannten Voraussetzungen der durchschnittliche CO₂-Emissionswert von 151 Gramm pro Kilometer im Jahr 2009 auf 90 Gramm pro Kilometer bis zum Jahr 2020 reduziert werden könnte.

Dass diese positive CO₂-Emissionsentwicklung realistisch ist, zeigen die Werte des in Kapitel 2 vorgestellten leistungsstarken Mittelklassewagens VW Passat 1.4-I-TSI-Ecofuel mit der BlueMotion Technology (82 kW/150 PS). Mit einer theoretischen zwanzigprozentigen Biogasbeimischung würde dieser Passat schon heute 94 Gramm CO₂ pro Kilometer ausstoßen und somit den CO₂-Grenzwert von 2019 erreichen.

Mit der dargestellten CO₂-Entwicklung könnten die CO₂-Grenzwerte schon im Jahr 2014 bzw. 2020 erreicht werden. Daraus würde resultieren, dass die Automobilkonzerne weniger Strafzahlungen im betrachteten Zeitraum zahlen müssten, wie in der nächsten Tabelle ersichtlich ist. Dabei bezieht sich die Berechnung der CO₂-Strafzahlungen auf die grüne Kurve und die dazugehörigen CO₂-Emissionswerte. Außerdem werden die gleichen Annahmen wie bei der ersten CO₂-Strafzahlungsberechnung zu Grunde gelegt.

Tabelle 12: Potentielle CO₂-Strafzahlungen (2)

	2012	2013	2014	2019	2020
PROGNOSTIZIERTE Ø CO ₂ -EMISSIONEN (g/km) *	140	136	132	103	95
PKW-NEUZULASSUNGEN IN EUROPA** (in Tsd.)	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
BERECHNETE NEUZULASSUNGEN (in Tsd.)	9.750 (65 %)	11.250 (75 %)	12.000 (80 %)	15.000 (100 %)	15.000 (100 %)
ÜBERSCHREITUNG DES CO ₂ -ZIELWERTES (g/km)	10	6	2	5	0
CO ₂ -STRAFZAHLUNGEN DER AUTOMOBIL- KONZERNE IN EUROPA (in Milliarden €)	6,34	2,37	0,79	7,13	0
STRAFZAHLUNG PRO PKW (IN €)	423	158	53	475	0

* CNG ohne Biogas-Beimischung (s. Abb. 16)

**Annahme: gleichbleibender Absatz

Quelle: CAR

Die Darstellung macht deutlich, dass die Automobilkonzerne in den ersten beiden Jahren immer noch Strafzahlungen in Höhe von zusammen fast 9 Milliarden Euro zahlen müsste, da der prognostizierte erdgasbetriebene Pkw-Neuzulassungsanteil in den ersten Jahren zu gering ist, um den durchschnittlichen CO₂-Emissionswert drastisch zu reduzieren. Für die folgenden Jahre wird aber angenommen, dass der Anteil von erdgasbetriebenen Fahrzeugen steigt und somit die durchschnittlichen CO₂-Emissionswerte stärker sinken. Daraus folgt, dass die Automobilkonzerne nach 2020 keine Strafzahlungen mehr leisten müssen und somit im Vergleich zu der ersten CO₂-Simulation (siehe oben) rund 60 Milliarden Euro einsparen könnten. Eine zusätzliche Verbesserung der CO₂-Emissionen und somit der Strafzahlungen würde durch eine 20prozentige Beimischung von Biogas erreicht (Abb.16).

Erneut anzumerken ist, dass sich die Berechnungen der CO₂-Strafzahlungen auf die Pkw-Neuzulassun-

gen in Europa und die prognostizierte durchschnittliche CO₂-Entwicklung auf Deutschland beziehen. Somit müssten die Automobilkonzerne nicht nur in Deutschland, sondern in ganz Europa den oben dargestellten Anteil von erdgasbetriebenen Fahrzeugen steigern, um den berechneten CO₂-Strafzahlungen zu entgehen. Des Weiteren müssten der oben genannte Erdgas-Beimischungsanteil zum fossilen Erdgas von der Gaswirtschaft nicht nur in Deutschland, sondern auch in den anderen europäischen Ländern erzielt werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Automobilkonzerne mit der sukzessiven Erhöhung des Anteils von erdgasbetriebenen Fahrzeugen von derzeit 0,4 Prozent auf 8 Prozent im Jahr 2020 problemlos die durchschnittlichen CO₂-Emissionswerte reduzieren könnten, um somit zukünftigen CO₂-Strafzahlungen zu entgehen.

6. EXPERTENGESPRÄCHE MIT AUSGEWÄHLTEN AUTOMOBILHERSTELLERN

Die Vorteile von Erdgas als Kraftstoff der Zukunft liegen auf der Hand. Sowohl bei den variablen Kosten, als auch in der Umweltbilanz liegt Erdgas bzw. Erdgas in der Kombination mit Biogas deutlich vor den konventionellen Kraftstoffen. Was sich dennoch bisher nicht eingestellt hat, ist der europaweite große Durchbruch, der sich in Zulassungs- und Bestandszahlen niederschlägt. Ein überschaubares Modellangebot, eine begrenzte Infrastruktur stehen einer geringen Anzahl an Verkäufen gegenüber.

Warum bieten die Hersteller nicht deutlich mehr Modelle an? CO₂ und NO_x werden zu wesentlichen Treibern der individuellen Mobilität, gesetzliche Vorgaben der EU erhöhen den Druck auf die Hersteller, dennoch ist deren Position zu CNG derzeit sehr indifferent. Was müsste aus Sicht der OEM geschehen?

Um dies zu ergründen wurden im Zeitraum September 2009 bis März 2010 persönliche Interviews mit hochrangigen Vertretern von 10 OEM geführt. Folgender Gesprächsleitfaden lag den Interviews zugrunde:

- ▶ Darstellung der Positionen des OEM zu CNG und anderen alternativen sowie konventionellen Antriebskonzepten
- ▶ Wo steht der Hersteller heute? Welche Planungen/Konzepte gibt es?
- ▶ Welche Vor- und Nachteile sieht der OEM bei der jeweiligen Antriebstechnologie (konventionell/alternativ)?
- ▶ Sind bereits Plattformen/Modelle auf CNG vorbereitet oder ist entsprechendes geplant – wenn ja in welcher Anzahl und für welche Modelle?
- ▶ Welche Rolle spielt CNG in seinen Überlegungen bei der Umsetzung der Emissions-Ziele und wie passt Erdgas in die EU-Vorgaben 2020 hinein?

- ▶ Was sind die Erfolgsfaktoren für CNG aus der Sicht des OEM?

Gespräche wurden mit folgenden OEM geführt: BMW, Fiat, Ford, Hyundai, Mercedes-Benz, MAN, Opel, PSA, Renault/Dacia und dem Volkswagen-Konzern.

Grundsätzlich standen alle Hersteller dem Thema CNG offen und positiv gegenüber. Lediglich BMW und Hyundai hatten hierzu eine indifferente Position. Bei Hyundai ist derzeit die Frage nicht geklärt in welche der möglichen alternativen Antriebstechnologien das Unternehmen verstärkt investieren soll. Hier entwickelt und erprobt man derzeit in alle Richtungen, Bei BMW verfolgt man nach ersten nicht uneingeschränkt positiven Erfahrungen seitens der Nachfrage dieses Thema derzeit nicht aktiv weiter, würde es aber bei entsprechend steigender Nachfrage wiederbeleben. Dennoch plant man nach Aussage von Daniel Kammerer, Pressesprecher der BMW AG derzeit aktiv keine Modelle mit CNG, würde aber bei steigender Nachfrage entsprechend schnell reagieren.

Der Volkswagen-Konzern wird für alle zukünftigen Modelle bereits in der Entwicklung die Option CNG vorsehen. Hier sieht man CNG als faszinierende Alternative, da CNG eine Serientechnologie ist, die für den Kunden attraktiv ist und mit geringem Aufwand eine 25prozentige CO₂-Minderung möglich macht. Peter Weisheit Zuständig für den Vertrieb von CNG-Modellen bei der Volkswagen AG sagt „...CNG ist eine faszinierende Alternative. CNG ist Serientechnologie und attraktiv für Kunden. Etwa 25 Prozent CO₂-Minderung sind einfach möglich.“ und „zukünftig werden alle Modellreihen als CNG-Variante ausrüstbar sein. Wir sind bereit.“

Auch Fiat wird zukünftig einen wichtigen Teil der Modellpalette als CNG-Version in den Markt bringen, wie auch Opel weiterhin CNG-Modelle anbieten wird. „wir werden weiter einen wichtigen Teil unserer

Modellpalette auch in CNG-Versionen in den Markt bringen“ sagt Claus Witzeck, Leiter Presse und Öffentlichkeitsarbeit bei FIAT Deutschland.

Im Bereich Commercial Vehicles/Trucks und Busse gab es ebenfalls ein positives Feedback. Während bei MAN im Bereich der Stadtbus-Produktion der CNG-Antrieb bereits ein wichtiges Standbein mit ca. 1/3 Drittel Anteil ist („Im Bereich der Stadtbus-Produktion ist der CNG-Antrieb ein wichtiges Standbein mit ca. 1/3 Drittel Anteil“ - Herbert Knorr aus dem Bereich „Engine Research Alternative Fuels“ bei der MAN AG), erprobt man bei Mercedes Dual-Fuel-Lösungen, die Erdgas als Kraftstoff in einem Diesel-Antrieb vorsehen und sieht CNG zudem als wichtige Größe im Transporter-Bereich, da insbesondere die innerstädtische Belieferung ein wichtiges Wachstumsfeld sein wird und hier das Abgasverhalten eine besonders wichtige Rolle spielt. „CNG wird wichtige Größe im Transporter-Bereich. Marktanteil (NW) Vans wird in Europa bis 2020 auf 15 Prozent steigen. Die innerstädtische Belieferung wird ein wichtiges Wachstumsfeld sein“ sagt Andreas Pohl, Leiter Batterieelektrische Fahrzeuge bei Mercedes-Benz Vans. Ähnlich auch die Einschätzung bei Ford. Die aufwendige Abgasreinigung beim Diesel vor dem Hintergrund der EU6-Norm könnte CNG zur interessanten Alternative im Bereich leichte NFZ werden lassen. „die aufwendige Abgasreinigung beim Diesel könnte CNG zur interessanten Alternative im Bereich leichte NFZ werden lassen“ sagt Jens Knoth, Leiter Vorentwicklung bei Ford.

Großes Potential haben aus Sicht des für die europaweite Regelung der gesetzlichen Rahmenbedingungen verantwortlichen TÜV Saarland Dual-Fuel-Nachrüstlösungen. „Der Dual-Fuel-Nachrüstmarkt verfügt über ein großes Potential. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen sollten innerhalb des nächsten halben Jahres geklärt sein.“ schätzt Carl A. Wagner, Senior Expert im Bereich Alternative Antriebe beim TÜV Saarland.

Als sehr wichtig haben nahezu alle Interview-Partner die Beimischung von Biogas angesehen. Die hiermit mögliche Außenwirkung hinsichtlich einer umweltfreundlichen, grünen Technologie ist ein wichtiges Kriterium bei der Positionierung gegen Elektro-Mobilität und Hybridlösungen.

Die im Augenblick auf Seiten der Hersteller teilweise vorherrschende Zurückhaltung beim Thema CNG ist nach Meinung aller befragten nicht auf die Technologie an sich, sondern auf die Rahmenbedingungen zurückzuführen. Bei entsprechender Tankstellen-Infrastruktur und Planungssicherheit hinsichtlich steuerlicher Aspekte sehen alle gute Aussichten eine deutlich höhere Anzahl an Modellen in den europäischen Markt zu bringen. Sehr wichtig ist für alle Befragten eine einheitliche europäische Vorgehensweise. Nur wenn die Infrastruktur flächendeckend gegeben ist, macht es für die Hersteller Sinn entsprechend zu agieren. Insellösungen für einige Märkte würden auch im Hinblick auf die CO₂-Strategie der OEM keinen Sinn machen.

7. MASSNAHMEN ZUR SCHNELLEN MARKTDURCHDRINGUNG VON ERDGASBETRIEBENEN FAHRZEUGEN IN DEUTSCHLAND

Erdgas und Biogas haben als Kraftstoff ein erhebliches Potential, um den durchschnittlichen CO₂-Emissionsausstoß der Automobilflotten zu reduzieren. Somit könnten die Automobilkonzerne durch die Erhöhung der Anteile von erdgasbetriebenen Fahrzeugen problemlos die zukünftigen CO₂-Grenzwerte erreichen und den CO₂-Strafzahlungen entgehen bzw. diese reduzieren.

Somit sind die Voraussetzungen von Erdgas als zukünftigem Automobilkraftstoff in Europa gegeben, jedoch blieb bis heute ein flächendeckender Absatz Erfolg aus. Hier müssen Maßnahmen greifen, mit denen eine schnelle Marktdurchdringung von erdgasbetriebenen Fahrzeugen zu erreichen ist.

Die für die Umsetzung der Maßnahmen notwendigen Akteure sind die Mineralölkonzerne, die Gaswirtschaft, die Automobilhersteller und -händler sowie die Politik. Eine gemeinsame Vorgehensweise ist unumgänglich, um das immer noch vorhandene Henne-Ei-Problem zu lösen.

Grundsätzlich stehen die OEM dem Thema Erdgas, insbesondere mit Biogas-Anteil positiv gegenüber. Die Entwicklung in der Antriebstechnologie hin zu kleinen, aufgeladenen Motoren bildet eine ideale Basis für eine Ausweitung der Modellpalette.

MASSNAHMEN DER OEM

Folgende Punkte müssen jedoch von Seiten der OEM optimiert werden:

Erweiterung der Modellpalette von Erdgasfahrzeugen: Für Autokäufer ist beim Kauf eines Fahrzeuges ein möglichst differenziertes Fahrzeugangebot von besonderer Bedeutung. Aus diesem Grund sollten die Automobilhersteller das Angebot von erdgasbetriebenen Fahrzeugen auf möglichst alle Fahrzeugklassen und möglichst viele Modelle ausdehnen. Dabei sollten gerade die attraktiven Volumenmodel-

le, wie der VW Golf oder der Opel Astra, als Erdgasvariante angeboten werden.

Verbesserung der Vermarktung von Erdgasfahrzeugen: Die meisten Autokäufer haben keine Kenntnisse über die Vorteile von Erdgas als Kraftstoff. Daher sollte das Informations- und Serviceangebot von Erdgasfahrzeugen beim Händler ausgeweitet werden. Dem Käufer muss bewusst gemacht werden, dass Erdgasfahrzeuge umweltfreundlicher und wirtschaftlicher als benzin-, diesel- und autogasbetriebene Fahrzeuge sind und keine Sicherheitsnachteile durch die Druckbehälter bzw. durch Erdgas als Kraftstoff entstehen. Dabei kann auch durch ein gezieltes Marketing der Automobilindustrie die Aufmerksamkeit der privaten Autokäufer und vor allem der Flottenbetreiber oder Taxiunternehmen verstärkt auf die Option Erdgasfahrzeug gerichtet werden.

Verbesserung des Vertriebs von Erdgasfahrzeugen: Die unterschiedlichen Händler haben derzeit keine speziellen Anreize, gerade erdgasbetriebene Fahrzeuge zu verkaufen. Außerdem sind die Kenntnisse über die Vorteile der Erdgastechologie nicht nur beim Autokäufer, sondern auch beim Händler kaum oder nicht vorhanden. Aus diesem Grund sollten die Hersteller die Händler durch Schulungen über die Vorteile von Erdgasfahrzeugen aufklären und höhere Verkaufsprovisionen auf erdgasbetriebene Fahrzeuge gewähren. Somit bekommt der Händler das nötige Verkaufswissen und -anreize, um speziell Erdgasfahrzeuge zu verkaufen.

Senkung der Anschaffungskosten von Erdgasfahrzeugen: Eine der Haupteinstiegsbarrieren von privaten Kunden zum Kauf von Erdgasfahrzeugen sind die höheren Anschaffungskosten, trotz der geringeren monatlichen Gesamtkosten für erdgasbetriebene

Fahrzeuge im Vergleich zu benzin-, diesel- und autogasbetriebenen Fahrzeugen. Aus diesem Grund sollten der Staat, die Automobilhersteller und die Gaswirtschaft zur Minderung der Anschaffungskosten von Erdgasfahrzeugen beitragen. Die Akteure könnten durch spezielle Verkaufsförderungen (z. B. durch eine Umweltprämie) oder zinsgünstige Kredite für umweltfreundliche Fahrzeuge die Anschaffungskosten von erdgasbetriebenen Fahrzeugen verringern. Hier hat das Beispiel Italien im Jahr 2009 deutlich gezeigt, wie positiv sich entsprechende Incentives auswirken können.

MASSNAHMEN DER MINERALÖL- UND GASINDUSTRIE

Von Seiten der Mineralöl- und Gasindustrie geht es vor allem darum eine europaweite optimierte und konsistente Infrastruktur zu schaffen. Dabei sind einheitliche technische Rahmenbedingungen bezogen auf die Tanksäulen (hier gab es in den Experten-Gesprächen häufig den Hinweis auf Kundenbeschwerden wegen zu geringer Drücke und dadurch nur halbgefüllten Tanks) aber auch eine mengenmäßig gleich verteilte Infrastruktur in allen europäischen Ländern.

Ausweitung der Tankstelleninfrastruktur: Eine weitere zentrale Maßnahme zur schnellen Marktdurchdringung von Erdgas als Kraftstoff in Europa ist die Ausweitung des Erdgastankstellennetzes. Dabei sollten die Mineralölkonzerne in Verbindung mit der Gaswirtschaft flächendeckend Erdgastankstellen zur Verfügung stellen.

Transparente Auszeichnung der Kraftstoffpreise an den Tankstellen: Der Staat bzw. die Mineralölkonzerne müssen eine einheitliche Preisauszeichnung der unterschiedlichen Kraftstoffe an den Tankstellen erreichen, damit die unterschiedlichen Kraftstoffpreise transparent miteinander verglichen werden können. Durch eine verbraucherfreundliche Auszeichnung der Kraftstoffpreise an den Tankstellen, z. B. auf Basis einer einheitlichen Bezugsgröße, wäre jedem Autofahrer direkt bewusst, dass Erdgas als Kraftstoff am kostengünstigsten ist.

MASSNAHMEN DER POLITIK

Eine wichtige Rolle kommt auch der Politik, hier speziell der EU zu. Von dieser Seite müssen klare und langfristige Zusagen und Bekenntnisse zu dieser umweltfreundlichen Technologie, hinsichtlich steuerlicher Vergünstigungen und Kaufanreize, her. Sie ist sofort verfügbar, kann somit sofort Wirkung zeigen.

Beibehaltung der Energiesteuerermäßigung für Erdgas als Kraftstoff: Die derzeitige Energiesteuerermäßigung für Erdgas und Autogas als Kraftstoff gilt beispielsweise in Deutschland bis zum Jahr 2018. Eine Fortführung der Energiesteuerermäßigung für Erdgas nach 2018 würde die Planungssicherheit der Akteure erhöhen und mehr Anreize schaffen, um in die Erdgastechnologie zu investieren. Insbesondere deutsche Hersteller, wie Volkswagen, sehen hierin ein Hemmnis beim Ausbau der eigenen Modellpalette.

Allgemeine Förderungen von umweltfreundlichen Fahrzeugen: Die Fortführung der Energiesteuerbegünstigung auf Erdgas als Kraftstoff alleine reicht aber nicht aus, um in den nächsten Jahren einen signifikant höheren Marktanteil von Erdgasfahrzeugen zu erreichen. Aus diesem Grund müssen Erdgasfahrzeuge bzw. umweltfreundliche Fahrzeuge gefördert werden, wie es z. B. in Schweden oder Italien der Fall ist. Dabei ist die Förderung von gewerblich genutzten Erdgasfahrzeugen besonders sinnvoll, da gewerbliche Pkw-Neuwagen den überwiegenden Anteil an den Pkw-Gesamtneuzulassungen in Deutschland ausmachen und somit ein hohes Potential zur Beschleunigung der Marktdurchdringung von Erdgasfahrzeugen haben könnten.

Um die genannten Maßnahmen kurzfristig zu realisieren, bedarf es vor allem eines frühzeitigen politischen Signals, um Investitionssicherheiten bei den Wirtschaftsakteuren zu schaffen. „Dazu muss diese technisch bereits ausgereifte Option zunächst stärker in der öffentlichen Diskussion berücksichtigt werden, in der aktuell die nicht ausgereiften Hybrid- und Elektrofahrzeuge im Vordergrund stehen.“ [Vgl. 28]

HANDLUNGSEMPFEHLUNG UND ABSATZPROGNOSE CNG-FAHRZEUGE IN EUROPA

Alle beteiligten Akteure müssen intensiver als in der Vergangenheit zusammenarbeiten, um die aufgezählten Aktionen umzusetzen. Zudem muss das Thema in der Öffentlichkeit wesentlich offensiver vor dem Hintergrund der Umweltfreundlichkeit dieser Kraftstoffart kommuniziert werden. Erdgas muss durch eine Biogas-Komponente eine deutlich „grüne“ Ausrichtung bekommen und darf nicht länger „nur“ als preiswerte Alternative zu Benzin und Diesel gesehen werden. Gerade die ab 2012 gültige gesetzliche CO₂-Emissionsanforderung und das Thema Strafsteuern bieten eine optimale Chance eine schnelle Marktdurchdringung von umweltfreundlichen Erdgasfahrzeugen hervorgerufen.

Ein schnelles und klar ausgerichtetes Handeln ist aber nun gefordert.

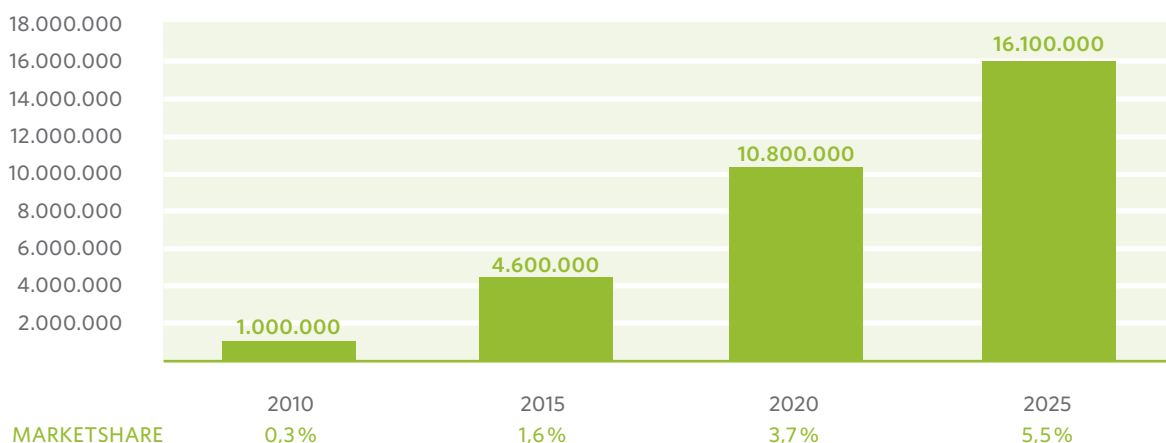
Vor dem zuvor beschriebenen Hintergrund prognostiziert das CAR in seinem Best-Case-Szenario eine Erreichung des eines „5% + x“-Anteils von Erdgasfahrzeugen in Europa für das Jahr 2025. Dies entspricht insgesamt einem Bestand von 16,1 Millionen CNG-Fahrzeugen in Europa. Dringend erforderlich ist hierzu, dass alle Beteiligten „an einem Strang ziehen“ und eine schnelle Umsetzung der in der Handlungsempfehlung genannten Punkte erreicht werden kann. Basis-Grundlage der Prognose ist die Analyse der Verkaufszahlen der Vergangenheit und deren Entwicklung in den einzelnen Märkten Europas. Ausgehend vom aktuellen Status-Quo und unter Einbeziehung des positiven Feedbacks der befragten Hersteller geht das Best-Case-Szenario von einer deutlichen Steigerung der Absatzzahlen in den kommenden Jahren aus. Dazu ist im Szenario eine deutliche Ausweitung der Modellpalette bereits im CNG-Markt befindlicher Hersteller (z.B. VW, Opel, Mercedes), sowie zusätzlich ein Markteintritt weiterer OEM, unterstellt. Diese Annahme wird gestützt durch Hersteller wie Dacia oder Skoda, die entweder in außereuropäischen Märkten bereits entsprechende Fahrzeuge anbieten (Dacia in Asien) oder auf vorhandene Konzern-Technologie zurückgreifen können

(Skoda). Gerade Marken wie Skoda und Dacia sind dabei für die wichtigen Märkte in Zentral Ost-Europa von großer Wichtigkeit. Hier sind hohe Zuwächse unterstellt.

Zusätzlich wird im Best-Case-Szenario unterstellt, dass insbesondere im innerstädtischen Lieferverkehr, bedingt durch Zufahrts-Reglementierungen, verstärkt CNG-Transporter eingesetzt werden. Dies gilt ebenfalls für Kommunal-Fahrzeuge (Bsp. Müllentsorgung und Linienbusse). Weiterhin berücksichtigt wird ein Zuwachs durch Dual-Fuel-Fahrzeuge im Bereich der NFZ. Hier gibt es erste Testflotten von Mercedes-Benz und Volvo. Zudem würde eine bevorstehende rechtliche Grundlage (Verbesserung der Abgasnormen durch Umrüstung) seitens der EU den Umrüstmarkt erheblich fördern.

Der starke Anstieg im Bereich 2020 und 2025 ist einerseits dem Zeitverzug bei der Einführung zusätzlicher Modelle, andererseits der erst über die Zeit anwachsenden breiten Akzeptanz der Technologie beim Verbraucher geschuldet. Zudem leitet sich der Anstieg aus den in der vorangegangenen Simulation gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der Verbesserung der Flotten-Emissionen der OEM her. Hier wirkt sich ab 2020 die strenge 95g/km-Grenze aus.

Abbildung 18: CAR-Prognose des Bestands an NGV in Europa¹ (Best-Case-Szenario)



¹ EU-27, Norway, Switzerland, Iceland, Monaco, Albania, Bosnia, Croatia, Macedonia, Turkey

8. FAZIT

Eines der zentralen Handlungsfelder in der Automobilbranche ist aktuell die Senkung der durchschnittlichen CO₂-Emissionen der Fahrzeugflotten, um die gesetzlichen CO₂-Emissionsanforderungen, die 2012 stufenweise eingeführt werden, zu erreichen. Die zurzeit stark in der Öffentlichkeit stehende Elektromobilität wird erst in Jahren serienreif und konkurrenzfähig zur Verfügung stehen, um die durchschnittlichen CO₂-Emissionswerte der Automobilflotten zu reduzieren.

Daher versuchen die Automobilhersteller, den durchschnittlichen CO₂-Ausstoß ihrer Automobilflotten kurzfristig durch die Effizienzsteigerung der Verbrennungsmotoren sowie durch die Hybridisierung des Antriebsstrangs zu reduzieren, um so die CO₂-Grenzwerte ab dem Jahr 2012 zu erreichen und die drohenden, horrenden Strafzahlungen zu mindern bzw. zu vermeiden.

Hier ist der Ansatzpunkt Erdgas und Biogas als Automobilkraftstoff gegeben. Bei überschaubaren Mehrkosten in der Powertrain-Herstellung kann dieser Kraftstoff dazu beitragen, die durchschnittlichen CO₂-Emissionen der Automobilflotten deutlich zu reduzieren und damit den Strafzahlungen weitestgehend zu entgehen.

Den großen Durchbruch hat Erdgas als Kraftstoff noch nicht ganz geschafft. Anfang des Jahres 2010 waren in Europa und Russland rund 1,1 Millionen mit Erdgas angetriebene Fahrzeuge auf den Straßen und etwa 3.500 Erdgastankstellen vorhanden. Weltweit sind rund 10,9 Millionen oder 1,1 Prozent aller Fahr-

zeuge als CNG-Fahrzeuge unterwegs, die an 16.300 Erdgastankstellen betankt werden können. Die Gründe für die vergleichsweise verhaltene Entwicklung des Erdgasantriebs sind mitunter in den Bereichen der noch ausbaufähigen Infrastruktur und der vergleichsweise sehr überschaubaren Modellpalette zu finden. Durch eine konsolidierte Vorgehensweise von Energieindustrie, Automobilwirtschaft und Politik können diese Barrieren jedoch überwunden und die Voraussetzungen für eine stärkere Marktdurchdringung geschaffen werden.

Im Technikbereich sind die Fortschritte bereits enorm. Die Entwicklung geht von großen Saugmotoren hin zu kleineren Drei- und Vierzylinder-Motoren mit Direkteinspritzung und Turboaufladung, welche die Effizienz des Benzinantriebs deutlich verbessern sollen. Aufgrund der vergleichsweise hohen Klopfestigkeit von CNG (120-130 ROZ), eignen sich derartige Motorkonzepte besonders gut für den Erdgasbetrieb und durch die Anbringung der Hochdrucktanks am Unterboden der Fahrzeuge bleibt das Ladevolumen praktisch unangetastet. Die Technologie ist also vorhanden und die Zusatzkosten sind überschaubar. Auch deshalb entwickeln die Autobauer neue Fahrzeugarchitekturen wie beim zukünftigen VW Golf VII, dessen Basis bereits ohne aufwändige Nachentwicklung Platz für Elektro- oder CNG-Systeme bieten wird. Die Voraussetzungen für den schnellen Einstieg in den klimaverträglichen Verkehr sind gegeben. Erdgasantriebe sind damit eine hervorragende Brücke bis zur Serienreife der Elektromobilität.

Die Kostenstruktur bei der Umrüstung von konventionellen Kraftstoffen (Benzin und Diesel) auf CNG ist ein klarer Vorteil dieser Technologie. Gegenüber dem Diesel entfällt eine aufwendige und teure Abgasreinigung zur Erlangung der zukünftigen EU6-Norm. Zudem ist die CNG-Technologie sofort verfügbar. Die aktuellen Entwicklungen beim Otto-Motor (Downsizing, Aufladung) bieten eine noch bessere Basis für CNG als Kraftstoff und somit noch geringere CO₂-Emissionen. Eine sofortige Einbindung in das Produktportfolio der Hersteller ist möglich. Mit einem überschaubaren Anteil innerhalb der Modellpalette von unter 10 Prozent wären viele Hersteller in der Lage die EU-Flotten-Ziele für 2013/2015 bereits jetzt zu erfüllen und bei einer 20-prozentigen Beimischung von Biogas wären bereits heute die Auflagen für 2020 ohne hohe Forschungs- und Entwicklungskosten zu realisieren.

Das CAR sieht daher eine steigende Bedeutung von CNG im zukünftigen Produkt-Portfolio der Hersteller und auch in der Wahrnehmung der Verbraucher. Im Fokus wird dabei CNG nicht mehr allein als kostengünstige, sondern insbesondere als umweltfreundli-

che Art der Fortbewegung stehen. Dieser „grüne Anstrich“ ist die Chance CNG leichter als bisher einer breiten Masse nahezubringen.

In Zeiten in denen Diskussionen um Klimawandel, Umweltkatastrophen und der Hype um E-Cars die Verbraucher sensibilisieren steigt die Beachtung von alternativen Antriebs- und Kraftstoffarten. Dies zeigt die hohe Akzeptanz von E-Cars in einschlägigen Marktforschungen. Während die Reife für die Großserie bei E-Cars aber noch mit vielen Fragezeichen versehen ist und in entsprechenden Umfragen immer wieder die Reichweite sowie die hohen Anschaffungspreise als Kaufhindernis gelten, ist CNG bereits heute eine sofort umsetz- und bezahlbare Alltags-Technologie.

Die Chancen für CNG waren daher nie besser als heute. Ein gemeinsames strukturiertes Handeln aller Beteiligten (Politik, Gas- und Mineralölindustrie, Automobilhersteller) kann unter den aktuellen Voraussetzungen zum Erfolg für alle Beteiligten führen. Dabei darf das Thema auf politischer Ebene nicht als nationales Thema angegangen werden. Hier ist eine europäische Lösung gefragt.

QUELLEN

- [1] Automobil-Produktion: Innovative Schritte für nachhaltigen Fortschritt. März 2009.
- [2] CAMA - Center fürAutomobil-Management: Wird in Zukunft weniger mehr?
CAMA-Kommentar. 03/2010.
- [3] Verordnung zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO₂-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen. [Online] 23. April 2009. http://www.uni-due.de/imperia/md/content/car/auto/vl_unterlagen/eu-kommission-juni_2009.pdf.
- [4] Automobil-Produktion: Sonderausgabe CO₂-Innovationen - Viele Wege zum Klimaschutz. Dezember 2009.
- [5] Automobil-Produktion: Sonderausgabe CO₂-Innovationen - Kostentreiber Klimaschutz. Dezember 2009.
- [6] Der Golf BlueMotion. [Online] Jan 2010. <http://www.volkswagen.de>.
- [7] Autor Motor und Sport: Entwicklungsschub beim Verbrennungsmotor. Dezember 2009, Heft 26.
- [8] Automobil-Industrie: Lebhaftes Zeichen einer totgesagten Technik - Mehr als heiße Luft. Dezember 2009.
- [9] Automobil-Industrie: Krisengewinner. 2009, Ausgabe 7-8.
- [10] Geitmann, Sven (1): Alternative Kraftstoffe [Buch]. 2008.
- [11] Geitmann, Sven (2): Erneuerbare Energien und alternative Kraftstoffe [Buch]. 2005.
- [12] Deutsche Energie-Agentur GmbH: Erdgas und Biomethan im künftigen Kraftstoffmix. Berlin : s.n., Januar 2010.
- [13] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen. [Online] Zugriff: 27. März 2010. <http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=62>.
- [14] Richard van Basshuysen, Ulrich Spicher: Ottomotoren mit Direkteinspritzung: Verfahren, Systeme, Entwicklung, Potenzial [Buch]. 2007.
- [15] Fachverband der Gas- und Wärmeversorgungsunternehmen: CNG - Fahren mit Erdgas. Wien : s.n., 2009.
- [16] Robert Bosch GmbH: Ottomotor-Management - Systeme und Komponenten [Buch]. 2005.
- [17] Energiesteuergesetz (EnergieStG). [Online] <http://www.bio-energie.de/gesetzeslage/energiesteuergesetz.html>.
- [18] Durchschnittspreise von Super Benzin und Diesel. [Online] Zugriff: 27. März 2010. <http://www.clever-tanken.de/statistik2.asp>.
- [19] Durchschnittspreise von LPG und CNG. [Online] Zugriff: 27. März 2010. <http://www.gas-tankstellen.de>.
- [20] ADAC Autokosten-Rechner. [Online] Zugriff: 01. Mai 2010. www1.adac.de/Auto_Motorrad/autokosten/autokosten-rechner/default.asp.
- [21] Opel Zafira Konfiguration. [Online] Zugriff: 23. März 2010. <http://www.opel.de/>.
- [22] MTZ: Neue aufgeladene Motoren für den Erdgasbetrieb. Ausgabe: 07-08/2009,
- [23] TSI und CNG von Volkswagen: Eine ideale Kombination. [Buchverf.] Oliver Dingel. Gasfahrzeuge III: Die Schlüsseltechnologie auf dem Weg zum emissionsfreien Antrieb? 2008.
- [24] VW: Der neue Passat TSI EcoFuel. [Online] Zugriff: 27. März 2010. http://www.volkswagen.de/vwcms/master_public/virtualmaster/de3/modelle/passat/Der_neue_Passat/ausstattungslinien/EcoFuel.html.

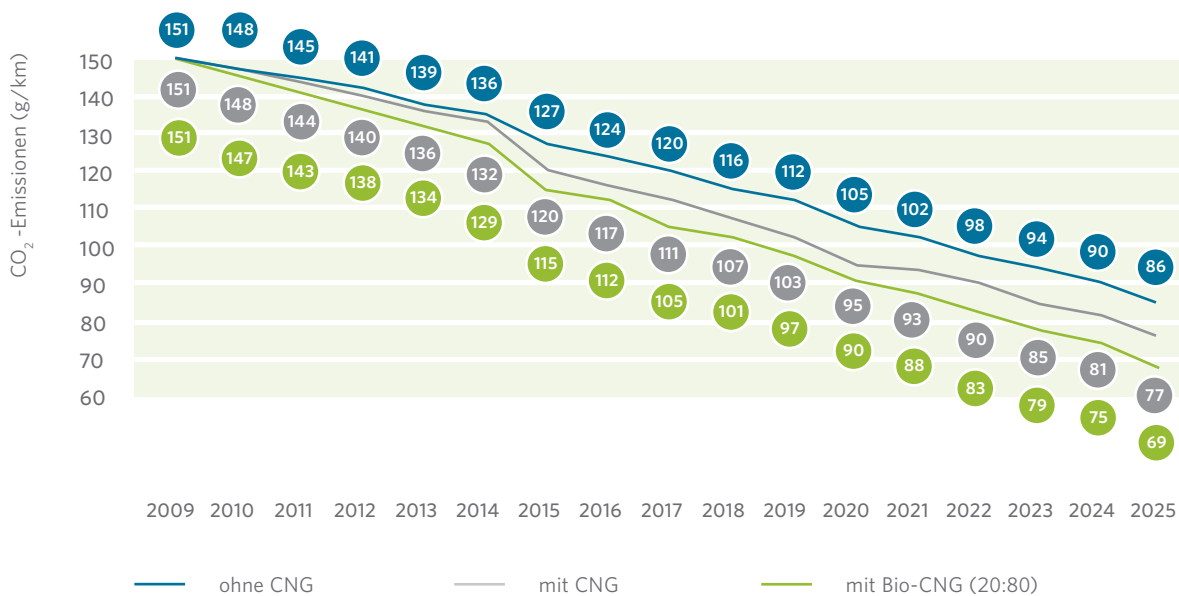
- [25] E.ON Ruhrgas AG: Energie mit Zukunft. [Online] <http://www.eon-ruhrgas.com>.
- [26] Biogas - Erdgas wird noch sauberer. [Online] Zugriff: 15. Jan 2010. <http://www.erdgasfahrzeuge.de/Biogas.html>.
- [27] Gas Vehicles Report April 2010. [Online] <http://www.ngvgroup.com/index.php?nav=gvr&sub=arch>.
- [28] Wochenbericht des DIW: Erdgas im Tank für eine schadstoffarme Zukunft. [Online] Zugriff: 10. April 2010. http://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.91922.de/08-50-1.pdf.
- [29] Gas Vehicles Report Dezember 2009. [Online] <http://www.ngvgroup.com/index.php?nav=gvr&sub=arch>.
- [30] Germany Trade & Invest: Italien streicht Abwrack-/ Umweltprämie für Pkw. [Online] Zugriff: 05. April 2010. <http://www.gtai.de/fdb-SE,MKT201002188015,Google.html>.
- [31] Gas Vehicles Report Oktober 2009. [Online] <http://www.ngvgroup.com/index.php?nav=gvr&sub=arch>.
- [32] Fiat: CNG-Modelle in Italien. [Online] Zugriff: 05. April 2010. <http://www.fiat.it>.
- [33] Gas Vehicles Report April 2009. [Online] <http://www.ngvgroup.com/index.php?nav=gvr&sub=arch>.
- [34] Dingel, Oliver: Gasfahrzeuge III. 2008.
- [35] Gas-Tankstellen. [Online] Zugriff: 18. März 2010. <http://www.gas-tankstellen.de/>.
- [36] Mineralölwirtschaftsverband: Verbraucherpreise für Mineralölprodukte. [Online] Zugriff: 18. März 2010. http://www.mwv.de/cms/front_content.php?idcat=14&idart=64.
- [37] CAR - Center Automotive Research bzw. Kraftfahrt-Bundesamt: Pkw-Neuzulassungen 2003 bis November 2009.
- [38] McKinsey & Company: Zukünftiges Potential von erdgas als Kraftstoff für Automobile [Studie]. 2008.
- [39] Dudenhöffer, Prof. Dr.: Volkswagen drohen Milliardenstrafen. [Online] Zugriff: 15. April 2010. http://www.uni-due.de/~hk0378/publikationen/2010/20100401_Wiwo.pdf.
- [40] KBA - Emissionen, Kraftstoffe - Zeitreihe in den Jahren 2000 bis 2005. [Online] [Zitat vom: 22. März 2010.] http://www.kba.de/clin_005/nn_269000/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/EmissionenKraftstoffe/b__emi__z__teil__1.html.
- [41] European Motor Vehicle Parc 2007. [Online] [Zitat vom: 5. April 2010.] <http://www.acea.be>.
- [42] Erdgasfahrzeuge. [Online] [Zitat vom: 21. April 2010.] <http://www.gibgas.de/Fahrzeuge?PHPSESSID=13pnublun39c8m1perur10pk83>.
- [43] Biomethan - Was ist das? [Online] Zugriff: 19. April 2010. <http://www.mt-biomethan.com/biomethan/Biogas>.
- [44] GDV: Kfz-Versicherungen. [Online] [Zitat vom: 23. März 2010.] www.gdv-dl.de.
- [45] Golf Konfiguration. [Online] Zugriff: 26. Jan 2010. <http://www.volkswagen.de>.
- [46] VW Passat Konfiguration. [Online] Zugriff: 23. März 2010. <http://www.volkswagen.de>.

ANHANG 1: ERLÄUTERUNG DER BERECHNUNG DER SIMULATION

In diesem Kapitel wird die Berechnung der CO₂-Simulation, die in Kapitel 3 beschrieben worden ist, erläut-

tert. In der nachstehenden Abbildung kann man noch einmal die Ergebnisse der Simulation erkennen.

Abbildung 19: Potentielle durchschnittliche CO₂-Emissionsreduzierung der deutschen Pkw-Neuzulassungen bei der Verwendung von Erdgas und Biogas als Kraftstoff



Quelle: CAR

Für die Berechnung des zukünftigen CO₂-Reduzierungspotentials der deutschen Pkw-Neuzulassungen sind die folgenden Daten notwendig:

- ▶ Die potentiellen zukünftigen Marktanteile von Benzin-, Diesel-, Elektro- und Erdgasfahrzeuge. Dabei wird angenommen, dass der Anteil von erdgasbetriebenen Fahrzeugen von derzeit 0,4 Prozent bis auf fast 8 Prozent im Jahr 2020 steigt. Außerdem wird angenommen, dass der Dieselanteil sich weiter rückläufig entwickelt. Die Gründe dafür wurden in Kapitel 3 beschrieben.

- ▶ Die CO₂-Reduktionspotentiale durch die alleinige Effizienzsteigerung der Verbrennungsmotoren und Hybridisierung sowie Elektrifizierung des Antriebsstranges.

- ▶ Die CO₂-Reduktionspotentiale von Erdgas und Biogas unter Berücksichtigung einer 20-prozentigen Biogas-Beimischung.

Alle für die Berechnung notwendigen Daten kann man zusammenfassend in der nächsten Tabelle erkennen. Dabei werden nur die Daten bis zum Jahr 2020 dargestellt.

Tabelle 13: Daten der CO₂-Simulation

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ZUKÜNFTIGER Ø CO ₂ -AUSSTOSS DER PKW-NEUZULASSUNGEN IN DEUTSCHLAND OHNE BERÜCKSICHTIGUNG VON ERDGASFAHRZEUGEN											
Ø CO ₂ -AUSSTOSS ²	148	145	141	139	136	127	124	120	116	112	105
ZUKÜNFTIGE MARKTENTWICKLUNG VON BENZIN-, DIESEL-, ERDGAS- UND ELEKTR.- FAHRZEUGEN (%)											
ANTRIEBSART											
Benzin	58	59	59	59	58	57	56	57	57	57	57
Diesel	40	39	39	37	37	35	34	33	33	32	32
CNG-Benzin	1,2	1,2	1,2	1,9	2,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
CNG-Diesel	0,8	0,8	0,8	1,1	1,5	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Σ CNG	2,0	2,0	2,0	3,0	4,0	7,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
CO ₂ -RREDUZIERUNGSPOTENTIAL DER JEWEILIGEN ANTRIEBSART (%)											
ANTRIEBSART											
Benzin	2	2	2,5	2,5	2,5	8	1	3,5	2	2,5	6,5
Diesel	2	2	2,5	2,5	2,5	8	1	3,5	2	2,5	6,5
CNG-Benzin ¹	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
CNG-Diesel ¹	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
20% BIO-CNG-Benzin	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
20% BIO-CNG-Diesel	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
POTENTIELLE ENTWICKLUNG DES Ø CO ₂ -AUSSTOSSES DER DEUTSCHEN PKW-NEUZULASSUNGEN (g/km)											
ohne CNG ²	148	145	141	139	136	127	124	120	116	112	105
mit CNG	148	144	140	136	132	120	117	111	107	103	95
mit Bio-CNG (80:20)	147	143	138	134	129	115	112	105	101	97	90

¹ Deutsche Energie-Agentur GmbH² CO₂-Reduzierung durch die Effizienzsteigerung der Verbrennungsmotoren sowie Hybridisierung und Elektrifizierung des Antriebsstranges

Im Folgenden wird anhand von zwei Beispielen erläutert, wie die zukünftigen CO₂-Werte berechnet worden sind:

- ▶ 1. Berechnungsbeispiel: CO₂-Wert mit CNG im Jahr 2012 (linker roter Kreis):
Die für die Berechnung notwendigen Daten sind gelb markiert. Die Formel lautet (ohne CO₂-Einheiten: g/km):

$$\begin{aligned}
 140 &= 144 - \\
 &\quad (144 \cdot 59\% \cdot 2,5\% + 144 \cdot 39\% \cdot 2,5\% + 144 \cdot 1,2\% \cdot 24\% + 144 \cdot 0,8\% \cdot 21\%) \\
 &\quad \underbrace{\hspace{2cm}}_{\text{Benzin}} \quad \underbrace{\hspace{2cm}}_{\text{Diesel}} \quad \underbrace{\hspace{2cm}}_{\text{CNG zu Benzin}} \quad \underbrace{\hspace{2cm}}_{\text{CNG zu Diesel}} \\
 &= 144 - 2,12 - 1,40 - 0,41 - 0,24 \\
 &= 140
 \end{aligned}$$

- ▶ 2. Berechnungsbeispiel: CO₂-Wert mit Bio-CNG im Jahr 2017 (rechter roter Kreis):
Die für die Berechnung notwendigen Daten sind gelb markiert. Die Formel lautet (ohne CO₂-Einheiten: g/km):

$$\begin{aligned}
 105 &= \\
 112 &- (112 \cdot 57\% \cdot 3,5\% + 112 \cdot 33\% \cdot 3,5\% + 112 \cdot 5\% \cdot 39,0\% + 112 \cdot 3\% \cdot 36\%) \\
 &\quad \underbrace{\hspace{2cm}}_{\text{Benzin}} \quad \underbrace{\hspace{2cm}}_{\text{Diesel}} \quad \underbrace{\hspace{2cm}}_{\text{CNG zu Benzin}} \quad \underbrace{\hspace{2cm}}_{\text{CNG zu Diesel}} \\
 &= 112 - 2,23 - 1,29 - 2,18 - 1,21 \\
 &= 105
 \end{aligned}$$

Anhand der Berechnungsbeispiele erkennt man, dass zuerst das CO₂-Einsparspotential von Benzinfahrzeugen und dann von Dieselfahrzeugen unter der Verwendung der jeweiligen Marktanteile und CO₂-Reduzierungspotentiale ausgerechnet worden ist. Dann wurde das CO₂-Einsparspotential von Erdgasfahrzeugen zu Benzin- und Dieselfahrzeugen unter der Verwendung der jeweiligen Marktanteile und CO₂-Reduzierungspotentiale ausgerechnet.

Man erkennt, dass der Erdgasanteil die durchschnittlichen CO₂-Werte der deutschen Pkw-Neuzulassungen stark beeinflusst.



**PROF. DR. FERDINAND DUDENHÖFFER,
Direktor des CAR-Center Automotive Research**

Nach seinem Studium der Volkswirtschaftslehre an der Universität Mannheim promovierte Ferdinand Dudenhöffer 1983 mit Auszeichnung. In der Zeit von 1978 bis 1984 arbeitete er als Hochschulassistent am Lehrstuhl für Volkswirtschaftslehre an der Universität Mannheim.

Ein Jahr später stieß er als Analyst im Bereich Marketing zur Adam Opel AG. Im Anschluss leitete Dudenhöffer drei Jahre lang den Bereich Marketing-Strategien & Research bei der Porsche AG. 1991 wechselte er zu Peugeot Deutschland und war dort bis 1994 als Verkaufsdirektor und Direktor Filialen verantwortlich. Die darauffolgenden zwei Jahre fungierte er als Direktor in der Netzentwicklung. Von 1996 bis 2008 lehrte er als Professor für Marketing und Unternehmensführung im Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen – Automobilwirtschaft an der Fachhochschule Gelsenkirchen. Dort war er Mitbegründer und Direktor des CAR-Center Automotive Research.

Seit 2008 setzt Dudenhöffer an der Universität Duisburg-Essen seine Arbeit fort. Forschungsschwerpunkt von Prof. Dr. Ferdinand Dudenhöffer und des am Lehrstuhl aufgebauten Instituts „CAR-Center Automotiv Research“ ist die globale Automobil- und Zulieferindustrie. Lehrstuhl und CAR arbeiten eng mit den Unternehmen der Branche zusammen. In breit publizierten Studien analysiert CAR Industrietrends und deren Implikationen auf Zulieferer, Autobauer, Mineralölgesellschaften, Autobanken und Leasinggesellschaften. Mit dem jährlichen CAR-Symposium hat das achtköpfige Team von Dudenhöffer einen bedeutenden internationalen Branchenkongress etabliert.