

80. Jahrgang – Heft 1 – 2009

ZEITSCHRIFT FÜR VERKEHRSWISSENSCHAFT

INHALT DES HEFTES:

Zuverlässigkeit der Verkehrssysteme Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung	Seite 1
Nutzen-Kosten-Analyse von CO ₂ -Reduktionen im Verkehrssektor Von Herbert Baum und Ulrich Westerkamp, Köln	Seite 29
Slots – Flaschenhals des Luftverkehrs Von Peter Kokott, Solingen und Peter Rötzel, Stuttgart	Seite 63

Manuskripte sind zu senden an die Herausgeber:

Prof. Dr. Herbert Baum

Prof. Dr. Rainer Willeke

Institut für Verkehrswissenschaft an der Universität zu Köln

Universitätsstraße 22

50923 Köln

Verlag – Herstellung – Vertrieb – Anzeigen:

Verkehrs-Verlag J. Fischer, Corneliusstraße 49, 40215 Düsseldorf

Telefon: (0211) 9 91 93-0, Telefax (0211) 6 80 15 44

www.verkehrsverlag-fischer.de

Einzelheft EUR 24,50 – Jahresabonnement EUR 64,00

zuzüglich MwSt und Versandkosten

Für Anzeigen gilt Preisliste Nr. 25 vom 1.1.2009

Erscheinungsweise: drei Hefte pro Jahr

Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages nicht gestattet, photographische Vervielfältigungen, Mikrofilme, Mikrophotos u.ä. von den Zeitschriftenheften, von einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen.

Zuverlässigkeit der Verkehrssysteme

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT BEIM BUNDESMINISTER FÜR VERKEHR,
BAU UND STADTENTWICKLUNG

Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesminister für Verkehr,
Bau und Stadtentwicklung vom Februar 2008

1. Einleitung

Alle Elemente des Verkehrssystems (Straße, Eisenbahn, ÖPNV, Luftverkehr, Binnenschiffahrt, Seeschiffahrt) sind auf ihre jeweils spezifische Weise eine Grundvoraussetzung für die Wertschöpfungsprozesse der Wirtschaft sowie für Lebensqualität und Teilnahme der Menschen an unverzichtbaren und angestrebten Aktivitäten. Die Ökonomie und das gesellschaftliche Leben sind auf Erreichbarkeit und damit auf eine weitgehend ungestörte Funktionsfähigkeit des Verkehrssystems angewiesen.

Für die Funktion von Industrie und Gewerbe ist es z. B. wichtig, dass die Mitarbeiter pünktlich ihren Arbeitsplatz erreichen. Logistische Prozesse in der industriellen Produktion setzen die ungestörten Funktionen der Verkehrssysteme voraus („just in time“, „just in sequence“), um die Konkurrenzfähigkeit der erstellten Produkte und Dienstleistungen zu ermöglichen. Die Bürger sind zur Gestaltung und Aufrechterhaltung ihres privaten Lebensbereichs ebenfalls auf eine störungsarme Funktion des Verkehrssystems angewiesen. Im normalen täglichen Betrieb werden diese Anforderungen an die ständige Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit des Verkehrssystems durch Überlastungserscheinungen der entscheidenden Elemente in und zwischen den Ballungsräumen und vor allem durch Störungen und Sonderereignisse zu häufig verfehlt.

Dabei besteht die wichtigste Qualität einer Verkehrsanlage und der Elemente des Verkehrssystems darin, jederzeit mit der erwartbaren Qualität den Verkehrsteilnehmern und den Verladern zur Verfügung zu stehen. Abweichungen des Betriebszustands vom Regelzustand und von der erwarteten Qualität treten durchweg plötzlich und dann mit einer sehr starken Abweichung vom Sollwert ein. Die Zuverlässigkeit des Verkehrssystems muss deshalb ein wesentliches Ziel der Verkehrspolitik, der Verkehrsplanung und des Managements aller beteiligten Teilsysteme sein.

Mitglieder:

Prof. Dr.-Ing. Gerd-Axel Ahrens, Dresden, Prof. Dr. Herbert Baum, Köln (Vorsitz), Prof. Dr. Klaus J. Beckmann, Berlin, Prof. Dr.-Ing. Werner Brilon, Bochum, Prof. Dr. Alexander Eisenkopf, Friedrichshafen, Prof. Dr. Hartmut Fricke, Dresden, Prof. Dr. Ingrid Göpfert, Marburg, Prof. Dr. Christian von Hirschhausen, Dresden, Prof. Dr. Günther Knieps, Freiburg, Prof. Dr. Stefan Oeter, Hamburg, Prof. Dr. Dr. Franz-Josef Radermacher, Ulm, Prof. Dr. Werner Rothengatter, Karlsruhe, Prof. Dr. Volker Schindler, Berlin, Prof. Dr. Bernhard Schlag, Dresden, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Siegmann, Berlin, Prof. Dr. Wolfgang Stölzle, St. Gallen

Die Zuverlässigkeit der Transportwege stellt einen beträchtlichen ökonomischen Wert dar. Jede nicht kalkulierte Verlängerung der Reise- und Transportzeiten verursacht zusätzliche Betriebs- und Zeitkosten für die Verkehrsteilnehmer und damit Kostensteigerungen für Produkte und Dienstleistungen. Der Nachteil einer unerwarteten beträchtlichen Verspätung wiegt meistens schwerer als die durchschnittlichen Zeitkosten für diese Dauer, weil oft durch die unerwartet verlorene Zeit ganze nachfolgende Aktivitätenketten der Reisenden oder Tourenkombinationen der Transporteure gestört oder verhindert werden. Schon allein das Risiko, eine erheblich längere Fahrzeit zu erleiden, bedingt einen Schaden, weil es z.B. von Firmen höhere Lagerhaltung oder aufwändigere Produktionsprozesse verlangt. Ein wirtschaftlicher Schaden entsteht auch dadurch, dass im Falle eines großen Verspätungsrisikos Fahrten eher angetreten werden, ohne dass diese zusätzliche Zeit planbar genutzt werden kann, sofern die Verspätung nicht eintritt.

2. Qualitätsmaßstäbe und deren Bewertung

Die Planung von Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur und für ihren Betrieb ist an den Zielen ausgerichtet, die mit den jeweiligen Verkehrswegen erreicht werden sollen, sowie an den verfügbaren Ressourcen finanzieller und sonstiger Art (z. B. Naturhaushalt, Energieverfügbarkeit, Flächenverfügbarkeit, Stadtstrukturen u. a.). Diese Ziele finden letztlich ihren Niederschlag in Regelwerken für Planung und Entwurf von Verkehrswegen sowie für multikriterielle und abwägende Entscheidungsvorbereitungen¹. Bei öffentlichen Investitionen setzen die im Haushaltsrecht verankerten Sparsamkeits- und Effizienzanforderungen enge Spielräume für großzügige Standards. Bislang wird in der Regel der alltägliche Normalbetrieb als der maßgebende Fall für alle politischen Entscheidungen im Verkehrswesen sowie für das Handeln der zuständigen Verwaltungen herangezogen.

Die Zielkriterien konzentrieren sich weitgehend auf:

- Verkehrssicherheit (also Schutz vor Unfällen);
- Ökologische Aspekte (die nicht Gegenstand dieser Stellungnahme sind);
- Kurze Reisezeiten;
- Kosten für den Betrieb seitens der Verkehrsteilnehmer;
- Kosten für Investitionen und Betrieb seitens der Baulastträger.

Eine gesamtwirtschaftliche Optimierung der Infrastrukturplanung und -erhaltung setzt eine Abwägung aller dieser Zielkriterien voraus. Tatsächlich stehen bei der Auswahl von Problemlösungen aber häufig ausschließlich haushaltswirksame Kosten und Haushaltsrestriktionen im Vordergrund.

¹ z. B. Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) für bundesweite Planungen aller Verkehrssysteme; Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS; wird fortgeschrieben unter dem Titel RAS-W) für Straßen; Standardisierte Bewertung von Verkehrsweginvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs.

tionen im Vordergrund. Diese berücksichtigen nicht, dass es z.B. bei anstehenden Unterhaltungs- und Sanierungsarbeiten oder sonstigen unerwarteten Engpasssituationen zu Beeinträchtigungen für die Verkehrsteilnehmer und die Anlieger kommt, die eventuell mit relativ geringem haushaltswirksamen Mehraufwand gemindert werden können. Bei der Planung wird regelmäßig vom Normalbetrieb ausgegangen, obwohl sowohl die Infrastruktur als auch die Betriebsmittel ständig Engpässe, Provisorien und sonstige Schwachstellen aufweisen. Mit dem Festhalten an der Idee des Normalbetriebs werden somit gesamtwirtschaftlich günstigere Lösungen systematisch verfehlt.

Unzuverlässigkeit entsteht, wenn ein Verkehrsweg vorübergehend für die Benutzer unpassierbar wird oder nur mit erheblichem Mehraufwand an Zeit zu durchfahren ist. Ursachen für solche vorübergehenden Blockaden können u.a. sein:

- Schäden am Fahrweg
- Unfälle
- Fahrzeugpannen
- Überlastungen und dadurch bedingte Bildung von Staus
- Arbeitsstellen
- witterungsbedingte und sonstige ereignisbedingte Sperrungen und Einschränkungen.

Überlastungen entstehen, wenn die Verkehrsnachfrage größer ist als die Kapazität des Fahrweges. Unter der Kapazität wird hier die tatsächlich maximal mögliche Stärke des Verkehrs (gemessen in: Fahrzeuge / Stunde) verstanden, der einen Streckenabschnitt oder einen Knotenpunkt durchfahren kann. Diese Größe weist in den meisten Teilverkehrssystemen eine gewisse Variabilität auf. Vielfach ist es auch üblich, als Kapazität diejenige Verkehrsstärke aufzufassen, oberhalb der ein Mindestniveau für die Qualität des Verkehrsablaufs verfehlt wird. Die Qualität des Verkehrsablaufs wird in den einzelnen Teilverkehrssystemen anhand unterschiedlicher Parameter definiert, z. B. auf der Straße anhand der mittleren Reisegeschwindigkeit der Pkw.

Unter der Zuverlässigkeit ist jene Wahrscheinlichkeit zu verstehen, mit der das betrachtete Verkehrssystem oder eine Teilkomponente eine definierte Mindestqualität gewährleistet. Mindestqualitäten sind spezifisch für jedes Verkehrssystem zu definieren. Dies ist in den Kapiteln 3 bis 5 ausgeführt. Als Grenze zwischen einer noch hinnehmbaren Verkehrsqualität und dem Zusammenbruch des ordnungsgemäßen Betriebs ergeben sich solche Schwellenwerte in den meisten Verkehrssystemen aus der Kenntnis der system-immanenten Zusammenhänge.

Wenn die Mindestqualität nicht gegeben ist, bezeichnet man diesen Vorfall als Störung. Eine solche Störung kann in ihrem Ausmaß meistens nicht durch einen einzelnen Parame-

ter beschrieben werden. Statt dessen sind zur vollständigen Beschreibung der Störung Angaben wie zeitliche Dauer, räumliche Ausdehnung, Anzahl der Betroffenen, Zeitverluste für die einzelnen Betroffenen oder eine ökonomische Bewertung der eingetretenen Schäden erforderlich.

Die Zuverlässigkeit des Verkehrssystems resultiert aus den Komponenten:

- Kapazität und Qualität der Infrastruktur
- Unterhaltung der Infrastruktur
- Leistungsvermögen der Steuerungssysteme
- Qualifikation und Handlungszuverlässigkeit des beteiligten Personals
- Störungssicherheit der Fahrzeuge
- Sicherheit gegen Unfälle und Eingriffe von außen
- Witterungseinflüsse.

Jedes Teilsystem hat hierbei aufgrund der jeweiligen technischen Systeme sowie der unterschiedlich qualifizierten teilnehmenden Personen seine eigene Charakteristik. In diesem Zusammenhang sind mehrere Grundsätze für den Betrieb der Verkehrssysteme zu verdeutlichen:

- Alle Verkehrssysteme verhalten sich in ihrer Betriebsweise streng nicht-linear. Das bedeutet: Bei geringer Grundlast – z. B. bei einer Nachfrage von bis zu 60 % der Kapazität – können kurzzeitige Belastungsspitzen oder Störungen – etwa durch Unfälle oder Pannen – ohne weitere Folgen von dem System bewältigt werden. Wenn sich das System dagegen an der Grenze der Belastbarkeit befindet, haben bereits eine geringe vorübergehende Zunahme der Nachfrage oder kleinste Störungen einen Zusammenbruch der Funktionsfähigkeit des Systems zur Folge. Deswegen tragen Kapazitätsreserven wirkungsvoll zum Schutz gegen die Unzuverlässigkeit von Verkehrssystemen bei.
- Der "Normalbetrieb" – also die Betriebsform, für die ein Verkehrssystem ausgelegt ist – findet nur selten statt. Eine unabdingbare Begleiterscheinung des Verkehrssystems ist es, dass Teile der Infrastruktur in erheblichem Umfang zur Durchführung von Unterhaltungs- und Erneuerungsarbeiten völlig oder teilweise außer Betrieb genommen werden müssen. Baustellen und Reparaturarbeiten sind Bestandteil des Normalbetriebes, ohne dass dies den langfristigen Planungen in ausreichender Weise zugrunde gelegt wird.

Dieses Papier konzentriert sich auf die Teilverkehrssysteme, die dem Fernverkehr dienen, weil hier der Bund eine maßgebende Verantwortung trägt und weil hier der Bundesverkehrsminister Einwirkungsmöglichkeiten besitzt.

Die Zuverlässigkeit des Verkehrssystems steht in einem engen Zusammenhang mit dem Schutz vor Unfällen und Unfallfolgen. Insbesondere sehr schwerwiegende Unfälle, aber auch Übergriffe krimineller oder terroristischer Art können Verkehrs- und Kommunikationswege in schwerwiegender Weise beeinträchtigen. Im Folgenden werden nur die Aspekte der Zuverlässigkeit im täglichen Betrieb behandelt. Das Problem des Schutzes vor terroristischen Übergriffen oder die generelle Unfallprävention werden hier nicht angesprochen. Fragen der Zuverlässigkeit - das liegt in der Natur der Aufgabe - sind stets aus der Sicht der Verkehrsteilnehmer und Nutzer der Verkehrsinfrastruktur im weiteren Sinne zu sehen.

3. Zuverlässigkeit im Straßenverkehr

3.1 Kapazität

Wenn die Nachfrage die Kapazität der Strecken und Knotenpunkte überschreitet, bilden sich Staus. Bundesweit können auf Autobahnen ca. 39% aller Stauerscheinungen auf diese Ursache zurückgeführt werden (in Hessen ca. 58%, in Baden-Württemberg 36%). Sowohl die Nachfrage als auch das Leistungsvermögen der Straßen unterliegen – weil sie durch das Verhalten der Verkehrsteilnehmer maßgeblich beeinflusst werden - zufälligen Schwankungen. Eine statistische Analyse führt zu dem Ergebnis, dass Straßen ihren optimalen Nutzen erreichen, wenn sie nur bis zu 90 % ihrer Nennkapazität ausgelastet werden. Sofern alle Möglichkeiten der Nachfragebeeinflussung ausgeschöpft wurden, kann eine Vermeidung von Staus durch Überlastung mit hoher Wirksamkeit nur durch die Erweiterung der Infrastruktur erreicht werden, soweit weitere verkehrsinduzierende Effekte hierbei durch flankierende Maßnahmen ausgeschlossen werden.

Durch verkehrssteuernde Maßnahmen können aber im Grenzbereich der Auslastung ebenfalls wirksame Beiträge zur Reduzierung der Stauhäufigkeit geleistet werden. So sind z. B. durch verkehrsabhängige Geschwindigkeitssteuerung oder durch Zufahrt dosierung schon Verringerungen der staubedingten Zeitverluste in der Größenordnung von 40% auf einzelnen Strecken nachgewiesen worden.

Es sollte heute Stand der Technik sein, dass bei Neu- und Ausbau von Autobahnen verkehrsabhängige Verkehrsbeeinflussung eingesetzt wird. Oberhalb von noch festzusetzenden Verkehrsbelastungen (gemessen in DTV = durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke; z. B. größer als 30 000 Kfz/h und Richtung für 2-streifige Richtungsfahrbahn und größer 45 000 Kfz/h•Richtung für 3-streifige Richtungsfahrbahn) sollen Verkehrsbeeinflussungsanlagen als Standardausstattung der Autobahnen angesehen werden. Die dabei eingesetzten Steuerungsziele und -algorithmen sollen weiterentwickelt und vereinheitlicht werden. Zusammen damit muss eine Durchsetzung (Enforcement) der somit getroffenen verkehrsrechtlichen Anordnungen technisch ermöglicht und praktisch durchgeführt werden, damit die verkehrsabhängigen Steuerungen ihre beabsichtigte Wirkung einer Homogenisierung des Verkehrs erreichen.

Es ist aber auch sinnvoll, einzelne lokale Engpässe vorrangig durch gezielte bauliche oder verkehrstechnische Maßnahmen zu beheben. Um dies bei der Planung der Haushaltsmittel zu erreichen, kann es empfehlenswert sein, auch kleinere Maßnahmen baulicher oder betrieblicher Art einer gesamtwirtschaftlichen Bewertung zu unterziehen, damit besonders effiziente Projekte, durch die lokale Engpässe zu beseitigen sind, vorrangig ausgeführt werden.

Ein möglicher, aber politisch nicht leicht durchsetzbarer Ansatz zur Angleichung der Nachfrage an die Kapazität der Straßen ist eine belastungsabhängige Maut. In diesem Sinne könnte eine Differenzierung der Lkw-Maut nach der vorherrschenden Verkehrsstärke, wie sie aufgrund der revidierten Richtlinien 1999/62 möglich ist und wie sie auf leichte Lkw oder auch Pkw ausgedehnt werden könnte, zum Abbau der Spitzenbelastung auf den Fernstraßen beitragen. Hierzu sind technische Probleme zu lösen, weil das für die Bemannung schwerer Lkw entwickelte Toll-Collect-System zu aufwendig für die Einbeziehung kleinerer Fahrzeuge ist. Weiterhin sind die Voraussetzungen für eine Akzeptanz durch die betroffenen Verkehrsteilnehmer herzustellen, die eine zweckorientierte Verwendung der Einnahmen aus der Maut und eine signifikante Kompensation auf der Seite der Verkehrssteuern zur Vermeidung von Mehrbelastungen erwarten.

Als besonders wesentlich wird es angesehen, die Zuverlässigkeit als ein entscheidendes Kriterium bei der Bewertung von Infrastrukturmaßnahmen vor ihrer Einstellung in den Haushalt (z. B. BVWP, EWS) einzubeziehen. Bei der Erarbeitung der Bewertungskriterien bleiben bisher die häufig auftretenden Störungen außer Betracht. Bei einigen standardisierten Bewertungsverfahren (z. B. EWS) werden die Nachteile von Überlastungen sogar unabhängig von ihrem Ausmaß gezielt nur gering bewertet. Deswegen gelingt es mit den herkömmlichen Verfahren vielfach auch nicht, aus ökonomischer Sicht Investitionen in diejenigen Elemente der Infrastruktur zu rechtfertigen, welche die Zuverlässigkeit des jeweiligen Verkehrssystems gefährden, selbst wenn das vorhandene Netz offenkundig überlastet ist. Auf der anderen Seite werden die sehr geringen Zunahmen der Reisezeit, die im Normalbetrieb bei stärkerem Verkehr eintreten, mit größter Akribie ermittelt. Die Bewertungsverfahren für Infrastrukturverbesserungen sind in dieser Hinsicht zu korrigieren. Es kann nur einen geringen geldwerten Vorteil bedeuten, wenn über kürzere oder mittlere Distanzen mit 120 km/h statt 100 km/h gefahren werden kann, weil dadurch jeder einzelne Fahrer seine Reisezeit nur um geringe Zeitquanten verringern kann. Solche kurzen Reisezeitgewinne erbringen aber - auch wenn man sie über alle Fahrer und lange Bewertungszeiträume addiert - noch keinen tatsächlichen Nutzen. Ins Gewicht müssen aber die Zeitverluste fallen, die als Folge erheblicher Störungen zu großen Verspätungen bei den betroffenen Verkehrsteilnehmern führen. Dazu ist die Methodik der etablierten Bewertungsverfahren aller Verkehrsträger (z. B. EWS, BVWP, standardisierte Bewertung) entsprechend neu auszurichten. Es ist sinnvoll, neuere methodische Ansätze zu verwenden, in denen Zeitverluste sowie die Anzahl und das Ausmaß von Störungen nicht aus pauschalen Parametern sondern mit einer realitätsnahen Gegenüberstellung von Verkehrsnachfrage und Kapazität bei feinteiliger zeitlicher Auflösung errechnet werden. Dabei müssen auch der zufällige Charakter für das Auftreten von Störungen sowie die Verlagerungsmöglichkeiten im Falle von Staus methodisch einbezogen werden.

3.2 Unterhaltungsarbeiten

Gerade für die Autobahnen rücken die Baustellen zunehmend in den Blickpunkt der Öffentlichkeit und damit auch des politischen Handelns. Baustellen verringern die Kapazitäten in erheblicher Weise - auch dann, wenn die Anzahl der Fahrstreifen unverändert bleibt. Sie sind eine wesentliche Ursache für Staus und Fahrzeitverlängerungen. Bundesweit sind etwa 35% aller Staus auf Autobahnen auf Baustellen zurückzuführen (in Hessen ca. 13%; in Baden-Württemberg ca. 30%). Die Anteile der Baustellen an den volkswirtschaftlichen Schäden durch Stauungen übertreffen diese Werte.

Arbeitsstellen unter Aufrechterhaltung des Betriebs sind an Straßen unvermeidlich. In hoch belasteten Teilen des Netzes (z. B. Autobahnen) treten Baustellen relativ häufig auf. Ca. 10 % der Strecken des Autobahnnetzes sind ständig von Baustellen betroffen. Dazu kommen kurzzeitige Arbeitsstellen für die Durchführung laufender Unterhaltungs- und kurzfristiger Instandsetzungsarbeiten. Wegen der hohen Auslastung der meisten Autobahnen gehen davon meistens erhebliche Staus mit großen Zeitverlusten für die Verkehrsteilnehmer aus. Das Ausmaß der Störungen kann durch die Wahl des Zeitraums für die Durchführung der Arbeiten in hohem Maße beeinflusst werden.

Die gesamtwirtschaftlichen Verluste durch Baustellen, die durch verlängerte Reisezeiten bei den Verkehrsteilnehmern oder im städtischen Bereich durch Umsatzverluste bei den anliegenden Gewerbebetrieben entstehen, werden bisher in strategischen Planungen und im Baustellenmanagement gar nicht oder unzureichend berücksichtigt. Diese Kosten, die durch Baustellenbeschleunigung und koordinierte Abwicklung der Baustellen vermindert werden könnten, sind nicht haushaltswirksam. Es kostet also den Straßenbaulastträger nichts, wenn er sie vernachlässigt. Dagegen werden steigende Baukosten infolge veränderter zeitlicher Abwicklung (Nacht- und Sonntagsarbeit, Mehrschichtbetrieb, Beschleunigungsprämien) als Mehrkosten negativ bewertet. Sie führen so zu einer Senkung der rechnerischen Effizienz derartiger Maßnahmen. Der Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung hat für die Durchführung von Arbeitsstellen an Bundesfernstraßen Vorschriften erlassen. Er lässt es zu, dass Beschleunigungsprämien bei vorzeitiger Fertigstellung gezahlt werden oder dass Strafen vereinbart werden, wenn der Termin für die Fertigstellung nicht eingehalten wird. Die Möglichkeiten dafür sind nach der bestehenden Erlasslage jedoch eingeschränkt.

Es ist in diesem Zusammenhang anzuraten, handhabbare und wissenschaftlich begründete Verfahren einzuführen, mit denen auch Mehrkosten für Beschleunigung und verkehrsverträglichere Koordination bzw. Bauen unter Verkehr aus einer gesamtwirtschaftlichen Sichtweise begründbar werden. Überwiegend werden aus der enger haushaltsrechtlicher Sicht die Baustellenkosten minimiert und dabei volkswirtschaftliche Schäden durch Staus und Zeitverluste in Kauf genommen. Es kann aber aus gesamtökonomischer Sicht sinnvoll werden, zusätzliche Aufwendungen, z. B. für kapazitätssteigernde Provisorien, für Mehrschichtbetrieb auf der Baustelle, für den Abbau von Behinderungen zu Spitzenzeiten sowie

für die zeitliche Verschiebung und Koordination von Baustellen in Kauf zu nehmen, wenn dadurch große Beeinträchtigungen des Verkehrs vermieden werden können. Für diese Abwägung sind verbindliche und allgemein akzeptierte Empfehlungen und Grundsätze für die Baulastträger zu entwickeln.

Die Zuverlässigkeit für die Kraftfahrer und die Spediteure würde bereits dadurch erheblich verbessert, wenn über alle Baustellen, von denen eine große Behinderung zu erwarten ist, bereits in voraus - z. B. im Internet - besser als bisher informiert und diese Information in Routenempfehlungen integriert würde, weil dann viele Fahrten diese Abschnitte meiden könnten.

Unabhängig davon sollte in hoch belasteten Netzabschnitten eine reparaturarme Bauweise der Straßen und Ihrer Ausstattung systematisch gefördert werden (z. B. Beton statt Stahl als Schutzeinrichtung). Es sollte auch erneut unter Beachtung moderner Erkenntnisse der Straßenverkehrstechnik überprüft werden, ob durch höherwertige Bauweisen des Straßenoberbaus sowie der Kunstbauwerke die Häufigkeit von Arbeitsstellen in angemessener Weise vermindert werden kann und ob die Verkehrsstörungen an Arbeitsstellen im Regelwerk des Facility-Management für Straßen zutreffend berücksichtigt sind.

3.3 Unfälle und Vorfälle

Störungen im laufenden Betrieb werden in erheblichem Umfang auch von den Benutzern der Straße verursacht durch

- Unfälle
- Vorfälle verschiedener Art (Panne, verlorene Ladung, vorschriftswidriges Verhalten etc.).

In solchen Fällen hängen die Folgen für die Verkehrsteilnehmer in hohem Maße von der herrschenden Verkehrsstärke ab und von der Zeitspanne, innerhalb der die Störungsursache beseitigt werden kann. Die Möglichkeiten zur Verkürzung dieser Zeitspanne werden bisher im Straßenwesen nicht vollständig ausgenutzt.

Ein hoher Nutzen kann verhältnismäßig einfach erreicht werden, wenn kleinere Störungen kurzfristig behoben werden. Dazu gehört, dass im Falle von leichten Unfällen mit Sachschaden als schwerster Unfallfolge die beteiligten Fahrzeuge umgehend weggeräumt werden. Die diesbezüglichen Vorschriften der StVO (§34 (1) 2) sollten in ihrer Wirkung verstärkt werden. Vor allem aber soll die Aufrechterhaltung einer angemessenen Verkehrsqualität für das Handeln des beteiligten Einsatzpersonals Vorrang vor der Ermittlung der Unfallursache haben. Darüber hinaus sollen für schwerwiegende Unfälle Methoden der beschleunigten Dokumentation des eingetretenen Sachverhalts entwickelt werden (z. B. stereometrische Fotos und Luftbilder statt langwieriger Vermessungen am Boden). Für die Bereitstellung von Abschleppwagen und Bergungsmaterial sollen zu Zeiten und an Orten hoher Belastungen des Autobahnnetzes kurze Fristen durch organisatorische und technische Vorkehrungen gewährleistet werden. In Betracht kommt z. B. die ständige Bereitstel-

lung eines Abschleppwagens an neuralgischen Punkten zu Spitzenverkehrszeiten. Systemfremde Überlegungen², die einer schnellen Störungsbeseitigung im Wege stehen, sollten zurückgestellt werden. Die Entscheidungskompetenz des Einsatzpersonals vor Ort über die zu treffenden Maßnahmen (z. B. sofortiges Abschleppen statt Reparaturversuche vor Ort) sollte durch entsprechende Rechtsinstrumente gestärkt werden. Als Beispiel kann das in Los Angeles für das Autobahnnetz erfolgreich eingesetzte Programm dienen, mit dem havarierte Pkw nach spätestens 10 Minuten und verunglückte Lkw nach spätestens 90 Minuten weggeräumt werden sollen. Ähnliche Vorgehensweisen werden auch in den Niederlanden angewendet.

Im Falle von Pannen, aber auch bei Unfällen tragen Standstreifen entscheidend dazu bei, dass das Ausmaß der Störungen begrenzt bleibt. Deswegen ist bei der Ausbauplanung für das Autobahnnetz ein angemessener Wert auf die Beibehaltung und Schaffung von Standstreifen zu legen. Ihre Wirkung kann nicht - wie das vielfach geschieht - auf die Verhinderung von Unfällen verkürzt werden. Noch wesentlicher ist ihre Funktion für das störungsfreie Abstellen von liegen gebliebenen Fahrzeugen und als Ersatzverkehrsraum bei Störungen und Arbeitsstellen sowie als Zugangsweg für Hilfsdienste.

Alle Maßnahmen, die zur Vermeidung von Unfällen führen, tragen auch zur Steigerung der Zuverlässigkeit der Verkehrssysteme bei. Unfälle werden im Wesentlichen von der Unzuverlässigkeit des Handelns der Verkehrsteilnehmer verursacht. Gegenmaßnahmen sind:

- Aus- und Weiterbildung, Information und Motivation der Fahrzeugführer
- Verkehrsüberwachung
- Erhöhung der Fehlertoleranz des Systems einschließlich der Minderung von Fehlerfolgen, vor allem durch technische Maßnahmen
- Anreize zum sicheren Verhalten

Besonders gilt dies im Straßenverkehr, weil dort Kraftfahrer mit unterschiedlicher Fahrpraxis und Motivation teilnehmen. Betrachtet man die Unfallverursachung im Straßenverkehr nach Teilgruppen, so sind beispielsweise Maßnahmen zur Reduktion der Unfallzahl junger Fahranfänger oder die Durchsetzung der Vorschriften über Lenk- und Ruhezeiten im Schwerverkehr auch aus Gründen der Zuverlässigkeit des Straßenverkehrssystems ein wichtiges Ziel der Verkehrspolitik.

3.4 Rettungswesen und Notfallmaßnahmen

Alle Verkehrssysteme können von Unfällen betroffen sein. Schwerwiegende Unfälle verursachen nicht nur die unmittelbaren Schäden. Sie bringen auch meistens größere Folgewirkungen durch Zeitverluste für alle Verkehrsteilnehmer mit sich. Zur Eingrenzung der unmittelbaren

² So werden an einzelnen Orten nicht immer die am ehesten verfügbaren Abschleppdienste eingesetzt. Statt dessen wird darauf geachtet, dass seitens der Polizei alle Firmen in gleicher Weise beauftragt werden.

Unfallfolgen und zur Verringerung der Folgewirkungen ist ein gut organisiertes System der Notfalldienste und der Sicherheitsbehörden unverzichtbar. Diese Dienste sind in Deutschland verkehrssystemübergreifend auf einem hohen Qualitätsniveau organisiert.

Es sind aber zunehmend Entwicklungen absehbar, in denen die Länder gerade an diesen Stellen mit Sparmaßnahmen in ihren Haushalten ansetzen. So sind in den letzten Jahren in erheblichem Umfang Dienststellen der Autobahnpolizei geschlossen und deren Aufgaben an zentraler Stelle konzentriert worden. In diesen Fällen entstehen teilweise so große Zeiten für das Ausrücken der Sicherheitskräfte zu Unfallstellen, dass daraus nennenswerte Risiken für die Verunglückten und andere Verkehrsteilnehmer entstehen können. Dadurch werden auch die Zeiten bis zur Beseitigung der eingetretenen Beeinträchtigungen des Verkehrsablaufs nachdrücklich verlängert. Bei solchen Rationalisierungsmaßnahmen ist es sinnvoll, die eingesparten Kosten sorgfältig mit den entstehenden Risiken und Nachteilen abzuwägen. Eine Konzentration auf rein fiskalische Perspektiven ist dabei unzureichend. Statt dessen ist der Nutzen der Sicherheits- und Rettungsdienste einschließlich der Polizei für die Verkehrssysteme und deren Nutzer in die Entscheidungen über Standorte dieser Dienste einzubeziehen.

3.5 Handlungsbedarf

Zur Steigerung der Zuverlässigkeit ist es notwendig, in den hoch belasteten Teilen des Autobahnnetzes ein intensives Störungsmanagement zu betreiben, bei dem alle beteiligten Stellen (Straßenverwaltung, Polizei, Straßenverkehrsbehörde, Notdienste, Staatsanwaltschaft, Pannendienste) unter einer einheitlichen Führungsstruktur zusammenarbeiten. Ziel muss es dabei sein, jegliche Störungen, die erhebliche Zeitverluste verursachen, möglichst schnell zu beseitigen und während der Störungen angemessene Sicherungs- und Steuerungsmaßnahmen zu treffen. Ein effektives und koordiniertes Störungsmanagement setzt kompetent und gut ausgestattete Verkehrs-Management-Zentralen voraus. Die Zentralen benötigen vor allem Entscheidungs- und Regelungskompetenz der Straßenverkehrsbehörden und der Polizei. In den USA hat es sich bewährt, in einer gemeinsamen Störungszentrale an einem Ort alle beteiligten Stellen (Straßenbaulastträger, Verkehrsbehörde, Polizei, Feuerwehr, u.U. ÖPNV-Betrieb) zusammenzuziehen. Management-Zentralen sind als Bestandteil der Infrastruktur anzusehen und zu finanzieren. Von großer Bedeutung sind sie in den Ballungsräumen, wo sie von örtlichen Instanzen in enger Kooperation mit den Straßenbaulastträgern der Bundesfernstraßen zu betreiben sind.

In besonders belasteten Netzteilbereichen oder auf hoch belasteten Netzelementen kann eine kontinuierliche Verkehrszustandsbeobachtung („Detektion“) in Verbindung mit verbesserten Mittelfrist- und Kurzfristprognosealgorithmen (1 bis 3 Stunden) dazu beitragen, frühzeitig Routenempfehlungen, Zielwahlempfehlungen wie auch Empfehlungen zu Fahrzeitpunkten zu geben. Damit können Überlastungen abgebaut oder vermieden werden. Werden die Lenkungsempfehlungen zudem mit situations- bzw. belastungsabhängigen Nutzentgelten verbunden, so ist eine deutliche Steigerung der Wirksamkeit zu erwarten.

Eine Einführung eines Verkehrssystem-Managements in den neuralgischen Teilen des Fernstraßennetzes trägt auch zu einer Verbesserung der für die Öffentlichkeit oder für spezielle individuelle Leitsysteme verfügbaren Informationen über die Verkehrslage bei. Die heute verfügbaren Verkehrsinformationen haben noch nicht überall die Qualität, die wünschenswert und möglich ist. Im Falle zuverlässigerer Informationen könnten die Verkehrsteilnehmer bei ihrer Fahrt mit höherer Treffsicherheit Störungen umgehen oder den Zeitpunkt ihrer Fahrt oder sogar das gewählte Verkehrsmittel ändern, um so zuverlässiger ihr Ziel zu erreichen. Der Bund als Baulastträger des Fernstraßennetzes sollte hier seine Bemühungen nachdrücklich intensivieren.³

Der verbesserten Zuverlässigkeit im Fernverkehr dient es auch, wenn auf den Bundesautobahnen (BAB) in Ballungsgebieten zusätzliche Anschlussstellen nicht zugelassen werden. Das Bundesverkehrsministerium hat seine frühere kompromisslose Haltung in dieser Sache in jüngerer Zeit zunehmend aufgeweicht. Zusätzliche Anschlussstellen verlagern rein lokalen Verkehr auf die Autobahnen. Sie sollen nur zugelassen werden, wenn - auch bei langfristiger Sicht - ein durch rein lokale Verkehre bedingtes Risiko von Überbelastungen ausgeschlossen werden kann. Auch im bestehenden Netz kommt bei dicht benachbarten BAB-Anschlussstellen eine Überprüfung dahingehend in Betracht, ob hier durch kleinräumige lokale Verkehrsbeziehungen, die über die BAB verlaufen, der regionale und überregionale Verkehr über Gebühr beeinträchtigt wird. Es sollten rechtliche Instrumente geschaffen werden, mit denen eine Schließung von BAB-Anschlussstellen dauerhaft oder zeitweise (z. B. während der Durchführung von Bauarbeiten oder zu Spitzenverkehrszeiten) auch gegen den Willen der örtlichen Gebietskörperschaften durchgesetzt werden kann, wenn bei einer Interessenabwägung zwischen örtlichem und überörtlichem Verkehr die Vorteile der Schließung deutlich überwiegen.

4. Eisenbahnen des Fernverkehrs

4.1 Zuverlässigkeit und Kapazität im Schienenverkehr

Die Eisenbahn ist ein von außen (d.h. nicht vom Fahrzeug aus) gesteuertes System. Weil infolge des geringen Reibwertes zwischen Stahlrad und Stahlschiene die Bremswege relativ lang sind, kann ein Triebfahrzeugführer jenseits von 40 km/h seinen Bremsweg nicht sicher überblicken. Bevor ein Zug in einen Abschnitt einfährt, muss sicher festgestellt werden, dass dieser frei und gegen andere Zugfahrten gesichert ist. Dazu dienen Außenanlagen wie Signale und Gleisfreimeldeanlagen sowie Stellwerke in sehr unterschiedlichen technischen Ausführungen. Ein Gleiswechseln ist nur über Weichen möglich, die selbst wieder in die Sicherheitskreise einbezogen werden, also von Signalen gesichert und verschlossen werden. Die Spurführung verhindert ein Ausweichen bei einem Hindernis und erlaubt eine Reihenfolgeänderung der Fahrzeuge (Überholen) nur in entsprechenden Bahnhöfen.

³ Vgl. Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Telematik im Verkehr. Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats von Juli 2003; veröffentlicht: Internationales Verkehrswesen (55), Heft 12, S. 599 - 607, 2003.

Die Fahrplanerstellung im Schienenverkehr berücksichtigt neben der reinen Fahrzeit auch Zeitzuschläge für kleine Abweichungen, längere Haltezeiten, kleinere Baustellen und unterschiedliches Fahrverhalten der Züge. Zwischen zwei Zügen werden Pufferzeiten eingelegt, um eine Verspätung möglichst nicht auf nachfolgende Züge zu übertragen. So wird eine pünktliche Zugfahrt in den allermeisten Fällen realisiert, allerdings verbrauchen die Zeitzuschläge auch Kapazität. Die Zahl der möglichen Züge auf einer Strecke hängt ab von der Zahl der nutzbaren Streckengleise, der Blockteilung, also den Signalstandorten zwischen den Bahnhöfen, der Geschwindigkeit auf der Strecke und dem Mischungsverhältnis zwischen langsamen und schnellen Zügen. Ein Streckengleis im Einrichtungsbetrieb kann mit bis zu 10 Zügen je Spitzenstunde belegt sein. Über mehr als 6 Stunden lässt sich ein derartiger Vollbetrieb aber nicht stabil aufrechterhalten.

Kapazitätsbestimmend für die Netzkapazität sind auch häufig die Knoten und Verzweigungen. Zur Sicherheit einer Zugfahrt müssen mögliche Flankenfahrten ausgeschlossen werden. Je nach Gestaltung des Knotenpunktes ergeben sich daraus Kapazitätsbegrenzungen. Prinzipiell sollten Knoten so ausgelegt sein, dass von jeder Zulaufrichtung ohne Behinderung einer anderen in den Knoten eingefahren werden kann und dass Ähnliches auch für die Ausfahrten gilt. Häufig sind aber die dafür notwendigen Überwerfungsbauwerke (Brücken und Rampen) aus Platzgründen nicht möglich. Wenn die Summe der Kapazitäten der zulaufenden Gleise nicht in etwa der der abgehenden Gleise entspricht, können Netzelemente nicht voll ausgelastet werden, es sei denn, in diesem Knoten enden und beginnen entsprechend viele Zugfahrten.

4.2 Störungsursachen

Störungen des Eisenbahnverkehrs gehen auf Schäden an der Infrastruktur (Schienenwege, Signale, Energieversorgung), auf Mängel an den Fahrzeugen oder auf ineffiziente Arbeitsweise des Personals zurück. Sicherlich ist die Vielzahl der technischen Elemente, deren gleichzeitiges Funktionieren für einen zuverlässigen Betrieb notwendig ist, trotz sehr geringer Ausfallraten jedes einzelnen Bausteins mitentscheidend für Pünktlichkeitsquoten von 70 - 90%, gemessen als Differenz zwischen geplanter und tatsächlicher Ankunft der Züge in wichtigen Bahnhöfen.

Durch die zunehmende Zentralisierung der Betriebsüberwachung und der Disposition in Betriebszentralen (BZ) kann größeren Störungen wie Liegenbleiben von Zügen oder Streckensperrungen durch netzweite Disposition entgegen gewirkt werden. Die Informationen über die Maßnahmen gehen zeitnah an alle beteiligten Stellen, so dass theoretisch auch die Kunden über den Grund für Verspätungen, Anschlüsse o.ä. informiert werden können.

Verschiedene Rückfallebenen ermöglichen auch bei Ausfall von Komponenten einen Betrieb, allerdings mit Zeitverzögerungen durch erheblich geringere Geschwindigkeiten. Zu Spitzenverkehrszeiten können sich die Dauer des Fahrgastwechsels (Aus- und Einsteigen) und ein ineffizientes Verhalten der Fahrgäste als eine Störungs- bzw. Verspätungsursache

herausstellen. Eine geeignete Konstruktion der Fahrzeuge und der Bahnsteige (Stufenzahl zum Einstieg, Spaltbreite, Weite der Türen, Stauraum im Fahrzeug bei den Türen) kann hier helfen. Barrierefreier Betrieb (d.h. stufenfrei und ohne Spalt zwischen Bahnsteig und Fahrzeug) in der gesamten Beförderungskette muss das Ziel sein - auch unter der Zielsetzung einer reibungslosen Abfertigung der Züge.

Eine besonders bedauerliche Ursache zahlreicher Störungen des Bahnbetriebs sind Eingriffe von außen, hier insbesondere Suizidfälle oder Fehlverhalten der Fahrzeuglenker an höhengleichen Bahnübergängen.

4.3 Störungsauswirkungen und Gegenmaßnahmen

Im Eisenbahnverkehr führen geplante Baustellen und größere Störungen häufig dazu, Züge umzuleiten, weil so die Auswirkungen in Grenzen gehalten werden können. Dafür müssen geeignete Strecken vorhanden sein. Die Bereithaltung von Redundanzen und Reserven ist demnach eine wesentliche Voraussetzung für einen zuverlässigen Betrieb. Bei der Bewertung der Netze ist dieser Nutzen in geeigneter Weise einzubeziehen. Auch der Kostendruck auf das Netz darf diese notwendigen Redundanzen nicht abbauen. Ein geeignetes Mittel zur Quantifizierung sind die Betriebserschwerungskosten, die entstehen würden, wenn ein Netzelement nicht mehr vorhanden wäre.

Dazu gehören Überholgleise und Möglichkeiten zum Überwechseln auf das Gegengleis. Die dazu benötigten Weichen verursachen Betriebskosten und bilden ihrerseits Quellen für Störungen. Die im Sinne der Störungsstabilität sinnvolle Strategie dafür ist, alle Bahnnetze (auch kommunale Bahnen des Nahverkehrs) sorgfältig und redundant, d.h. aber auch nicht investitionskostenminimal sondern gesamtkostenoptimal zu gestalten. Hier sind neue Zielkompromisse zwischen Kosteneffizienz und Robustheit gegenüber Störungen zu suchen.

Öffentliche Verkehrsmittel, die für viele Reisende keine direkten Verbindungen bieten - das ist vor allem die Eisenbahn im Fernverkehr - können bereits mit geringen Verspätungen einzelner Fahrzeuge sehr große Zeitverluste der Reisenden verursachen, wenn die Anschlüsse nicht erreicht werden. Gerade hier hat die zuverlässige Einhaltung der Fahrpläne einen besonderen Wert. Die Zuverlässigkeit der Anschlüsse wird von den Fahrgästen für wichtiger gehalten als eine kurze - im Fahrplan ausgewiesene - Reisezeit. Deswegen sollten die im Fahrplan ausreichend vorhandenen Zeitereserven zum Ausgleich von zu erwartenden Unregelmäßigkeiten auch bei einem zukünftig erhöhten wirtschaftlichen Druck nicht eingeschränkt werden.

Im Falle von Störungen ist es für die Reisenden ohne Hilfe des Eisenbahn-Verkehrs-Unternehmens nicht möglich, unter den dann noch gegebenen Handlungsalternativen sinnvoll auszuwählen. Gerade im Störungsfall besteht seitens der Reisenden ein umfangreicher Informationsbedarf, der auch die aktuelle Verkehrslage der Anschlusszüge einbezieht. Die Informationssysteme von Eisenbahn-Infrastrukturunternehmen (EIU) und allen Eisenbahn-

verkehrs-Unternehmen (EVU) sollen verbessert und noch wirkungsvoller verknüpft und die Entscheidungsprozesse koordiniert werden, ohne die Diskriminierungsfreiheit anzutasten. In diesem Zusammenhang ist auch die Rolle des EIU 'DB Station und Service' zu überdenken.

4.4 Überlastung der Kapazität

Die Kapazität von Eisenbahnstrecken, gemessen in Zügen je Streckenabschnitt pro Zeit, ist von der Nutzungsstruktur abhängig. Verkehren nur Züge mit gleicher und relativ niedriger Geschwindigkeit, so ist die Kapazität höher gegenüber einem Mischbetrieb von Hochgeschwindigkeits-, Regional- und langsamen Güterzügen. Der Anspruch bestimmter Zugprogramme auf die Einhaltung knapper zeitlicher Takte bedingt darüber hinaus, dass prioritäre Züge bevorzugt abgefertigt werden müssen, während andere auf nachgeordnete Zeitfenster verdrängt werden. So kann es zum Beispiel vorkommen, dass Regionalzüge, die von regionalen Aufgabenträgern bestellt wurden, in geringen Zeitabständen in Bahnhöfe einfahren müssen, um ein Umsteigen innerhalb einer kurzen Zeitspanne („Regionaltakt“) zu gewährleisten. Insbesondere, wenn Malusregelungen im Falle der Nicht-Einhaltung des Taktes vereinbart sind, werden u. U. schwach besetzte Regionalzüge gut ausgelasteten und wirtschaftlich hochwertigen Fernzügen vorgezogen.

Kapazitätserhöhungen durch den Bau weiterer Gleise sind in der Regel sehr aufwendig und nur langfristig realisierbar. In manchen Fällen lassen sich Engstellen durch Umfahrungen beheben, wobei im Falle der Umfang von Bahnhöfen mit Widerständen der Regionalpolitik (Beispiel Mannheim) zu rechnen ist. Ein Erfolg versprechender Weg besteht darin, Engpass beseitigende Maßnahmen mit einer Änderung der Linienplanung und Trassenzuweisung zu verbinden, um die Nutzungsmischung zu homogenisieren. Im Falle des stark ansteigenden Güterverkehrs auf zentralen Korridoren ist die Schaffung eigener Güterverkehrsstrassen angezeigt. Dies wird zum Beispiel entlang der Nord-Süd-Route im Seehafenhinterland-Verkehr unerlässlich sein, um die angestrebte Transportverlagerung auf die Schiene (Verdoppelung der Güterverkehrsleistung der Schiene von 1997 bis 2015) zu erreichen. Der Beirat empfiehlt, das Netz 21-Konzept (Entmischung schneller und langsamer Züge) insbesondere durch Ausbau von Güterverkehrsstrassen beschleunigt zu realisieren und primär die Engpässe im Seehafenhinterland wie auch auf den Zulaufstrecken zu Alpen querenden Tunneln zu beseitigen.

4.5 Unterhaltung und Instandhaltung

Das Schienennetz wird ständig überwacht. Bei Inspektionsfahrten werden zahlreiche Messwerte für die Gleislage etc. aufgenommen und mit Schwellwerten verglichen. Werden sicherheitsrelevante Schwellwerte unterschritten, muss sofort eingegriffen werden oder es werden Langsamfahrstellen eingerichtet, die entsprechende Fahrzeitverlängerungen bis zum Beheben der Schwachstellen zur Folge haben. Die Instandhaltungsstellen organisieren die Baustellen und den Einsatz der Geräte nach diesen Mängellisten und ihrem örtlichen Instandhaltungsbudget.

Unterhalt und Instandhaltung werden heute zum größten Teil bei laufendem Betrieb (unter dem rollenden Rad) durchgeführt, wozu u. U. Züge umgeleitet oder Fahrzeitverlängerungen in Kauf genommen werden. Werden die Schäden an der Infrastruktur nicht rechtzeitig behoben, werden die Fahrzeitverlängerungen häufig in den Fahrplan eingearbeitet, wodurch u. U. Taktsysteme zusammenbrechen.

Die Aussetzung von Instandhaltungsmaßnahmen während der Fußballweltmeisterschaft im Sommer 2006 und die verstärkte Wiederaufnahme danach haben sich deutlich im Pünktlichkeitsbild der Bahnen niedergeschlagen. In diesem Zusammenhang ist auch zu berücksichtigen, dass die DB AG öffentliche Mittel für die Instandhaltung und für Ersatzinvestitionen erhält, die an die Verwendung innerhalb des jeweiligen Haushaltsjahres gebunden sind. Die Bindung der Instandhaltungsmaßnahmen an fiskalische Zwänge passt nicht in das Bild eines marktorientierten und eventuell sogar börsenfähigen Unternehmens und ist durch eine Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung zu ersetzen, die genügend unternehmerische Freiheiten für die Optimierung der Instandhaltungsprogramme bei Sicherstellung einer gewünschten Netzqualität gewährt.

4.6 Schnellere Migration neuer Techniken

Gerade im internationalen Verkehr ist es erforderlich, kompatible Fahrzeuge einzusetzen, die sich in einem guten technischen Zustand befinden. Hier sollte das Trassenpreissystem mehr Ansätze enthalten, den Einsatz störungsärmerer und fahrwegfreundlicher, auch lärmreduzierender Technik zu fördern, wenn der Staat sich weiter daran hält, nur die Netze direkt zu fördern.

Die Bemühungen der EU-Kommission, über geeignete TSI (Technical Specifications for Interoperability) die technischen Inkompatibilitäten zu überwinden, verdienen verstärkte nationale Unterstützung, nicht zuletzt, weil auch im Störfalle schneller Ersatzlösungen zur Verfügung stehen. Hinzu kommt, dass mit der Einführung eines EU-einheitlichen Führerscheins für Eisenbahntriebfahrzeuge ein interoperabler Einsatz des Fahrpersonals möglich wird, was weitere Flexibilitäten in Störfällen schafft.

Wenn der Staat über seine Netze für ein besseres Bahnsystem sorgen will, sind Bonus-Malus-Systeme zwischen den EVU und den EIU erforderlich, um diese Anreize bzw. den Druck an die Operateure weiterzugeben. Mit modernen Techniken und Methoden sollte das Ziel verfolgt werden, eine zeitgerechte Instandhaltung mit dem Ziel einer Substanzerhaltung des bundeseigenen Schienennetzes auf hohem Niveau zu sichern. Dazu bedarf es einer ausreichenden finanziellen Ausstattung und wirksamer Anreizsysteme.

Die Netzbetreiber (EIU) verfügen über die technischen Möglichkeiten, die Fahrzeuge auf ihrem Netz in Aspekten wie Achslagertemperatur, Radsatzlasten, Flachstellen u.a. punktuell zu überwachen. Dadurch sollen gefährliche Situationen wie Entgleisungen infolge Achslagerversagen und Schäden für die Infrastruktur vermieden und der Verschleiß mini-

miert werden. Diese Überwachungsanlagen müssen eine hohe Zuverlässigkeit besitzen, um nicht selbst durch Fehlmeldungen Auslöser von Fahrplanabweichungen zu werden. Andererseits sollte aber auch ein EVU, das bewusst und mehrfach gegen die Netznutzungsbedingungen verstößt und die definierten Grenzwerte überschreitet, spürbar durch Pönale belastet werden, um solche Abweichungen in Zukunft zu unterbinden. Im Gegensatz zu Österreich ist die Nutzung derartiger Überwachungsanlagen in Deutschland noch unterentwickelt.

5. Luftverkehr

5.1 Zuverlässigkeit und Kapazität im Luftverkehrssystem

Ähnlich dem Eisenbahnverkehr ist das Luftverkehrssystem ein hinsichtlich Nachfrage und möglichem Durchsatz (Kapazität) vorrangig von außen, hier der Flugsicherung, gesteuerter Verkehrsträger. Dies gilt insbesondere für den kommerziellen Luftverkehr, der seitens der Deutschen Flugsicherung (DFS) operativ gesteuert wird und dessen Flugpläne zunächst von der DFS angenommen werden müssen. In Rahmen dieses Annahmeverfahrens wird für stark belastete Lufträume / Flugplätze die Nachfrage der Kapazität durch Kontingentierung angeglichen. Der Pilot ist zur konsequenten Befolgung der Steuerungsanweisungen verpflichtet. Von daher handelt es sich um ein zentral gesteuertes Verkehrssystem, das seit Jahrzehnten nach dem Prinzip „First Come, First Serve“ arbeitet. Es wird insofern nicht jenem Luftfahrzeug der Vorzug gegeben, das ökologisch oder ökonomisch produktiver operiert, sondern jenem, das zuerst „da“ ist. Dieses Verfahren ist infrage zu stellen und einem *On Time Service* Konzept den Vortritt zu lassen: Hiernach würde jenem Luftfahrzeug den Vorrang gegeben werden, das möglichst seine Planzeit einhält. Auf diese Weise wären Umweltbelastungen durch eine ganzheitliche Optimierung des Verkehrs deutlich zu senken und Anreize zu schaffen, Koordinationsvorgaben seitens der Flugsicherung und der überregionalen Verkehrsflussteuerung möglichst genau einzuhalten.

Das wesentliche operative Steuerungsinstrument der Flugsicherung besteht in der Vorgabe und Überwachung von Flugabständen zwischen den Luftfahrzeugen. Im Streckenverkehr liegt dieser Staffelungswert bei 5 Meilen bei ca. 800 km/h Geschwindigkeit. Gestaffelt wird alternativ auch vertikal mit 300 – 600 m. Da die Luftfahrzeuge höchst sensibel auf Abweichungen von ihrer jeweiligen Idealfughöhe mit steigendem Kraftstoffverbrauch reagieren und zudem die gängigen Luftfahrzeugmuster alle sehr ähnliche ökonomische Flughöhen im Bereich um 10 km aufweisen, ist eine weitere Reduktion dieser Staffelungswerte über verbesserte Messtechnik zur Steigerung der nutzbaren Kapazität im Luftraum anzustreben. Die Erfolge der jüngsten derartigen Umsetzungen („halbierte Vertikalstaffelung“) der Europäischen Flugsicherungsbehörde EUROCONTROL, für Europa seit 2002 wirksam, bestätigen die Effizienz derartiger Maßnahmen und sollten so auch als Bestandteil aktueller Bemühungen für einen "Single European Sky" besondere politische Beachtung erhalten.

Da kommerzielle Luftfahrzeuge in ihrem Bewegungsverhalten zudem recht „träge“ sind und weil daher beispielsweise Geschwindigkeitsänderungen im Streckenflug nur in einem möglichen Bereich von ca. 5% liegen, folgt, dass im Falle von Systemstörungen (z. B. Gewitterzellen über Flughäfen) die Flugabstände zur Erhaltung des gegenwärtig hohen Sicherheitsniveaus (10^{-7} Unfälle pro Start für die Lufthansa-Flotte) umgehend erhöht werden müssen.

Um dieses zu erreichen, ist wiederum ein möglichst frühzeitiges Eingreifen durch die Flugsicherung erforderlich. Diese Eingriffe, die neben den vorgenannten operationellen Steuerungen einzelner Luftfahrzeuge in Europa zentral durch die Verkehrsflusssteuerungszentrale (Central Flow Management Unit, CMFU) mit Sitz in Brüssel als Vorgabe an die betroffenen Luftraumsegmente strategisch übersandt werden, führen sodann zu Verspätungen im Flugablauf, wobei die Höhe der Verspätung nichtlinear mit der Auslastung des Verkehrssystems zum Zeitpunkt der Aktivierung der Maßnahme steigt. Die CFMU hat sich seit ihrer Inbetriebnahme als zuverlässigkeitssteigernder Mechanismus erwiesen. Allerdings erfolgen die Steuerungseingriffe noch zu undifferenziert im Hinblick auf die jeweilige Betriebssituation am betroffenen Flughafen. Hier ist die Rolle der Flughafenbetreiber bei der Festlegung temporär reduzierter Annahmeraten im Rahmen einer gemeinschaftlichen Entscheidungsfindung politisch und technisch zu stärken.

Zuverlässigkeit des Luftverkehrssystems ist demnach dann gegeben, wenn bei aktueller Nachfrage zu jeder Zeit „ausreichende“ Kapazitätsreserven verbleiben, die Nachfrage also kleiner oder gleich der praktischen Kapazität ist. Die praktische Kapazität ist hierbei jene, die eine vorab festgelegte maximale Verspätung des einzelnen Luftfahrzeuges und damit „ausreichende“ Mindestpünktlichkeit gewährleistet. Der zugehörige Verspätungswert liegt für Start- und Landebahnssysteme an Flughäfen bei 4 min, für die gesamte Flugmission entsprechend den Vorgaben der IATA bei 15 min. Ein Flug gilt demnach erst dann als verspätet, wenn er seine Ankunftszeit am Standplatz des Zielflughafens um mehr als 15 min verpasst.

Ergänzend wird noch die technische Kapazität im Luftverkehr definiert: Sie gibt jenen Durchsatz an, der technisch maximal möglich ist (ideal gestaffelter Verkehr). Die technische Kapazität ist jedoch nur für temporäre Spitzennachfragen auszuschöpfen, da sich gemäß den vorgenannten Gesetzmäßigkeiten erhebliche Verspätungen bei längerfristigem Betrieb auf diesem Niveau ergeben würden. Aufgrund der starken Nachfrageschwankungen über den Tagesverlauf - bedingt durch die zahlreichen Randbedingungen bei der Umlaufplanung der Luftfahrzeuge (Anschlussflüge im Kurzstreckenbereich, Zeitzoneneffekte im Interkontinentalbereich) - sind aber Spitzenbelastungen im Luftverkehrssystem unvermeidbar. So schwankt selbst beim grundsätzlich hoch belasteten Flughafen Frankfurt die realisierte Verkehrsnachfrage von knapp 40 Flugbewegungen in morgendlichen Stunden bis zu 90 Flugbewegungen pro Stunde in der Vormittags- und Nachmittagsspitze. Weiterhin ergeben sich noch zeitlich erheblich unterschiedliche Start- und Landespitzen aufgrund der Hubfunktionen des Flughafens.

Die Realisierung von Bewegungszahlen dauerhaft oberhalb der praktischen Kapazität wird regulativ durch die Koordination der stark frequentierten Flughäfen durch den Flughafenkoordinator im Auftrag des BMVBS verhindert. So werden allen koordinierten Flughäfen für die jeweilige Flugplanperiode (Sommer/Winter) Koordinationseckwerte vorgegeben.

Dieses Verfahren ist solange ökonomisch sinnvoll, wie Aspekte, z. B. der temporären Lärmbeeinflussung, aus dieser Regulierung ausgeschlossen bleiben. Dies ist aber nicht immer der Fall, wie es z. B. die Situation am Flughafen Düsseldorf (Koordinationswert deutlich unterhalb der praktischen Kapazität des Flughafens) zeigt. Hier ist die Politik gefordert, eine klarere Differenzierung von Kapazitäts- und Fluglärmaspekten in der Praxis durchzusetzen, letztere sind formal ohnehin unabhängig von Kapazitäten gesetzlich aktuell geregelt (Neufassung des Fluglärmsgesetzes, Stand Juni 2007).

Auch der in Deutschland nur noch an wenigen Standorten realisierbare 24-Stunden Flugbetrieb an Flughäfen folgt einem Regulationsprinzip, das das Fluglärmsgesetz nicht fordert und dem heutigen Transportsystemgedanken (in time delivery) an Hub- bzw. Frachtflughäfen wie Frankfurt, München und Leipzig/Halle widerspricht und die Wirtschaftskraft Deutschlands schwächt. Insofern ist verkehrspolitischer Korrekturbedarf dahingehend gegeben, dass allein die im Fluglärmsgesetz nun klar geregelten Nacht-Schutzzonen zugunsten eines Nachflugverbotes zur Anwendung kommen sollten. So können wettbewerbsfähiger Luftverkehr und Nachtruhe gleichzeitig gewährleistet werden. Dies ist für eine Stärkung des Standortes Deutschland essentiell, da kein einziger europäischer Konkurrent zu beispielsweise Frankfurt/Main wie Amsterdam, Mailand oder London mit einem Nachtflugverbot, wohl aber einem Kontingent bis 05 Uhr morgens belegt ist. Es gilt hierbei insbesondere zu beachten, dass Hub-Drehscheiben wie Frankfurt im Internationalen Warenverkehr generell austauschbar sind.

5.2 Einfluss der Witterungsbedingungen auf die Kapazität und Sicherheit

Die Staffelung der Luftfahrzeuge dient implizit der Gewährleistung einer sichereren Verkehrsabwicklung. Die Sicherheit wird hierbei über das Maß der wahrscheinlichen Abweichungen von den Planvorgaben abgeleitet. Offenkundig sind Abweichungen umso wahrscheinlicher, je widriger die operationellen, im Wesentlichen meteorologischen Randbedingungen sind. Insofern ist die praktische Kapazität im Luftverkehr keine durchweg konstante Größe, sondern sie wird allem voran durch Wetterminima beeinflusst. Beispielsweise wird bei Schlechtwetterlandungen an Flughäfen die Staffelung deutlich erhöht und damit werden die Flugzeuge, die bereits im Anflug sind, ggf. in Warteschleifen geführt. Noch nicht gestartete Luftfahrzeuge werden über Steuerungsvorgaben der CFMU am Startflugplatz am Boden gehalten, bekommen also einen Abflugslot. Die Bandbreite der praktischen Kapazität einer Start- und Landebahn kann daher zwischen 40 und 20 Starts und Landungen pro Stunde schwanken.

Die Zuverlässigkeit des Luftverkehrssystems ist folglich neben der technischen Verfügbarkeit der Infrastruktur (Flughafen, Überwachungs- und Steuerungstechnik im Luftraum) und deren Redundanz nachhaltig von der Vorhersagequalität des Wetters und den Flugabsichtsdaten (insbesondere im Winter bei Eis- und Schneebedingungen) abhängig. Die Bereitstellung hochpräziser Ist- und Prognosedaten für das Wetter an Flughäfen ist somit elementar für ein zuverlässiges Verkehrssystem. Hier ist darauf hin zu wirken, dass der Deutsche Wetterdienst bzw. entsprechende private Unternehmen Wetterämter an den Flughäfen eher aus- als abbauen und neueste Berechnungs- und Informationssysteme bereitstellen. Als positives Beispiel sei die angestrebte Einführung von Präzisionsflughafenwetterberichten am Flughafen Frankfurt genannt.

5.3 Rolle der Flughäfen

Eine ausreichende Infrastruktur ist auch im Luftverkehr die zentrale Voraussetzung für ein zuverlässiges Verkehrssystem. Hierbei nehmen die Flughäfen eine entscheidende Rolle ein, da insbesondere in Europa die Kapazität vielfach durch das Pistensystem limitiert wird. Ausreichende Kapazitäten am Boden sind am Start- und Zielort angezeigt. Hier sind jedoch in der heutigen, stark dem Hub-and-Spoke-System entsprechenden Flughafeninfrastruktur in Europa hohe Defizite erkennbar. Ein Ausbau der Hubs Frankfurt und München sowie Berlin ist zur Befriedigung der absehbaren langfristigen Nachfragesteigerung von 3-6% pro Jahr unabdingbar. An den existierenden Hubs sind Kapazitätsengpässe bereits seit Jahren durch kritische Pünktlichkeitswerte (zeitweiliger Betrieb oberhalb der praktischen Kapazität) zu verzeichnen. Durch Kapazitätsbeschränkungen bedingte Beeinträchtigungen der Zuverlässigkeit sollten – soweit standörtlich vertretbar – durch Anpassungen der Betriebsformen und gegebenenfalls durch Ausbau abgebaut werden.

Ausbauvorhaben sind im Falle Frankfurt (neue Landebahn) und Berlin-International nun laufend sowie im Falle München (3. Start-/Landebahn) angestoßen, allerdings in ihrer Umsetzung sehr aufwändig, um zeitnahe Reaktionen zu gestatten. Noch immer dauert die Planung und Realisierung der Erweiterung eines Flugplatzes häufig weit mehr als 5 Jahre in Deutschland (d. h. Inbetriebnahme einer neuen Bahn oft erst mehr als 10 Jahre nach Planungsbeginn).

5.3.1 Start- und Landebahnen

Die praktische Kapazität der Start- und Landebahn wird im Wesentlichen von zwei Faktoren beeinflusst: Zum einen von der Bahnbelegungszeit eines startenden bzw. landenden Luftfahrzeuges. Hintergrund hierzu ist die Sicherheitsstrategie, immer nur ein Luftfahrzeug zu einer Zeit auf der Bahn zu gestatten. Zum anderen hängt die Bahnkapazität von der Intervallzeit ab, also vom zeitlichen Abstand zweier die Bahn nacheinander nutzender Luftfahrzeuge. Diese hängt offensichtlich direkt von der o. g. Staffelung der Luftfahrzeuge durch die Flugsicherung ab.

Da die Staffelung aufgrund der Gefahr des Auftretens von Wirbelschleppen im An- aber auch Abflugbereich häufig höher (mehr als bis zu doppelt so hoch) als im Streckenbereich liegt, sind hinsichtlich des Fluggerätes möglichst gleichartige Verkehrsteilnehmer an hoch belasteten Flughäfen zu realisieren, um die verfügbare Kapazität der Start-/Landebahn maximal auszuschöpfen. Dies ist maßnahmenseitig dadurch herbeizuführen, dass insbesondere kleines Fluggerät, das typischerweise der Privatluftfahrt zuzuordnen ist und der große Wachstumsraten vorhergesagt werden, von diesen Plätzen fernzuhalten ist. Dieser Trend, der politisch über entsprechende Gebührenregelungen (Landegebühren, Parkgebühren) zu steuern ist, wird auch bereits an den genannten Hubs bereichsweise angewandt. Eine entsprechende Ausdehnung und Akzentuierung auf weitere Flughäfen wie Düsseldorf, Nürnberg, Hamburg ist zu empfehlen. Aus Unternehmenssicht könnte dieses Verfahren durch die verstärkte Bildung von Flughafensystemen beschleunigt werden.

Weiterhin hat neben der absoluten Anzahl an Start- und Landebahnen auch eine ausreichende Anzahl an Abrollwegen Einfluss auf die Kapazität, da hierdurch die Verweilzeiten auf der Bahn minimiert werden können. Hinsichtlich der Start- und Landebahn sei darauf verwiesen, dass die vorgenannte „betriebliche Unabhängigkeit“, d. h. keine Erfordernis der Staffelung zwischen Luftfahrzeugen, die die jeweils andere Bahn nutzen, nur bei paralleler Lage und zudem einem Achsabstand von mindestens 1.035 m gegeben ist. Kreuzende Bahnen sind von daher und insbesondere in Deutschland aufgrund vorrangiger Ost-West Windsituation und Topografie zukünftig planerisch gänzlich zu vermeiden: Der zunächst hohe erforderliche Flächenbedarf für unabhängige Start- und Landebahnen rechnet sich über das deutliche Mehr an realisierbarer Kapazität und ist insbesondere für Hubflughäfen als alternativenlose Maßnahme im Falle von Erweiterungen einzustufen. Parallel ist die Flugtechnik in diesem Bereich stark fortschreitend, so dass erwartet werden kann, dass diese Mindestabstände zukünftig sinken werden. Dieser Technologiefortgang ist durch geeignete Forschung in Deutschland zu flankieren, da er ökologisch und verkehrlich in hohem Maße effizient ist.

Schließlich sollten umfassende Sicherheitsanalysen angestoßen werden, um zu prüfen, inwieweit eine simultane Bahnnutzung durch zwei Luftfahrzeuge bzw. dreifach parallele Starts und Landungen (wie im Falle des Ausbaus Flughafen München dann faktisch vorliegend) eingeführt werden kann. Diese Maßnahme würde eine erhebliche Kapazitätssteigerung zur Folge haben.

5.3.2 Allwettertauglichkeit

An- und insbesondere Abflüge dürfen nur bei Gewährleistung von Mindestwerten für die Sicht durchgeführt werden. Fällt die Sicht unter die für eine Bahn zugelassenen Werte, so ist keine Nutzung mehr möglich, aufwändige Umleitungen zu Ausweichflughäfen mit einer völligen Unterbrechung zahlreicher Flugzeugumläufe sind die kostenintensive und Umwelt belastende Folge. Eine hohe technische Ausstattung der Landebahnen zum Erlangen von

Allwettertauglichkeit stellt einen weiteren Baustein für die Zuverlässigkeit des Verkehrssystems aufgrund dann hoher meteorologischer Unabhängigkeit dar.

Diese Tauglichkeit wird zurzeit über die Bereitstellung eines „wetterunempfindlichen“ Instrumentenlandesystems zumindest in Hauptlanderichtung technologisch erreicht. Die Flughäfen sind zu motivieren und auch zu fördern, diese im Millionenbereich liegenden Investitionen tätigen zu können. Leasingverträge, ausgereicht von möglichen Infrastrukturbetreibergesellschaften, die u. U. zukünftig unabhängig von der Deutschen Flugsicherung GmbH nach realisierter Deregulierung am Markt agieren können, könnten hier strategisch als innovatives, die Ausrüstung beschleunigendes Konzept gewählt werden. Gleiches gilt für den Bodenrollverkehr, dessen Überwachung und Steuerung auf Vor- und Rollfeld über innovative Sensorik und Datenübertragung noch weiter von aktuellen Sichtbedingungen entkoppelt werden muss.

5.4 Umgebender Luftraum und Umweltauflagen

Die Abflugkapazität ist neben der Staffe­lung der Luftfahrzeuge auch von der individuellen Wahl der Abflugroute abhängig: Nutzen zwei folgende Luftfahrzeuge unterschiedliche Routen, so stellt sich quasi kurz nach dem Start die Staffe­lung „von selbst“ ein. Von daher ist die Vorhaltung von Standardabflugrouten in ausreichender Anzahl (und möglichst kreuzungsfrei) ein weiterer Baustein zur Zuverlässigkeitssteigerung des Luftverkehrssystems. Die Implementierung derartiger Routen ist insbesondere in Deutschland mit Blick auf den Fluglärm allerdings ein sensibler Vorgang. Sie hängt auch von der Geometrie des Pisten­systems ab. Diesem Aspekt ist bei der Wahl von Lage und Länge neu zu planender Start- und Landbahnen besonders Rechnung zu tragen. Gleiches gilt für den Anflugbereich, in dem - zunächst auf die Hubs beschränkt - computergestützt mit Hilfe sogenannter „Arrival Manager“ Reihenfolgen der Luftfahrzeuge für den Endanflug auf die Landebahn errechnet und dem Fluglotsen zur Umsetzung empfohlen werden, um über der Landebahnschwelle in Abhängigkeit des geplanten Anflugverkehrs möglichst dauerhaft minimale Intervallzeiten zur Maximierung der Kapazitätsausschöpfung zu erreichen. Dies gelingt jedoch nur, wenn diese Systeme ausreichende „Lösungsräume“ zur Führung der Luftfahrzeuge auf dem kapazitiv sensiblen Endanflug zur Verfügung haben. Hierzu haben sich in S-Form ausgestaltete Anflugroutenführungen, so genannte "Trombone-Verfahren" an den Flughäfen Frankfurt und München als höchst effizient erwiesen, da hierdurch eine Vielzahl an Optionen für den Fluglotsen gegeben ist, die Luftfahrzeuge optimal auf dem kapazitätskritischen Endanflug zu platzieren. An weiteren Plätzen sind diese Verfahren zwar implementiert. Sie werden jedoch aufgrund noch fehlender Systemunterstützung kaum genutzt. Dort liegt weiteres Potential zur Steigerung der Zuverlässigkeit.

5.5 Flugplankoordinierung

Wie ausgeführt, werden im Luftverkehrssystem Flughäfen ab einer gewissen Nachfrage zentral koordiniert. In Deutschland übt diese Funktion der Flughafenkoordinator der Bun-

desrepublik Deutschland im Auftrag des BMVBS durch Ausgabe von Zeitfenstern für Starts oder Landungen, sog. Slots aus. Die starke Belastung des deutschen Flughafenetzes wird aus der Anzahl von in 2006 bereits 17 (bei separater Wertung der 3 Berliner Flughäfen) koordinierten bzw. voll koordinierten Flughäfen deutlich. Die Koordinierungspflicht fußt auf der EG-Richtlinie 793/2004, ergänzt um Richtlinie 95/93/EWG und ist darüber für alle ICAO Mitgliedsstaaten verbindlich. Die Aushandlung der nationalen Interessen erfolgt international durch die saisonalen IATA-Flugplankonferenzen.

Die aktiven Verfahren hierzu sind prinzipiell geeignet, eine hohe Zuverlässigkeit des Verkehrssystems durch Vermeidung von Überlastungssituationen an Flughäfen (und im weiteren auch im Luftraum durch ähnlich regulierte Luftraumsegmente) zu gewährleisten. Allerdings sind die Regulierungshintergründe der Flughafenkoordination nur bereichsweise diesem betrieblichen Ziel zugeordnet, wie Kap. 5.1 ausführt. Derartige Umwidmungen des Koordinierungsinstrumentariums schwächen durch künstlich knappe Kapazitäten die Zuverlässigkeit des Verkehrssystems und sind zu vermeiden.

5.6 Verkehrsflusssteuerung

Neben der Koordinierung von Einzelflügen erfolgt im Luftverkehr zudem auch grenzüberschreitend eine Mengensteuerung des Verkehrs durch die CFMU für den europäischen Luftraum. Sie koordiniert und berechnet die Slotvergabe europaweit und liefert - wie ausgeführt - einen bedeutsamen Beitrag zur Steigerung der Zuverlässigkeit im Luftverkehr. Allein die CFMU Steuerungsanweisungen scheinen für einzelne Funktionsblöcke insbesondere um Hubflughäfen noch zu undifferenziert. Eine verbesserte Berücksichtigung lokaler Nutzungsstrategien insbesondere mit Blick auf die stetig steigende Automatisierung in der Steuerung des Verkehrs ist anzustreben. Auch sollten den Luftraumnutzern mehr Mitspracherechte im Fall von unvermeidbaren Kontingentierungsmaßnahmen aufgrund zu hoher Nachfrage eingeräumt werden. Jene können am besten abschätzen, welche unternehmerischen Konsequenzen für die jeweils Betroffenen resultieren und somit die betriebswirtschaftlichen Schäden minimieren. Diese grundsätzlich auch im Betriebskonzept für den "Single European Sky" niedergelegte Zielsetzung ist durch aktive Flankierung der zukünftigen Tätigkeiten des hierzu neu gegründeten Gemeinschaftsunternehmens „JU SESAR“ seitens der Bundesregierung über die nationalen Industrievertreter sicherzustellen.

6. Verkehrsträger übergreifende Handlungsfelder

Aus der Darstellung der Risiken, die die Zuverlässigkeit von Verkehrssystemen beeinträchtigen können, ergibt sich auch der Spielraum, mit dem sich die Zuverlässigkeit der Verkehrssysteme steigern lässt. Die Ansatzpunkte sind - wie zuvor beschrieben - vielfach eng an die spezifischen Eigenarten der Systeme gebunden. Es ergeben sich jedoch auch folgende allgemeinere Handlungsfelder.

6.1 Intermodalität

Intermodalität bedeutet, dass auf dem Weg zwischen Startpunkt und Ziel die genutzten Verkehrsmittel gewechselt werden, um die spezifischen Systemvorteile der Verkehrsmittel auszuschöpfen.

Die Bedeutung intermodaler Reiseketten im Personenverkehr wie auch intermodaler Transportketten im Güterverkehr steigt unter den Anforderungen der Effizienz der Gesamtverkehrssysteme, der Kostenminimierung von Transporten, aber auch der Verringerung von verkehrsbedingten Umweltbelastungen. Diese Bedeutung wird in Zukunft stark zunehmen. Die Ausschöpfung intermodaler Optionen schafft im Gesamtverkehrssystem vielfach Redundanzen der Verkehrs- und Transportangebote. Sie kann damit unter Umständen Teilverkehrssysteme in überlasteten Teilbereichen entlasten und zur Steigerung von deren Zuverlässigkeit beitragen.

Intermodale Reise- oder Transportketten haben insofern besondere Anforderungen an die Zuverlässigkeit der (intermodal) verknüpften Teilsysteme und an Anlagen und Betrieb der Verknüpfungspunkte (z. B. Bahnhöfe an Flughäfen, Anlagen des Kombinierten Ladungsverkehrs, Seehäfen, Binnenhäfen, Flughäfen, aber auch Fernbahnhöfe, Güterverkehrszentren) als Netze und Betriebsweisen unterschiedlicher System- und Betriebscharakteristika verknüpft werden. So unterscheiden sich Größen von Transporteinheiten, Transportentfernungen, Transporthäufigkeiten in den verknüpften Systemen. Als Folge kommt den intermodalen Knoten eine besondere Sammel-, Verteil- aber auch Servicefunktion zu.

Die Funktionsfähigkeit intermodaler Verkehrs- bzw. Transportsysteme setzt eine gleichwertige Zuverlässigkeit voraus

- im Zulauf und Ablauf durch monomodale Verkehrsträger (im Fernverkehr also Straße, Schiene, Binnenwasserstraße, Seeverkehr oder Luftverkehr; im Regionalverkehr als regionaler Straßenverkehr, SPNV, ÖPNV oder auch als nichtmotorisierter Verkehr),
- in den internen Abläufen der intermodalen Knoten mit Ausladen, Umladen, Abstellen/Lagern, Behandlung/Dienstleistung, Umsteigen, Warten, Reiseservices usw.

Die intermodale Zuverlässigkeit wird letztlich durch das schwächste Glied der Gesamtkette vom Startpunkt bis zum Ziel bzw. der Teilkette im/am intermodalen Verknüpfungspunkt bestimmt.

Aufgrund unterschiedlicher Größen der Transporteinheiten wie auch unterschiedlicher Häufigkeiten („Takte“) der Transportangebote können Störungen im Zulauf mit „sprunghaften“ Veränderungen von Transportzeiten und Transportkosten vieler Transportgüter oder Fahrgäste in den anschließenden Teilketten verbunden sein. Eine Zugverspätung am Fähr-Terminal bedeutet bei nicht ausreichenden Reserven in den Übergangszeiten beispielsweise, dass entweder die Gesamtheit der anderen Fährpassagiere Verspätungen hin-

nehmen muss oder die Umsteiger aus dem Zug auf die nächste Fähre (mehrere Stunden, am nächsten Tag oder erst nach mehreren Tagen) warten müssen. Dies gilt im Zugang zu Flughäfen oder zu Fernbahnhöfen oder zu Anlagen des Kombinierten Ladungsverkehrs, zu Cargo-Flughäfen oder zu Güterbahnhöfen im gleichen Sinne.

Bei großen Mängeln der Zuverlässigkeit im Zu- oder Ablauf oder auch in der Abwicklung der intermodalen Knoten werden die intermodalen Verlagerungspotenziale nicht oder nur teilweise ausgeschöpft. Soll dies vermieden werden, sind möglichst

- einseitige Erschließungen intermodaler Knoten zu vermeiden und netzförmige Einbindungen zu bevorzugen,
- Zu- und Abläufe an neuralgischen Knoten und auf neuralgischen Strecken mit Leistungsreserven zu versehen und entsprechend auszubauen,
- ein intermodales Verkehrsmanagement in den Zu- und Ablaufbereichen einzurichten und optimiert zu betreiben,
- Verknüpfungsknoten einem stringenten Verkehrs- und Betriebsmanagement zu unterziehen,
- intermodale Knoten mit Reservekapazitäten für Umsteige-, Umlade- oder Umstellanlagen sowie mit optimierten Betriebssystemen auszugestalten. Gegebenenfalls sind Lager-, Wartekapazitäten mit entsprechenden Servicebereichen vorzuhalten,
- eine Minimierung von Reisezeiten bei der Systemkonzeption durch eine Maximierung der Zuverlässigkeit zu ersetzen.

Intermodale Transport- bzw. Reiseangebote erhöhen auf der einen Seite Kapazitäten des Gesamtverkehrssystems und fördern damit die Zuverlässigkeit, haben aber durch die beschränkte Anzahl von Verknüpfungspunkten besondere Anforderungen an die Zuverlässigkeit in Zugangs- und Abgangsnetzen sowie in den Verknüpfungspunkten selbst.

6.2 Nachfragemanagement

Einschränkungen in der Zuverlässigkeit von Fernverkehrssystemen sind vor allem räumlich und zeitlich konzentriert dort festzustellen, wo die Verkehrsbelastung, d. h. die Verkehrsnachfrage die Kapazitäten nahezu erreicht oder sogar übersteigt. Diese Ausgangslage lässt zur Verbesserung der Zuverlässigkeit neben der Bereitstellung erweiterter Kapazitäten durch Ausbau vor allem auch eine Beeinflussung der räumlichen, zeitlichen und gegebenenfalls modalen Verkehrsnachfrage als mögliche und geeignete Instrumente erscheinen.

Nachfragemanagement setzt bei der Prüfung an, ob bestimmte Verkehrsvorgänge überhaupt erforderlich sind, ob sie zu der bisher gewählten Zeit und mit den bisher bevorzugten Zielen und Wegen unabdingbar sind oder ob andere Verkehrsmittel („modale Verkehrsträger“) gewählt werden können. Zu einem Nachfragemanagement in diesem Sinne tragen bei

- a) verkehrsvermeidende Siedlungsstrukturen sowie verkehrsvermeidende Standortmuster von großen Verkehrserzeugern wie große Arbeitgeber, Einzelhandelszentren / Verbrauchermärkte, Messen, Großeinrichtungen und Großevents der Freizeit, Universitäten usw.,
- b) Veränderungen von Zeitorganisation und Zeitregelungen (Öffnungszeiten, Betriebszeiten, Vor-/Nachprogramme von Veranstaltungen, Arbeitszeiten, Ferienregelungen ...),
- c) zeitabhängige Preisstrukturen der Verkehrsangebote (Schiennenverkehr, Luftfahrt) und der Infrastrukturnutzungen (belastungsabhängige Maut, Entgelte, Preise) als Anreize zur zeitlichen Verlagerung von Verkehrsnachfrage und zur zeitabhängigen Fahrzeugauslastung und Verkehrsmittelwahl,
- d) selektive Nutzungsverbote von Verkehrsanlagen, z. B. nach Fahrtzwecken, Fahrzeugauslastung, Fahrzeugcharakteristik,
- e) Informationen über Verkehrszustände (Verkehrsmanagement, Verkehrslenkung) und Empfehlungen zur Vermeidung von Spitzenzeiten oder Belastungsbereichen.

Die raum- und standortstrukturellen Maßnahmen sind nur langfristig wirksam. Sie sollten jedoch dazu führen, dass bei jedem Ansiedlungsvorhaben dessen verkehrliche Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit überprüft werden.

Die Gesamtheit der übrigen Maßnahmen können als „integriertes Mobilitätsmanagement“ bezeichnet werden, das vermehrt Verkehrsnachfragebeeinflussungen in den Fokus der Betrachtungen stellt. Es handelt sich überwiegend um „weiche“ Maßnahmen der Verkehrsorganisation, der Mobilitätsdienste, der ökonomischen und sonstigen Anreize, der Verkehrs- und Mobilitätsinformation. Diese können raumbezogen und standortbezogen, verkehrsteilnehmergruppenbezogen oder auch bezogen auf einzelne Verkehrsmittel adressiert werden.

Die auf kommunaler und regionaler Ebene, auf der Ebene von Einzeleinrichtungen (z.B. „betriebliches Mobilitätsmanagement“) oder von einzelnen Nutzergruppen vorliegenden Erfahrungen müssen vermehrt auf den Fernverkehr übertragen werden. So könnten beispielsweise veränderte Staffellungen von Ferienzeiten, veränderte Organisation der Gastwechsel in Feriendomizilen zu Entlastungen von ferienverkehrsbedingten Verkehrsspitzen und damit zur Erhöhung von „Zuverlässigkeit“ im Fernverkehrssystem beitragen. Dies gilt entsprechend für Anfangszeiten von Großveranstaltungen. Ebenso könnten verstärkt Angebote zu stauvermeidenden Routen- und Fahrzeitempfehlungen bereitgestellt und durch ökonomische Anreize („Strecken-Maut“) unterstützt werden.

6.3 Gestaltung der Infrastrukturen

Bei der Gestaltung der Verkehrsnetze kommt es darauf an, zu starke Konzentrationen der Verkehrsflüsse an einzelnen Punkten zu vermeiden und alternative Führungen der Verkehrsflüsse zu ermöglichen. An Knoten, die eine hohe Konzentration der Verbindungen im

Netz aufweisen, pflanzen sich Störungen zwischen allen angeschlossenen Strecken fort. Eine Störung des Knotens beeinträchtigt alle angeschlossenen Strecken. So ist aus Gründen der Sicherheit und Zuverlässigkeit einer übermäßigen Konzentration an Hubs vorzubeugen. Dies gilt sowohl für große Flughäfen wie auch für zentrale Eisenbahnknoten.

In allen Teilverkehrssystemen können die Wirkungen von Störungen gemindert werden, wenn Alternativen für die Durchführung der Verkehre vorgehalten werden. Deswegen ist es wünschenswert, bei der Planung der Verkehrsnetze darauf zu achten, dass Redundanzen in Form von Ausweichstrecken in hochbelasteten Netzabschnitten geschaffen und aufrecht erhalten werden und dass mit der Festlegung von Mindeststandards nicht erhebliche Störungen bei Wartungs-, Reparatur- und sonstigen Arbeiten in Kauf genommen werden.

Bei der Beurteilung von Neu- oder Ausbaumaßnahmen für zentrale Knoten oder Strecken sollte daher auch das Ausfallrisiko mit einbezogen werden, wodurch Risiko mindernde Maßnahmen – wie etwa alternative Routen oder Umschlageinrichtungen – als wirtschaftlich sinnvoll erscheinen können und in die Vorhaben integriert werden sollten.

Bei der Planung von Neubau-, Ausbau- oder Erneuerungsvorhaben sollten tendenziell Bauweisen mit hoher Lebensdauer bevorzugt werden. Dies bedeutet, dass in die monetäre Beurteilung der Vorhaben und deren Bauformen vor allem die Erneuerungshäufigkeit („Zyklen“) bzw. deren Verringerung und die aus den Bauphasen resultierenden Staukosten gesamtwirtschaftlich einkalkuliert werden. Es werden daher Lebenszyklusbetrachtungen auch unter Aspekten der Zuverlässigkeit des Verkehrssystems anzustellen sein.

6.4 Instandhaltung und Investitionsplanung

Naturgemäß nehmen die Ausfallrisiken auf der Seite der Infrastruktur mit zunehmendem Alter der Bauwerke zu. Es ist bekannt, dass die Baulastträger große Sorgfalt darauf verwenden, Schäden so frühzeitig wie möglich zu erkennen, damit Instandsetzungs- und Pflegemaßnahmen eingeleitet werden können. Diese Sorgfalt darf unter dem Diktat knapper öffentlicher Budgets nicht nachlassen. Statt dessen sind diese Bemühungen zu steigern und moderne Monitoring- und Managementmaßnahmen zur Beherrschung der Ausfallrisiken einzuführen. Häufige Notreparaturen, notdürftiges Flicken statt der erforderlichen Grundsanierung führen zu deutlich mehr und volkswirtschaftlich nicht zu vertretenden Behinderungen. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass große Teile des Straßennetzes und noch mehr des Eisenbahnnetzes ein Alter erreicht haben, in dem die Instandhaltung zur Sicherung der zuverlässigen Funktionsfähigkeit vordringlich ist. In den letzten beiden Jahrzehnten ist diesem Aspekt bei der Investitionsplanung mit Ausnahme des Luftverkehrs nicht ausreichend Rechnung getragen worden, sodass sich sowohl die Qualität als auch die Zuverlässigkeit der Netze im Straßen- und Eisenbahnwesen verschlechtert haben. Daraus folgt ein erheblicher Nachholbedarf an Instandhaltung, der Vorrang vor großen Neubauvorhaben erhalten sollte.

6.5 Planungsinstrumente

Ganz generell verdient das Ziel der Zuverlässigkeit einen vorrangigen Stellenwert bei den Entscheidungen über die Ausbauplanung und die Betriebssteuerung der Verkehrssysteme. Hierbei besteht vor allem ein Nachholbedarf in den Grundlagen der etablierten Planungs- und Managementinstrumente. Die dort angewendeten Methoden sind so weiterzuentwickeln, dass volkswirtschaftliche Schäden aus Störungen im Betriebsablauf bei allen Verkehrssystemen erkennbar werden. Diese sind mit den Kosten für Maßnahmen zur Minderung solcher Schäden auf allen Planungs- und Entscheidungsebenen zu vergleichen, damit angemessene Schritte zur Sicherstellung und Verbesserung der Zuverlässigkeit des Verkehrssystems ermöglicht werden.

7. Zusammenfassung und Kernempfehlungen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit

Unter der Zuverlässigkeit eines Verkehrssystems ist die Wahrscheinlichkeit zu verstehen, dass alle Elemente des Systems den Nutzern störungsfrei zur Verfügung stehen. Wegen der vielfältigen Störungsmöglichkeiten ist das Erreichen einer hohen Zuverlässigkeit eine komplexe Aufgabe. Diese Aufgabe gewinnt mit der zunehmenden Auslastung der Verkehrssysteme eine maßgebende Bedeutung. Der Wissenschaftliche Beirat hält die Verbesserung der Zuverlässigkeit in allen Teilverkehrssystemen für ein vorrangig zu verfolgendes Ziel, dem in der Verkehrspolitik und auf allen Ebenen der Planung und der Durchführung des Verkehrs ein höheres Gewicht beigemessen werden soll.

Im Straßenverkehr kann der stärkste Gewinn an Zuverlässigkeit durch gezielte Ausbaumaßnahmen örtlich begrenzter Engpässe erreicht werden. Ein anderer wesentlicher Beitrag zur Erhöhung der Zuverlässigkeit des Verkehrs auf den Autobahnen ist eine Verkürzung der Zeiten für Arbeitsstellen. Auch das verbesserte Management von Störungen (schnelle Räumung von Unfallstellen und kurzfristige Beseitigung liegengebliebener Fahrzeuge) leistet einen wesentlichen Beitrag. In den Bewertungsverfahren für geplante Straßenbaumaßnahmen muss der Aspekt der Zuverlässigkeit eine vorrangige Bedeutung erhalten.

Im Personenfernverkehr der Eisenbahn wird die Pünktlichkeit der Züge als ein besonders wichtiges Qualitätskriterium angesehen, dem im Konfliktfall der Vorrang vor geringfügigen Verkürzungen der Fahrzeit im Fahrplan gegeben werden sollte. Deshalb sind Zeitereserven im Fahrplan zum Abfangen von Verspätungen von großer Bedeutung. Im Falle eingetretener Störungen (z. B. Streckensperrungen, Baumaßnahmen) sind Redundanzen im Netz (Umleitungsstrecken, Überholgleise, Überleitungsmöglichkeiten) entscheidend, um die Folgen begrenzen zu können. Diese Bedeutung sollte bei der planerischen Bewertung des Streckennetzes stärker gewichtet werden. Ein wichtiger Beitrag zur Erhöhung der Netzkapazität und damit zur Steigerung der Betriebsstabilität ist die Entmischung von schnellen und langsamen Zügen (Netz-21-Konzept). Diese Strategie soll bei der weiteren

Entwicklung des Eisenbahnnetzes eine hohe Priorität erhalten. Die Zuverlässigkeit kann auch dadurch gefördert werden, dass das Trassenpreissystem stärkere Anreize bietet, zuverlässige technische Systeme - sowohl auf Seiten der Infrastruktur als auch bei den Eisenbahnverkehrsunternehmen - einzusetzen.

Die Zuverlässigkeit im Luftverkehr kann vor allem durch kapazitätssteigernde Maßnahmen an den hoch belasteten Flughäfen gesteigert werden. Dazu gehören insbesondere beschleunigte Genehmigungsverfahren für notwendige Erweiterungsmaßnahmen. Aber auch verbesserte An- und Abflugverfahren, eine stärkere Unabhängigkeit im Betrieb benachbarter Start- und Landebahnen sowie sichtunabhängige Rollführung der Luftfahrzeuge am Boden können zur Kapazitätssteigerung beitragen. Die darauf gerichteten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sollten gefördert werden. Auch die Bereitstellung exakterer Wetterdaten trägt zur Planungssicherheit des Luftverkehrs bei. Bei internationaler Sicht vermag es die konsequente Umsetzung des "Single European Sky", die Zuverlässigkeit des Luftverkehrs zu steigern.

Durch eine Ausrichtung der Verkehrspolitik auf eine hohe Zuverlässigkeit des Verkehrssystems kann dessen Leistungsvermögen verbessert werden. Der Einsatz der dafür aufgewendeten Mittel wird als besonders effizient eingeschätzt.

Abstract

Ensuring the reliability of the traffic system becomes an important issue when the capacity utilisation of the traffic systems is high. The Scientific Advisory Board assesses the improvement of reliability in all transport modes as a prior goal which should be more emphasised in transport policy and at all levels of transport planning and operation. This is motivated by the fact that means which are used for reliability improving measures promise considerable returns. In road traffic, reliability can be most improved by eliminating local bottlenecks through road enlargement. Moreover, a more efficient time management at construction sites and also a better incident management (clearing of accident sites and vehicle break downs) should be used to improve reliability. Despite of this, reliability should be addressed as an important aspect in assessment guidelines. In rail traffic, reliability represents a criterion which should be superior to limited time gains. This aspect should become more prominent in the assessment of rail infrastructure. Capacity in particular can be improved by decomposing fast and slow traffic (Netz 21). This strategy should be prioritised in the network development. Reliability can be also supported by incentives to apply reliable technical systems in the track charges system. In air traffic, it is important to reduce planning times for necessary airport enlargements. Measures which improve capacity comprise among others optimised take off and landing routines, the provision of exact weather data and the consistent implementation of the Single European Sky.

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

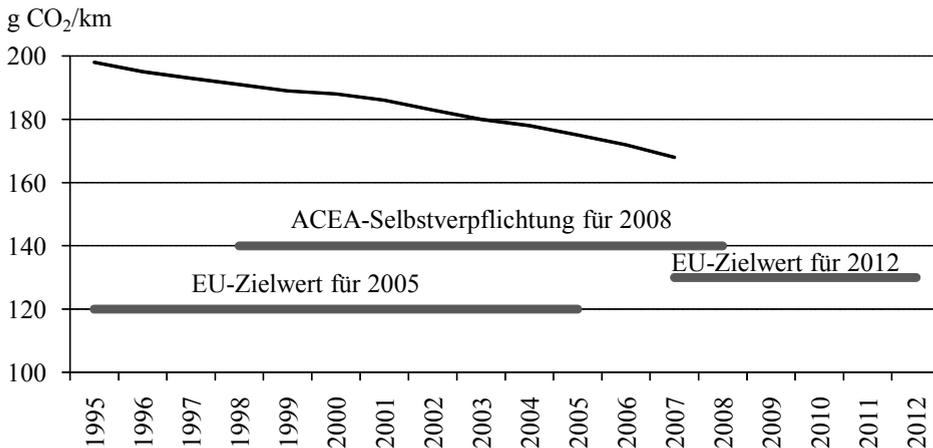
50923 Köln

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. Protrans (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-Reduktionspotentiale 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:

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

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

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

- 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.

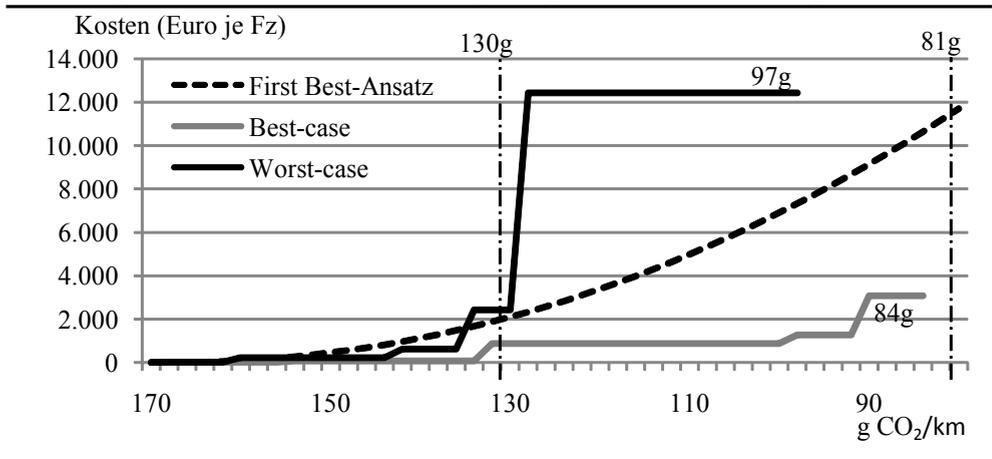
Um die Analyse für einen Zeitpunkt vor 2010 durchführen zu können, muss daher ein alternativer Weg beschritten werden. Dazu wird der First Best-Ansatz genauer betrachtet¹⁰. Für diesen Ansatz wurden die Einspar-Kosten in Euro für die Industrie der CO₂-Einsparung in Gramm gegenübergestellt. Insgesamt existieren 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

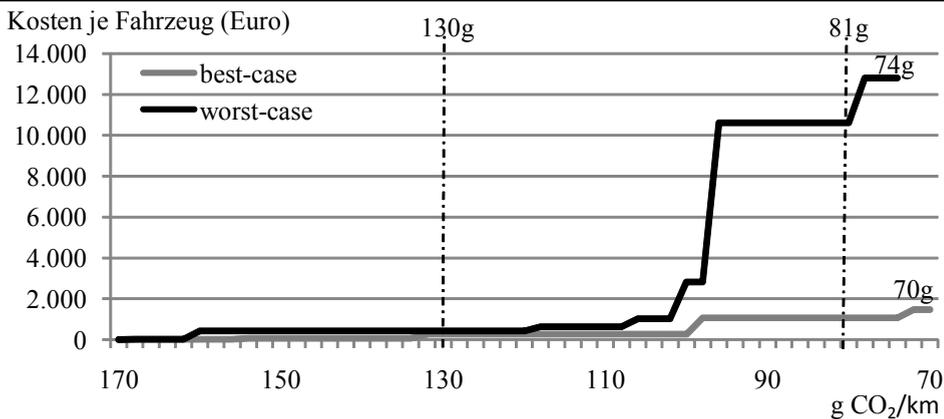
Hier wird wieder in best-case (niedrigere Kosten) und worst-case (höhere Kosten) unterschieden. In den letzten beiden Zeilen werden die Bündel gebildet. In dem jeweiligen

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 Einspareffekte 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. Hennicke, 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.

Slots – Flaschenhals des Luftverkehrs

VON PETER KOKOTT, SOLINGEN UND PETER RÖTZEL, STUTTGART

Inhalt

1. Einleitung und Problemstellung
2. Marktüberblick
3. Regulierung via Slot-Nutzungsentgelt
4. Festlegung eines Mindest-Sitzladefaktors bzw. eines Mindest-Frachtladefaktors
5. Alternative Regulierung der Slots
6. Fazit

1. Einleitung und Problemstellung

Der Flugverkehr entwickelt sich in rasantem Tempo. Immer mehr Menschen nutzen das Flugzeug, um ihre Mobilitätsbedürfnisse zu befriedigen. Insbesondere seit Flugreisen durch Low-Cost-Carrier für jedermann erschwinglich geworden sind, nimmt der Luftverkehr stetig zu.

Die Infrastruktur am Boden kann hier seit Jahren nicht mehr mithalten. Slots – die Lande- und Startnischen für Flugzeuge – sind insbesondere an großen internationalen Flughäfen zur Mangelware geworden. Stetig drängen neue Airlines in den europäischen Luftraum und beanspruchen ihren Platz als Luftverkehrsdienstleister – und erhöhen damit die Nachfrage nach Slots. Gleichzeitig werden Restriktionen und protektionistische Regelungen im Luftverkehr gelockert (vgl. z.B. Open Skies). Die Erkenntnis, dass der Luftverkehr zum Kitt der Globalisierung geworden ist, hat sich in den Köpfen der Menschen längst durchgesetzt. Das Hauptproblem besteht also im Kapazitätsengpass bei Slots und bei der Abfertigung der Flugzeuge am Boden. Der derzeitige Vergabemechanismus für Slots wurde in einer Zeit etabliert, in der vollständig regulierte Flughäfen die Ausnahme darstellten. Heutzutage sind vollständig regulierte bzw. partiell vollständig regulierte Flughäfen zur Regel geworden. Das Slot-Grandfathering vermag den heutigen Anstieg des Luftverkehrs nicht adäquat zu bewältigen.

Anschrift der Verfasser:

Peter Kokott
Erlenstrasse 4
42697 Solingen

Dr. Peter Rötzel
Universität Stuttgart
Lehrstuhl Controlling
Keplerstr. 17
70174 Stuttgart

Slots an internationalen Flughäfen werden teilweise mit Regionalflugzeugen genutzt, auch wenn ein anderer Anbieter bereit wäre, den gleichen Slot mit einem Widebody¹ zu bedienen. Im Sinne der Slot-Effektivität ist dies disfunktional.

Dieser Aufsatz beschäftigt sich mit dem Problem der Slot-Ineffektivität und versucht, durch ein Modell diesem Problem zu begegnen. Dabei wird insbesondere auf die Optimierung der Slot-Effektivität abgezielt. Somit wird der Frage nachgegangen, wie ein Slot-Vergabeverfahren aussehen müsste, um die vorhandene Infrastruktur am Boden optimal zu nutzen und gleichzeitig einen fairen Zugang zur Bodeninfrastruktur (durch den Zugang zu Slots) sicherzustellen.

Zunächst wird die derzeitige Situation auf deutschen Flughäfen – insbesondere Frankfurt am Main – skizziert. Weiterhin werden das derzeitige Slot-Vergabeverfahren in Deutschland betrachtet und mögliche Alternativen diskutiert. Schließlich wird ein Modell zur Optimierung der Slot-Effektivität aufgestellt.

2. Marktüberblick

Der Luftverkehr in Europa ist durch einen rapiden Anstieg in den letzten Jahren und durch eine Verknappung der technischen und politischen Möglichkeiten gekennzeichnet. Auch in Deutschland besteht eine höhere Nachfrage an Start- und Landezeitnischen als das vorhandene Angebot an Slots.²

Die Gründe für diese Slot-Knappheit lassen sich im Wesentlichen in zwei Kategorien klassifizieren: zum einen in die technischen Gründe sowie zum anderen in die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen. Technische Einschränkungen sind insbesondere die maximal mögliche Auslastung des Start- und Landebahnsystems und der Bodenabfertigungskapazitäten sowie die sicherheitsrelevanten Beschränkungen (Abstände zwischen den Flugzeugen). Zu den gesellschaftlichen Einschränkungen zählen z.B. die Vermeidung von Fluglärm in dicht besiedelten Gebieten, ökologische Aspekte, Nachtflugverbote etc. Eine Erweiterung der Flughafenkapazitäten ist auf der technischen Seite nur langfristig möglich. Der Ausbau des Start- und Landebahnsystems kann Jahre oder gar Jahrzehnte in Anspruch nehmen (vgl. die Planung und der Beschluss über den Ausbau des Frankfurter Flughafens). Eine kurzfristige Anpassung lässt sich allenfalls bei den Bodenabfertigungskapazitäten erreichen, sofern die baulichen Gegebenheiten dies zulassen (vgl. Zeike, 2002, S. 33f).

Noch schwieriger erscheint die Änderung gesellschaftlicher und politischer Rahmenbedingungen. Nachtflugverbote werden von Bürgerinitiativen durchgesetzt, ökologische Gren-

¹ Def. Großraumflugzeug; z.B. Airbus A 330/340, Boeing 777, 747.

² Insbesondere in Frankfurt am Main (FRA) besteht in den Spitzenzeiten (ca. 07:00 bis 22:00 Uhr; vgl.: FRA-PORT, Geschäftsbericht 2007 S. 7) ein dramatischer Engpass an Slots.

zen von Interessensverbänden³ gefordert und vom Gesetzgeber letztendlich beschlossen und umgesetzt.

Vor diesem Hintergrund scheint eine kurz- bis mittelfristige Lösung in der Optimierung der vorhandenen Kapazitäten zu liegen. Dabei wird in diesem Text primär auf die Auslastung der vorhandenen Slots – also die Erhöhung der Slot-Effektivität – fokussiert. Die zentrale Frage lautet also: wie kann eine größere Anzahl an Passagieren sowie eine größere Menge von Fracht bei der gegebenen Höchstmenge der vorhandenen Slots durch den limitierenden Faktor Flughafen geschleust werden?

Derzeit werden die Slots entsprechend der EU-Verordnung 95/93 und ihrer Ergänzung von 2004 primär dem „Grandfathering“ folgend vergeben. D.h., der Anspruch einer Airline auf bestimmte Slots begründet sich in der historischen Nutzung der Slots. Lufthansa erhält somit – aufgrund der langjährigen Nutzung – am Frankfurter Flughafen eine große Anzahl von Prime-Slots (in den Spitzenzeiten), während Newcomer lediglich nicht genutzte Slots bzw. unattraktive Slots in den Tagesrandzeiten wahrnehmen können. Dabei spielt es keine Rolle, welche Anzahl von Passagieren / Menge von Fracht mit welchem Flugzeug und Auslastungsfaktor transportiert werden. D.h., ein ererbter Slot kann in Bezug auf die Flugzeuggröße und die Auslastung ineffektiv sein im Vergleich zu einem potentiellen Anbieter, der nicht zum Zuge kommt (Newcomer). Dieser Slot wird dennoch an alteingesessene Airlines vergeben, obgleich dadurch Einnahmeverluste für den Flughafen entstehen sowie der Nutzen für die Allgemeinheit gemindert wird (weniger Passagiere werden befördert als möglich; dabei ist es unerheblich, ob die Passagiere Einheimische, Ausländer oder Transferpassagiere sind).

Eine effiziente Vergabe der vorhandenen Slot müsste dieses Problem lösen, d.h. die Slots müssten an denjenigen Nachfrager vergeben werden, der bereit ist, den Slot so effektiv wie möglich zu nutzen, also große Flugzeuge mit einer hohen Auslastung einzusetzen. Gleichzeitig müsste im Falle des Cheating ein negativer – prohibitiv hoher – Anreiz in Aussicht gestellt werden, um das Verhalten der Airlines zu steuern.

3. Regulierung via Slot-Nutzungsentgelt

Der derzeitige Stand der Slot-Vergabe wird am Beispiel Frankfurt am Main (vgl. Fraport, Flughafenentgelte 2008) analysiert. Der Flughafen in Frankfurt am Main leidet unter einem permanenten Nachfrageüberhang im Slot-Bereich. Zwischen 07.00 Uhr und 22.00 Uhr übersteigt die Nachfrage nach Slots teilweise um 21,8% das Angebot (vgl. Fraport, Geschäftsbericht 2006, S. 7). Nur in den Tagesrandzeiten zwischen 05.00 Uhr und 07.00 Uhr

³ Welche Macht Interessensverbände besitzen, lässt sich sicherlich eindrucksvoll am Beispiel des Frankfurter Flughafens manifestieren. Die Erweiterung der Kapazitäten durch den Bau einer vierten Landebahn hat sich über ein Jahrzehnt hinweg hingezogen, da immer wieder durch Bürgerinitiativen ein Planungs-/ Baustopp erreicht wurde. Dies hat dem Frankfurter Flughafen im internationalen Vergleich einige Nachteile verschafft.

sowie zwischen 22.00 Uhr und 23.00 Uhr sind genügend Slots vorhanden, um die Nachfrage zu befriedigen. Kurzfristige Anpassungen der Slot-Kapazität sind nicht zu erwarten, da das Start- und Landebahnsystem (SLBS) den begrenzenden Faktor darstellt und die Erweiterung des SLBS bis voraussichtlich 2011 auf sich warten lässt.

Das Wachstum in FRA gemessen an der Anzahl abgefertigter Passagiere betrug im Geschäftsjahr 2006 gegenüber 2005 lediglich 1,14 %, der Wachstum im Jahr 2007 betrug 2,6 %. Der Umsatz wuchs im gleichen Zeitraum um 2,58 %. Im internationalen Vergleich sind diese Werte als gering zu bewerten.

Tabelle 1: Wachstum ausgewählter internationaler Flughäfen

	2005/2006	2006/2007
Paris (CDG)	5,7 %	5,4 %
Tokyo (HND)	4,0 %	1,3 %
Denver (DEN)	9,1 %	5,4 %
München (MUC)	7,5 %	10,4 %

(vgl. Airport Council International 2008; vgl. Airports Council International 2007).

In FRA sind die Gebühren für die Nutzung des Flughafens in Bausteine unterteilt. Ein Teil besteht aus gewichtsrelationalen Entgelten (MOTM abhängig), wobei für Flugzeuge mit einem Höchstabfluggewicht von unter 35000 kg eine Mindestgebühr erhoben wird. Zusätzlich zu den MTOM-basierten Entgelten werden Gebühren pro Passagier bei Passagierflügen sowie ladungsabhängige Gebühren bei Frachtflügen (passagier- und frachtbezogene Entgelte können bei einem Flug kombiniert werden, da Passagierflugzeuge auch Fracht befördern; das Passagiergepäck wird nicht als Fracht betrachtet) erhoben. Daneben wird noch eine „lärmabhängige“ Gebühr erhoben. Diese Gebühr staffelt sich nach der Zertifizierung der Flugzeuge gem. ICAO Annex 16/3 bzw. 2 und ist auch abhängig von der Tageszeit, zu der der Flughafen angeflogen wird. Seit 01.01.2008 werden auch emissionsrelationale Gebühren am Frankfurter Flughafen erhoben. Diese Gebühren richten sich nach den Stickoxid-Emissionen.

Neben den genannten Entgelten werden zusätzlich Sicherheitsgebühren, Passagiergebühren sowie Abstellentgelte und Bodenabfertigungsentgelte (diese Entgelte werden jedoch teilweise mit Drittunternehmen abgerechnet, da die Bodenabfertigung nicht notwendigerweise dem Flughafenbetreiber obliegt) erhoben.

Die hier genannten Gebühren werden im Wesentlichen durch die Flugzeuggröße, die Lärmeinstufung sowie die Auslastung des Flugzeuges determiniert. Diese Gebühren gelten für alle zivilen Fluggesellschaften und Privatnutzer unabhängig der Tageszeit. Die Prime-Slots (in den Spitzenzeiten) werden keiner zusätzlichen Gebühr unterworfen.

Neben den genannten Gebühren besteht für die Airlines die Möglichkeit, durch eine hohe Auslastung ihrer Flugzeuge einen Teil der Passagierentgelte zurückerstattet zu bekommen. Wird über die Dauer eines Jahres eine Durchschnittsauslastung von über 80 % erreicht, so werden für jeden über dieser Grenze liegenden Passagier 9,25 € an die Airline zurückerstattet. Diese Regelung wird nur auf den Jahresdurchschnitt angewendet, nicht jedoch auf jeden Flug individuell. So können Flüge in Spitzenzeiten einen geringen Sitzladefaktor aufweisen, ohne dass dies negative Auswirkungen für eine Airline nach sich zieht (vgl. Fraport, Flughafenentgelte, 2008).

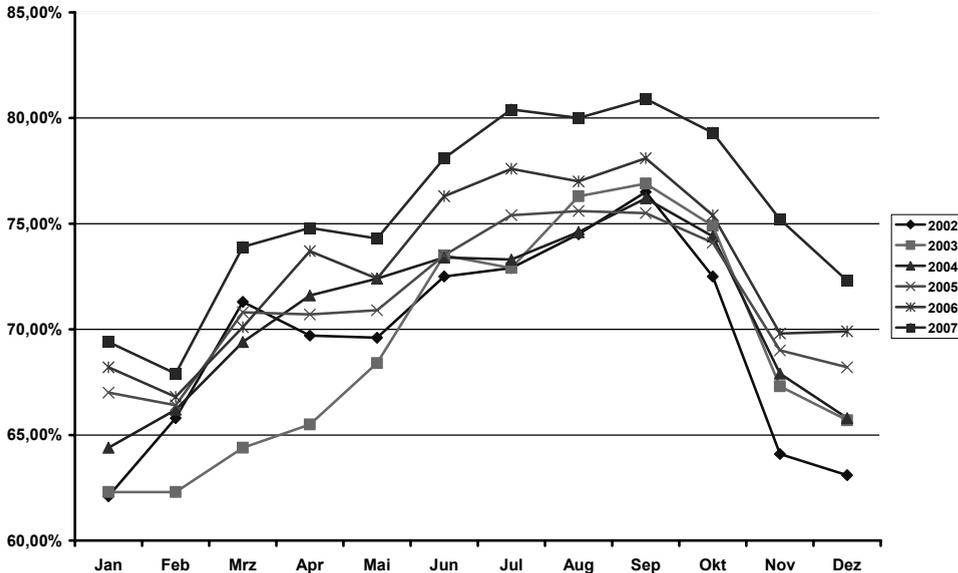
Ein Anreiz für die Fluggesellschaften, ihre Flugzeuge optimal auszulasten und den zugewiesenen Slot optimal zu nutzen (im Hinblick auf die Flugzeuggröße und die Auslastung) wird durch das skizzierte Entgeltsystem nicht geboten. Bei der derzeitigen Knappheit der Slots in FRA ist diese Gebührenordnung disfunktional. Die Kappungsgrenze bei Passagierflügen soll ein Anreizinstrument für eine höhere Auslastung der Flugzeuge darstellen. Die beabsichtigte Wirkung kann und wird sich jedoch nicht auf Spitzenzeiten auswirken. Die geforderte Auslastung wird über einen zu großen Zeitraum ermittelt als dass diese Maßnahme unmittelbare Auswirkungen auf einzelne Flüge haben könnte. Weiterhin ist zweifelhaft, ob ein Auslastungsfaktor von 80 % angesichts der Kapazitätsprobleme am Frankfurter Flughafen die beste Bemessungsgrundlage darstellt.

Ein Flughafenentgeltsystem, welches die Optimierung der Kapazitätsnutzung zum Ziel hat, müsste einen Anreiz bieten, die Auslastung der Flugzeuge zu steigern und die Flugzeuggröße zu erhöhen. Dies wäre mit einem Mindestladefaktor bei der Berechnung der Nutzungsentgelte zu erreichen, weiterhin sollte das MOTM-abhängige Nutzungsentgelt unterproportional zum MOTM wachsen. Beim Mindestladefaktor sollte die Grenze dem Durchschnitt der Auslastung aller Flugzeuge – bezogen auf einen eng gesteckten Zeitrahmen (z.B. stundenweise) – entsprechen. Unterschreitet ein Flug die festgesetzte Grenze, muss dann trotzdem das Nutzungsentgelt der Mindestauslastung entrichtet werden. Fluggesellschaften hätten somit einen Anreiz die Auslastung der Flugzeuge zumindest bis zur definierten Mindestauslastung zu erhöhen. Eine stufenweise Anpassung der Mindestauslastung würde eine zusätzliche Auslastungsoptimierung der verfügbaren Slots nach sich ziehen.

4. Festlegung eines Mindest-Sitzladefaktors bzw. Mindest-Frachtladefaktors

Die Auslastung der Passagierflugzeuge wird unabhängig der Flugzeuggröße mit dem Sitzladefaktor (SLF) angegeben, die der Frachtflugzeuge mit dem Frachtladefaktor (FLF). Damit wird die relative Auslastung des Flugzeuges beschrieben. Der durchschnittliche SLF am Flughafen Frankfurt a.M. betrug im Jahr 2007 75,8 % (vgl. FRAPORT, Geschäftsbericht 2008, S. D). dies bedeutet eine Steigerung von 2,6 % gegenüber dem Vorjahr (vgl. FRAPORT a.a.O.). Der Sitzladefaktor schwankt saisonal und tageszeitabhängig. In den Prime-times werden höhere SLFs erreicht als in den Tagesrandzeiten. Saisonbedingt schwankte der SLF (auf Monatsbasis) zwischen 67,9 % im Februar 2007 und 80,9 % im September 2007. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der SLFs in den Jahren 2002 bis 2007.

Abbildung 1: Entwicklung des Sitzladefaktors



Der durchschnittliche SLF des Jahres 2007 zeigt, dass die meisten Flugzeuge nicht optimal ausgelastet waren. Zwar können die Airlines nicht jeden Flug mit dem optimalen Flugmuster – bezogen auf die Passagiergröße – bedienen, der Flughafen erleidet jedoch dadurch Einnahmeausfälle, da die Differenz zwischen erreichtem SLF und einer vollständigen Auslastung Opportunitätskosten darstellt. Sofern die Slot-Nachfrage das Slot-Angebot übersteigt, kann davon ausgegangen werden, dass immer ein Nachfrager existiert, der einen höheren SLF mit einem größeren Flugzeug generieren könnte. Der Flughafen würde somit mehr Einnahmen erzielen und das knappe Gut Slot besser genutzt werden. Um diesen Zusammenhang zu verdeutlichen, lässt sich folgende Einnahmefunktion für den Aviation-Bereich eines Flughafens skizzieren:

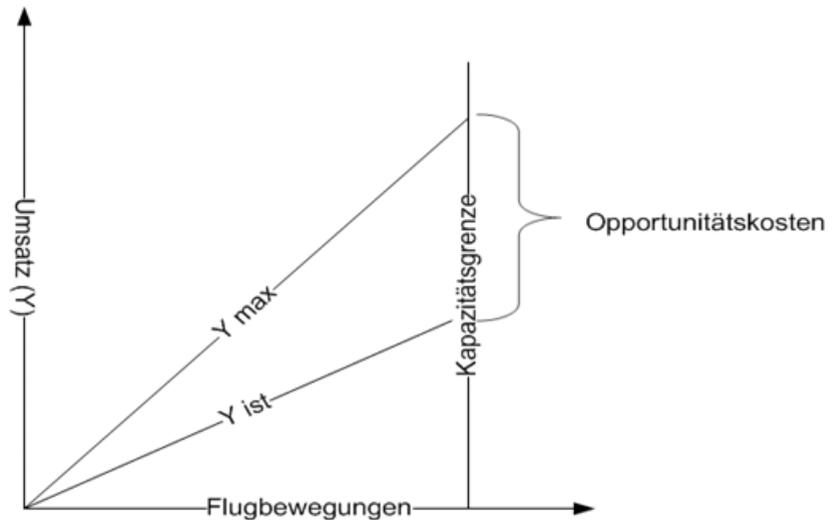
$$Y_{\max} = ((M * G) + (PC * G)) * \text{SLOT}_{\max \text{ p.a.}}$$

Y_{\max} beschreibt dabei den maximal erreichbaren Umsatz im Aviation-Bereich. M gibt das maximal mögliche MTOM einer Flugbewegung an. G seien die MTOM-basierten Gebühren. PC seien die maximal mögliche Anzahl von Passagieren bzw. Fracht pro Flugbewegung. Dabei wird das derzeit größte am Markt verfügbare Flugmuster mit der maximalen Anzahl von Sitzen/ Frachtkapazität zugrunde gelegt. $G_{\text{PAX/CARGO}}$ seien die passagier- bzw. frachtbezogenen Gebühren und Entgelte. $\text{SLOT}_{\max \text{ p.a.}}$ bezeichnet schließlich die Anzahl der an einem Flughafen verfügbaren Slots.

Die Funktion basiert auf der Annahme, dass die Gebühren und Entgelte das Marktniveau erreicht haben und nicht verändert werden.

Bei jeder infinitesimalen Senkung von M sowie PC entstehen dem Flughafen Einnahmeverluste. Abbildung 2 verdeutlicht diesen Sachverhalt:

Abbildung 2: Opportunitätskosten im Zusammenhang mit der Slot-Vergabe



Das Ziel für den Flughafen muss die Senkung der Opportunitätskosten sein. Da der Aviation-Bereich – wie bereits gezeigt – mit dem Non-Aviation-Bereich korreliert, wirkt sich eine Verbesserung der Einnahmen im Aviation-Bereich auch positiv auf den Non-Aviation-Bereich aus.

Der Mindest-SLF/ FLF muss – soll eine Steigerung der SLOT-Effektivität erreicht werden – auf dem Niveau der derzeit höchsten erreichten SLF/FLF (saisonabhängig) liegen und periodisch angepasst werden. Somit würden Airlines, die bereits jetzt hohe SLFs/FLFs realisieren, nicht benachteiligt werden. Gleichzeitig würde für die schwächeren Airlines ein Anreiz geschaffen werden, die Auslastung zu erhöhen. Bei der Berechnung der Entgelte und Gebühren würde stets der Mindest-SLF/ FLF berücksichtigt werden.

5. Alternative Regulierung der Slots

Die Regulierung eines Marktes ist im Vergleich zur wettbewerblichen Organisation aus ökonomischer Sicht immer eine Notlösung, daher muss sie in der liberalen Marktwirtschaft eine ökonomische und ordnungspolitische Begründung haben. Eine solche Begründung wäre die Existenz von Marktversagen. Dies steht im Zentrum der normativen Regulierungstheorie.

Die Regulierung kann in der Theorie auf normative oder auf positive Weise erklärt werden. Die normative Theorie der Regulierung strebt die neoklassische Wohlfahrtsmaximierung an, während die positive Regulierungstheorie davon ausgeht, dass der Regulierer im eigenen Interesse handelt und das Gemeinwohl nur so lange verfolgt, wie es mit seinen eigenen Zielen kongruent ist. Die regulierten Unternehmen versuchen hierbei, auf den Regulierer einzuwirken – hauptsächlich durch Interessenverbände. Die positive Regulierungstheorie hat einen geringeren Formalisierungsgrad und hat die Informationsvermittlung zwischen den einzelnen Parteien – Regulierer, Unternehmen, Interessenverbänden – im Fokus (vgl. grundsätzlich Pfaffenberger, 1993, S. 233f.).

Die normative Theorie zur Regulierung kann in zwei Bereiche unterteilt werden, die unterschiedliche Prämissen und Schlussfolgerungen für das Verhalten von Regulierer und Regulierten ziehen. Auf der einen Seite steht die traditionelle Regulierungstheorie, auf der anderen Seite die neuere Regulierungstheorie. Die traditionelle Theorie geht von vollkommener Information des Regulierers, Regulierungskosten von Null und einem benevolenten Regulierer ohne administrative Beschränkungen aus (vgl. Berg, 1999; sowie Berg / Tschirhart, 1998).

Die neuere Regulierungstheorie hat eben diese Annahmen in Frage gestellt. Sie befürwortet daher eine in der Praxis mögliche Anreizlösung, statt ihr Augenmerk auf die theoretischen First-best- oder Second-best-Lösungen der Traditionalisten zu fokussieren. Das Eingeständnis einer Informationsasymmetrie ist Grundlage für die Analyse der Beziehung zwischen Regulierer und Unternehmen als Prinzipal-Agent-Problem. Daher gilt es, Anreize zu setzen, um die Unternehmen zu mehr Effizienz zu motivieren (vgl. Herzberg, 2005).

Das hier vorgestellte Konzept zur Regulierung der Slots stellt dabei eine Second-Best-Lösung dar. Es ist nicht im Sinne staatlicher Regulierungspolitik monetäre Auktionen durchzuführen (wie z.B. in London Heathrow). Damit wird die First-Best-Lösung ausgeschlossen. Das Ziel des Konzeptes ist daher die höhere Effektivität der Slot-Nutzung und damit letztlich ein grundlegendes Ziel der Regulierungsökonomik, der Beschränkung von Marktmacht. Dabei tritt das klassische Trade-Off zwischen Regulierung und Wettbewerb zu Tage (vgl. Starkie, 2002).

Das Konzept gründet sich auf der Anreizregulierung, die von einem Prinzipal-Agent-Problem ausgeht. Dies bedeutet, dass der Agent – das regulierte Unternehmen – in mehrfa-

cher Hinsicht besser informiert ist als der Regulierer.⁴ Dem Unternehmen ist die Situation bezüglich Kosten und Nachfrage besser bekannt als dem Regulierer (*hidden information*), und zum anderen kennt das Unternehmen die tatsächlichen Auswirkungen von Kostensenkungsmaßnahmen besser als der Regulierer (*hidden action*) (vgl. Borszcz, 2003, S. 24). In der Regulierung über Anreize soll der Regulierer zwei Nebenbedingungen in sein Konzept implementieren: Anreizkompatibilität und individuelle Rationalität. Zum einen soll das regulierte Unternehmen umso mehr Gewinne erhalten je effizienter es wird. Also darf ein Unternehmen, das seine tatsächlichen Kosten angibt, gegenüber Unternehmen mit absichtlich falschen Kostenangaben nicht schlechter gestellt sein (Anreizkompatibilität). Zum anderen darf ein Unternehmen durch Regulierungsmethoden keine Verluste erleiden (individuelle Rationalität oder auch Partizipationsbedingung). Dies schließt die Verringerung der bisherigen Monopolgewinne nicht aus. Die Effizienzgewinne erhalten sowohl die Flughäfen als auch die Fluggesellschaften (vgl. Sappington, 2002).

Der Fokus wird hierbei auf die reine Slot-Effektivität gelegt. Andere, bereits regulierte Felder wie z.B. Service-Qualität (vgl. grundlegend zu Feldern der Flughafenregulierung: Starkie, 2002; Rovizzi / Thompson, 1992) bleiben außer Acht. In der regulierungsökonomischen Ausgangslage ist die Gefahr durch Marktmacht im Bereich der Flughäfen vor allem im Bereich der Primär- und Sekundärflughäfen zu erwarten. Hierbei stehen nicht Skaleneffekte oder natürliche Monopole im Vordergrund, sondern institutionelle Markteintrittsbarrieren und versunkene Kosten (vgl. Starkie, 2002; sowie Kunz, 1999). Darüber hinaus existieren kaum marktliche Gegengewichte zu den dominanten Netzfluggesellschaften wie Lufthansa. Inter- und intramodaler Wettbewerb wirken jedoch tendenziell abschwächend (vgl. Monopolkommission, 2001; sowie King, 2001; Holzschneider, 2003).

Ein Lösungsansatz für eine Regulierung der Slots wäre ein Zwei-Ebenen-Modell, kombiniert mit dem o.g. Bonus-Malus-System für Creditpoints (CP). Die erste Ebene ist die Transaktionsplattform für Versteigerungen von Slots im Rahmen einer Second-Best-Auction.⁵ Die Auktion wird hier definiert als institutionelle Form einer ökonomischen Transaktion über ein Objekt zur Bestimmung von Preisen und Transaktions-Partnern aufgrund von deren Geboten nach ex ante festgelegten Regeln. Eine Auktion wird als ein Preisfindungs-Mechanismus mit bestimmten Regeln betrachtet, welcher die Allokation von Gütern und den Verkaufspreis über die Gebote der Bieter bestimmt (siehe weiterführend zu Auktionen: McAfee & McMillan, 1987; Milgrom, 1987; sowie Klemperer, 1999).

Bei der Second-Best-Auction, auch Zweitpreis oder Vickrey-Auktion genannt, werden versteckte Gebote durch die Bieter abgegeben. Jede Auktion hat eine ex ante durch den

⁴ Vgl. zur Anreizregulierung, insbesondere bei Flughäfen: Wolf, 2004; Forsyth, 2004 und Bilotkach, 2007.

⁵ Die bei eBay verwendete Auktionsform ist eine Art der Second Price Sealed Bid-Auktion, auch Zweitpreis oder Vickrey-Auktion genannt. Es werden versteckte Gebote durch die Bieter abgegeben. Der Bieter mit dem höchsten Gebot erhält das Gut, muss jedoch nur das zweithöchste Gebot an den Verkäufer zahlen. Er zahlt somit nur die Opportunitätskosten. Es muss lediglich derjenige zahlen, der den Zuschlag erhält. Aspekte von Allpay-Auktionen werden ausgeschlossen (vgl. Dewenter et. al, 2006).

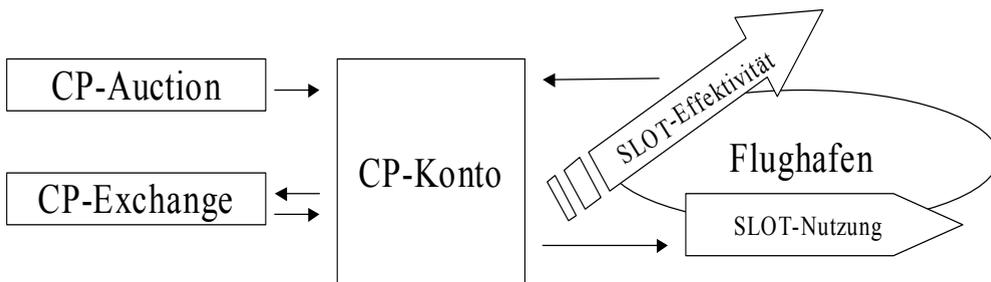
Regulierer festgelegte Dauer. Die Auktion ist jedem möglichen Bieter zugänglich, selbst Newcomern. Die Abgabe der Gebote ist öffentlich. Die jeweiligen maximalen Zahlungsbereitschaften der Bieter werden während der Auktion nicht aufgedeckt. Somit existiert der Anreiz, die tatsächlichen Präferenzen in dem geheimen Gebot zu implementieren.⁶

Dabei dient die Auktionsebene als *prime regulatory incentive*, insbesondere im Sinne der direkten Bindung von Effektivität und Slot-Nachfrage. Die zweite Ebene bildet eine Transaktionsplattform, ähnlich einer Aktienbörse, für die CP (siehe Abbildung 3).

Die Möglichkeit, Slot-Effektivität über eine Börse zu handeln, eröffnet den Fluggesellschaften somit folgende Alternativen:

- Durch höhere oder effektivere SLOT-Nutzung können CP-Boni generiert werden und eigene CP an andere Gesellschaften weiterverkauft werden; oder
- CP kaufen, da die zusätzlichen SLOT-Effektivitätssteigerungskosten noch höher sind als der Preis der CP.

Abbildung 3: Wirkungszusammenhang im Zwei-Markt-Modell



Die Fluggesellschaften können über diesen Mechanismus ihre Slot-Nutzung optimieren. Darüber hinaus generiert der regulierte Flughafen ein höheres Passagieraufkommen. Die Ausgabe der CP zu Beginn der Regulierung kann über zwei verschiedene Modi erfolgen: Auktion oder Grandfathering (vgl. grundlegend Böhringer, 2005). Die Auktion würde aus allokativen Gesichtspunkten zwar vorteilhaft sein, da die Zertifikate an diejenigen Fluggesellschaften verkauft würden, welche die höchste Zahlungsbereitschaft hätten – also die Fluggesellschaften, die sie am meisten benötigen. Jedoch würde dieser Kostenschub mittelbar einen Anstieg des Preises zur Folge haben. Das Grandfathering, also die kostenlose

⁶ Die Gefahr, durch ein strategisches Verhalten der anderen Auktionsteilnehmer einen Preis über den Opportunitätskosten zu zahlen, besteht theoretisch nicht. In der Praxis gibt es jedoch Verkäufer, die durch Scheingebote versuchen, die maximale Zahlungsbereitschaft des höchsten Bieters abzuschöpfen. Diese Vorgehensweise schlägt sich jedoch in der Bewertung und damit in der Reputation nieder. Es wird angenommen, dass die Bieter dieser Gefahr durch eine hohe Reputation des Verkäufers entgegnetreten wollen.

Ausgabe von Zertifikaten, würde die Umstellung von Slot-Effektivität vom bislang kostenlosen Produktionsfaktor zu einem knappen Gut erleichtern. Jedoch würden die Fluggesellschaften, die bereits vor der Slot-Regulierung eine hohe Effektivität angestrebt haben, benachteiligt.

Die Alternative zur Mengensteuerung via CP wäre eine Preissteuerung, beispielsweise durch eine Slot-Steuer. Diese Alternative hat zwar theoretisch eine hohe Treffsicherheit, jedoch müssen für eine effektive Preissteuerung praktisch die externen Zusatzkosten genau bekannt sein. Im Gegensatz zur CP-Lösung würden hierbei hohe Informationskosten für den Regulierer entstehen.

6. Fazit

Slots haben sich zu einem knappen Gut entwickelt, welches ein faires und im Hinblick auf die Slot-Effektivität zielführendes Vergabeverfahren erfordert. Das Grandfathering kann die neuen Herausforderungen nicht bewältigen und generiert volkswirtschaftliche Verluste. Dadurch ist die optimale Nutzung der Bodeninfrastruktur nicht gewährleistet. Die Anbieter von Flugdienstleistungen sind somit nicht gezwungen, ihre Effizienz zu maximieren. Die Effizienzverluste müssen Flugpassagiere, Flughäfen und der Handel bzw. die Konsumenten tragen.

Durch das hier skizzierte Vergabeverfahren würde der effizienteste Anbieter als erster zum Zuge kommen und die Dienstleistung zu einem geringeren Preis anbieten können. Eine höhere Slot-Effektivität führt zu einer höheren Flugzeugauslastung, zu höheren Einnahmen des Flughafens, zu niedrigeren Flugpreisen und letztendlich zu einem höheren Passagier- und Frachtaufkommen. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Bodeninfrastruktur nicht in gleichem Maße wachsen kann wie der Luftverkehr, ist die Optimierung des Nutzungsgrades der Bodeninfrastruktur unabdingbar. Das Grandfathering wurde primär etabliert, um eine kontinuierliche Versorgung der Menschen mit Mobilität in der Luft sicherzustellen und die heimischen Luftverkehrsanbieter zu stützen. Durch die hierdurch entstehende Planungssicherheit konnten etablierte Fluggesellschaften an bestimmten Flughäfen ein Quasi-Monopol aufbauen. Diese monopolartige Stellung ist im Hinblick auf eine effiziente Leistungserbringung und die Verflechtungen im internationalen Luftverkehr nicht wohlfahrtsoptimal.

Durch den Markteintritt neuer Anbieter in den deutschen Luftverkehrsmarkt auf ganzer Breite würde die Versorgungssicherheit nicht leiden. Der Bezugspreis für Kunden/ Konsumenten würde sinken. Das hier skizzierte Modell zielt darauf ab, die Effektivität der Infrastruktur zu maximieren. Dies soll mit der Vergabe der bestehenden Slots an Fluggesellschaften mit dem größten Passagier-/ Fracht-Umsatzvolumen bewerkstelligt werden. Auf diese Weise könnte ein höherer Nutzen für die Allgemeinheit generiert werden.

Abstract

During the last decade, on the one hand the demand for Slots has increased, but on the other hand the supply has not. The award procedures of Slots need to be adjusted to guarantee efficiency. The Grandfathering causes a welfare loss and does not set incentives to optimize the individual Slot efficiency. The Grandfathering was created to ensure the continuous supply of air traffic and to protect local airlines. The result was a quasi-monopoly of incumbent airlines and significant barriers to market entry. The incumbents' market power cause excess price levels and generate not only national but also international welfare losses. However, the discussed award procedure ensures a higher Slot efficiency and effectiveness by using minimum standards and market forces. The declared objective is to optimize infrastructural capacities and to increase maximum throughput and guarantee stable system performance.

Literaturverzeichnis

- Airports Council International, 2007, Statistics: Top 10 World Airports.
- Airports Council International, 2008, Passenger Traffic 2007 Preliminari, Stand 12.03.2008,
www.airports.org/cda/aci_common/display/main/aci_content07_c.jsp?zn=aci&cp=1-5-54-55_666_2 vom 21.04.2008.
- Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (ADV), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), 2007, Low Cost Monitor 2/2007, S. 4.
- Berg, H. (1999): Wettbewerbspolitik, S. 299-362, in: D. Bender et al. (Hrsg.), Vahlens Kompendium der Wirtschaftstheorie und Wirtschaftspolitik, Bd. 2, 7. Aufl., Vahlen: München.
- Berg, S. V. & Tschirhart, J. (1988): Natural Monopoly Regulation, Principles and Practice, Cambridge University Press: Cambridge.
- Bilotkach, V. (2007): Asymmetric regulation and airport dominance in international aviation, evidence from the London-New York market, in: Southern Economic Journal, Bd. 74, S. 505-523.
- Böhringer, C. (2005): On the design of optimal grandfathering schemes for emission allowances, in: European economic review, Bd. 49 (2005), 8, S.2041-2055.
- Borszcz, U. (2003): Ökonomische Überlegungen zur Bildung von Netzentgelten in der Stromwirtschaft, Carl von Ossietzky Universität, Fachbereich Wirtschafts- und Rechtswissenschaften: Bremen.
- Dewenter, R.; Haucap, J.; Luther, R. & Rötzel, P. (2006): Hedonic Prices in the German Market for Mobile Phones, in: Telecommunications Policy, 31, S. 4-13.
- Flughafen München, 2007, Geschäftsbericht 2006.
- Forsyth, P. (2004): The economic regulation of airports - recent developments in Australasia, North America and Europe, Ashgate: Aldershot.

- FRAPORT, 2007, Flughafenentgelte Frankfurt-Airport, gültig ab 01.01.2008.
- FRAPORT, 2007, Geschäftsbericht 2006.
- FRAPORT, 2008, Geschäftsbericht 2007.
- Herzberg, F. (2005): *The Motivation to Work*, Transaction Publishers: New Brunswick.
- Holzschneider, M., 2003, Flughäfen im Wettbewerb, *Internationales Verkehrswesen* (55) 7+8/2003, 329-333.
- Joppien, M.G., 2006, *Strategisches Airline-Management*, Berner betriebswirtschaftliche Schriften, Band 31, S. 487 ff.
- King, S. P., 2001, *Market Power and Airports – Supplementary Submission to the Productivity Commission's Inquiry into Price Regulation of Airport Services*, Report for the ACCC, Canberra.
- Klemperer, P. (1999): *Auction theory: a guide to the literature*, in: *Journal of economic surveys*, Bd. 13 (1999), 3, S. 227-286.
- Kunz, M., 1999, *Airport Regulation: The Policy Framework*, in: Pfahler, W. et al. (Eds.), *Airports & Air Traffic*, S. 11-55.
- Monopolkommission, 2000/2001, *Netzettbewerb durch Regulierung – Vierzehntes Hauptgutachten der Monopolkommission*.
- Pfaffenberger, W. (1993): *Elektrizitätswirtschaft*, Oldenbourg: München.
- Rovizzi, L. & Thompson, D. (1992): *The Regulation of Product Quality in the Public Utilities and the Citizen's Charter*, in: *Fiscal Studies*, 13, 74–95.
- Sappington, D. (2002): *Price Regulation*, in: Cave, M., Majumdar, S. & Vogelsang, I. (Hrsg.): *Handbook of Telecommunication Economics*, Vol. 1, Elsevier: Amsterdam.
- Starkie, D. (2002): *Airport regulation and competition*, in: *Journal of air transport management*, Bd. 8 (2002), 1, S.63-72.
- Wolf, H. (2004): *Airport privatisation and regulation - getting the institutions right*, in: Forsyth, P., *The economic regulation of airports*, S. 201-211.
- Zeike, O., 2002, *Nachfrageveränderungen im Rahmen von Flughafenkooperationen: Analyse des Verhaltens von Luftverkehrskunden und -unternehmen sowie der Maßnahmen zur Förderung von Verkehrsverlagerungen zwischen Flughäfen*, Schriftenreihe Innovative betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, Bd. 140, Verlag Dr. Kovac, S. 33 ff.

