
Nutzen-Kosten-Analyse von CO₂-Reduktionen im Automobilsektor

VON HERBERT BAUM UND ULRICH WESTERKAMP, KÖLN

1. Einleitung

Der Klimabericht des IPCC hat festgestellt, dass der CO₂-Ausstoß einen Klimawandel verursacht. Der Klimawandel ist demnach schon heute erkennbar. Die in 2008 häufig auftretenden Unwetter werden beispielsweise mit dem Klimawandel in Verbindung gebracht. Der Klimawandel kann wahrscheinlich nicht rückgängig gemacht werden, aber er kann immerhin verlangsamt werden. Eine Verlangsamung des Klimawandels wird vor allem durch eine Reduzierung des Ausstoßes von klimaschädlichen Gasen erhofft. Daraufhin erhielt die Diskussion um die Vermeidung von CO₂ neue Brisanz. Weltweit wurden und werden von Staaten neue Einsparungsziele definiert. Auch der Verkehrssektor soll verstärkt zur CO₂-Reduktion beitragen.

Jedes Fahrzeug stößt bei der Verbrennung von Kraftstoff CO₂ aus. Der CO₂-Ausstoß wird in g/km gemessen und hängt direkt vom Kraftstoffverbrauch ab. Im Jahr 2007 verbrauchte das durchschnittliche benzinbetriebene Neufahrzeug 7,1 l/100 km. Dieser Wert entspricht einem CO₂-Ausstoß von 168 g/km (der Wert für dieselbetriebene Neufahrzeuge ist in ähnlicher Größenordnung). Gegenüber 1995 konnte die CO₂-Emission um 15 % reduziert werden.¹

Im Jahr 1995 wurde von der EU ein Zielwert von 120 g CO₂/km für das Jahr 2005 festgelegt. Wenige Jahre später hat der Verband der europäischen Automobilindustrie ACEA eine Selbstverpflichtung mit der EU vereinbart, nach der Neufahrzeuge 2008 im Durchschnitt 140 g CO₂/km emittieren sollten. Mit der freiwilligen Selbstverpflichtung konnte erreicht werden, dass der Zielwert der EU (120 g/km) erst im Jahr 2012 realisiert werden muss.² Im Jahr 2007 hat sich dann die EU-Kommission zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2012 den CO₂-Ausstoß der in der EU verkauften Neufahrzeuge auf 130 Gramm CO₂/km zu reduzieren. Zusätzlich sollen noch einmal 10 g CO₂/km durch gesonderte Maßnahmen wie

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Herbert Baum

Dr. rer. pol. Ulrich Westerkamp

Institut für Verkehrswissenschaft

an der Universität zu Köln

Universitätsstraße 22

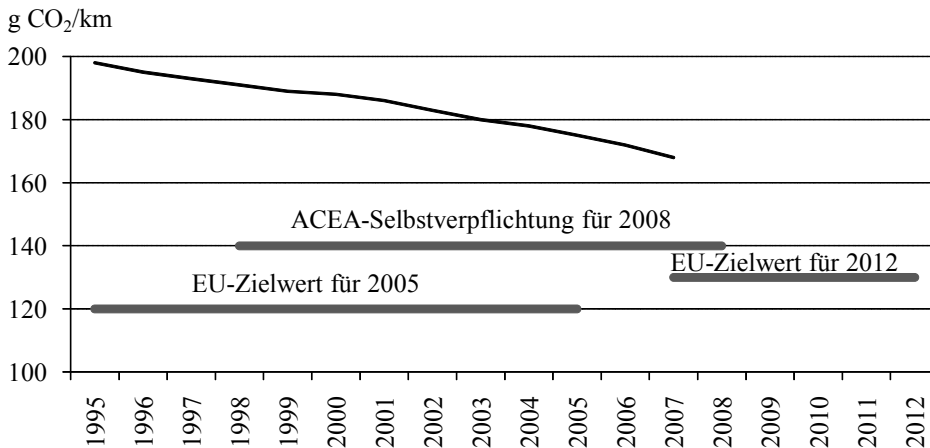
50923 Köln

¹ Vgl. KBA (2008): Jahresbericht 2007, Flensburg, S. 24, BMU (2007): CO₂-Emissionen neuer Pkw in g/km 1995 – 2006, URL: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/verk_co2_pkw_neu.pdf, gesehen am 07.07.2008.

² Vgl. Hennicke, P. / Schallaböck, K. (2008): Macht die EU-Kommission Industriepolitik gegen die deutsche Automobilindustrie?, in: ifo Schnelldienst 3/2008, S. 10.

beispielsweise die Beimischung von Ethanol erreicht werden. Der durchschnittliche CO₂-Ausstoß von Neufahrzeugen in Deutschland in g/km wird in Abbildung 1 dargestellt. Die drei Balken zeigen das Zielniveau, an deren linken Ende das Jahr der Zielsetzung und an deren rechten Ende das Jahr, ab der die Zielsetzung erreicht werden soll. Die Zielsetzung ist dann erreicht, wenn die Kurve der am Markt beobachtbaren CO₂ Emissionen den entsprechenden Balken erreicht bzw. schneidet.

Abbildung 1: Ziele im Zeitverlauf und die am Markt beobachtbaren CO₂ Emissionen



Quelle: BMU (2007): CO₂-Emissionen neuer Pkw in g/km 1995 – 2006, Henicke, P./Schallaböck, K. (2008)

Das Ziel, verbrauchsärmere Fahrzeuge zu entwickeln, ist nicht neu. Schon im Jahr 1999 hat die Volkswagen AG mit dem Lupo 3l gezeigt, dass technisch ein spritsparendes Fahrzeug möglich ist – der Verbrauch betrug 3l/100 km. Der dazu gehörige CO₂ Ausstoß ist 71 g/km. Das Modell konnte sich jedoch nicht durchsetzen und wurde zwischenzeitlich eingestellt. Mittlerweile hat VW sogar ein 1l-Fahrzeug entwickelt. Ab wann dieses Fahrzeug jedoch verkauft werden soll, ist noch nicht sicher.

Der Lupo 3l wurde von einem Diesel-Motor angetrieben. Inzwischen hat sich allerdings die Überzeugung durchgesetzt, dass die spritsparende Zukunft den Otto-Motoren gehört.³

Die Zielsetzungen wurden im Verlauf der Zeit weniger ambitioniert. Gleichzeitig verschafft der langfristig steigende Rohöl-Preis bessere Rahmenbedingungen für den Absatz von spritsparenden Fahrzeugen. In diesem Aufsatz wird eine Wirtschaftlichkeitsanalyse der Umrüstung des durchschnittlichen Flottenneufahrzeugs mit spritsparender Technologie durchgeführt. Maßgebend sind die beiden Grenzwerte 130 g CO₂/km (Ziel der EU für 2012) und die für das Drei-Liter-Auto. Verbunden mit einem Verbrauch von 3 l auf 100 km

³ Vgl. beispielsweise AT Kearney (2007): Powertrain of the future, Düsseldorf, S. 3.

ist ein Ausstoß von 71 g CO₂/km. Hier greift dann die Regel der EU, dass 10 g Einsparung durch gesonderte Maßnahmen (Leichtlauföl oder Leichtlaufreifen) erreicht werden können, sodass der zugehörige Ausstoß von CO₂ 10 g höher sein kann. Für das Drei-Liter-Auto bedeutet dies einen Ausstoß von 81 g/km.

Das durchschnittliche Neufahrzeug aus dem Jahr 2007 wird mit einem Bündel aus heute vorhandenen Technologien ausgestattet, das den CO₂-Ausstoß auf 130 g/km bzw. auf 81 g/km (Drei-Liter-Auto) reduziert. Für diese Technologiebündel wird eine gesamtwirtschaftliche Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt, es wird also überprüft, ob die Nutzen des Technologiebündels höher sind als die zugehörigen Kosten. Anschließend wird das Potenzial für ein solches Technologiebündel auf dem Markt abgeschätzt. Die Ergebnisse werden zusammengefasst und es wird eine mögliche Strategie aufgezeigt, um den Durchschnittsverbrauch der Neufahrzeuge nachhaltig zu senken.

Ein durchschnittliches Neufahrzeug mit Otto-Motor emittierte im Jahr 2007 insgesamt 168 g CO₂/km. Damit sind beispielsweise ein Golf 1,4 TSI mit 103 kW, ein Ford Focus 2,0 Turnier mit 107 kW oder ein Opel Vectra 1,6 TWINPORT mit 77 kW ein typisches Durchschnittsflottenfahrzeug.⁴

Die durchschnittliche jährliche Fahrleistung in Deutschland liegt pro Pkw bei 12.000 km.⁵ Die zusätzlichen Kosten werden gleichmäßig auf die Lebensdauer eines Fahrzeugs verteilt (Annuität). Vom Prinzip her werden die Zusatzkosten mit einem Ratenkredit finanziert. Die Laufzeit beträgt 12 Jahre, der angenommene Zinssatz liegt bei 3 %.

Da durch die Ausstattung mit dem Technologiebündel die Neuwagenflotte nur im Verbrauch verändert wird, ändert sich nichts an den Fahrzeugen. Diese sind genauso sicher und komfortabel wie deren verbrauchsreduzierte Versionen. Darüber hinaus ist es wahrscheinlich, dass auch andere Emissionen vermieden werden. Diese werden allerdings nicht berücksichtigt.

Tabelle 1: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsanalyse

Zielmarken		81 [g CO ₂ /km]
		130 [g CO ₂ /km]
Diskontfaktor	NKA	3 [%]
	BEA	8 [%]
durchschnittliche Lebensdauer		12 [Jahre]
durchschnittliche Fahrleistung		12.000 [km/Jahr]

⁴ Vgl. DAT (2008): Leitfaden zu Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emission 2008, Ostfildern.

⁵ Vgl. Prograns (2008): European Transport Report 2007/2008, Basel, S. 422ff.

Bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse auf Endkundenbasis werden die zusätzlichen Kosten ebenfalls über einen Ratenkredit finanziert. Dieser unterscheidet sich allerdings im höheren Zinssatz. Dieser wird für den Endkunden mit 8 % angenommen.

2. Betrachtete Technologien

Es gibt diverse Möglichkeiten, Sprit zu sparen. Generell gilt, dass jedes Kilogramm mehr Gewicht den Treibstoffverbrauch erhöht. Wird etwa das Fahrzeuggewicht um 100 kg reduziert, so kann der CO₂-Ausstoß um 5 g/km gesenkt werden.⁶

Für die wirtschaftliche Analyse können jedoch nur Technologien berücksichtigt werden, denen die zugehörigen Kosten zugewiesen werden können. Die Kosten fallen beim Fahrzeughersteller an und können so als Systemkosten bezeichnet werden.

Nachfolgend werden neun Technologien mit den entsprechenden Kosten vorgestellt, die auf einer Studie der Technischen Universität Wien basieren⁷. Jede Technologie wird kurz vorgestellt. Das Einsparpotenzial je Fahrzeug an CO₂ wird ebenso wie die zugehörigen Kosten genannt. Außerdem wird die Größe „Kosten pro eingespartem Prozentpunkt“ berechnet. Dies sind die Kosten für die Technologie geteilt durch die Einsparung in Prozent:

$$\text{Kosten pro eingespartem Prozentpunkt} = \frac{\text{Systemkosten}}{\text{CO}_2 - \text{Einsparung in Prozent}}$$

Für einige Technologien gibt es zwei Angaben für die Kosten und für die Einsparung. In diesem Fall werden zwei Kostensätze pro eingespartem Prozentpunkt CO₂ berechnet. Der Erste stellt den günstigsten Fall dar, hier werden die niedrigeren Kosten durch die höhere CO₂-Einsparung geteilt. Im zweiten Fall werden dementsprechend die höheren Kosten durch die niedrigere CO₂-Einsparung geteilt. Kostet eine Technologie zwischen 100 und 200 Euro und spart zwischen 10 % und 20 % ein, so sind die Kosten pro eingespartem Prozentpunkt im günstigen Fall 5 Euro pro Prozent (100 Euro / 20 %) und 20 Euro pro Prozentpunkt im ungünstigen Fall (200 Euro / 10 %).

- **Verbrennungs-Optimierung**

Das Prinzip des Direkteinspritzers wird auf den Otto-Motor angewendet. Die Kosten liegen bei 20 Euro je Fahrzeug. Die Verbrauchseinsparungen liegen zwischen 5 % und 7 %. Damit ergeben sich auch Kosten pro eingespartem Prozentpunkt in Höhe von 2,90 Euro (20 Euro / 7) und 4 Euro (20 Euro / 5).

⁶ Vgl. Dekra (2008): Informationen zum Thema CO₂, URL: <http://www.dekra-online.de/co2/sparen.html>, gesehen am 09.03.2009.

⁷ Vgl. Stegers, W. (2008): P.M.-CO₂-Rechner für das Auto: So berechnen Sie Ihren Kohlendioxid-Ausstoß, URL: http://www.pm-magazin.de/de/vermischtes/vm_id418.htm, gesehen am 11.06.2008.

- Downsizing
Der Hubraum der Motoren wird verkleinert, Zylinder werden eingespart. Im Gegenzug werden die Motoren aufgeladen. Der Verbrauch sinkt durch verringerte Reibungs- und Drosselverluste. Es entstehen Mehrkosten pro Fahrzeug zwischen 50 Euro und 200 Euro. Das Einsparpotenzial beträgt zwischen 10 % und 15 %. Damit liegen die Kosten pro eingespartem Prozentpunkt zwischen 3,33 Euro (50/15) und 20 Euro (200/10).
- Neue Brennverfahren (Dies/Otto)
Hier werden die Vorteile von Diesel- und Otto-Motoren kombiniert. Allerdings ist mit einer Markteinführung nicht vor 2010 zu rechnen. Die Kosten pro Fahrzeug liegen zwischen 200 Euro und 400 Euro, insgesamt können 25 % CO₂ vermieden werden. Pro eingespartem Prozentpunkt entstehen Kosten in Höhe von zwischen 8 Euro (200/25) und 16 Euro (400/25).
- Hybridtechnik
Ein Hybrid besteht aus mehreren Bestandteilen. Start-Stopp Automatik, Bremskraft-rückgewinnung und leistungsfähige Batterien sind nur einige Bausteine. Die Kosten pro Fahrzeug liegen zwischen 800 Euro und 10.000 Euro für sehr komplexe Systeme. Insgesamt kann der CO₂-Ausstoß um 25 % reduziert werden. Die Kosten pro eingespartem Prozentpunkt liegen zwischen 32 Euro (800/25) und 400 Euro (10.000/25).
- Aluminiumkarosserie
Durch den Einsatz von Aluminium lässt sich Gewicht sparen. Die Kosten liegen bei 400 Euro pro Fahrzeug, die CO₂-Emissionen können um 5 % bis 8 % verringert werden. Die Kosten pro eingespartem Prozentpunkt betragen zwischen 50 Euro (400/8) und 80 Euro (400/5).
- Leichtbau mit Kohlefaser
Auch hier wird Gewicht gespart. Die Kosten liegen mit 1.800 Euro je Fahrzeug allerdings wesentlich höher. Das Einsparpotenzial beträgt ebenfalls zwischen 5 % und 8 %. Damit liegen die Kosten pro eingespartem Prozentpunkt zwischen 225 Euro (1.800/8) und 360 Euro (1.800/5).
- Leichtlaufreifen
Diese Reifen haben einen geringeren Rollwiderstand, wodurch der Verbrauch sinkt. Die Ausstattung mit Leichtlaufreifen führen zu Mehrkosten pro Fahrzeug von 20 Euro, die Verbrauchsvorteile liegen zwischen 5 % und 7 %. Damit ergeben sich Kosten pro eingespartem Prozentpunkt in Höhe von zwischen 2,90 Euro und 4 Euro. Die Verwendung von Leichtlaufreifen fällt jedoch unter die Rubrik „andere Maßnahmen“ und kann soweit nicht weiter berücksichtigt werden.⁸

⁸ Vgl. Lahl, U. (2008): Die Verminderung der CO₂-Emissionen von Personenkraftwagen, o. O., S. 6.

- Leichtlauföl

Der Einsatz von Leichtlauföl verringert die Reibung in Motoren und Getriebe. Die Kosten liegen bei 30 Euro pro Fahrzeug, die Ersparnis zwischen 5 % und 7 %. Die Kosten pro eingespartem Prozentpunkt liegen damit zwischen 4,29 Euro und 6 Euro. Die Verwendung von Leichtlauföl fällt jedoch unter die Rubrik „andere Maßnahmen“ und kann soweit nicht weiter berücksichtigt werden.⁹

Von den gezeigten Technologien stehen die ersten sieben im direkten Zusammenhang mit dem Motor bzw. dem Antriebsstrang. Diese Technologien können verwendet werden, um das Fahrzeug sparsamer zu machen. Die beiden Technologien Leichtlaufreifen und Leichtlauföl gehören ebenso wie der Einsatz von Biokraftstoffen zu den „anderen Maßnahmen“ und werden daher nicht weiter betrachtet. Das Potenzial der anderen Maßnahmen wird nicht zur Bestimmung des CO₂-Ausstoßes verwendet.

Von den sieben Technologien, die verwendet werden können, sind heute sechs Technologien am Markt erhältlich. Lediglich die neuen Brennverfahren (DiesOtto) werden erst im Jahr 2010 Marktreife erhalten.

Die Maßnahmen mit dem höchsten Reduktionspotenzial sind der Hybridantrieb und neue Brennverfahren. Beide können den Ausstoß um 25 % senken. Der Hybridantrieb ist heute schon erhältlich, die neuen Brennverfahren kommen erst im Jahr 2010 auf dem Markt. Nachfolgend wird nun das durchschnittliche Neufahrzeug des Jahres 2007 betrachtet, das mit einem Hybridantrieb ausgestattet wird. Dadurch ändert sich der Ausstoß von 168 g CO₂/km auf 126 g CO₂/km (168 g CO₂/km * (1-25 %)). Damit kann der CO₂ Ausstoß mithilfe des Hybridantriebs um 42 g/km gemindert werden.

Tabelle 2: Zusammenfassung der betrachteten Technologien mit Reduktionspotenzial, Kosten je Fahrzeug und Kosten pro eingespartem Prozentpunkt CO₂

	verbleibender CO ₂ -Ausstoß		Kosten je Fahrzeug [Euro]		Kosten pro eingespartem Prozentpunkt CO ₂	
	best-case	worst-case	best-case	worst-case	best-case	worst-case
	Verbrennungs-Optimierung	5%	7%	20	20	2,90
Downsizing	10%	15%	50	200	3,33	20,00
Neue Brennverfahren	25%	25%	200	400	8,00	16,00
Hybridtechnik	25%	25%	800	10.000	32,00	400,00
Alukarosserie	5%	8%	400	400	50,00	80,00
Leichtbau mit Kohlefaser	5%	8%	1.800	1.800	225,00	360,00

⁹ ebenda

3. Bündelung der Technologien

Das durchschnittliche Neufahrzeug von 2007 mit Otto-Motor emittiert 168 g CO₂/km. Im Jahr 2012 soll der CO₂-Ausstoß eines Neufahrzeugs bei 130 g/km liegen. Dieses Ziel kann erreicht werden, indem jedes Neufahrzeug mit einem Hybridantrieb ausgestattet wird. Die Kosten dafür liegen zwischen 800 Euro und 10.000 Euro. Durch eine geschickte Bündelung verschiedener Einzeltechnologien ist es möglich, den Grenzwert von 130 g/km kosteneffizienter zu erreichen. Die Kenngröße Kosten pro eingespartem Prozentpunkt CO₂ gibt hierbei Auskunft. Je niedriger diese Kenngröße ist, desto effizienter ist die Technologie, die betrachtet wird. Beim Hybridantrieb liegt diese Kenngröße zwischen 32 Euro und 400 Euro (siehe auch Tabelle 2).

Werden verschiedene Technologien zu einem Bündel zusammengefasst, ändern sich die CO₂ Reduktionspotenziale und die zugehörigen Kosten. Es wird unterstellt, dass alle Maßnahmen unabhängig voneinander sind. Das bedeutet für die Kostenseite, dass die Gesamtkosten des Bündels die Summe der Einzelkosten darstellen. Auf der Nutzenseite wird davon ausgegangen, dass jede Einzeltechnologie ihr prozentuales Reduktionspotenzial auch im Bündel realisieren kann. Dies soll in einem Beispiel erläutert werden. Die beiden Technologien Downsizing und Aluminiumkarosserie werden in einem Bündel zusammengefasst. Die Mehrkosten pro Fahrzeug betragen bei Downsizing zwischen 50 Euro und 200 Euro, bei der Aluminiumkarosserie 400 Euro je Fahrzeug. Damit liegen die Kosten für das Bündel zwischen 450 Euro (50 + 400) und 600 Euro (200 + 400). Durch Downsizing kann der CO₂-Ausstoß zwischen 10 % und 15 % vermindert werden, die Aluminiumkarosserie reduziert den Ausstoß um 5 % bis 8 %. Bei Downsizing verbleiben also zwischen 85 % (100 % - 15 %) und 90 % (100 % - 10 %) der CO₂-Emissionen, bei der Aluminiumkarosserie zwischen 92 % und 95 %. Werden beide Technologien zu einem Bündel zusammengefasst, verbleibt ein CO₂-Ausstoß zwischen 78,2 % (85 % * 92 %) im best-case und 85,5 % (90 % * 95 %) im worst-case.

Es können also für jedes Bündel zwei Kosten und zwei CO₂-Reduktionspotenziale berechnet werden. Insgesamt werden je zwei Szenarien gebildet, wobei das erste Szenario „best-case“ und das zweite Szenario „worst-case“ genannt werden:

- Szenario best-case

In diesem Szenario gelten die niedrigeren Kosten und das höhere Reduktionspotenzial:

$$\text{Kosten des Bündels}_{\text{best-case}} = \sum_{i=1}^n \min_i \text{Kosten}_i, \text{ mit } i: \text{ Einzelsystem } (i = 1 \dots n) \\ \text{und}$$

$$\text{Einsparpotential des Bündels}_{\text{best-case}} =$$

$$= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \max_i \text{Einsparpotential}_i), \text{ mit } i: \text{ Einzelsystem } (i = 1 \dots n).$$

- Szenario worst-case

In diesem Szenario gelten die höheren Kosten und das niedrigere Reduktionspotenzial:

$$\begin{aligned} \text{Kosten des Bündels}_{\text{worst-case}} &= \sum_{i=1}^n \max_i \text{Kosten}_i, \text{ mit } i: \text{ Einzelsystem } (i = 1 \dots n) \\ &\text{und} \\ \text{Einsparpotential des Bündels}_{\text{worst-case}} &= \\ &= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \min_i \text{Einsparpotential}_i), \text{ mit } i: \text{ Einzelsystem } (i = 1 \dots n). \end{aligned}$$

Das Entscheidungskriterium, ob eine Technologie in ein Bündel aufgenommen wird, ist die Kenngröße Kosten pro eingespartem Prozentpunkt. Zuerst werden diejenigen Technologien zu einem Bündel zusammengefasst, die bei der betrachteten Kenngröße am niedrigsten liegen. Anschließend werden so viele Technologien in das Bündel integriert, bis die gewünschte Reduktion an CO₂ erreicht wird.

Die Zielmarken leiten sich zum einen aus dem Plan der EU ab, dass im Jahr 2012 ein Neufahrzeug maximal 130 g CO₂/km emittieren soll und aus dem Drei-Liter-Auto. Das Drei-Liter-Auto darf 81 g CO₂/km ausstoßen. Zusätzlich können durch andere Maßnahmen wie Biokraftstoffe, Leichtlauföl oder Leichtlaufreifen weitere 10 g CO₂/km eingespart werden. Damit werden dann die Grenzwerte 120 g CO₂/km bzw. 71 g CO₂/km erreicht. Zur Erinnerung: verbunden mit dem Verbrauch von 3 l Benzin ist ein CO₂-Ausstoß von 71 g CO₂/km. Dadurch ist sicher gestellt, dass ein Fahrzeug, das durch Maßnahmen am Motor bzw. am Antriebsstrang einen CO₂-Ausstoß von 81 g/km aufweist, die Anforderungen an ein Drei-Liter-Auto erfüllt, da mit anderen Maßnahmen weitere 10 g CO₂/km zusätzlich eingespart werden dürfen.

Bündel aus allen heute verfügbaren Technologien

Als erstes soll untersucht werden, welche CO₂-Einsparung mit der heute verfügbaren Technik erreicht werden kann. Dazu werden alle Technologien zu einem Bündel zusammengefasst: Verbrennungs-Optimierung, Downsizing, Hybridtechnik, Aluminiumkarosserie und Leichtbau mit Kohlefaser. Die gesamten Kosten für das Bündel sind die Summe über alle Kosten der Einzeltechnologien. Dabei wird unterschieden zwischen dem best-case, also die günstigeren Kosten je Technologie, und dem worst-case, also den höheren Kosten je Technologie. Im best-case liegen die Kosten für das Bündel je Fahrzeug bei 3.070 Euro, im worst-case bei 12.240 Euro je Fahrzeug. Auch bei den CO₂-Einsparungen gibt es wieder die Unterscheidung in best-case und in worst-case. Der best-case bedeutet hier die höhere CO₂-Einsparung, der worst-case die niedrigere. Es wird für das Bündel die Reduktion berechnet. Dies erfolgt im multiplikativen Verfahren:

$$\begin{aligned} \text{Einsparpotential des Bündels} &= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \text{Einsparpotential}_i), \\ &\text{wobei } i \text{ die verwendete Technologie darstellt } (i = 1 \dots n) \end{aligned}$$

Für jede Technologie wird der verbleibende CO₂-Ausstoß in Prozent berechnet. Dies erfolgt, indem von 100 % die CO₂-Einsparung der Technologie abgezogen wird. Anschließend wird der verbleibende CO₂-Ausstoß aller verwendeten Einzeltechnologien miteinander multipliziert. Das Ergebnis ist der verbleibende CO₂-Ausstoß des Bündels. Wird dieser von 1 abgezogen, erhält man das CO₂-Einsparpotential des Bündels ausgedrückt in Prozent. Im best-case kann der CO₂-Ausstoß halbiert werden, im worst-case um 42 % gesenkt werden. Ausgehend von 168 g CO₂/km (das durchschnittliche Neufahrzeug des Jahres 2007) kann so im best-case ein CO₂-Ausstoß von 84 g/km erreicht werden (168 * 50 %). Im worst-case liegt der CO₂-Ausstoß bei 97 g/km (168 * (1 - 42 %)). Ein solches Fahrzeug würde dann zwischen 3,5 l / 100 km (best-case) und 4,1 l / 100 km verbrauchen. Als letzte Information wird die Kenngröße Kosten pro eingespartem Prozentpunkt berechnet. Dieser liegt im best-case bei 61,40 Euro (3.070 / 50) und bei 295,71 Euro im worst-case (12.420 / 42).

Mit den heute verfügbaren Technologien ist es demnach kein Problem, den Grenzwert von 130 g CO₂/km zu unterbieten. Basis für ein solches Fahrzeug ist das durchschnittliche Neufahrzeug von 2007, das mit einem Technologiebündel ausgestattet wurde. Wichtig hierbei ist, dass weder bei den Fahrleistungen, noch bei der Größe oder beim Komfort Einschnitte gemacht werden müssen.

Der zweite betrachtete Grenzwert von 81 g CO₂/km, der aus dem Drei-Liter-Auto resultiert, kann nicht erreicht werden. Dieses Ziel wird mit 84 g knapp verfehlt. Allerdings gibt es eine Möglichkeit, eine Kostenabschätzung für ein System zu machen, mit dem ein Ausstoß von 81 g CO₂/km erreicht werden kann.

Tabelle 3: Reduktionspotenzial des Maßnahmebündels und die zugehörigen Kosten

Maßnahme	verbleibender CO ₂ -Ausstoß		Kosten je Fahrzeug [Euro]	
	best-case	worst-case	best-case	worst-case
Verbrennungs-Optimierung	93%	95%	20	20
Downsizing	85%	90%	50	200
Hybridtechnik	75%	75%	800	10.000
Alukarosserie	92%	95%	400	400
Leichtbau mit Kohlefaser	92%	95%	1.800	1.800
Reduktion	50%	42%		
Kosten			3.070	12.240

Quelle: Stegers, W. (2008), eigene Berechnungen

Alternatives Verfahren zur Ermittlung der Bündelkosten für den Grenzwert von 81 g CO₂/km mit heute verfügbarer Technologie

Mit den heute zur Verfügung stehenden Technologien kann, basierend auf dem durchschnittlichen Neufahrzeug des Jahres 2007, kein Drei-Liter-Auto technisch realisiert werden. Im best-case kann ein CO₂-Ausstoß von 84 g/km erreicht werden, im worst-case von 97 g/km. Das Drei-Liter-Auto darf allerdings nicht mehr als 81 g CO₂/km emittieren. Zusätzlich zu den heute verfügbaren Technologien stehen im Jahr 2010 neue Brennverfahren (DiesOtto) zur Verfügung, die den CO₂-Ausstoß nochmals um 25 % reduzieren können. Damit kann der Grenzwert von 81 g deutlich unterboten werden.

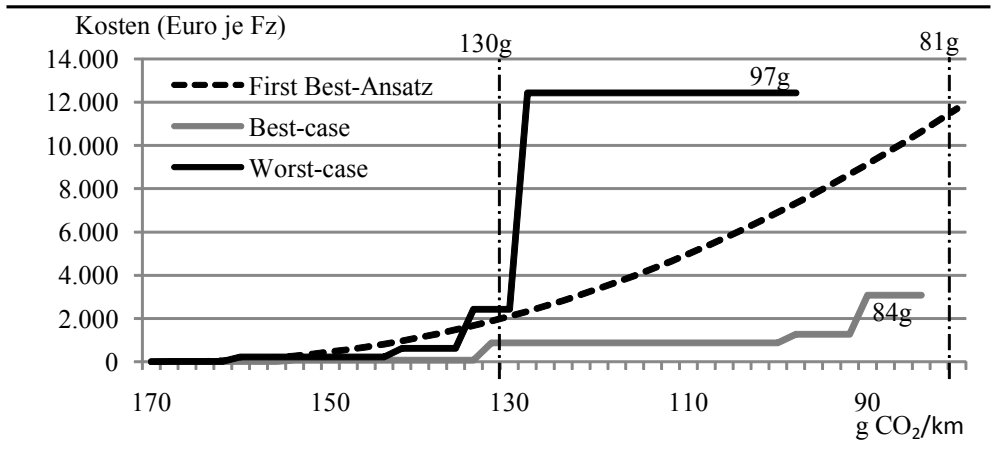
Um die Analyse für einen Zeitpunkt vor 2010 durchführen zu können, muss daher ein alternativer Weg beschritten werden. Dazu wird der First Best-Ansatz genauer betrachtet¹⁰. Für diesen Ansatz wurden die Einspar-Kosten in Euro für die Industrie der CO₂-Einsparung in Gramm gegenübergestellt. Insgesamt existieren hierfür vier Wertepaare. Mit diesen vier Werten wird hier eine exponentielle Regressionsfunktion errechnet. Dabei wird berücksichtigt, dass die Kosten überproportional ansteigen werden, je mehr Gramm CO₂ eingespart werden. Diese Funktion kann nur als Näherung dienen, die Tendenz sollte jedoch stimmen:

$$\text{Kosten}(g) = 1,218 * g^{2,048}, \text{ wobei } g \text{ die eingesparten Gramm CO}_2 \text{ sind.}$$

Abbildung 2 zeigt die Kosten je Fahrzeug, die aufgewendet werden müssen, um den gewünschte CO₂-Ausstoß zu erreichen. Die gestrichelte Kurve folgt dem exponentiellen Regressionsansatz (First Best-Ansatz). Die graue Kurve beschreibt das Szenario best-case. Sie endet bei 84 g CO₂/km. Die schwarze Kurve beschreibt das Szenario worst-case und geht bis 97 g CO₂/km. Es ist deutlich zu erkennen, dass die gestrichelte Kurve für höhere CO₂-Einsparungen zwischen den beiden anderen liegt. Von daher eignet sich die gestrichelte Kurve als Schätzer. Diese Kurve kann beliebig fortgeschrieben werden.

Zusätzlich sind zwei gestrichelte vertikal verlaufende Linien in der Abbildung. Diese markieren die beiden Grenzwerte 130 g CO₂/km und 81 g CO₂/km. Den Grenzwert von 130 g CO₂/km erreichen alle Kurven, wobei der First Best-Ansatz und der worst-case nahezu die gleichen Kosten je Fahrzeug liefern. Der best-case liefert Kosten je Fahrzeug in Höhe von 870 Euro als Ergebnis, der First Best-Ansatz kommt auf 2.094 Euro je Fahrzeug und der worst-case auf 2.420 Euro je Fahrzeug. Beim zweiten Grenzwert, 81 g CO₂/km liefert nur noch der First Best-Ansatz ein Ergebnis. Um einen CO₂-Ausstoß von 81 g/km zu erreichen, müssen je Fahrzeug Kosten in Höhe von rund 11.400 Euro aufgewendet werden.

¹⁰ Vgl. Dudenhöffer, F. (2007): First Best-Ansatz. In: Internationales Verkehrswesen 5/2007, S. 200.

Abbildung 2: CO₂-Ausstoß und die zugehörigen Kosten (Basis: 168 g/km)

Quelle: Dudenhöffer, F. (2007), Stegers, W. (2008), eigene Berechnungen

4. Nutzen-Kosten-Analyse

Bei der Nutzen-Kosten-Analyse werden den gesamtwirtschaftlichen Nutzen die zugehörigen Ressourcenverbräuche gegenübergestellt. Sind die Nutzen höher als der Ressourcenverbrauch, so liegt ein positives Nutzen-Kosten-Verhältnis vor und die betrachtete Technologie ist gesamtwirtschaftlich sinnvoll.

Die Nutzen einer CO₂-Reduktion sind zum einen der verminderte Ausstoß von CO₂ und zum anderen die Einsparungen durch den reduzierten Treibstoffverbrauch. Da sich bei den Fahrzeugen weder bei der Sicherheit noch im Komfort etwas ändert, können diese beiden Bereiche vernachlässigt werden. Die durchschnittliche Fahrleistung ist unabhängig vom Einsatz der Technologien. Eine mögliche Änderung bei der Emission von anderen klima- und gesundheitsschädlichen Gasen wird nicht berücksichtigt.

Die Bewertungssätze für eine Tonne CO₂ und einen Liter Benzin sind unabhängig vom zu erreichenden CO₂-Zielwert. Für eine Tonne CO₂ werden 70 Euro veranschlagt.¹¹ Da das Jahr 2007 die Basis für die Schätzung ist, wird der Wert mit 2 % Inflation in das Jahr 2008 fortgeschrieben: 71,40 Euro. Ein Liter Benzin kostet netto in Deutschland knapp 64 Cent.¹² Die Nutzen-Kosten-Analyse wird für insgesamt drei Fälle durchgeführt:

¹¹ Vgl. UBA (2007): Climate Change – Klimaschutz in Deutschland – 40 %-Senkung der CO₂-Emissionen bis 2020 gegenüber 1990, Berlin, S. 49.

¹² Vgl. Aral (2008): Netto-Kraftstoffpreise Stand 12.06.2008, URL: <http://www.aral.de/toolserver/retailleurope/netSellingPrice.do?categoryId=4000529&contentId=58635>, gesehen am 12.06.2008

- Reduzierung des CO₂-Ausstoßes auf 81 g/km (Drei-Liter-Auto) mit heute vorhandener Technologie,
- Reduzierung des CO₂-Ausstoßes auf 130 g/km mit heute vorhandener Technologie und
- Reduzierung des CO₂-Ausstoßes auf 81 g/km (Drei-Liter-Auto) mit Technologie des Jahres 2010.

Zusammenhang zwischen Bündel und NKA

Die Nutzen-Kosten-Analyse wird in diesem Fall nicht für eine einzelne Technologie durchgeführt, sondern für ein Bündel aus verschiedenen Technologien. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass die Nutzen (CO₂-Einsparung) nicht addiert werden können. Werden zwei Technologien kombiniert, die beide 50 % CO₂ einsparen, bedeutet das nicht, dass das Bündel aus beiden Technologien 100 % CO₂ einspart. Es wird davon ausgegangen, dass die Nutzen unabhängig voneinander sind. Das bedeutet für das Bündel, dass jede Technologie ihr Einsparpotenzial unabhängig von den anderen Technologien realisieren kann. Für das Beispiel Bündelung von zwei Technologien, die jeweils 50 % CO₂ einsparen können, bedeutet dies, dass das erste System den Verbrauch von 100 Prozentpunkte auf 50 Prozentpunkte reduzieren kann (100 % * 50 %). Das zweite System kann den CO₂ Ausstoß ebenfalls halbieren. Allerdings ist die neue Bezugsgröße nicht mehr 100 Prozentpunkte, sondern nun nur noch 50 Prozentpunkte. Die zweite Technologie kann demnach den CO₂-Ausstoß um weitere 25 % Prozentpunkte (50 Prozentpunkte * 50 %) reduzieren. Damit hat das Bündel eine CO₂-Einsparung von 75 % (100 Prozentpunkte – 100 Prozentpunkte * 50 % * 50 %). Formal kann dies wie folgt dargestellt werden:

$$\text{Einsparpotential des Bündels} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \text{Einsparpotential}_i),$$

wobei i die einzelne Technologie bezeichnet ($i=1\dots n$).

Auch auf der Kostenseite wird davon ausgegangen, dass die Kosten der einzelnen Technologien unabhängig voneinander sind. Das bedeutet, dass keine Technologien auf dieselben Komponenten zurückgreifen können. Oder in anderen Worten, wird das Bündel um eine zusätzliche Technologie erweitert, so verteuert sich das Bündel um die Kosten der zusätzlichen Technologie. Die zusätzlichen Kosten sind genau so hoch, als ob die zusätzliche Technologie als einzige Technologie in das Fahrzeug eingebaut worden wäre. Formal stellen damit die Kosten für das Bündel die Summe aller Kosten der gebündelten Technologien dar:

$$\text{Kosten des Bündels} = \sum_{i=1}^n \text{Kosten}_i,$$

wobei i die einzelne Technologie bezeichnet ($i=1\dots n$).

Die Kosten müssen noch auf ein Jahr herunter gebrochen (annuisiert) werden. Dazu wird die Annuitätsrate berechnet. Diese ist vergleichbar mit einem Ratenkredit. Um das Bündel zu bezahlen, wird ein Ratenkredit aufgenommen. Die Laufzeit entspricht der durchschnittlichen Lebensdauer eines Pkw in Deutschland (12 Jahre). Der Kredit wird dann in zwölf

gleich hohen Raten zurückbezahlt. Die Annuitätsrate gibt den Anteil der Kreditsumme (Kosten des Bündels) an, der jährlich zurückbezahlt werden muss. Der in Deutschland gebräuchliche Diskontfaktor ist 3 %. Damit kann die Annuitätsrate berechnet werden:

$$\text{Annuitätsrate}(3\%, 12 \text{ Jahre}) = \frac{0,03 * (1 + 0,03)^{12}}{(1 + 0,03)^{12} - 1} = 0,10046$$

Die Nutzen bestehen aus den beiden Kategorien Einsparung an CO₂ und an Treibstoff. Die Nutzen werden für ein Jahr und pro Fahrzeug berechnet. Die jährliche Fahrleistung beträgt 12.000 km. Für die beiden Kategorien CO₂-Einsparungen und Treibstoffeinsparungen kann die gleiche Formel verwendet werden, da es einen festen Zusammenhang zwischen Treibstoffverbrauch und CO₂-Ausstoß gibt. Mit den gemachten Annahmen über die Kostensätze für eine Tonne CO₂ (71,40 Euro je Tonne CO₂) und einen Liter Benzin (0,64 Euro), sowie über den CO₂-Ausstoß des Referenzfahrzeugs (16,8 kg CO₂ / 100 km) und des zugehörigen Treibstoffverbrauchs (7,1 l / 100 km), kann das Nutzen-Kosten-Verhältnis als Formel dargestellt werden:

$$NKV = \frac{\text{Nutzen des Bündels}}{\text{Kosten des Bündels}} =$$

$$= \frac{(1 - \prod_{i=1}^n (1 - EP_i)) * \frac{12.000 \text{ km}}{\text{Jahr}} * \left(\frac{16,8 \text{ kg CO}_2}{100 \text{ km}} * \frac{71,40 \text{ Euro}}{1.000 \text{ kg CO}_2} + \frac{7,1 \text{ l}}{100 \text{ km}} * \frac{0,64 \text{ Euro}}{1 \text{ l}} \right)}{\frac{0,10046}{\text{Jahr}} * \sum_{i=1}^n \text{Kosten}_i}$$

mit: EP: Einsparpotenzial und i: Technologie (i=1...n).

Die Bedeutung der Kenngröße Kosten je eingespartem Gramm CO₂

Neben dem Nutzen-Kosten-Verhältnis wird noch eine andere Kenngröße angegeben: die Kosten je vermiedenem Gramm CO₂. Diese ist einerseits für die Automobilhersteller, andererseits für die Politik relevant. Im Dezember 2008 hat die Europäische Kommission sich auf europäische Klimaschutzauflagen geeinigt. Danach soll ein durchschnittliches Neufahrzeug eines Herstellers maximal 130 g CO₂/km ausstoßen. Allerdings gilt der Grenzwert im Jahr 2012 noch nicht für alle Neufahrzeuge. In 2012 müssen 65 % aller Neufahrzeuge den Grenzwert erfüllen, im Jahr 2013 75 %, im Jahr 2014 80 % und ab dem Jahr 2015 alle Neufahrzeuge. Um den Herstellern noch weiter entgegen zu kommen, können die Hersteller bestimmen, welche Fahrzeuge gewertet werden sollen und welche nicht. Darüber hinaus können die Hersteller durch den Einsatz von innovativen Technologien einen weiteren Bonus erhalten. Fahrzeuge, die weniger als 50 g CO₂/km ausstoßen, dürfen dreifach gewertet werden. Die EU erhofft sich durch diese Regelungen, den CO₂-Ausstoß für ein durchschnittliches Neufahrzeug auf 140 g CO₂/km im Jahr 2015 zu reduzieren. Damit

würde ein Wert erreicht werden, der schon gemäß einer freiwilligen Vereinbarung mit der EU bereits 2008/09 erreicht werden sollte.¹³

Sollte ein Hersteller die Regelungen nicht einhalten können, so muss er Strafzahlungen entrichten. Die Strafzahlung wird für jedes Gramm CO₂ über dem Durchschnittsgrenzwert des durchschnittlichen Neufahrzeugs der Herstellerflotte fällig. Diese Strafe muss pro verkauftem Auto bezahlt werden. Im Zeitraum 2012 bis 2018 gilt eine gestaffelte Strafe. Für das erste Gramm müssen 5 Euro bezahlt werden, 15 Euro für das zweite Gramm und 25 Euro für das dritte Gramm. Ab dem vierten Gramm sind 45 Euro fällig. Liegt nun also im Jahr 2015 der durchschnittliche CO₂-Ausstoß einer Neuwagenflotte des Herstellers x bei 134 g, so muss er für 4 g Strafe zahlen. Die Strafzahlung pro verkauftem Fahrzeug summiert sich auf 90 Euro (5 + 15 + 25 + 45). Verkauft der Hersteller x insgesamt 1 Mio. Fahrzeuge, so muss er 90 Mio. Euro Strafe zahlen. Ab dem Jahr 2018 müssen ab dem ersten Gramm 45 Euro Strafe bezahlt werden. Der Hersteller x müsste in diesem Fall 180 Mio. Euro Strafe zahlen (45 * 4 * 1 Mio.).¹⁴

Mit der Kenngröße Kosten je eingespartem Gramm CO₂ kann demnach überprüft werden, ob es für den Hersteller günstiger ist, die Technologie in das Fahrzeug einzubauen oder es günstiger ist, eine Strafzahlung in Kauf zu nehmen.

4.1 Nutzen-Kosten-Analyse des Drei-Liter-Autos mit heute vorhandener Technologie

Der Nutzen aus dem verminderten CO₂-Ausstoß lässt sich wie folgt berechnen: Das Dreiliter-Auto hat einen CO₂-Ausstoß von 81 g/km. Das durchschnittliche Neufahrzeug des Jahres 2007 hat einen Ausstoß von 168 g/km. Die Differenz beträgt also 87 g/km. Bei einer jährlichen Fahrleistung von 12.000 km werden damit pro Jahr und Fahrzeug 1,044 Tonnen CO₂ vermieden (12.000 * 87 / 1.000.000).

Der durchschnittliche Verbrauch beim Referenzfahrzeug beträgt 7,1 l pro 100 km. Beim Drei-Liter-Auto liegt der Verbrauch bei 3,4 l pro 100 km. Die Differenz ist insgesamt 3,7 l / 100 km. Bei einer jährlichen Fahrleistung von 12.000 km werden somit 444 l Benzin Jahr für Jahr pro Fahrzeug eingespart (12.000 / 100 * 3,7).

Damit ergeben sich Nutzen je Fahrzeug aus der CO₂-Vermeidung in Höhe von 74,33 Euro (1,044 * 71,40) und Nutzen aus eingesparten Treibstoffen in Höhe von 284,16 Euro (444 * 0,64). Der Gesamtnutzen ergibt 358,49 Euro je Fahrzeug. Der Anteil des Nutzens aus CO₂-Vermeidung am Gesamtnutzen beträgt 20,73 % (74,33 / 358,49), der Anteil des Nutzens aus eingespartem Treibstoff beträgt 79,27 %.

Um die Kosten zu bestimmen, stehen die drei Ansätze First Best-Ansatz, best-case und worst-case zur Verfügung. Mit der heute verfügbaren Technologie kann eine Reduktion um

¹³ Vgl. Umweltbundesamt Österreich (2008): Neue CO₂-Grenzwert bei Pkw, Wien.

¹⁴ Vgl. ebenda

87 g CO₂/km weder mit dem best-case noch mit dem worst-case Ansatz erreicht werden (siehe Abbildung 2). Daher scheiden diese beiden Ansätze zur Kostenberechnung aus. Der First Best-Ansatz basiert auf einer Hochrechnung. Die Kosten, die sich für eine Reduktion um 87 g CO₂/km ergeben, liegen nach dem First-best-Ansatz bei 11.400 Euro je Fahrzeug (siehe auch Abbildung 2). Werden diese Kosten auf ein Jahr annuisiert, ergeben sich jährliche Kosten in Höhe von 1.145 Euro je Fahrzeug.

Tabelle 4: Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses für ein Drei-Liter-Auto mit heute verfügbaren Technologien

Basis			
CO ₂ -Ausstoß [g/km]	168		
Treibstoffverbrauch [l/100km]	7,1		
Fahrleistung pro Jahr [km]	12.000		
Zielwerte			
CO ₂ -Ausstoß [g/km]	81		
Treibstoffverbrauch [l/100km]	3,4		
Nutzen		pro Jahr	
Differenz CO ₂ -Ausstoß [g/km]	87	1,04	[t]
		x	
Kostensatz je Tonne CO ₂		71,40	[Euro/t]
		+	
Differenz Treibstoffverbrauch [l/100km]	3,7	444,00	[l]
		x	
Kostensatz je Liter Benzin		0,64	[Euro/l]
		358,70	[Euro]
Kosten			
First best-Ansatz		11.400,00	[Euro]
		x	
Annuität		0,10046	
		1.145,24	[Euro]
Nutzen pro Jahr		358,70	[Euro]
Kosten pro Jahr		1.145,24	[Euro]
Nutzen-Kosten-Verhältnis		0,3	

Damit sind die Kosten dreimal so hoch wie die Nutzen, das Nutzen-Kosten Verhältnis liegt bei 0,3. Das Drei-Liter-Auto lohnt sich daher nicht aus gesamtwirtschaftlicher Sicht. Es wird nun noch berechnet, welcher Kostensatz für eine Tonne CO₂ gelten müsste, wenn das Nutzen-Kosten-Verhältnis 1 sein soll. Dies ist dann der Fall, wenn die Nutzen und die Kosten gleich hoch sind, also 1.145,24 Euro pro Jahr. Der Nutzen aus Treibstoffersparnissen liegt bei 284,16 Euro. Demnach müsste der Nutzen aus CO₂-Ersparnis 861,08 Euro

betragen (1.145,24 – 284,16). Insgesamt werden 1,04 t CO₂ vermieden. Das bedeutet, dass je Tonne CO₂ ein Wertansatz von 824,79 Euro gelten müsste (861,08 / 1,044). Dies ist jedoch unrealistisch.

Als letzte Größe werden die Kosten je eingespartem Gramm CO₂ berechnet. Dazu werden die eingesparten Treibstoffkosten vernachlässigt. Die Kosten je eingespartem Gramm CO₂ liegen bei 131 Euro (11.400 / 87) und damit deutlich über der maximalen vorgeschlagenen Pönale von 45 Euro je Gramm ab dem Jahr 2012.

Mit der heute verfügbaren Technik kann demnach kein volkswirtschaftlich sinnvolles Drei-Liter-Auto technisch realisiert werden, das auf dem durchschnittlichen Neufahrzeug des Jahres 2007 basiert.

4.2 Nutzen-Kosten-Analyse für einen CO₂-Ausstoß von 130 g/km mit heute vorhandener Technologie

Im Jahr 2012 soll ein durchschnittliches Neufahrzeug nur noch 130 g CO₂/km emittieren. Gegenüber dem durchschnittlichen Neufahrzeug des Jahres 2007 bedeutet dies eine Einsparung von 38 g (168-130) oder von 23 %.

Wie im Kapitel 3 gezeigt wurde, kann mit den heute verfügbaren Technologien der Zielwert von 130 g CO₂/km erreicht werden. Dazu werden zwei Bündel konstruiert, die aus heute verfügbaren Technologien bestehen (siehe Kapitel 2). Die Bündel werden folgendermaßen konstruiert:

- Die Technologien werden in eine Reihenfolge gebracht. Hierfür wird die Kenngröße Kosten je vermiedenem Gramm CO₂ benutzt. Die Technologie mit dem niedrigsten Kostensatz wird zuerst in das Bündel gepackt, das mit dem höchsten Kostensatz zuletzt.
- Es werden solange Technologien in das Bündel gepackt, bis die erforderliche CO₂-Reduktion erreicht wird.
- Die Kosten setzen sich zusammen aus den Kosten der einzelnen Technologien des Bündels.
- Es gibt zwei Bündel: das erste gilt für den best-case. In diesem werden die höheren Einsparpotenziale und die niedrigeren Systemkosten betrachtet. Das zweite Bündel beschreibt den worst-case, also die niedrigeren Einsparpotenziale bei den höheren Systemkosten.

Tabelle 5 zeigt die Bündelzusammensetzung für die beiden Bündel best-case und worst-case. In der ersten Spalte sind die in Frage kommenden Technologien aufgezählt. In der zweiten und dritten Spalte wird der verbleibende CO₂-Ausstoß pro Technologie für den best-case (Spalte zwei) und für den worst-case (Spalte drei) dargestellt. Der verbleibende CO₂-Ausstoß errechnet sich, indem die prozentuale Einsparung von 100 % abgezogen wird. Werte, die in Klammern stehen, bedeuten, dass die entsprechende Technologie nicht für

dieses Bündel verwendet wird. So werden die beiden Technologien Aluminiumkarosserie und Leichtbau mit Kohlefaser nicht im best-case verwendet, im worst-case wird der Hybridantrieb nicht benutzt. Die Spalten vier und fünf zeigen die Systemkosten pro Fahrzeug für die verschiedenen Technologien an. Die Klammern zeigen auch hier an, welche Technologien nicht im Bündel enthalten sind. Spalte vier betrachtet die Kosten für den best-case, Spalte fünf für den worst-case. Die erste fett gedruckte Zeile „Reduktion“ zeigt an, um wie viel Prozent der CO₂-Ausstoß mithilfe des Bündels aus den gewählten Technologien reduziert werden kann – gewählt sind alle Technologien, deren Werte in der entsprechenden Spalte nicht in Klammern stehen. Im best-case kann der CO₂-Ausstoß um 41 % gesenkt werden, im worst-case um 23 %. In der letzten Zeile stehen die Kosten für die beiden Bündel best-case und worst-case. Das best-case Bündel hat Systemkosten in Höhe von 870 Euro. Im Bündel enthalten sind die Verbrennungs-Optimierung, Downsizing (kleinere Motoren) und die Hybridtechnik. Das worst-case Bündel kostet 2.420 Euro. Hier sind alle Technologien außer der Hybridtechnik enthalten.

Tabelle 5: Verwendete Technologien für den Zielwert 130 g/km

Maßnahme	verbleibender CO ₂ -Ausstoß		Kosten je Fahrzeug [Euro]	
	best-case	worst-case	best-case	worst-case
Verbrennungs-Optimierung	93%	95%	20	20
Downsizing	85%	90%	50	200
Hybridtechnik	75%	(75%)	800	(10.000)
Alukarosserie	(92%)	95%	(400)	400
Leichtbau mit Kohlefaser	(92%)	95%	(1.800)	1.800
Reduktion	41%	23%		
Kosten			870	2.420

Quelle: Stegers, W. (2008), eigene Berechnungen

Im best-case Szenario werden durch den Einsatz der Technologie Einsparungen erreicht, mit denen ein Fahrzeug einen CO₂-Ausstoß unter 130 g CO₂/km erreicht. Ein Fahrzeug, das mittels der best-case Technologie auf 130 g CO₂/km gebracht werden kann, erreicht mit derselben Technik eine Reduktion auf 100 g CO₂/km. Somit können 68 g CO₂/km eingespart werden (168 * 41%). Bei einer jährlichen Fahrleistung von 12.000 km entspricht dies 0,82 t CO₂ (12.000 * 68 / 1.000.000) pro Fahrzeug. Damit sind Nutzen in Höhe von 58,26 Euro pro Fahrzeug verbunden (0,82 * 71,40).

Ein Ausstoß von 100 g CO₂/km bedeutet einen Verbrauch in Höhe von 4,2 l Benzin/100 km. Der Verbrauch kann also um 2,9 l/100 km reduziert werden. Pro Jahr können so 344 l Benzin eingespart werden (2,9 / 100 * 12.000). Der monetarisierte Nutzen beträgt pro Fahrzeug 220,16 Euro (344 * 0,64).

Der Gesamtnutzen im best-case Szenario ergibt 278,42 Euro jährlich (58,26 + 220,16).

Im best-case Szenario werden die Technologien Verbrennungs-Optimierung, Downsizing und Hybridtechnik verwendet. Die zugehörigen annuisierten Kosten liegen bei 87,40 Euro ($870 * 0,10046$).

Tabelle 6: Nutzen-Kosten-Analyse für einen CO₂-Ausstoß von 130 g/km mit dem Technologie-Bündel best-case

Basis			
CO ₂ -Ausstoß [g/km]	168		
Treibstoffverbrauch [l/100km]	7,1		
Fahrleistung pro Jahr [km]	12.000		
Zielwerte			erreicht
eingesparter CO ₂ -Ausstoß [g/km]	130		100
eingesparter Treibstoffverbrauch [l/100km]	5,5		4,2
Nutzen		pro Jahr	
Differenz CO ₂ -Ausstoß [g/km]	68	0,82	[t]
		x	
Kostensatz je Tonne CO ₂		71,40	[Euro/t]
		+	
Differenz Treibstoffverbrauch [l/100km]	2,9	344,00	[l]
		x	
Kostensatz je Liter Benzin		0,64	[Euro/l]
		278,42	[Euro]
Kosten			
best-case		870,00	[Euro]
		x	
Annuität		0,10046	
		87,40	[Euro]
Nutzen pro Jahr		278,42	[Euro]
Kosten pro Jahr		87,40	[Euro]
Nutzen-Kosten-Verhältnis		3,2	

Damit ergibt sich ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von 3,2 ($278,42 / 87,40$). Damit ist das best-case Bündel gesamtwirtschaftlich lohnenswert. Für jeden Euro, der dafür ausgegeben wird, erhält die Gesellschaft 3,20 Euro zurück. Die Kosten je vermiedenen Gramm CO₂ liegen mit 12,79 Euro ($870 / 68$) deutlich unter der Strafzahlung ab dem Jahr 2012.

Als zweites wird das worst-case Bündel betrachtet. Hier kann eine CO₂-Reduktion um 23 % realisiert werden. Das bedeutet, dass das Fahrzeug genau 130 g CO₂/km ausstößt ($168 * (100 \% - 23 \%)$) und damit pro gefahrenem Kilometer 38 g CO₂ vermieden werden.

Der zugehörige Treibstoffverbrauch liegt mit 5,5 l / 100 km 1,6 l / 100 km unter dem Verbrauch des durchschnittlichen Neufahrzeugs des Jahres 2007.

Tabelle 7: Nutzen-Kosten-Analyse für einen CO₂-Ausstoß von 130 g/km mit dem Technologie-Bündel worst-case

Basis			
CO ₂ -Ausstoß [g/km]	168		
Treibstoffverbrauch [l/100km]	7,1		
Fahrleistung pro Jahr [km]	12.000		
Zielwerte		erreicht	
eingesparter CO ₂ -Ausstoß [g/km]	130	130	
eingesparter Treibstoffverbrauch [l/100km]	5,5	5,5	
Nutzen		pro Jahr	
Differenz CO ₂ -Ausstoß [g/km]	38	0,46	[t]
		x	
Kostensatz je Tonne CO ₂		71,40	[Euro/t]
		+	
Differenz Treibstoffverbrauch [l/100km]	1,6	192,00	[l]
		x	
Kostensatz je Liter Benzin		0,64	[Euro/l]
		155,44	[Euro]
Kosten			
worst-case		2.420,00	[Euro]
		x	
Annuität		0,10046	
		243,11	[Euro]
Nutzen pro Jahr		155,44	[Euro]
Kosten pro Jahr		243,11	[Euro]
Nutzen-Kosten-Verhältnis		0,6	

Pro Jahr und Fahrzeug können so bei einer angenommenen Jahresfahrleistung von 12.000 km 0,46 t CO₂ vermieden werden ($38 * 12.000 / 1.000.000$). Werden diese 0,46 t mit dem Kostensatz für eine Tonne CO₂ multipliziert, so erhält man den Nutzen in Höhe von 32,56 Euro pro Jahr und Fahrzeug.

Zusätzlich werden je 100 km 1,6 l Benzin eingespart, was sich jährlich auf 192 Liter summiert ($1,6 \text{ l}/100 * 12.000$). Monetär bewertet entsteht so ein Nutzen aus eingespartem Treibstoff je Fahrzeug in Höhe von 122,88 Euro.

Der Nutzen insgesamt des worst-case Bündels beträgt 155,44 Euro je Fahrzeug (32,56 + 122,88).

Im worst-case Bündel sind alle Technologien bis auf die Hybridtechnik enthalten. Damit ergeben sich Systemkosten von 2.420 Euro je Fahrzeug. Diese werden annuisiert: 243,11 Euro pro Jahr und Fahrzeug.

Damit ergibt sich ein Nutzen-Kosten-Verhältnis für das worst-case Bündel von 0,6 (155,44 / 243,11). Das worst-case Bündel ist somit gesamtwirtschaftlich nicht lohnenswert. Die Kosten für das worst-case Bündel müssten auf 1547,27 Euro gesenkt werden, damit das Nutzen-Kosten-Verhältnis 1,0 erreichen würde (155,44 / 0,10046).

4.3 Nutzen-Kosten-Analyse des Drei-Liter-Autos mit der Technologie bis 2010

In diesem Kapitel soll wieder das Drei-Liter-Auto untersucht werden. Zusätzlich zur ersten Nutzen-Kosten-Analyse des Drei-Liter-Autos können nun die neuen Brennverfahren eingesetzt werden, die erst ab 2010 erhältlich sein werden. Damit ändern sich die Maßnahmen, das Vermeidungspotenzial und die zugehörigen Gesamtkosten. Diese sind in Tabelle 8 und in Abbildung 3 dargestellt. In der Tabelle stehen in der ersten Spalte wieder die Technologien. In der zweiten und dritten Spalte stehen der verbleibende CO₂-Ausstoß der entsprechenden Technologie. Berechnet wird dieser Wert, indem die prozentuale Einsparung von 100 % abgezogen wird. Der verbleibende CO₂-Ausstoß wird für den best-case (höheres Einsparpotenzial) und für den worst-case (niedrigeres Einsparpotenzial) ausgewiesen. In den letzten beiden Spalten stehen die Kosten je Fahrzeug für die betrachteten Technologien.

Tabelle 8: Reduktionspotenzial der Maßnahmen und die zugehörigen Kosten

Maßnahme	verbleibender CO ₂ -Ausstoß		Kosten je Fahrzeug [Euro]	
	best-case	worst-case	best-case	worst-case
Verbrennungs-Optimierung	93%	95%	20	20
Downsizing	85%	90%	50	200
neue Brennverfahren	75%	75%	200	400
Hybridtechnik	75%	75%	800	10.000
Alukarosserie	(92%)	(95%)	(400)	(400)
Leichtbau mit Kohlefaser	(92%)	(95%)	(1.800)	(1.800)
Reduktion	56%	52%		
Kosten			1.070	10.620

Quelle: Stegers, W. (2008), eigene Berechnungen

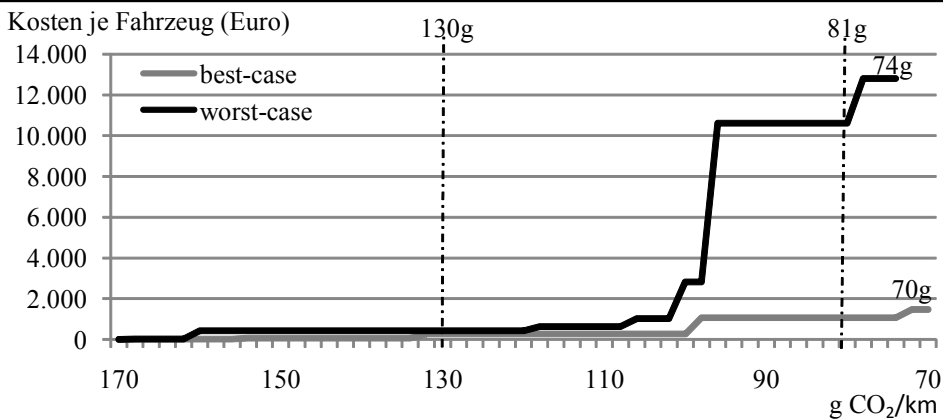
Hier wird wieder in best-case (niedrigere Kosten) und worst-case (höhere Kosten) unterschieden. In den letzten beiden Zeilen werden die Bündel gebildet. In dem jeweiligen

Bündel sind alle Technologien enthalten, die in den entsprechenden Spalten nicht in Klammern stehen. In der vorletzten Spalte ist das Einsparpotenzial des Bündels angegeben. Mit dem best-case Bündel kann der Ausstoß von CO₂ um 56 % und mit dem worst-case Bündel um 52 % reduziert werden. In der letzten Zeile stehen die zugehörigen Bündelkosten: 1.070 Euro für das best-case Bündel und 10.620 Euro für das worst-case Bündel. Der größte Kostentreiber bleibt der Hybridantrieb.

Durch die Aufnahme der neuen Brennverfahren ändert sich die Zusammensetzung des verwendeten Technologiebündels. Die neuen Brennverfahren ersetzen die Aluminiumkarosserie und den Leichtbau mit Kohlefaser.

Abbildung 3 zeigt deutlich, dass sich der Punkt, an dem die Kosten am stärksten steigen, um rund 30 g CO₂/km nach rechts verschoben hat, wenn die neuen Brennverfahren hinzugenommen werden. Das bedeutet, dass ausgehend von einem Ausstoß von 168 g CO₂/km im best-case Szenario eine Reduzierung um 70 g CO₂/km kostengünstig zu bewältigen ist. Ebenso ist gut zu sehen, dass die Zielmarke von 81 g CO₂/km sogar noch unterschritten werden kann. Das bedeutet, dass die Nutzen gesteigert werden können.

Abbildung 3: CO₂-Ausstoß und die zugehörigen Kosten (Basis: 168 g/km)



Quelle: Stegers, W. (2008), eigene Berechnungen

Mit dem best-case Bündel kann der CO₂-Ausstoß um 56 % auf 75 g CO₂/km gesenkt werden (Basis 168 g CO₂/km). Damit werden gegenüber dem durchschnittlichen Neufahrzeug des Jahres 2007 insgesamt 93 g CO₂/km gespart. Bei einer jährlichen Fahrleistung von 12.000 km sind das pro Fahrzeug 1,1 t CO₂ (93 * 12.000 / 1.000.000). Diese Einsparung wird mit 71,40 Euro je Tonne CO₂ bewertet. Damit entsteht ein Nutzen in Höhe von 79,68 Euro pro Fahrzeug aus der CO₂-Einsparung.

Tabelle 9: Nutzen-Kosten-Analyse für ein Drei-Liter-Auto mit dem Technologie-Bündel best-case

Basis			
CO ₂ -Ausstoß [g/km]	168		
Treibstoffverbrauch [l/100km]	7,1		
Fahrleistung pro Jahr [km]	12.000		
Zielwerte			erreicht
eingesparter CO ₂ -Ausstoß [g/km]	81		75
eingesparter Treibstoffverbrauch [l/100km]	3,4		3,2
Nutzen			pro Jahr
Differenz CO ₂ -Ausstoß [g/km]	93	1,12	[t]
		x	
Kostensatz je Tonne CO ₂		71,40	[Euro/t]
		+	
Differenz Treibstoffverbrauch [l/100km]	3,9	468,00	[l]
		x	
Kostensatz je Liter Benzin		0,64	[Euro/l]
		379,20	[Euro]
Kosten			
best-case		1.070,00	[Euro]
		x	
Annuität		0,10046	
		107,49	[Euro]
Nutzen pro Jahr		379,20	[Euro]
Kosten pro Jahr		107,49	[Euro]
Nutzen-Kosten-Verhältnis			3,5

Ein Ausstoß von 75 g CO₂/km bedeutet einen Verbrauch in Höhe von 3,2 l Benzin/100 km. Der Verbrauch kann also um 3,9 l/100 km reduziert werden. Pro Jahr können so 468 l Benzin eingespart werden ($3,9 / 100 * 12.000$). Der monetarisierte Nutzen beträgt pro Fahrzeug 299,52 Euro ($468 * 0,64$).

Der Gesamtnutzen des best-case Bündels ergibt pro Fahrzeug 379,20 Euro jährlich ($79,68 + 299,52$).

Die Kosten des best-case Bündel liegen bei 1.070 Euro je Fahrzeug. Damit verbunden sind Kosten in Höhe von 107,49 Euro pro Jahr.

Damit ergibt sich ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von 3,5 (279,20 / 107,49). Damit ist das best-case Bündel gesamtwirtschaftlich lohnenswert. Für jeden Euro, der dafür ausgegeben wird, erhält die Gesellschaft 3,53 Euro zurück.

Die Kosten je vermiedenem Gramm CO₂ liegen mit 11,51 Euro (1.070/93) deutlich unter der Strafzahlung ab dem Jahr 2012.

Tabelle 10: Nutzen-Kosten-Analyse für ein Drei-Liter-Auto mit dem Technologie-Bündel worst-case

Basis			
CO ₂ -Ausstoß [g/km]	168		
Treibstoffverbrauch [l/100km]	7,1		
Fahrleistung pro Jahr [km]	12.000		
Zielwerte		erreicht	
eingesparter CO ₂ -Ausstoß [g/km]	81	81	
eingesparter Treibstoffverbrauch [l/100km]	3,4	3,4	
Nutzen		pro Jahr	
Differenz CO ₂ -Ausstoß [g/km]	87	1,04	[t]
		x	
Kostensatz je Tonne CO ₂		71,40	[Euro/t]
		+	
Differenz Treibstoffverbrauch [l/100km]	3,7	444,00	[l]
		x	
Kostensatz je Liter Benzin		0,64	[Euro/l]
		358,70	[Euro]
Kosten			
worst-case		10.620,00	[Euro]
		x	
Annuität		0,10046	
		1.066,89	[Euro]
Nutzen pro Jahr		358,70	[Euro]
Kosten pro Jahr		1.066,89	[Euro]
Nutzen-Kosten-Verhältnis		0,3	

Mit dem worst-case Bündel kann der CO₂-Ausstoß um 52 % auf 81 g CO₂/km gesenkt werden. Damit werden gegenüber dem durchschnittlichen Neufahrzeug des Jahres 2007 (Basis 168 g CO₂/km) insgesamt 87 g CO₂/km gespart. Bei einer jährlichen Fahrleistung von 12.000 km sind das pro Fahrzeug 1 t CO₂ (87 * 12.000 / 1.000.000). Diese Einsparung

wird mit 71,40 Euro je Tonne CO₂ bewertet. Damit entsteht ein Nutzen in Höhe von 74,54 Euro pro Fahrzeug aus der CO₂-Einsparung.

Mit einem CO₂-Ausstoß von 81 g/km ist ein Verbrauch in Höhe von 3,4 l Benzin/100 km verbunden. Dieser kann also um 3,7 l/100 km reduziert werden. Pro Jahr können so 444 l Benzin eingespart werden ($3,7 / 100 * 12.000$). Der monetarisierte Nutzen beträgt pro Fahrzeug 284,16 Euro ($444 * 0,64$).

Der Gesamtnutzen des worst-case Bündels ergibt pro Fahrzeug 358,70 Euro jährlich ($74,54 + 284,16$).

Die Kosten des worst-case Bündels liegen bei 10.620 Euro je Fahrzeug bzw. bei 1.066,89 Euro pro Jahr.

Damit ergibt sich ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von 0,3 ($358,70 / 1.066,89$). Damit ist das worst-case Bündel gesamtwirtschaftlich nicht lohnenswert. Um ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von 1,0 zu erreichen, müssten die Kosten für das Bündel bei 3.570,59 Euro liegen ($358,70 / 0,10046$).

Die Kosten je vermiedenem Gramm CO₂ liegen mit 122,07 Euro ($10.620/87$) deutlich über der Strafzahlung ab dem Jahr 2012. Für den Automobilhersteller wäre es in diesem Fall günstiger, eine etwaige Strafzahlung zu akzeptieren.

4.4 Zusammenfassung der Nutzen-Kosten-Analysen

Für insgesamt drei Fälle wurde eine Nutzen-Kosten-Analyse durchgeführt. Die Basis (Referenzfahrzeug) für alle Berechnungen ist das durchschnittliche Neufahrzeug aus dem Jahr 2007 mit einem CO₂-Ausstoß von 169 g CO₂/km.

Für alle Fälle wurden je zwei Ergebnisse ausgewiesen. Die erste Größe ist das Nutzen-Kosten-Verhältnis. Sie zeigt an, ob das untersuchte Bündel gesamtwirtschaftlich sinnvoll ist. Dies ist immer dann der Fall, wenn die Nutzen höher sind als die Kosten, wenn das Verhältnis also größer als 1 ist. Die zweite Größe sind die Kosten je eingespartem Gramm CO₂. Diese sind relevant, da ab dem Jahr 2012 eine Strafzahlung eingeführt werden soll. Danach soll jeder Hersteller eine Strafe zahlen, wenn der durchschnittliche CO₂-Ausstoß der Neuwagenflotte des Herstellers oberhalb von 130 g/km liegt. Die Strafzahlung ist pro Gramm Differenz und pro verkauftem Auto fällig. Dabei beträgt die Maximalstrafe 45 Euro je Gramm. Liegt nun also die zweite berechnete Kenngröße Kosten je vermiedenem Gramm CO₂ unterhalb von 45 Euro, kann es für den Hersteller günstiger sein, seine Fahrzeuge mit dem Technologiebündel auszustatten.

In allen Fällen wird anhand von vorhandenen oder zukünftigen Technologien ein Bündel gebildet, mit dem die Zielmarken beim CO₂-Ausstoß erreicht werden können. Dabei wird davon ausgegangen, dass sowohl die Nutzen als auch die Kosten der Technologien innerhalb des Bündels unabhängig voneinander sind. Für die Kosten bedeutet dies, dass die

Kosten für das Bündel die Summe der Kosten der gebündelten Technologien darstellen. Bei den Nutzen wird für jede Technologie innerhalb des Bündels der Anteil des verbleibenden CO₂-Ausstosses berechnet (100 % - Einsparpotenzial). Anschließend werden die Anteile des verbleibenden CO₂-Ausstosses miteinander multipliziert. Das Ergebnis ist der CO₂-Anteil, der nicht durch den Einsatz des Bündels verhindert werden kann. Wird dieser von 100 % abgezogen, so erhält man das Einsparpotenzial des Technologiebündels für den CO₂-Ausstoß und für den Treibstoffverbrauch.

Im ersten Fall (Kapitel 4.1) wurde untersucht, ob das Referenzfahrzeug mit heute vorhandener Technologie so umgerüstet werden kann, dass sich der CO₂-Ausstoß des umgerüsteten Fahrzeugs auf 81 g CO₂/km reduziert (Drei-Liter-Auto). Dabei bleiben die Größe sowie die Fahreigenschaften des Referenzfahrzeuges erhalten. Das Ergebnis des ersten Falles ist, dass das Referenzfahrzeug nicht mit den betrachteten Technologien so umgerüstet werden kann, dass es den erfordernten CO₂-Ausstoß erreicht. Es wurde aufbauend auf dem First Best-Ansatz ermittelt, mit welchen theoretischen Kosten eine solche Umrüstung verbunden sein dürfte. Mit dem theoretischen Nutzen und den zugehörigen theoretischen Kosten wurde eine Nutzen-Kosten-Analyse durchgeführt, die ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von 0,3 zum Ergebnis hatte. Damit wäre eine solche Umrüstung gesamtwirtschaftlich nicht lohnenswert.

Im zweiten Fall (Kapitel 4.2) wurde untersucht, ob es gesamtwirtschaftlich sinnvoll wäre, den CO₂-Ausstoß des Referenzfahrzeuges durch den Einbau eines Technologiebündels auf 130 g/km mit heute vorhandenen Technologien zu reduzieren. Dafür wurden zwei Szenarien betrachtet: Das erste Szenario betrachtet das best-case Technologiebündel. Hier wurden für alle betrachteten Technologien die niedrigeren Kosten und die höheren Einspar-effekte gewählt. Das zweite Szenario betrachtet das worst-case Bündel, indem die höheren Kosten und die niedrigeren Einspar-effekte gewählt wurden. Im ersten Szenario liegt das Nutzen-Kosten-Verhältnis bei 3,2. Pro vermiedenem Gramm CO₂ entstehen Kosten in Höhe von 12,79 Euro. Damit ist die Gesamtwirtschaftlichkeit im ersten Szenario bestätigt. Anders sieht es im zweiten Szenario aus. Hier erreicht das Nutzen-Kosten-Verhältnis nur einen Wert von 0,6. Auch die Kosten je vermiedenem Gramm CO₂ liegen mit 63,68 Euro deutlich über der potenziellen Strafe von maximal 45 Euro je Gramm.

In Kapitel 4.3 wurde nochmals versucht, das Referenzfahrzeug mit einem Technologiebündel auszurüsten, das den CO₂-Ausstoß auf 81 g/km reduziert (Drei-Liter-Auto). Im Gegensatz zu Kapitel 4.1 konnten hier auch Technologien verwendet werden, die heute noch nicht erhältlich sind. Auch hier wurden wieder zwei Szenarien betrachtet. Sie sind identisch mit denen aus Kapitel 4.2. Im ersten Szenario konnte die gesamtwirtschaftliche Vorteilhaftigkeit mit einem Nutzen-Kosten-Verhältnis von 3,5 nachgewiesen werden. Die Kosten je vermiedenem Gramm CO₂ liegen bei 11,51 Euro. Im zweiten Szenario liegt das Nutzen-Kosten-Verhältnis bei 0,3 und die Kosten je vermiedenem Gramm CO₂ bei 122,07 Euro. Damit ist nur das best-case Technologiebündel gesamtwirtschaftlich sinnvoll.

Die Umrüstung des Referenzfahrzeugs lohnt sich in den Fällen zwei und drei nur mit den best-case Bündeln. Mit ihnen können die Ziele 130 g CO₂/km mit heute vorhandenen Technologien und 81 g CO₂/km mit Technologien, die in 2010 erhältlich sind, gesamtwirtschaftlich sinnvoll erreicht werden. Zudem konnte gezeigt werden, dass nur in diesen beiden Fällen es für den Hersteller günstiger sein kann, die Fahrzeuge mit den jeweiligen Technologien auszurüsten, als eine mögliche Strafzahlung zu akzeptieren, wie sie für das Nicht-Erreichen der EU-Ziele ab dem Jahr 2012 droht.

In Tabelle 11 sind die Ergebnisse dargestellt.

Tabelle 11: Übersicht über die Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Analyse

	Drei-Liter-Auto mit heutiger Technologie	Reduzierung des CO ₂ -Ausstoßes auf 130 g/km		Dreiliter-Auto mit Technologie von 2010	
		First Best Ansatz	best-case	worst-case	best-case
CO ₂ -Einsparung pro Fz. [g/km]	87	68	38	93	87
Benzineinsparung pro Fz. [l/100 km]	3,7	2,9	1,6	3,9	3,7
Gesamtnutzen [Euro p.a.]	359	278	156	379	359
Kosten [Euro p.a.]	1.145	87	243	107	1.067
Nutzen-Kosten-Verhältnis	0,3	3,2	0,6	3,5	0,3
Kosten je vermiedenes Gramm CO ₂ [Euro]	131	13	64	12	122

5. Break-even Analyse auf Endnutzerebene

Nachdem die Analysen aus gesamtwirtschaftlicher Sicht durchgeführt wurden, sollen nun die Technologiebündel auf Endnutzerebene analysiert werden. Dazu wird eine Break-even Analyse durchgeführt.

Die Break-even Analyse soll die Fragen beantworten, ob und unter welchen Voraussetzungen es sich für den Endnutzer lohnt, sein Fahrzeug mit den betrachteten Technologiebündeln auszustatten. Dafür werden für den Endnutzer die Nutzen und die Kosten des Systems ermittelt. Der Grundgedanke des Technologiebündels ist, dass sich der Kraftstoffverbrauch und damit der CO₂-Ausstoß pro Fahrzeug reduziert. Ansonsten bleibt das Fahrzeug unverändert, es ändert sich also nichts an den Fahrleistungen bzw. am Komfortniveau des Fahrzeugs. Wenn der Endnutzer sein Fahrzeug mit dem Technologiebündel ausstattet, so entstehen ihm erst einmal Mehrkosten, da das Bündel den Fahrzeugkauf verteuert. Auf der anderen Seite hat er allerdings über die gesamte Nutzungszeit weniger Betriebskosten, da sein Fahrzeug weniger verbraucht. Die CO₂-Einsparung wird bei der Break-even Ana-

lyse nicht berücksichtigt. Ebenso wenig wird ein eventuell höherer Wiederverkaufswert vernachlässigt.

Für die Break-even Analyse bedeutet dies, dass die Treibstoffkostensparnis den Kosten für das Technologiebündel gegenübergestellt wird. Der Preis für einen Liter Benzin wird mit 1,50 Euro angenommen. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass der Endnutzer die Kosten für das Technologiebündel mit einem Ratenkredit finanziert. Die Laufzeit des Kredits ist dabei genauso lange gewählt wie die durchschnittliche Nutzungsdauer des Fahrzeugs – 12 Jahre. Der Zinssatz beträgt 8 %. Das entspricht einer Annuitätsrate von 13 %, pro 1.000 Euro Kosten muss demnach der Endnutzer jährlich 130 Euro zahlen.

Bei der Break-even Analyse können insgesamt zwei Ergebnisse berechnet werden:

1. Der Marktpreis, bei dem es sich für den Endnutzer mit durchschnittlicher Jahresfahrleistung gerade noch lohnt, sein Fahrzeug mit dem Technologiebündel auszustatten („fairer Marktpreis“).

Bei dieser Analyse ist der Marktpreis für das Technologiebündel unbekannt. Der durchschnittliche Fahrer hat eine jährliche Fahrleistung von rund 12.000 km. Es wird die Höhe der jährlichen Nutzen aus der Kraftstoffeinsparung für den Endnutzer berechnet. Dies ist auch der maximale Preis, den der durchschnittliche Endnutzer jährlich bereit ist, für das Technologiebündel auszugeben. Wird dieser Preis durch die Annuitätsrate (13 %) geteilt, so erhält man den fairen Marktpreis für das Technologiebündel. Liegt der wirkliche Marktpreis unterhalb des fairen Marktpreises, so ist das Technologiebündel für den durchschnittlichen Nutzer lohnenswert.

2. Die jährliche Fahrleistung, ab der sich die Ausstattung mit dem Technologiebündel für den Endnutzer lohnt („kritische Fahrleistung“).

Bei dieser Analyse muss der voraussichtliche Marktpreis des Technologiebündels bekannt sein. Dieser wird mit der Daumenregel „Faktor 3“ ermittelt, das bedeutet, dass die dreifachen Systemkosten des Technologiebündels dem Marktpreis entsprechen.¹⁵ Die Kostensparnis durch einen geringeren Kraftstoffverbrauch ist für den Endnutzer umso höher, je mehr er pro Jahr fährt. Somit kann die jährliche Fahrleistung berechnet werden, bei der die jährliche Kraftstoffeinsparung für den Nutzer genauso hoch ist, wie die jährliche Rate für das Abbezahlen des Technologiebündels. Hat der Endnutzer eine höhere Fahrleistung, so ist das Technologiebündel für ihn sinnvoll.

¹⁵ Vgl. Baum, H. et al. (2007): Cost-benefit analysis for ABS of motorcycles, Köln, S. 44.

5.1 Berechnung des fairen Marktpreises

Der erste Teil der Break-even Analyse besteht in der Berechnung des fairen Marktpreises. Dabei wird berechnet, bei welchem Marktpreis der durchschnittliche Endverbraucher (jährliche Fahrleistung 12.000 km) indifferent ist, ob er seinen Neuwagen mit der spritsparenden Technologie ausstatten soll oder nicht.

Die einzige relevante Nutzenkategorie für den Endverbraucher ist der Benzinverbrauch. Es wird berechnet, wie viele Liter Benzin durch die Technologie pro Jahr eingespart werden können. Diese werden mit dem Marktpreis von Benzin (1,50 Euro je Liter) bewertet. Anschließend wird die jährliche Einsparung durch die Annuitätenrate dividiert. Das Ergebnis ist der faire Marktpreis je System.

$$\begin{aligned} \text{fairer Marktpreis des Bündels} &= \\ &= \frac{\text{Benzineinsparung} \left[\frac{l}{100km} \right] * 12.000 \frac{km}{a} * 1,50 \frac{\text{Euro}}{l}}{13 \frac{\%}{a}} \end{aligned}$$

Der faire Marktpreis des Bündels muss über den Systemkosten liegen. Andernfalls könnte das Bündel nicht kostendeckend angeboten werden. In der Realität hat sich die Daumenregel Faktor 3 durchgesetzt. Diese besagt, dass die dreifachen Systemkosten den wirklichen Marktpreisen entsprechen, daher werden zum Vergleich die dreifachen Systemkosten angegeben.

Die Rechnungen und die Ergebnisse sind in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Berechnung der fairen Marktpreise für ein Technologiebündel

	Dreiliter-Auto mit heutiger Technologie	Reduzierung des CO ₂ -Ausstoßes auf 130 g/km		Dreiliter-Auto mit Technologie von 2010	
		best-case	worst-case	best-case	worst-case
Benzineinsparung [l/100 km]	3,7	2,9	1,6	3,9	3,7
[l/12.000 km]	444	344	192	468	444
Einsparung [Euro p.a.]	666	516	288	702	666
fairer Marktpreis [Euro p.a.]	5.019	3.889	2.170	5.290	5.019
Zum Vergleich: dreifache Systemkosten	34.200	2.610	7.260	3.210	31.860

Der faire Marktpreis für das Technologiepaket für einen Verbrauch von drei Liter je 100 km liegt bei rund 5.000 Euro. Allerdings ist es den Herstellern vor 2010 nicht möglich, für diesen Preis die Technologien anzubieten, da die Systemkosten über dem fairen Marktpreis liegen.

Für das Technologiebündel, das den CO₂-Ausstoß des durchschnittlichen Neufahrzeugs aus dem Jahr 2007 auf 130 g/km mit heutiger Technologie reduziert, wurden zwei Möglichkeiten betrachtet: das best-case und das worst-case Bündel. Für den durchschnittlichen Endnutzer ist das best-case Technologiebündel lohnenswert. Der Nutzer wäre hier bereit, 3.889 Euro auszugeben. Die dreifachen Systemkosten liegen mit 2.610 Euro deutlich darunter. Anders verhält es sich beim worst-case Bündel. Hier liegt der faire Marktpreis mit 2.170 Euro deutlich unter den dreifachen Systemkosten in Höhe von 7.260 Euro.

Im dritten Fall werden die Technologiebündel betrachtet, die aus dem durchschnittlichen Neufahrzeug aus dem Jahr 2007 ein Drei-Liter-Auto machen. Auch hier stehen zwei Bündel zur Auswahl: best-case und worst-case Bündel. Für das best-case Bündel wäre der durchschnittliche Fahrer bereit, 5.290 Euro auszugeben. Die dreifachen Systemkosten liegen mit 3.210 Euro deutlich darunter. Das bedeutet, dass der wirkliche Marktpreis unterhalb des fairen Marktpreises liegen dürfte, das Bündel daher für den durchschnittlichen Nutzer lohnenswert ist. Beim worst-case Bündel verhält es sich anders. Hier liegt der kritische Marktpreis mit 5.019 Euro deutlich unterhalb der dreifachen Systemkosten in Höhe von 31.860 Euro.

5.2 Berechnung der kritischen Fahrleistung

Im zweiten Teil der Break-even Analyse wird die jährliche Fahrleistung berechnet, ab der es sich für den Endnutzer lohnt, sein Fahrzeug mit dem Technologiebündel auszustatten. Die jährlich anfallenden Kosten für die Ausstattung mit dem Technologiebündel sind unabhängig von der jährlichen Fahrleistung, sie sind also für alle Endnutzer gleich hoch. Allerdings hängt der Nutzen aus Kraftstoffersparnis von der jährlichen Fahrleistung des Endnutzers ab. Es kann daher die jährliche Fahrleistung berechnet werden, für die die Nutzen aus Kraftstoffersparnis genau so hoch sind wie die jährlichen Kosten für das Technologiebündel. Hat der Fahrer eine höhere Fahrleistung als die eben berechnete, so ist das System für ihn sinnvoll.

Die Basis für die Kosten für das Technologiebündel ist der tatsächliche Marktpreis. Dieser wird mit den dreifachen Systemkosten angenommen. Dieser Marktpreis wird mit der Annuitätenrate für den Endkunden multipliziert und anschließend durch den Benzinpreis geteilt. Das Ergebnis ist die eingesparte Menge Benzin pro Jahr. Anhand des Verbrauchsvorteils der betrachteten Technologie kann die Fahrleistung pro Jahr berechnet werden, für die das System für den Endnutzer gerade noch lohnenswert ist:

$$\begin{aligned} & \text{jährliche kritische Fahrleistung} = \\ & = \frac{3 * \text{Bündelkosten [Euro]} * 13 \frac{\%}{a}}{1,50 \frac{\text{Euro}}{l}} * \frac{1}{\text{Benzineinsparung} \left[\frac{100\text{km}}{l} \right]} \end{aligned}$$

Anhand der kritischen Fahrleistung kann das Marktpotenzial grob abgeschätzt werden. In Deutschland fahren 86 % der Autofahrer mehr als 5.000 km jährlich. 52 % aller Autofahrer haben eine höhere Fahrleistung als 10.000 km. 5 % aller Autofahrer fahren jährlich mehr als 30.000 km.¹⁶ Das bedeutet beispielsweise für ein System mit einer kritischen Fahrleistung von 8.000 km jährlich, dass dieses Technologiebündel für alle Nutzer interessant ist, die mehr als 8.000 km jährlich fahren. Es ist bekannt, dass 52 % aller Autofahrer jährlich mehr als 10.000 km zurücklegen. Für diese ist demnach das Technologiebündel lohnenswert. Damit liegt das Marktpotenzial über 52 %. Auf der anderen Seite ist bekannt, dass 86 % aller Autofahrer jährlich mehr als 5.000 km zurücklegen. Da ausgehend von 8.000 km nur die entsprechenden Anteile der Autofahrer für die beiden Grenzen 5.000 km und 10.000 km bekannt sind, liegt das Marktpotenzial dieses Bündels zwischen 52 % und 86 %.

Tabelle 13: Berechnung des Marktpotenzials

	Dreiliter-Auto mit heutiger Technologie	Reduzierung des CO ₂ -Ausstoßes auf 130 g/km		Dreiliter-Auto mit Technologie von 2010	
		best-case	worst-case	best-case	worst-case
dreifache Systemkosten [Euro]	34.200	2.610	7.260	3.210	31.860
entspricht Liter Benzin [l p.a.]	3.025	231	642	284	2.818
entspricht krit. Fahrleistung [km p.a.]	81.769	7.962	40.140	7.281	76.174
Marktpotential [%]	< 5	> 52	< 5	> 52	< 5

Tabelle 13 zeigt die Berechnung des Marktpotenzials und die Ergebnisse. Dabei werden die dreifachen Systemkosten als wirklicher Endmarktpreis genommen. In der nächsten Zeile wird der wirkliche Marktpreis auf ein Jahr umgelegt (Annuitätsrate 13 %). Anschließend wird berechnet, wie viele Liter Benzin für die jährlichen Kosten des Technologiebündels gekauft werden könnten. In der nächsten Zeile wird die Fahrleistung pro Jahr berechnet, bei der die jährlichen Kosten des Technologiebündels genau so hoch sind wie die jährlichen Kraftstoffeinsparungen. In der letzten Zeile wird das Marktpotenzial zugeordnet. Liegt die kritische Fahrleistung unter 5.000 km pro Jahr, so ist das Marktpotenzial größer als 86 %, bei einer kritischen Fahrleistung unter 10.000 km pro Jahr liegt das Marktpotenzial bei über 52 %. Bei einer kritischen Fahrleistung unterhalb von 30.000 km pro Jahr liegt das Marktpotenzial bei über 5 %.

Die Verwirklichung des Drei-Liter-Autos mit der heute verfügbaren betrachteten Technologie und die beiden worst-case Bündel lohnen sich nur für Endkunden mit einer jährlichen Fahrleistung von mindestens 40.000 km.

¹⁶ Vgl. EUROBAROMETER (2006): Special EUROBAROMETER 267 – Use of Intelligent Systems in Vehicles, Brüssel, S. 12.

Anders sieht es bei den beiden best-case Bündeln aus. Hier liegt die kritische Fahrleistung pro Jahr bei unter 8.000 km. Damit liegt das Marktpotenzial zwischen 52 % und 86 %.

6. Zusammenfassung

Es ist unstrittig, dass mit heutiger Technologie der durchschnittliche CO₂-Ausstoß auf die Zielmarke für das Jahr 2012 gesenkt werden kann (130 g/km). Dieser Artikel überprüft die Wirtschaftlichkeit der CO₂-Reduzierung auf die beiden Zielwerte 130 g/km und 81 g/km.

Dazu wurden einige Technologien analysiert – Verbrennungs-Optimierung, Downsizing, Hybridtechnik, Aluminiumkarosserie und Leichtbau mit Kohlefaser. Für diese Technologien liegen die Reduktionspotenziale und Kostenschätzungen vor (siehe Kapitel 3). Insgesamt wurden drei Fälle untersucht:

1. Ausstatten des durchschnittlichen Neufahrzeuges aus dem Jahr 2007 mit einem Bündel aus heute verfügbaren Technologien, um den CO₂-Ausstoß auf 81 g/km zu reduzieren (Drei-Liter-Auto),
2. Ausstatten des durchschnittlichen Neufahrzeuges aus dem Jahr 2007 mit einem Bündel aus heute verfügbaren Technologien, um den CO₂-Ausstoß auf 130 g/km zu reduzieren und
3. Ausstatten des durchschnittlichen Neufahrzeuges aus dem Jahr 2007 mit einem Bündel aus Technologien, die bis 2010 verfügbar sind, um den CO₂-Ausstoß auf 81 g/km zu reduzieren (Drei-Liter-Auto).

Für jeden Fall wurden zwei Technologiebündel entwickelt: best-case (hohes Reduktionspotenzial mit niedrigen Kosten) und worst-case (niedriges Reduktionspotenzial mit hohen Kosten). Das Referenzfahrzeug ist das durchschnittliche Neufahrzeug aus dem Jahr 2007 mit einem CO₂-Ausstoß von 168 g/km.

Im ersten Fall wurde analysiert, ob ein Drei-Liter-Auto gesamtwirtschaftlich positiv ist. Mit der betrachteten heute erhältlichen Technik ist es allerdings nicht möglich, das durchschnittliche Neufahrzeug von 2007 so umzurüsten, dass es nur noch einen Benzinverbrauch von drei Litern aufweist.

Im zweiten Fall wurden zwei Bündel betrachtet, mit denen der CO₂-Ausstoß auf 130 g/km reduziert werden kann. Die Systemkosten für die Bündel betragen zwischen 870 Euro und 2.420 Euro. Damit liegen die Kosten im Rahmen der allgemeinen Kostenschätzungen. So schätzt die Unternehmensberatung Roland Berger die Mehrkosten je Fahrzeug für den Automobilhersteller bei einer CO₂-Reduktion von 161 g/km auf 130 g/km zwischen 500

und 1.000 Euro¹⁷, der europäische Automobilverband schätzt für dieselbe CO₂-Reduktion Mehrkosten für den Endkunden in Höhe von bis zu 3.000 Euro¹⁸ und die EU-Kommission schätzt, dass die Mehrkosten für die Automobilindustrie zwischen 800 Euro und 1.300 Euro je Fahrzeug liegen werden¹⁹. Die beiden kritischen Technologien sind die kleineren Motoren und die Hybridtechnik, da diese große Kostenschwankungen haben.

Im best-case Szenario ist eine Umrüstung gesamtwirtschaftlich positiv zu bewerten. Je eingesetztem Euro wird ein Nutzen in Höhe von 3,20 Euro für die Gesellschaft erreicht. Beim worst-case Szenario liegt das Nutzen-Kosten Verhältnis mit nur 0,3 allerdings im unwirtschaftlichen Bereich. Aufgrund der vorliegenden Kostenschätzungen erscheint das worst-case Szenario unwahrscheinlich zu sein.

Im dritten Fall wird zusätzlich die noch nicht verfügbare Technologie „Neue Brennverfahren“ berücksichtigt. Es werden wieder die beiden Bündel best-case und worst-case betrachtet. Mit dem best-case Bündel kann der CO₂-Ausstoß auf 75 g/km reduziert werden. Die zugehörigen Kosten liegen bei 1.070 Euro je Fahrzeug. Das Nutzen-Kosten Verhältnis liegt damit bei 3,5. Die Kosten des worst-case Bündels sind höher als die Nutzen, das Nutzen-Kosten Verhältnis liegt bei 0,3. Die kritische Technologie ist hier die Hybridtechnik, da diese bis zu 10.000 Euro kosten kann.

Die Nutzen-Kosten-Analyse wurde um eine Break-even Analyse ergänzt. Die Ergebnisse sind kongruent zu denen der Nutzen-Kosten-Analyse. Ist das Nutzen-Kosten Verhältnis kleiner als eins, so lohnt sich das Bündel auch nur für die wenigsten Autofahrer.

Bei den beiden best-case Bündeln liegt das Marktpotenzial bei deutlich über 50 %. Die kritische Fahrleistung, ab der sich das System für den Endnutzer lohnt, liegt bei knapp 8.000 km jährlich.

Das Ziel, den CO₂-Ausstoß des durchschnittlichen Neuwagens im Jahr 2012 auf 130 g/km zu senken, ist schon heute technisch möglich. Orientieren sich die Technologiekosten und die -wirkungsgrade am best-case Bündel, so ist die Umrüstung sowohl gesamtwirtschaftlich als auch auf Endkundenbasis sinnvoll. Die aktuellen Zulassungsdaten zeigen, dass der Endverbraucher Fahrzeuge haben möchte, die wenig verbrauchen. So ist der CO₂-Ausstoß des durchschnittlichen Neufahrzeuges im Februar 2009 auf 155 g/km gefallen.²⁰

¹⁷ Vgl. Roland Berger Strategy Consults (2007): Pressemeldung: Roland Berger-Studie: CO₂ ist zentrale Herausforderung für Autobauer, München.

¹⁸ Vgl. Hennie, P. / Schallaböck, K. (2008): Macht die EU-Kommission Industriepolitik gegen die deutsche Automobilwirtschaft, in: ifo Schnelldienst 3/2008, S. 9.

¹⁹ Vgl. Dudenhöffer, F. (2008): Autokrieg oder Versagen der Verbände?, in: ifo Schnelldienst 3/2008, S. 13.

²⁰ Vgl. KBA (2009): Monatliche Neuzulassungen, URL: http://www.kba.de/200902__n__barometer__teil2__tabelle.html, gesehen am 10.03.2009.

Für die deutsche Automobilindustrie bietet sich hier eine Chance. Die Nachfrage nach Fahrzeugen mit einem geringen CO₂-Ausstoß ist da, die zugehörigen Technologien ebenfalls. Für den durchschnittlichen Fahrer lohnt es sich auch aus betriebswirtschaftlichen Gründen, seinen Neuwagen mit den Technologien auszustatten. Darüber hinaus gehen die Kosten für die Technologiekosten je Fahrzeug herunter, wenn die Technologien für die gesamte Fahrzeugflotte entweder serienmäßig oder als Extra angeboten werden („Economies of scales“).

Zusätzlich sollte die Forschung verstärkt werden, um die bestehenden Technologien kosteneffizienter zu machen oder neue Technologien zu entwickeln.

Als nächste Stufe nach 2015 könnte dann die Reduzierung des CO₂-Ausstoßes auf 80 g/km in Betracht gezogen werden.

Abstract

Carbon dioxide is the main causer for the greenhouse effect. The traffic has to play a role in the national and international plans to reduce the exhaust of carbon dioxide. In the last years different aims and negotiated agreements were adopted, but all aims are not ambitious. The development within the automobile industry of the last years shows that technologies to reduce the fuel consumption and linked to this to reduce the exhaust of carbon dioxide exist. In this article bundles of different technologies are created in order to reduce the carbon dioxide exhaust to target levels of 130 g/km respectively 81 g/km (3l car). The base is the new registered car in Germany of December 2007 on average (168 g CO₂/km). On the technology side two target years are considered: 2008 and after 2010. With the analysed technologies it is not possible to reduce the carbon dioxide exhaust to a level of 81 g/km today. The level of 130 g/km can be reached without problems today and after 2010. The level of 81 g/km can be reached in 2010. For every technology up to two saving potentials and two cost prices were considered. Thus, every analysis is done for a best-case scenario (low costs and high effect) and for a worst-case scenario (high costs and low effect). For the best-case scenarios the technology bundles are worthwhile for the society with a benefit-cost-ratio of 3.2 (130 g/km with technology of 2008) respectively 3.5 (81 g/km with technology of 2010). Besides that, the technologies in the best-case scenario are worthwhile for all endusers with an annual mileage of at least 8,000 km. In the worst-case scenarios the technologies are neither worthwhile for the society nor for the enduser. Nevertheless, the best-case scenario seems to be more realistic. Thus, the automobile industry should offer more carbon dioxide saving technologies and should invest more into the research to develop better technologies or to make the existing technology cheaper. For the time after 2015 the politics could think of a new carbon dioxide target of 80 g/km.

Literatur

- Aral (2008): Netto-Kraftstoffpreise Stand 12.06.2008, URL: <http://www.aral.de/tool-server/retailleurope/netSellingPrice.do?categoryId=4000529&contentId=58635>.
- AT Kearney (2007): Powertrain of the future, Düsseldorf.
- Baum, H. et al. (2007): Cost-benefit analysis for ABS of motorcycles, Köln.
- DAT (2008): Leitfaden zu Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emission 2008, Ostfildern.
- Dekra (2008): Informationen zum Thema CO₂, URL: <http://www.dekra-online.de/co2/sparen.html>.
- Dudenhöffer, F. (2007): First Best-Ansatz. In: Internationales Verkehrswesen 5/2007
- Dudenhöffer, F. (2008): Autokrieg oder Versagen der Verbände?, in: ifo Schnelldienst 3/2008.
- EUROBAROMETER (2006): Special EUROBAROMETER 267 – Use of Intelligent Systems in Vehicles, Brüssel.
- Hennicke, P. / Schallaböck, K. (2008): Macht die EU-Kommission Industriepolitik gegen die deutsche Automobilwirtschaft, in: ifo Schnelldienst 3/2008.
- KBA (2008): Jahresbericht 2007, Flensburg, S. 24, BMU (2007): CO₂-Emissionen neuer Pkw in g/km 1995 – 2006, URL: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/verk_co2_pkw_neu.pdf.
- KBA (2009): Monatliche Neuzulassungen, URL: http://www.kba.de/200902_n__barometer__teil2__tabelle.html.
- Lahl, U. (2008): Die Verminderung der CO₂-Emissionen von Personenkraftwagen, o. O.
- Prograns (2008): European Transport Report 2007/2008, Basel.
- Roland Berger Strategy Consults (2007): Pressemeldung: Roland Berger-Studie: CO₂ ist zentrale Herausforderung für Autobauer, München.
- Stegers, W. (2008): P.M.-CO₂-Rechner für das Auto: So berechnen Sie Ihren Kohlendioxid-Ausstoß, URL: http://www.pm-magazin.de/de/vermischtes/vm_id418.htm.
- UBA (2007): Climate Change – Klimaschutz in Deutschland – 40 %-Senkung der CO₂-Emissionen bis 2020 gegenüber 1990, Berlin.
- Umweltbundesamt Österreich (2008): Neue CO₂-Grenzwert bei Pkw, Wien.