

## Einleitung: Bitte wenden Sie jetzt

»Bitte wenden Sie jetzt« klingt als Aufforderung aus den Navigationsgeräten, wenn wir in die falsche Richtung fahren. Automobiltechnik fährt im Prinzip seit 100 Jahren in die gleiche Richtung. Doch diese Straße wird immer schmaler. Immerhin hat sie Kreuzungen und Abzweigungen. Alternativen liegen am Wegesrand bereits hinter uns: Autos fuhrten vor langer Zeit bereits mit Strom. Die hier vorgestellte Situationsanalyse hinsichtlich Ressourcen, Alternativen, Umwelt- und Gesundheitskosten mündet in die Empfehlung: »Bitte wenden Sie jetzt«.

Dieses Buch ist geschrieben aus der Sicht eines Umweltanalytikers, der sich nicht für bestimmte Techniken begeistert, sondern für Wirkungen auf Mensch und Umwelt interessiert, weil er gesehen hat, wie Spuren- und Schadstoffe unsichtbar um die Welt reisen. Menschen haben ein fundamentales Recht auf körperliche Unversehrtheit. Wodurch diese aber wirklich beeinträchtigt wird, ist in den modernen Industriegesellschaften manchmal wenig bekannt. Wer weiß in Europa schon, dass die Luftqualität in europäischen Ballungszentren in weltweitem Vergleich zu wünschen übrig lässt und dass der Feinstaub eines der größten Lebensrisiken für einen Europäer darstellt? Das nationalstaatliche und europäische institutionelle Handeln ist geprägt von dem, was öffentlich thematisiert wird. Dies erklärt zum Teil, warum europäische Politiker sich derzeit lieber mit CO<sub>2</sub> befassen als mit den Luftschadstoffen, die vor Ort wirken.

Anders formuliert: Hier geht es um die berühmte »Nachhaltigkeit«. Nachhaltigkeit bedeutet: Eine Technik hat nicht nur wenig Ressourcen zu verbrauchen, sondern vor allem Mensch und Umwelt möglichst wenig zu belasten. Es geht um die Auswirkungen auf die heutige und auf folgende Generationen. Hier gibt es großen Handlungsbedarf, denn Autos werden seit über 100 Jahren mit Verbren-

nungsmotoren betrieben, deren Emissionen Mensch und Umwelt viel abverlangen und hohe Kosten verursachen. Die Folgen allerdings, wie eine insgesamt deutlich verringerte Lebenserwartung, spielen sich im privaten Rahmen ab. Sie stehen deshalb meist abseits der öffentlichen Wahrnehmung.

Über hundert Jahre haben Autos unzählige Menschen bewegt, begeistert, ihre Produktion hat Millionen ernährt. Gleichzeitig wurden auch Millionen Menschen verletzt oder erkrankten. Hier soll jedoch nicht Automobilität in Frage gestellt, sondern im Gegenteil untersucht werden, wie sie in Zukunft mit deutlich weniger Kosten an Umwelt und Gesundheit betrieben werden kann.

Im pragmatischen Sinne ist dies nicht ein Buch über neue Technik-Ideen. Es wird immer schon an neuen Antriebstechniken geforscht. Dennoch werden hier Hoffnungen wie die Gasturbine, druckluftunterstützter Motor oder Stirlingmotor nicht thematisiert. Am Brennstoffzellenfahrzeug wird seit Jahrzehnten geforscht, serienreif ist es immer noch nicht. Es macht keinen Sinn, weiter auf neue Techniken zu warten.

Der Ölpreisschock des Jahres 2008 und die Klimadiskussion haben deutlich gemacht, dass unser Mobilitätssystem »an die Wand zu fahren« droht.

Dieses Buch fragt deshalb: Was steht heute zum Umsteuern zur Verfügung? Vor allem: Was ist »nachhaltiger«, also mit weniger Kosten an Umwelt und Gesundheit behaftet unter den heute verfügbaren und den unmittelbar zukünftigen Optionen?

Die meisten sogenannten „alternativen“ Treibstoffe und Antriebsstrategien, wie zum Beispiel der Elektrohybrid, wurden bereits vor 100 oder mehr Jahren entwickelt oder sogar eingesetzt. Dennoch werden seit dieser Zeit im Prinzip immer die gleichen Autos mit Verbrennungsmotor gebaut. Warum haben es Innovationen auf diesem Markt so schwer? Unter welchen Bedingungen hat es in der über 100-jährigen Geschichte der Massenmobilität echte Neuerungen am Markt gegeben? Grundlegende Innovationen waren sehr selten und deswegen ist es umso wichtiger, sich die Umstände anzusehen, unter denen sie auf den Markt gelangten. Die reale Technikentwicklung der vergangenen 100 Jahre kontrastiert völlig mit der Selbstdarstellung der Automobilbranche, die auf Messen hunderte von Konzeptautos vorstellt, aber ihre Produkte kaum jemals wirklich verändert hat.

Die entscheidende Frage ist vielleicht nicht, welche neue Technik uns rettet. Stattdessen sollte gefragt werden, warum sich über so lange Zeit so wenig änderte. Dies hat Gründe, die aufzuzeigen sind.

Seit etwa 1990 steht die Elektromobilität in den Startlöchern, regional immer mal wieder reaktiviert. Seit wenigen Jahren wissen wir, dass ein erheblicher, wahrscheinlich überwiegender Teil des Stroms selbst in gemäßigten Breitengraden regenerativ erzeugt werden kann. Dies erscheint heute als die realistische Lösung vieler Probleme. Elektromobilität und regenerative Stromerzeugung passen wohl auch vom Management her zueinander. Doch soll man weitere 20 bis 30 Jahre warten, bis Strom überwiegend regenerativ produziert wird? Die Vor- und Nachteile und die Umweltwirkungen von Elektromobilität gegenüber Autos mit konventionellen Verbrennungsmotoren werden hier deshalb auf gegenwärtiger Basis betrachtet. Mit welchen Emissionen ist zu rechnen, wenn Strom für Elektroautos mit heutigem Strommix erzeugt wird? Im Buch werden neue Berechnungen vorgestellt.

In diesem Zusammenhang muss wieder unfassender über die Schäden an Umwelt und Gesundheit geredet werden, die Emissionen von PKW mit Benzin- und Dieselmotor mit sich bringen. Die an sich berechtigte Klimadebatte hat diese Kosten aus dem Blickfeld wandern lassen. Mehr Nachhaltigkeit wird nicht erreicht, wenn sich die Umweltqualität bei einzelnen Schadstoffen verbessert, bei anderen jedoch verschlechtert. Doch genau dies bewirkte die CO<sub>2</sub>-fixierte EU-Autopolitik seit Mitte der 1990er Jahre, wie in diesem Buch begründet wird. In der CO<sub>2</sub>-Diskussion geht es im Kern um die Bedrohung durch eine globale Klimaerwärmung. Ist denn die EU-Autopolitik wenigstens in klimatischem Sinne nachhaltig, also wirksam? In den folgenden Kapiteln wird die Klimawirkung des staatlich veranlassten Diesel-PKW-Booms in Europa seit den 1990er Jahren diskutiert.

Dieselaautos bedeuten zwar keine grundsätzliche technische Revolution, dennoch ist der Technikwandel, der sich hier in Europa vollzogen hat, bemerkenswert. Wandel scheint also möglich. Es ist wichtig, hieraus für die Zukunft zu lernen: Was hat uns dieser Trend gebracht, wie ist es dazu gekommen und was können wir verbessern?

Biogene Treibstoffe erfreuen sich seit Jahren großen Interesses und gelten allein aus strategischen Gründen bisweilen als Retter in der Not. Werden Verbrennungsmotoren mit biogenen Treibstoffen betrieben, stellt das jedoch keine Grundinnovation dar und schafft auch

nicht das Problem toxischer Emissionen auf den Straßen ab. Deshalb stehen die »agrofuels«, wie sie von Kritikern genannt werden, auch nicht im Zentrum dieses Buches, sie sind aber ein wichtiger Baustein für zukünftige Mobilität. Treibstoffe aus nachwachsender Biomasse können die Zeit des »phasing out« (langsamen Abschieds) vom fossilen Kohlenstoff in den nächsten 20–30 Jahren begleiten. Bis hauptsächlich Fahrzeuge mit innovativen Antrieben verkehren, werden noch Jahrzehnte vergehen. Heutige Kraftfahrzeuge mit Diesel- und Benzinmotoren können dagegen mit begrenztem Aufwand auf verschiedene biogene Treibstoffe umgerüstet werden. Auch wenn sich Elektromobilität zunächst im Regionalverkehr durchsetzt, fahren noch Millionen Nutzfahrzeuge über weite Strecken und sind dabei vielleicht weiterhin auf kohlenstoffbasierte Treibstoffe angewiesen. Hier können soweit sinnvoll und mit Augenmaß Biotreibstoffe eingesetzt werden.

Im Jahr 2008 schien ein Wendepunkt erreicht, wohl weniger durch Einsicht, als durch den Ölpreisschock. Inzwischen sind die Preise wieder in sich zusammengefallen. Höchstwahrscheinlich handelt es sich jedoch nur um eine vorübergehende Periode gesunkener Ölpreise. Sie sollte nicht zu weiterem Abwarten führen.

Lösungen für Umweltprobleme setzen seit Jahrzehnten gerne »end of the pipe«, also am Ende der Leitung an. »End of the pipe« bedeutet: Kurz bevor Emissionen in die Umwelt entlassen werden, wird ein Katalysator oder Filter ergänzt, und dann noch einer und noch einer. In diesem Buch wird gezeigt, welch komplexes Chemielabor Diesel-PKW in Zukunft mit sich führen müssen, um die Emissionen auch nur auf das Niveau von Benzinern zu senken. Solche Lösungen sind letztlich nicht nachhaltig. Sie erfordern große Material- und Geldressourcen, arbeiten an den Symptomen, verhindern eine echte Lösung, die heißen muss: Erst gar keine Emissionen entstehen zu lassen, zumindest nicht auf den Straßen.

Emissionen aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe sollten nach Möglichkeit nicht mehr unmittelbar in die Atmungsorgane von Menschen entlassen werden. Symptomatisch für den begrenzten Stellenwert der menschlichen Gesundheit in Europa ist es, dass die Abgasrohre von Bussen und LKW in Kopfhöhe von Kleinkindern münden. Erwachsene liegen vielleicht eineinhalb Meter darüber. Im Vergleich dazu schaue man sich die Lösungen in den USA an. Jeden Tag stehen in Deutschland Schulkinder an Bushaltestellen, wo sie in schwarze

Rauchwolken gehüllt werden. Viele Kommunen vergeben diese Transportaufgaben an den günstigsten Anbieter, und das ist nicht einer, der sich einen neuen Erdgas- oder Hybridbus leisten kann.

Verbrennung fossiler Energieträger sollte, wenn nötig, dort stattfinden, wo man die Abgase mit größter Sicherheit beseitigen kann, also in den Kraftwerken. Dies funktioniert effizienter und auch zuverlässiger als bei den Katalysatoren und Partikelfiltern der Kraftfahrzeuge, die natürlich beim heutigen Stand unverzichtbar sind. Wenn Kraftwerke Strom für Mobilität produzieren, dann nach Möglichkeit mit immer weniger fossilen Ressourcen und immer effizienter, schon aus strategischen Gründen.

Den Lesern des Buches soll auch nicht vorenthalten werden, dass man nicht alles weiß. So ist über die Chemie der Ozonentstehung – gemeint ist das für Mensch und Umwelt toxische, klimaerwärmende, bodennahe Ozon – viel geforscht und geschrieben worden. Welche Komponenten individuell vor Ort für die Zunahme von Ozon verantwortlich sind, ist jedoch umstritten. Allein die Messungen sind unbestreitbar – und die Werte gehen mancherorts nach oben.

Wo es viele Informationen gibt, kann auch leicht manipuliert werden. Wenn es um die Umweltwirkungen von Autoemissionen geht, greift so manche Interessengruppe nach dem, was passt. Wie leicht das geht, wird in diesem Buch am Beispiel des Feinstaubes aufgezeigt. Je nach gewünschter Aussage kann der Verkehr eine untergeordnete Quelle oder aber dominierend sein.

Schadstoffe, ihre Wirkungen und Wechselwirkungen auf Mensch und Umwelt sind höchst komplex. Ein vermeintlich einfaches Thema wie CO<sub>2</sub> kann da öffentlich noch vergleichsweise leicht vermittelt werden. Doch in Wirklichkeit geht es ja nicht (nur) um CO<sub>2</sub>, sondern um die Klimaerwärmung. Hier spielt Ruß ebenfalls eine zentrale Rolle, doch der wurde über Jahre vernachlässigt. Die Folge war eine nicht nachhaltige Umweltpolitik. Wo so viel Information, aber auch Desinformation ist, kann nur Selbstinformation helfen. Dazu möge dieses Buch einen Beitrag leisten. Die Informationsvielfalt ist manchmal eine Zumutung. Alles andere könnte jedoch unzulässige Vereinfachung sein.

Letztlich verändern sich Prioritäten in der Umweltpolitik, in der Luftreinhaltung nur durch fortgesetzte Kommunikation und öffentliche Auseinandersetzungen. Nachhaltige technische Innovationen werden oft nur auf öffentlichen Druck hin realisiert, wobei der Begriff

der Nachhaltigkeit ebenfalls einem Wandel unterworfen ist. Dieses Buch soll daran mitwirken. Es ist wichtig, dass sich möglichst viele an der Diskussion beteiligen, um ein Gegengewicht zu den Verhandlungen zwischen Autoindustrie und EU-Kommission hinter verschlossenen Türen in Brüssel zu schaffen.

Es kann nicht nur um Arbeitsplätze gehen, sondern um eine Umwelt, in der man in körperlicher Unversehrtheit arbeiten und leben kann. Wirklich innovative Automobile stellen beides sicher. Eigentlich können nur Autos, die nicht mehr lärmern und stinken, bewirken, dass Menschen auf der ganzen Welt durchschnittlich einige Monate länger leben und dass solche Autos langfristig erfolgreich verkauft werden können.

Zum Schluss noch ein Hinweis an die Leserin und den Leser: Es geht hier am allerwenigsten darum, irgendjemandes Auto zu kritisieren. In diesem Buch werden etliche problematische Details über Diesel-Emissionen zusammengetragen. Wegen der wirtschaftlichen Dominanz der Autoindustrie werden solche Informationen nur selten genannt, ihre Darstellung ist deshalb umso wichtiger. Die Autoindustrie hat es geschafft, dass sich viele Kunden persönlich mit ihrem jeweiligen Auto identifizieren. Das ist das legitime Ziel industrieller Hersteller. Erreicht wird es durch Werbung und die Mitarbeit vieler Akteure, die im Umfeld der Industrie tätig sind. Autos sind in der Werbung und in verbreiteter öffentlicher Wahrnehmung sauber, effizient, modern, sportlich, also eigentlich in allem richtig. Die persönliche Identifikation vieler Menschen mit einem Produkt wie dem Auto macht den Wandel aber auch schwierig: »Es kann doch nicht sein, dass ich die Umwelt belaste, vielleicht mehr als andere...« Auch der Autor belastet Umwelt und Mitmenschen durch Autofahren, soviel sei klar gestellt.

Wenn gegenwärtig in manchen Staaten Mitteleuropas die meisten Menschen ein Dieselfahrzeug kaufen, dann ist das nur oberflächlich betrachtet eine private Konsumentenentscheidung. In Wirklichkeit handelt es sich um eine logische Folge staatlicher Lenkungs politik. Die gesetzlichen Grenzwerte erlauben Diesel-PKW immer noch höhere Emissionen als Benzin-PKW, damit die Autoindustrie diese Produkte leichter vermarkten kann. Dieselaautos dürfen mehr Stickoxide emittieren und sind deshalb preislich konkurrenzfähig. Der Staat zeichnet die Kaufentscheidungen der Kunden zusätzlich vor, in Deutschland aktuell mit der reformierten Kraftfahrzeugsteuer, seit

langem ebenfalls in Deutschland mit der um rund 18 Cent/L niedrigeren Mineralölsteuer auf Dieseltreibstoff. Wenn ein Dieselauto im Betrieb billiger ist und die Industrie immer schon sagt, sie habe alle Umweltaspekte vorausschauend berücksichtigt, welchen Zweifel sollte es dann für den Kunden geben? Doch in der Realität stellen sich die Dinge anders dar, wie in diesem Buch vielfältig dargestellt.

# 1

## Über 100 Jahre Automobil

### – Woher kommen wir, wohin fahren wir?

#### Die Welt macht mobil

Seit es Fortbewegungsmittel gibt, hat der Mensch diese genutzt, um seinen Aktionsradius zu erweitern. Am Anfang stand wohl die Mobilität mit Hilfe von Haustieren. Bildlich steht uns die Erschließung des »Wilden Westens« vor Augen, zunächst mit Pferd und Rind betrieben, um Mensch und Material zu transportieren. Die technischen Revolutionen des 19. und 20. Jahrhunderts vervielfachten die mögliche Transportleistung: Zunächst konnten per Eisenbahn schwere Lasten und hunderte Menschen gleichzeitig über weite Strecken bewegt werden. Jahrzehnte später begann die Zeit des Automobils, das schließlich als Verkehrsmittel dominieren sollte und einen echten Konkurrenten heute nur im Flugzeug zu finden scheint. Die technischen Grundlagen des Automobils waren am Ende des 19. Jahrhunderts fast alle gelegt, erfunden zum großen Teil in Deutschland, von manchen deshalb als Ursprungsland der »Weltreligion Auto« bezeichnet. Der phänomenale Durchbruch erfolgte allerdings in Nordamerika mit weitem zeitlichen Vorsprung schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Dort wurde die Massenmotorisierung geboren. Doch die Massenmobilität mit dem Auto stößt nun an Grenzen von Ressourcen und Kosten. Alternativen sind deshalb unverzichtbar. Die Technik muss nachhaltiger, also umweltfreundlicher und ressourcenschonender werden, und zwar grundsätzlich, nicht nur graduell wie in den vergangenen Jahrzehnten. Für die gezielte Suche nach Auswegen müssen wir jedoch untersuchen, was sich in den vergangenen hundert Jahren Mobilität mit dem Auto abgespielt hat und wie diese Technik sich entwickelte.

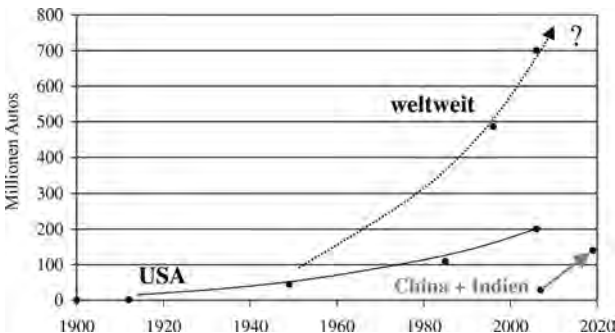


## Automobilität in Zahlen

Inzwischen wird ein großer Teil der gesamten Verkehrsleistung durch den Individualverkehr erbracht, in Deutschland sogar über 80 % (Wiedmann *et al.*, 2000). Weltweit fahren derzeit mehr als 700 oder 800 Millionen Autos – das sind mindestens 10-mal so viele wie rund 50 Jahre zuvor (Bild 1). Im gleichen Zeitraum hat die Weltbevölkerung von rund zweieinhalb auf sechs Milliarden zugenommen. Die Zahl der Autos stieg in diesem Zeitraum also mindestens viermal so schnell wie die Zahl der Menschen. Noch beeindruckender sind die Zahlen aus dem Wirtschaftswunderland Deutschland: Der PKW-Bestand hat sich zwischen 1960 und 1996 um 862 % erhöht, die jährliche Gesamtfahrleistung steigerte sich um 606 % (Wiedmann *et al.*, 2000). Zwischen 1996 und 2005 nahm der Autobestand in Deutschland noch einmal um 13 % zu (Leschus und Vöpel, 2008).

Ein anderes Wirtschaftswunderland ist auf dem Weg, diese Entwicklung nachzuvollziehen: China. Allerdings hat China beinahe 20-mal mehr Einwohner als Westdeutschland. Vor dem Hintergrund der Bereitstellung der notwendigen Mobilitätsressourcen ergibt sich damit ein Problem für China, aber über weltwirtschaftliche und globale Umwelteffekte genauso ein Problem für uns. China dominiert das Zahlenspiel, jedoch gibt es weitere schnellwachsende große Volkswirtschaften auf der Welt, wie zum Beispiel Indien und Brasilien.

Immer, wenn man sich mit Auto-Statistiken beschäftigt, stößt man auf die unterschiedlichsten Zahlen. Im nationalen Rahmen kann man sich mit amtlichen Angaben behelfen, in Deutschland zum Bei-



**Bild 1** Entwicklung der Autozahlen weltweit (div. Quellen).

spiel veröffentlicht vom Kraftfahrtbundesamt (KBA). Im internationalen Vergleich ist es teilweise schwierig, verlässliche Daten zu mitteilen. Insbesondere die Hochrechnungen für die Zukunft unterscheiden sich stark voneinander.

Für das Jahr 2020 scheinen jedoch eine Milliarde Autos eine realistische Erwartung darzustellen.

Die Zahl der Autos steigt zwangsläufig schneller als die Zahl der Menschen, da die weitaus meisten Menschen in den weniger entwickelten Ländern leben. Und überall erstrebt man den westlichen Lebensstil, der besonders von der individuellen Freiheit durch uneingeschränkte Mobilität gekennzeichnet ist.

### **Automobilität aktuell**

Allein im Jahr 2007 wurden nach Angaben der ACEA (2008) weltweit 66 Millionen Autos neu zugelassen, davon 16 Millionen in Europa, 22 Millionen in Amerika und 13 Millionen in Asien (jeweils gerundet). Die größten Zuwächse gab es in Brasilien (27,8 % mehr Neuzulassungen als im Jahr davor), China (+24,7 %) und Osteuropa (+24 %). In Europa stagnierte der Markt. Die meisten Autos fahren in Europa mit rund 220 Millionen und danach folgen die USA mit an die 150 Millionen (ACEA, 2008). In Japan gibt es über 50 Millionen Autos, mehr noch als in China. Welches gewaltige Potential allein in China auf die Autoindustrie wartet, macht ein Blick auf den Motorisierungsgrad klar: In den USA kamen im Jahr 2006 erstaunliche 776 Autos auf 1 000 Einwohner. In diesem kinderreichen Land besitzen demnach viele Menschen mehrere Autos. In Deutschland waren es im Jahr 2006 immerhin 566 Autos je 1 000 Einwohner, in Japan 561. Der Durchschnitt von 27 europäischen Ländern ergibt 466 Autos je 1 000 Einwohner, während es in China ganze 26 gab (ACEA, 2008). Im Vergleich zum Jahr 2000 (Tabelle 1) hat sich der Motorisierungsgrad in China bereits mehr als verdoppelt. Um die Motorisierung in China auf den mittleren Stand Europas zu bringen, müssten dort rund 440 Millionen Autos neu zugelassen werden. Dies ist so schnell nicht zu erwarten, klärt aber die Dimension des Problems. Im Januar 2009 wurde ein historisches Ereignis gemeldet: Erstmals verkauften sich innerhalb eines Monatszeitraums in China mehr Autos als in den USA (735 000 gegenüber 657 000).

Die Einflussfaktoren auf Mobilitätsstrukturen sind gut untersucht. Mobilität wird durch die vorhandene Infrastruktur begrenzt. Tabelle 1 zeigt, dass die Zahl der Autos und die Größe des vorhandenen Straßennetzes zusammenhängen. Obwohl Länder wie Japan, Deutschland und die USA unterschiedliche Bevölkerungsdichten haben, ähnelt sich die Zahl der Fahrzeuge je Straßenkilometer.

**Tabelle 1** Autostatistik nach Angaben aus dem Jahr 2000  
(zitiert in Wiedmann *et al.*, 2000 und Schöller, 2007).

	USA	Deutschland	Japan	China
PKW je 1 000 Einwohner	565	463	282	12
KFZ je Straßenkilometer	30	63	52	–

Langfristig hängt das Ausmaß an allgemeiner Mobilität mit dem gesellschaftlichen Stellenwert von Mobilität zusammen. Heute scheint es einen klaren Zusammenhang zwischen gesellschaftlichem Status und Mobilitätsverhalten zu geben: Je höher die berufliche Position, desto mehr Kilometer werden auf dem Weg zum Dienstort und, mehr noch, innerhalb der Berufstätigkeit zurückgelegt. Fraglich ist, ob Dauermobilität langfristig zu höherer Lebensqualität führt. Mobilität über immer größere Entfernungen wird jedenfalls zunehmend zur Selbstverständlichkeit. Die Nachfrage nach Mobilität wird wiederum durch Einkommen und den Preis für Mobilität beeinflusst (Leschus und Vöpel, 2008). Anders formuliert: Wenn viele Menschen bereit sind, bis zu einem Fünftel ihres Einkommens für Mobilität zu investieren, wird diese zu einer Selbstverständlichkeit. Immer mehr »Lebensentwürfe« kombinieren weit auseinander liegende Orte miteinander, zwischen denen gependelt wird. Gerade in Deutschland ist die Zunahme der zurückgelegten Entfernungen sicherlich auch eine Folge des föderalen Systems, weil auch die Orte mit Randlage intensive Wirtschaftsförderung erfahren. Umweltverträglichkeitsprobleme ergeben sich dabei insbesondere aus der Zunahme des über die Straße abgewickelten Verkehrsaufkommens. Im Personenverkehr fanden fast 97 % aller Fahrten auf der Straße statt (Leschus und Vöpel, 2008), davon nur 13 % in öffentlichen Verkehrsmitteln, aber 84 % im motorisierten Individualverkehr.

Auch im Güterverkehr wurden im Jahr 2005 77 % der Transportleistungen über die Straße abgewickelt (Leschus und Vöpel, 2008). Ei-

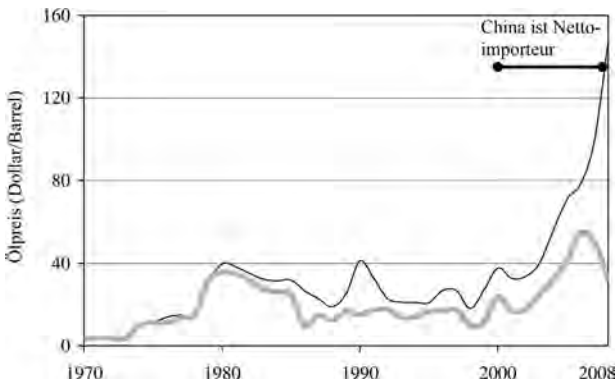
ne Ursache dafür ist natürlich die dramatische Zunahme des überregionalen und weltweiten Handels. Auch der große Trend zu reduzierter Fertigungstiefe in der verarbeitenden Wirtschaft war nur aufgrund der vorhandenen Straßeninfrastruktur möglich. Die Serienfertigung kompliziertester Produkte ist heute logistisch möglich, ohne deren Einzelteile selbst zu bauen. Man muss sie noch nicht einmal mehr bevorraten: Die Straße entwickelte sich in den letzten Jahren zur Ersatz-Lagerhalle. Die Produktion kann dabei in nahezu alle Länder der Welt verlagert werden. Die Höhe der Transportkosten ist meist minimal verglichen mit den Produktionsaufwendungen. Das liegt unter anderem daran, dass die externen Kosten, also die mit dem Verkehr verbundenen Umwelt- und Gesundheitskosten nicht in den Mobilitätskosten enthalten sind. Die Folgen und Kosten der Automobilität für Umwelt und Gesundheit werden in den Kapiteln 2 und 3 dieses Buches aufgezeigt. Diese externen Kosten müssen berücksichtigt werden, wenn es um die Wahl von (technischen) Alternativen geht.

### **An der Ressourcengrenze: Die letzte Warnung?**

Die Ressource saubere Luft ist begrenzt. Emissionen des Straßenverkehrs werden heute überregional und sogar international verfrachtet. Die Verbrennung fossiler Ressourcen erzeugt unter anderem Kohlendioxid als weltweit wirksames Treibhausgas (Kapitel 3). Die Verbrennung erfolgt in Kraftwerken, Heizungen und Motoren stationär, aber auch mobil in hunderten Millionen Automotoren. Autos haben einen erheblichen Anteil am Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Atmosphäre. Da die Verbrennung unvollständig und unsauber ist und es zu Treibstoffverlusten bei Transport und Lagerung kommt, entstehen zudem viele Schadstoffe (Kapitel 2 und 3). So reichern sich zum Beispiel Ozon und weitere Folgeprodukte von Stickoxiden primär in den industrialisierten und bevölkerungsreichen Zentren an und werden anschließend überregional verteilt (Kapitel 2). Die Schäden durch Luftverschmutzung sind schleichend und werden durch die Öffentlichkeit kaum wahrgenommen. An die abgestorbenen Bäume am Wegrand gewöhnt man sich, wenn sie nicht ohnehin abgeräumt werden. Das Leiden von Menschen durch Krankheiten aufgrund von Luftverschmutzung findet im privaten Raum statt. Dem-

gegenüber werden die zu erwartenden Klimaprobleme in der Öffentlichkeit seit einigen Jahren stark thematisiert.

Doch auch die wirtschaftlichen und finanziellen Ressourcen haben sich auf eine Grenze zu bewegt, wie anhand des Ölpreises und nachfolgend der Benzin- und Dieselpreise im Jahr 2008 allgemein deutlich wurde. Bild 2 zeigt die Entwicklung der Ölpreise seit 1970. Bis in die 1970er Jahre war Rohöl spottbillig. Die Wirtschaft der westlichen Welt profitierte davon fast 70 Jahre lang. Dann kam es zur Ölkrise der Jahre 1973/74, in der die arabischen Länder den Ölhahn aus politischen Gründen zudrehten. Der daraus folgende Preisanstieg erscheint im Nachhinein gering. Ein Ölboykott wie in den 1970er Jahren fand nie mehr statt. Einerseits legten sich die Industrieländer erhebliche Reserven zu, um Mangelsituationen abpuffern zu können. Andererseits traten zusätzlich große Ölproduzenten auf den Weltmarkt, die nicht in der OPEC (Organisation erdölexportierender Länder) organisiert sind. Einen wirtschaftlichen Glücksfall für Europa stellten hierbei die Erdölfunde in der Nordsee dar. Die Diversifizierung der Rohstoffe schritt weiter voran, indem die Förderung der fossilen Ressource Erdgas über Jahrzehnte ausgebaut wurde. Heute sind die westeuropäischen Länder über tausende Kilometer lange Pipelines mit Erdgasfeldern in Asien verbunden. Alles das konnte jedoch nicht genügend fossile Ressourcen bereitstellen für den zuvor unvorstellbaren wirtschaftlichen Aufschwung in Asien, primär in China. So



**Bild 2** Ölpreis seit 1970. Aufgeführt sind jeweils die Jahreshöchst- und Tiefststände. Quelle: Wikipedia/New York Mercantile Exchange (NYMEX), 2009.

stiegen der Ölpreis wie allgemein die Preise aller Rohstoffe in den vergangenen Jahren kontinuierlich an. Dabei spielte eine besondere Rolle, dass China seit etwa dem Jahr 2000 Nettoimporteur von Rohöl wurde. Allein die Erwartung der weiteren erheblichen Nachfrage aus dem asiatischen Raum ließ die Preise ansteigen. Gleichzeitig setzte sich die Erkenntnis durch, dass die Erdölproduktion nicht weiter zu steigern ist – der berühmte »peak oil« (Spitze der Rohölproduktion) ist erreicht. Im Gegenteil, man weiß, dass die bisher leicht abbaubaren Vorkommen innerhalb weniger Jahrzehnte versiegen werden. Höchstens noch für einige Jahre scheint die derzeitige Produktion aufrecht erhalten werden können. Diese Tatsache kollidiert eklatant mit dem offensichtlich erheblichen Zuwachs des Bedarfs an fossilen Energieressourcen bei anhaltendem Wachstum in Asien, besonders China. Schaut man sich nur den erwarteten Zuwachs an Autos in China an, weiß man: Das geht nicht zusammen.

Für die westlichen Wirtschaften ergibt sich aus den genannten Problemen die Notwendigkeit, die Nutzung fossiler Ressourcen so weit wie möglich zurückzuführen. In einzelnen Ländern plant man aus diesem Grund eine Renaissance der Atomkraft, doch auch die Uranvorkommen reichen nach bisherigem Wissen lediglich für einige weitere Jahrzehnte. Darüber hinaus scheinen wesentliche Folgeerscheinungen der Stromproduktion mit Kernspaltungsreaktoren zivilisatorisch und technisch nicht sicher beherrschbar. Aus diesem Grund wird weltweit der Weg der Strom- und Brennstoffherzeugung aus erneuerbaren Ressourcen beschritten. Die Regierungen des Westens scheinen erkannt zu haben: Soll die Wirtschaft in der Zukunft stabil bleiben, muss es ein »phasing out« (Auslaufenlassen) der fossilen Ressourcen geben. Das gilt ganz besonders für die Sicherstellung der Mobilität. Die Einsicht auf Regierungsseite zeigt sich in der Förderung regenerativer Energiequellen, aber auch konkret in der Förderung von Projekten zur Vorbereitung der Elektromobilität. Die zentrale Frage ist jedoch, ob, wann und unter welchen Bedingungen die großen Autohersteller bereit sein werden, die erforderliche neue Technik zur Verfügung zu stellen. Die Geschichte der vergangenen 100 Jahre Automobilität zeigt, dass echte technische Innovationen, echte Innovations sprünge, höchst selten sind. Genau diese sind aber heute unverzichtbar.

## Verdopplung von Gewicht und Leistung

Die Entwicklungsziele der Automobilindustrie innerhalb der vergangenen 60 Jahre lassen sich exemplarisch an Autos des Volkswagenkonzerns aufzeigen. Seit über 60 Jahren baut und verkauft VW, einer der Global Player der Autoindustrie, PKW mit Benzinmotoren, seit gut 30 Jahren ebenfalls in großer Stückzahl Dieselfahrzeuge.

Die technischen Daten aus diesen 60 Jahren Automobilbau sind aufschlussreich. In Tabelle 2 werden die typischen »Volksautos« ihrer Zeit miteinander verglichen: früher war es der VW Käfer, später sein Nachfolger, der VW Golf. Bemerkenswert ist dabei, wie genau die technischen Daten (Gewicht, Geschwindigkeit und Verbrauch) reproduziert wurden beim Generationswechsel vom heckgetriebenen Käfer auf den frontgetriebenen VW Golf, der einen anderen Karosserieaufbau hat. In der Tabelle 2 sind jeweils die Fahrzeuge mit schwächerer Motorisierung aufgeführt. Nimmt man einen der letzten leistungsstärkeren Käfer hinzu, ähneln sich die Zahlen beim Übergang zum VW Golf I noch mehr. Der Generationswechsel vom Käfer hin zum Golf wurde also nicht für einen Effizienzsprung genutzt. Dies hat jahrzehntelange Tradition in der Autoindustrie.

Seit dem ersten VW Käfer (»Brezelkäfer«) hat sich das Gewicht solcher Standardautos ziemlich genau verdoppelt – von 600 auf rund 1200 kg. Trotz dieser enormen Gewichtszunahme verdoppelte sich gleichzeitig die Höchstgeschwindigkeit – von rund 100 auf um die 200 km/h. Solche Entwicklungsziele verwundern zunächst nicht in Deutschland, dem weltweit einzigen Land ohne allgemeine Geschwindigkeitsbegrenzung auf Autobahnen. Nicht zufällig wird die Höchstgeschwindigkeit von etlichen deutschen Autotestern als besonderes Qualitätskriterium gewertet und Autos werden ausführlichen Testfahrten bei Höchstgeschwindigkeit unterzogen. Die Höchstgeschwindigkeit soll gleichzeitig eine Dauergeschwindigkeit sein. Alle wichtigen Komponenten eines Autos müssen für diese Geschwindigkeit ausgelegt sein. Beispielsweise müssen Scheibenwischer so schwer ausgeführt werden, dass sie bei Höchstgeschwindigkeit nicht flattern. Insofern ergibt sich die Gewichtsverdopplung beinahe automatisch aus der Verdopplung der Höchstgeschwindigkeiten.

Selbstverständlich haben sich die Autos in diesen 60 Jahren erheblich weiterentwickelt in den Kategorien Sicherheit, Emissionen und Komfort. Dennoch – es sind immer noch Autos, mit denen man



**Bild 3** Die Stagnation der Verbrauchswerte von Autos wird auch durch Umweltschutzorganisationen thematisiert wie hier bei einer Aktion in Brüssel. Copyright: Friends of the Earth Europe.

nichts anderes tun kann, als vier bis fünf Personen plus Gepäck von A nach B zu bringen. Dazu war der Brezelkäfer in der Lage wie der neueste Golf. Autos können auch nach 60 Jahren nichts anderes als hin- und herzufahren unter dauerhaftem Ausstoß von Verbrennungsemissionen.

Auch die Aerodynamik wurde optimiert sowie ganz erheblich die Effizienz der Verbrennungsmotoren. Dies alles ändert jedoch nichts am Vergleich der Verbrauchswerte von 1948 bis 2008 – sie verbesserten sich kaum (Tabelle 2). Das Verbrauchsbild wird geschönt von der Tatsache, dass der Verbrauch oberhalb 120 km/h offiziell nicht gemessen wird (Kapitel 7). Immerhin verhilft die verbesserte Aerodynamik im oberen Geschwindigkeitsbereich zur Ressourceneinsparung. Selbstverständlich handelt es sich um eine beeindruckende technische Leistung, wenn Serienautos Gewicht sowie Geschwindigkeit verdoppeln bei stagnierendem Spritverbrauch. Angesichts unserer Ressourcen- und Umweltprobleme muss diese Entwicklung dennoch als verfehlt angesehen werden (Bild 3).

Die Betrachtung der technischen Details aus 30 Jahren Diesel-PKW-Bau ergibt ein ähnliches Bild: Der neueste Golf Diesel erreicht lediglich die Verbrauchswerte seines Vorgängers von 1993. Er verbraucht etwa einen Liter weniger als der erste Golf Diesel von 1978.



**Tabelle 2** 60 Jahre Volkswagen mit Benzinmotoren.

Baujahr	Typ	Motor Hubraum/ Leistung	Gewicht kg	Höchst- geschwindigkeit km/h	Verbrauch L/100 km
1948	Käfer	1,1 Liter 24,5 PS	ca. 600	ca. 100	7,5
1973	Käfer	1,2 Liter 42 PS	760	115	7,5
1978	Golf I	1,1 Liter 50 PS	750	140	8,3
2008	Golf V	1,6 Liter 102 PS	1173	184	7,4
2009	Golf VI TSI	1,4 Liter 122 PS	1241	200	6,0

Quellen: Prospekte und diverse Internetquellen, u.a. der Volkswagen AG.

Diesen Liter verliert er jedoch schnell wieder, wenn man das macht, wozu moderne Diesel-PKW animieren: Die Dynamik im Geschwindigkeitsbereich von 130 bis 200 km/h auszunutzen.

Die neuesten Modelle des Jahrgangs 2009 wurden in den Tabellen 2 und 3 ergänzt, weil sie etwas Interessantes offenbaren: Der Golf VI mit 2-Liter-Dieselmotor emittiert 142 g CO<sub>2</sub>/km, sein Benziner-Bruder (Golf VI TSI) emittiert 138 g CO<sub>2</sub>/km. Wie auch bei anderen Modellen des Volkswagen-Konzerns zeigt sich hierbei, dass Dieselmotoren nicht unbedingt niedrigere CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweisen. Der Grund liegt in modernster Downsize-Technik (verkleinerte und aufgeladene Benzinmotoren) des VW-Konzerns.

Entwicklungsfazit: Gewicht und Fahrleistungen verdoppelt, Verbrauch stagniert. Seit 60 Jahren wird im Prinzip die gleiche Technik eingesetzt. Was spricht dafür, dass sich dieses in Zukunft ändert? Oder anders gefragt: Warum war die Ressourcenoptimierung offenbar nicht das primäre Entwicklungsziel der Autoindustrie? Weil es bislang gar keinen Grund dafür gab. Dies ändert sich möglicherweise erstmals, wenn bestimmte CO<sub>2</sub>-Emissions-Grenzen verpflichtend werden, allerdings nur, wenn ihre Überschreitung sich als zu teuer erweist. Ziel wirtschaftlichen Handelns war und ist legitimerweise Profitoptimierung, nicht Ressourcenschonung.

**Tabelle 3** 30 Jahre Volkswagen mit Dieselmotoren.

Baujahr	Typ	Motor Hubraum/ Leistung	Gewicht kg	Höchst- geschwindigkeit km/h	Verbrauch L/100 km
1978	Golf I	1,5 Liter	805	140	6,5
1993	Golf III Ecomatic Start-Stop- System	1,9 Liter 64 PS	1115	155	5,5
2008	Golf V blue motion	1,9 Liter 105 PS	ca. 1200	190	ca. 5,0
2009	Golf VI	2 Liter 140 PS	1322	207	5,4

Quellen: Prospekte und diverse Internetquellen, u.a. der Volkswagen AG.

Autos, die immer komplexer und dadurch schwerer werden, erfordern immer anspruchsvollere Wartung. Die Zeiten, in denen Studenten sich die notwendigen Ersatzteile für ihren VW Käfer für einige D-Mark von irgendeinem Schrottplatz holten und auch ohne viele Vorkenntnisse selbst einbauten, sind lange vorbei. Die Anforderungen an Werkstätten werden immer umfassender. Es gibt Autos, die nach dem Wechsel einer Glühbirne eine entsprechende Mitteilung an ihren Bordcomputer verlangen. Komplexere Autos schließen auf diese Weise offene Systeme und begrenzen nach hinten die Dauer ihrer Nutzung, weil Reparaturen nicht mehr nur technisch-mechanische Anforderungen stellen, sondern den Ersatz teurer Steuerelektronik erforderlich machen. Langfristig und überregional steigt dadurch die Zahl der Verkäufe, die Kundenbindung an Vertragswerkstätten kann zuverlässiger garantiert werden. Je komplexer Autos schließlich sind, je mehr Extras sie beinhalten, desto eher können auch höhere Preise gerechtfertigt werden. In den letzten Jahren wurde zudem deutlich, dass die elektronische Fehlerquote wiederum die Bindung der Kunden an die Werkstätten vertieft. Offene Systeme werden geschlossen, wo immer es geht; zumindest in Europa, wo die Verbraucher offenbar keinen nachhaltigen Widerstand organisieren können. So werden bei etlichen neuen Autos die Bedienelemente von Radios so über den Armaturenbereich verteilt, dass die wesentlich günstigeren Autoradios des freien Marktes kaum noch installiert werden kön-

nen. Der beschriebene Trend zu höherer Komplexität liegt im Interesse der Autoindustrie, läuft jedoch dem Gedanken der Ressourcenschonung entgegen.

Weil signifikante Verbrauchsreduktion zu bezahlbaren Preisen über die Jahre ausblieb, wurden unabhängig von den Herstellern Anstrengungen unternommen, um Serienautos effizienter zu machen (Box 1).

---

**Box 1** Optimierung von außen – der Autoindustrie wird vorgeführt, wie die Effizienz der Fahrzeuge mit begrenzten Mitteln erheblich gesteigert werden kann.

#### Greenpeace Smile

Der Smile basierte auf einem Renault Serien-Twingo, 1993 von Greenpeace in Auftrag gegeben und 1996 vorgestellt.

Technische Details: Gewicht um 200 kg auf 650 kg reduziert. 2-Zylinder-Motor mit

herstellbar sein. Keine Hybridkomponenten.

#### VW Golf 1,4 TSI: Umbau im Auftrag des Umweltbundesamtes (Berlin)

Das Umweltbundesamt ließ im Jahr 2007 an der RWTH Aachen ebenfalls untersuchen, inwieweit ein Serienauto mit begrenzten Mitteln sparsamer gemacht werden kann.

Hierfür wurden Fahrwiderstände und Antriebsstrangverluste reduziert. Im Einzelnen wurden eingebaut: Leichtlaufreifen,



**Bild 4** Greenpeace Smile. Copyright: Greenpeace.

0,35 Litern Hubraum von einer Schweizer Rennsport-Firma entwickelt: 54 PS, 170 km/h Höchstgeschwindigkeit. 3,3 Liter Benzin im EU-Verbrauchszyklus = 71 g CO<sub>2</sub>/km. Sollte ohne Verwendung von »exotischen, teuren Materialien«

Schaltanzeige, Start-Stopp-Automatik, längere Übersetzung, Kühlmittel-Wärmespeicher. Die Außenspiegel wurden durch ein Videosystem ersetzt. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 173 g/km des Serienfahrzeugs sank dabei um 24 % auf 131 g/km.

Bemerkenswert ist das Projekt Smile von Greenpeace aus dem Jahr 1996. Vor 13 Jahren waren demnach bereits 71 g CO<sub>2</sub>/km realisierbar. Der Smile hat das Gewicht eines VW Käfers von 1948. Dieses Leichtgewicht in Kombination mit der modernen effizienten Motortechnik in Form eines »downsizing« (einer Verkleinerung) des Motors ermöglichte minimalen Verbrauch. Der Smile ging nie in Serie. Heute verbraucht der doppelt so schwere VW Golf allerdings auch nur 6 Liter/100 km und ist damit ähnlich effizient wie ein Greenpeace Smile – nur eben in die falsche Richtung entwickelt.

Halbwegs in die Nähe der CO<sub>2</sub>-Emissions-Werte des Smile kam aus deutscher Produktion lediglich der aufwendigere und teure VW Lupo 3L Diesel der Baujahre 1999–2005 mit einer Emission von 99 g CO<sub>2</sub>/km. Wie in Kapitel 3 aufgezeigt wird, haben Diesel-PKW der damaligen Zeit die Atmosphäre durch ihre Ruß-Emissionen aber lediglich weiter aufgeheizt.

Weniger spektakulär war ein vom Umweltbundesamt 2007 in Auftrag gegebener Umbau eines Serien-VW-Golf TSI. An der RWTH Aachen wurde das Auto leichter gemacht, und es wurden einige technische Details optimiert (Box 1). Schnell konnte die Effizienz des Autos um 24 % angehoben werden. Etliche technische Maßnahmen, um Autos sparsamer zu machen, sind sogar zum Nulltarif zu haben – wie etwa längere Getriebeübersetzungen.

## **Wie technische Evolution im Automobilssektor funktioniert**

Auf großen Autoshow sind zuweilen hunderte von experimentellen Fahrzeugen zu sehen. Auch wenn daran oft nur Blechform, Chrom und Farben innovativ sind, entsteht der Eindruck einer höchst innovativen Industrie. Doch die allermeisten dieser Studien, über die in Autozeitschriften aufwendig berichtet wird, gehen niemals in die Serienproduktion, ja sind nicht einmal für eine Serienfertigung gedacht. Was sind die Gründe dafür? Hier werden mit Millionenaufwand Image und Publicity gefördert. Eine tatsächliche Umstellung der Produktion auf wirklich neue Technik wie zum Beispiel Hybrid- oder Elektroautos ist um ein Vielfaches teurer als die Entwicklung und der Bau einzelner Experimentfahrzeuge. Fabriken und ihre Maschinen müssen sich über Jahrzehnte amortisieren und in dieser Zeit mit kleinen Änderungen möglichst die gleichen Produkte herstellen.

Wie neue Antriebstechniken (Tabelle 4) dennoch im Markt eingebracht werden, zeigt besonders eindrucksvoll der Innovationsprung Hybridauto. Nicht nur Toyota hat ein Hybridfahrzeug entwickelt. Auch der VW-Konzern war in der Lage, ein funktionsfähiges Hybridauto auf die Straße zu bringen. Im gleichen Jahr 1997, in dem Toyota seinen Vollhybrid Prius I zunächst auf dem japanischen Markt einführte, konnte in Deutschland eine Hybridversion des Audi A4 gekauft werden, der Audi Duo. Hierbei handelte es sich um einen Parallel-Hybrid mit 320 kg-Bleibatterie und 1,9 L-Dieselmotor. Sogar eine Plug-in-Funktion war verfügbar. Abgesehen von der Frage, ob der Duo in seinen technischen Details ideal war, handelte es sich um ein, wie wir jetzt wissen, wegweisendes Zukunftskonzept. Doch leider unterschied sich die Vermarktung von Prius I und Duo erheblich, daneben auch das Marktumfeld. Audi verlangte rund 60 000 DM für den Duo – das Interesse war begrenzt. Schnell wurde der Duo im darauf-

**Tabelle 4** Abkürzungen für Autos mit modernen Antriebstechniken.

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>	<b>Deutsche Übersetzung</b>
EV	Electric Vehicle	Elektroauto
HEV	Hybrid electric vehicle	Elektroauto mit Hybridkonzept
EREV	Extended Range Electric Vehicle	Elektroauto mit Generator als Reichweitenverlängerer (z.B. GM Volt/Opel Ampera)
BEV	Battery Electric Vehicle	Batteriebetriebenes Elektroauto
PHEV	Plug-in Hybrid Vehicle	Hybridfahrzeug mit Stromanschluss zum externen Aufladen der Batterie
PHV		
FFV	Flexible Fuel Vehicle	Fahrzeug, das mit verschiedenen Treibstoffen (variabel) betrieben werden kann
AFV	Alternative Fuel Vehicle	Fahrzeug betrieben mit Treibstoff alternativ zu Benzin und Diesel
EEV	Enhanced Environmental Friendly Vehicles	Europäische Kategorie besonders umweltfreundlicher Fahrzeuge

folgenden Jahr 1998 nach der Produktion von noch nicht einmal 100 Stück eingestellt. Toyota brachte den Prius I im Jahr 1997 dagegen zunächst auf den heimischen Markt und nach abgeschlossener Testphase dann auf den US-Markt – für 19 995 Dollar. Der Preis lässt die Absicht vermuten, das Auto langfristig am Markt zu etablieren. In Europa wurde die weitgehende Untätigkeit auf dem Hybridsektor auch damit begründet, dass Toyota mit diesem Auto kein Geld verdienen könne. Doch schon im Jahr 2004 hatte Toyota 200 000 Hybridautos weltweit abgesetzt, im Jahr 2007 waren insgesamt eine Million verkauft. Niemand bezweifelt mehr, dass damit Geld zu verdienen ist. Hat Toyota die erheblichen Investitionen in neue umweltfreundlichere Technik und in die Serienproduktion aus idealistischem Antrieb vorgenommen, wie die Werbung später suggerierte? Wahrscheinlicher ist dagegen, dass die Null-Emissions-Politik Kaliforniens ein entscheidender Anreiz für Toyota war, die Entwicklung dieses Autos zu beginnen und die Markteinführung durchzuhalten. Dieser vielleicht spannendste Abschnitt in der Geschichte des Automobils wird unten beschrieben.

Der Prius war in Kalifornien als PZEV klassifiziert (Tabelle 5), als Fahrzeug, das die zunächst angestrebte Null-Emission von Autos wenigstens annähernd erreichte. Die Politik der USA und besonders Kaliforniens im Hinblick auf Auto-Emissionen und die Verpflichtungen der Hersteller unterschied sich von derjenigen in Europa ganz erheblich. Wohl alle relevanten Emissions-Minderungen, die in den letzten Jahren von den Automobilherstellern vorgenommen wurden, gehen auf kalifornische und US-amerikanische Abgasgesetzgebung zurück. So wurde der 3-Wege-Katalysator um 1970 von der Firma Bosch in Deutschland entwickelt. Zum Einsatz kam er jedoch nur auf Druck scharfer US-amerikanischer Emissions-Normen (Tabelle 5). Mehr noch: Ein Großteil der heutigen Anstrengungen zur Entwicklung alternativer Antriebstechniken und alternativer Treibstoffe geht auf die Initiativen der US-amerikanischen Umweltpolitik zurück. Eine Ausnahme stellt zum Beispiel Bioethanol als fossiler Ersatztreibstoff dar. Nach der ersten Ölkrise in den 1970er Jahren wurde Bioethanol massiv von der brasilianischen Regierung gefördert. Nach zwischenzeitlichen Rückschlägen stieg Brasilien zum Weltmarktführer auf und produziert heute Bioethanol zu niedrigstem Preis und mit den geringsten CO<sub>2</sub>-Emissionen.

**Tabelle 5** US-amerikanische Abkürzungen für Emissions-Normen der Kraftfahrzeuge (nach Halderman und Martin, 2008).

Abkürzung	Bedeutung	Deutsche Übersetzung
TIER	einstufen	Gruppierung von Emissions-Normen für Autos, entwickelt von der nationalen Umweltbehörde EPA (Environmental Protection Agency)
BIN (BIN number)	eingruppierten	Eingruppierung von Fahrzeugen nach ihren Emissionen durch die EPA
NLEV	National Low Emission Vehicle	Nationale Mindestanforderungen für Emissions-Standards
TLEV	Transitional LowEmission Vehicle	
LEV	Low Emission Vehicle	Emissions-Standards, gruppiert in »TIER«.
ULEV	Ultra-Low Emission Vehicle	
SULEV	Super-Ultra-Low Emission Vehicle	
ZEV	Zero Emission Vehicle	Kalifornischer Nullemissions-Standard
ILEV	Inherently LowEmission Vehicle	
PZEV	Partial Zero Emission Vehicle	Kalifornische Niedrig-Emissions-Standards
AT-PZEV	Advanced Technology-PZEV	

Um die erwähnten Innovationen in einen größeren Zusammenhang zu stellen, soll die Innovationsgeschichte des Automobils von Anfang an bis heute betrachtet werden.

### Die Innovationsgeschichte des Automobils

Die Innovationsgeschichte des Automobils verlief ausgesprochen uneinheitlich. Sehr unterschiedliche Auslöser waren Anlass für technische Innovationen. Hier sind nur solche Innovationen gemeint, die auch dem Serienmarkt zugutekamen. Zunächst waren die technischen Grundlagen zu legen, was sich überwiegend bereits im 19. Jahrhundert abspielte. Diese vielfältigen Erfindungen (hier nicht aufgeführt) wurden sicherlich durch das wirtschaftlich prosperierende Klima in der Zeit vor dem ersten Weltkrieg in Europa sowie durch den wirtschaftlichen Aufstiegs der USA sehr befördert. Hiermit war all-

gemein ein Ausbau, geradezu eine Explosion von Wissenschaft und Technik verbunden. Erfinder wie zum Beispiel Thomas Edison meldeten Patente nahezu im Wochentakt an.

Fahrzeuge fuhren bis zum Ersten Weltkrieg mit Strom, Dampf oder Benzin. Dann erfolgte der Boom der Ölindustrie. In den USA war Öl aus dem eigenen Land schließlich in großen Mengen und billig verfügbar. Einzelne Schlüsselinnovationen wie der Elektrostarter fehlten noch, und schließlich konnte das Auto mit Verbrennungsmotor von jedermann und -frau bedient werden. Nun kamen noch geniale Geschäftsideen hinzu. Wie kann man ein derart komplexes Produkt wie ein Auto in großer Zahl so günstig herstellen, dass es für breite Bevölkerungsschichten bezahlbar wird? Dieses Problem löste Henry Ford mit der Fließband-Produktion (Tabelle 6). Jahrzehntlang wurden Autos nun mit der gleichen Technik gebaut. Die Straßen wurden breiter und glatter, die Autos entsprechend größer und schneller. Der Komfortzuwachs, der in Deutschland erst einige Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg im Autobau spürbar wurde, war in den USA schon Jahrzehnte zuvor Realität. Autos wurden serienmäßig mit Klimaanlage und Getriebeautomatik gebaut. Das Benzin war und ist besonders in den USA billig, da der US-amerikanische Staat sich anders als in Europa nicht zum großen Teil aus Mineralölsteuern finanziert. US-amerikanische Serien-PKW verbrauchten schon in den 1970er Jahren bis zu 30 Litern auf 100 km.

Die Welt des Autos veränderte sich erst wieder in der 1970er Jahren. Die gesundheitlichen Folgen der Auto-Emissionen in den USA setzten eine breite öffentliche Diskussion in Gang und mündeten schließlich in die Durchsetzung von Emissions-Grenzen, die neue Technik zur Entgiftung von Abgasen erforderlich machte. Die Abgaskatalysatoren verbreiteten sich später weltweit. Der größte Innovationsdruck ging dabei von den besonders scharfen Abgaslimits des Staates Kalifornien aus. Das besondere Gewicht des Automarktes der USA – dem bis in die heutigen Tage größten und lukrativsten Markt – ermöglichte es, die Autoindustrie zur Umsetzung technischer Innovationen zu bewegen. Marktgröße und Stellenwert des Umwelt- sowie Gesundheitsschutzes in den USA verbanden sich zu einer glücklichen Konstellation für weltweite Fortschritte in der Luftqualität. Sogar Null-Emissions-Autos wurden gefordert – vom Staat Kalifornien. Nur weil Kalifornien eine der größten Volkswirtschaften der Welt und damit einen wichtigen Automarkt besaß, konnten solche Forderungen



gen zunächst durchgehalten werden. Die Details sollen getrennt betrachtet werden (siehe unten). Das Resultat war zunächst eine Renaissance des Elektroautos in den Jahren 1996 bis 2003. Die zweite Folge war eine Innovation, die danach eine der ganz wenigen innerhalb von 100 Jahren Automobilgeschichte sein sollte: Der Hybridan-

**Tabelle 6** Innovationen in der Automobiltechnik und ihre Auslöser (Abkürzungen in Tab. 4 und 5).

Jahre	Auslöser	Innovationen und Folgen
bis 1900	Technische Grundlagen erfunden.	Autos kommerziell erhältlich betrieben mit Strom, Dampf oder Benzin.
1901 bis 1912	Boom der Ölindustrie.	Fossile Treibstoffe billiger und immer leichter verfügbar.
1911	Charles Kettering erfindet den Elektrostarter für Autos mit Verbrennungsmotoren.	Ein Vorteil des Elektroautos gegenüber dem Benzinauto ist damit aufgehoben.
1913	Ford realisiert die Massenproduktion von Autos am Fließband.	Produktion preisgünstiger Automobile.
1950er Jahre:	Entwicklung des Wankelmotors zur Serienreife.	Autos mit Wankelmotoren ab 1964 am Markt.
1960er Jahre in den USA	Öffentliche Diskussion der akuten und chronischen Folgen der Luftverschmutzung → US-Kongress erlässt 1970 Clean Air Act Amendments.	Bleifreies Benzin, 3-Wege-Abgas-Katalysator.
1973/ 1974	Ölkrise.	Brasilien beginnt, die Bioethanol-Produktion als Benzinersatzstoff zu fördern. 30 Jahre danach Weltmarktführer.
1990	Staat Kalifornien erlässt Verordnung zum Bau von Nullemissions-Autos (ZEV = Zero Emission Vehicle). → 2 % aller im Jahr 1998 und 10 % aller im Jahr 2003 verkauften Autos sollten ZEV sein.	Elektroautoboom in Kalifornien 1996–2003. Toyota bietet 1997 den ersten Vollhybrid-PKW als Serienfahrzeug an (Prius I) und dominiert auf diesem Sektor für mindestens 15 Jahre weltweit den Markt.
2003	Staat Kalifornien ersetzt seine ZEV-Gesetzgebung durch PZEV- und SULEV-Vorgaben.	Hybridautoboom in Kalifornien und den USA.

**Tabelle 6** Fortsetzung.

<b>Jahre</b>	<b>Auslöser</b>	<b>Innovationen</b>
1998	EU-Kommission erwartet von der Autoindustrie eine Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen von Autos. EU-Kommission und ACEA einigen sich 1998 auf das Ziel, bis 2008 im Durchschnitt 140 g CO <sub>2</sub> zu erreichen. Um dies zu ermöglichen, werden Diesel-PKW höhere NO <sub>x</sub> -Emissionen bis ca. 2014 zugestanden. Steuerpolitik begünstigt Diesel gegenüber Benzin.	Boom von Diesel-PKW in den meisten europäischen Ländern.
seit 1970, in Deutschland später	Regionale Verfügbarkeit von Flüssiggas, Klimadiskussion, Preissteigerung von Benzin.	In Italien und den Niederlanden seit den 1970er Jahren, überregional später Zuwachs/Boom von Flüssiggas-Autos (LPG). Siehe Kapitel 5.
seit 1970, in Deutschland später	Regionale Verfügbarkeit von Erdgas, Klimadiskussion, Preissteigerung von Benzin.	Überregional werden Erdgasautos bzw. Umrüstungen seit den 1980er Jahren angeboten, in regionalen Märkten bereits vorher. Siehe Kapitel 5.
seit 2001	Golfkrieg, strategische, Ressourcen- und Klimadiskussion, Preissteigerung von Benzin, Angebot regenerativ erzeugter Energie.	Elektromobilität wird in den USA und später in anderen westlichen Ländern öffentlich diskutiert und gefordert. Siehe Kapitel 6.

trieb aus Elektro- und Verbrennungsmotor, von Toyota für den wichtigen kalifornischen und US-amerikanischen Markt entwickelt und seit 2001 dort angeboten. Ressourcenknappheit und Umweltdiskussion setzten eine Reihe weiterer technischer Weiterentwicklungen und Diversifizierungen auf dem Autosektor in Gang: Autos wurden entwickelt und gebaut, die sich mit Biotreibstoffen, Flüssiggas und Erdgas betreiben ließen. Flüssiggas und Erdgas waren auch in einigen europäischen Ländern frühe Alternativen, erst in den vergangenen Jahren setzen sie sich zunehmend auch in Deutschland durch (Kapitel 5).

Der neueste Techniktrend ist die Elektromobilität, initiiert vom kurzen kalifornischen Elektroautoboomb und in die Breite getragen von den Elektrohybriden der japanischen Firmen Toyota und Honda (Kapitel 6).

Betrachtet man die Innovationsgeschichte des Automobils im 20. Jahrhundert auf einem Zahlenstrahl, wird deutlich, wie selten technisches Neuland betreten wurde (Bild 5). Offenbar war dies unnötig; die Verbrennungstechnik hatte sich schließlich als zuverlässig und renditeträchtig bewährt. Nachdem Autos mit Verbrennungsmotoren sowie Elektroautos bereits vor dem Jahr 1900 verfügbar waren, gab es nur noch Detailverbesserungen. Der Elektrostarter war ein sehr wichtiges Detail. Die erste grundlegende Innovation, die nach langer Zeit auf dem Serienmarkt erschien und dort auch verblieb, war in den 1960er Jahren der Wankelmotor. Seine Besonderheit war der turbinenartige, vibrationsarme Lauf. Er konnte sich nicht durchsetzen, angeblich wegen hohen Spritverbrauchs. Immerhin werden heute noch Autos mit Wankelmotor gebaut. Die bevorstehende Zeit der Elektromobilität könnte in eine Renaissance münden: Elektroautos benöti-

Innovationsfördernde Entwicklungen	technische Innovationen		
Dieselboom in Europa Europäisches CO <sub>2</sub> -Primat Elektromobilität Kalifornien kalifornische Abgasgesetzgebung Ölkrise → Biofuels, Gas Luftverschmutzung Abgasreinigung	Vollhybrid Toyota Prius	2010	
		2000	
	3-Wege-Katalysator	1990	
		1980	
	Wankelmotor	1970	
		1960	
	Fließbandproduktion Boom der Ölindustrie	↓ techn. Grundlagen ↓	1950
			1940
			1930
			1920
	Elektrostarter	1910	
		1900	
		1890	

**Bild 5** Innovationsgeschichte des Automobils im 20. Jahrhundert: Entwicklungssprünge.

gen einen Generator als Reichweitenverlängerer. Dieser Generator sollte möglichst leise und vibrationsarm laufen sowie platzsparend sein – diese Vorgaben erfüllt der Wankelmotor. Jedoch ist fraglich, ob vorhandene Motorenwerke der Großunternehmen ihre Produktion auf eine Wankelmotor-Turbine umstellen wollen. Nicht zufällig wird das erste Elektroauto mit Reichweitenverlängerer (EREV, Tabelle 4) erneut einen Kolbenhubmotor besitzen – die Fabriken müssen eben im Prinzip produzieren, wozu sie konstruiert und gebaut sind.

Das Innovationsbild des 20. Jahrhunderts (Bild 5) bietet nur eine weitere Neuerung, die auch bleibt – den Elektrohybrid der Firma Toyota. Der Vollhybrid Prius wurde unter anderem von den VDI-Nachrichten als erste echte Innovation im Automobilbau seit Jahrzehnten bezeichnet.

Wir lernen aus der Technikgeschichte des Automobils, dass es eigentlich immer auf die gleiche Art und Weise gebaut wurde, mit sehr wenigen Ausnahmen. Genau das können wir jedoch nicht weiter zulassen, denn die Grenzen der Ressourcen sind, wie beschrieben, erreicht. Doch wie lässt sich die Innovationsimmunität der Autoindustrie im Serienbau aufbrechen?

Bereit zur technischen Revolution sind viele kleinere Unternehmen, wie heute die Firma Tesla Motors in Kalifornien, die einen Elektrosporthwagen mit großer Reichweite in Serie herstellt (Kapitel 6). Es existiert gegenwärtig eine Fülle von wegweisenden Studien innovativer Unternehmen – die Frage ist jedoch, wer diese neuen, ressourcenschonenden Autos auf den Markt bringt. Denn für einen nachhaltigen und schnellen Wandel sind die großen Stückzahlen der Weltunternehmen unverzichtbar. Der Blick auf die für die Autoindustrie turbulenten Jahrzehnte nach 1970 in den USA ist in diesem Zusammenhang sehr erhellend. Doch zunächst sollen einige Grundbegriffe US-amerikanischer Auto-Politik erläutert werden.

## **Struktur des US-amerikanischen Emissions-Rechts**

Die in den USA gültigen Abgasgesetze erscheinen komplex, weil einerseits Bundesrecht die Mindestanforderungen setzt. Zusätzlich können die Bundesstaaten eigene Normen erlassen. Darüber hinaus gibt es »ratings« für die Umweltqualität von Autos.

Die in den USA bundesweit gültigen Emissions-Normen für Autos werden in den »TIER«-Gruppen zusammengefasst (Tabelle 5). Nach Erlass der Umweltgesetze der US-Bundesregierung (Clean Air Act Amendments) wurden die TIER-1-Standards 1994 in Kraft gesetzt. Zusätzliche TIER-2-Standards gelten seit dem Jahr 2001 und werden bis 2009 durch Vorgabe des Anteils der verkauften Fahrzeuge in den jeweiligen Untergruppen (LEV bis SULEV) umgesetzt. Emissions-Grenzen wurden dabei in dieser Reihenfolge verringert: TLEV → LEV (I, II) → ULEV (I, II) → SULEV (Tabelle 5). Bemerkenswert ist, dass die Hersteller die Einhaltung der Emissions-Standards praktisch über ein Autoleben hinweg garantieren müssen. Diese Periode wird durch einen 15-Jahres-Zeitraum und eine Fahrtstrecke von bis zu 150 000 Meilen (240 000 km) definiert. Der amerikanische Verbraucher hat zudem die Möglichkeit, die Umweltwirkung seines Autos anhand von BIN-Normen (BIN eins bis elf) einzuschätzen. Je niedriger die BIN-Nummer, desto sauberer ist das Auto. Der Toyota Prius des Jahres 2004 erhielt BIN drei, während ein Hummer H2 (ein schweres Sport Utility Vehicle SUV) nach BIN elf eingestuft ist (Halderman und Martin, 2008).

### **Innovationsfördernd: die US-amerikanische Umweltpolitik**

Die umweltgesetzlichen Initiativen in den USA und insbesondere im US-Bundesstaat Kalifornien nehmen seit Jahrzehnten eine weltweite Vorreiterrolle ein. Die Emissions-Reduktion bei Autos wurde in den USA eingeleitet – etwa 60 Jahre nach Beginn der Massenmotorisierung auf dem eigenen Kontinent. Rückwirkend betrachtet hat uns allein das sogenannte »technology forcing« (Technologie-Erzwingung) der US-amerikanischen Umweltpolitik Autos mit weniger Emissionen beschert und heute schließlich den Übergang zur Elektromobilität möglich gemacht. Eine hervorragende Zusammenfassung der spannenden Zeit von Auseinandersetzungen zwischen Autoindustrie und US- sowie kalifornischer Regierung bietet ein Aufsatz von Marc Weider (2007), dessen wichtigste Erkenntnisse im Folgenden wiedergegeben werden.

Bereits in den 1960er Jahren wurde die Rolle der US-Autoindustrie im Hinblick auf Luftverschmutzung und Sicherheit der Autos in der amerikanischen Öffentlichkeit kritisch diskutiert. Das zunächst nur

in Kalifornien verbreitete Smog-Problem weitete sich auch auf die Ostküste aus. Im Jahr 1970 beschloss der US-Kongress dann mit den Clean Air Act Amendments erstmals eine national einheitliche Begrenzung der Fahrzeug-Emissionen. Das Erstaunliche an diesen Standards war, dass sie die technische und ökonomische Realisierbarkeit außer Acht ließen und sich in erster Linie am Gesundheitsschutz der Bevölkerung orientierten (Weider, 2007). Die Clean Air Act Amendments sahen vor, dass sowohl Kohlenwasserstoff-, als auch Kohlenmonoxid-Emissionen bis 1975 sowie der Stickoxid-Ausstoß bis 1976 um jeweils 90 % gesenkt werden sollten. Die kurz zuvor gegründete Environmental Protection Agency (EPA), das US-amerikanische Umweltbundesamt, wurde mit der Umsetzung beauftragt. Es folgte eine über zehnjährige Phase schwieriger Realisierung der Gesetzesvorhaben, in der die PKW-Hersteller mit verschiedenen Strategien verzögerten und gegensteuerten. Marc Weider (2007) unterscheidet drei Phasen des Widerstands gegen das Gesetz.

### **Der Widerstand gegen den Abgas-Katalysator**

In der ersten Phase wurde die ökonomisch-technische Machbarkeit der angestrebten Emissions-Reduktion angezweifelt. Aufgrund einer von der Automobilindustrie erreichten Gerichtsentscheidung musste die EPA die Einführung der Standards um ein Jahr verschieben. Die zweite Phase des Widerstands setzte nach dem Ölpreisschock im Jahr 1973 ein und fokussierte auf die These, dass die Emissions-Reduktion den Benzinverbrauch unangemessen anheben würde. In der Folge dieser Diskussion kam es zur zweimaligen weiteren Verschiebung der Emissions-Maßgaben um jeweils ein Jahr. Schließlich wurde argumentiert, dass der Einsatz des Katalysators zu unerwünscht hohen Sulfat-Emissionen und dadurch einer Gesundheitsgefährdung führen werde – wiederum wurden die Erfüllung der Abgasgrenzwerte um ein Jahr nach hinten verschoben. Später stellte sich das angenommene Problem der Sulfat-Emissionen als weniger gravierend heraus (Weider, 2007). In der dritten Phase der Auseinandersetzung zwischen Autoindustrie und Regierungen war eine wirtschaftlich schlechte Lage Ansatzpunkt der Kritik an der angestrebten Abgasreduktion. Die Autohersteller argumentierten, die gesetzlichen Regulierungen seien der Grund für ihre wirtschaftliche Krise. Als die

Emissions-Grenzwerte schließlich im Jahr 1978 nach dreimaliger Verschiebung in Kraft treten sollten, drohten die amerikanischen Autofirmen, ihre Produktion ganz einzustellen. Daraufhin entschied der US-Kongress, die Erfüllung der Standards auf 1980 bis 1983 zu verschieben und abzuschwächen. Trotz aller Auseinandersetzungen und Verzögerungen hielt die US-Politik aber an der angestrebten 90%igen Abgasentgiftung fest und löste damit erhebliche Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen aus, die der Luftreinhaltung weltweit zugutekamen. Bemerkenswert ist in dem Zusammenhang, dass innerhalb von gut zehn Jahren anspruchsvolle Ziele im Sinne des Umwelt- und Gesundheitsschutzes erreicht und in die Serienfertigung umgesetzt wurden, ohne dass zu Beginn der Planungen die technischen Lösungen bekannt waren. Dies weckt Erinnerungen an den Beschluss Präsident Kennedys 1961, vor Ablauf des Jahrzehnts Menschen auf den Mond zu bringen. Wie bescheiden nehmen sich dagegen heutige Fortschritte aus, wenn es zum Beispiel um die Realisierung von Offshore-Windkraftwerken geht.

### **Die Nullemissions-Politik Kaliforniens**

Kalifornien gilt mit Recht als weltweiter Schrittmacher bei der Regulierung und Reduktion von Fahrzeug-Emissionen. Ein Grund für den besonderen Ehrgeiz der kalifornischen Behörden in der Luftreinhaltung liegt in der geographischen und meteorologischen Lage des Los-Angeles-Beckens, in dem sich die Abgase von Millionen Kraftfahrzeugen sammeln. Seit der Verabschiedung des Air Quality Acts von 1967 durch den US-Kongress ist es dem Bundesstaat Kalifornien erlaubt, eigene Luftqualitätsstandards zu erlassen (M. Weider, 2007). Kalifornien vermag dies mit Hilfe seiner 1967 gegründeten unabhängigen Behörde California Air Resources Board (CARB), die über mehr als 1 000 Mitarbeiter verfügen soll, effizient zu tun. Im Jahr 1990 gab CARB eine Verordnung über Niedrig-Emissionen von Fahrzeugen und sauberen Treibstoff heraus. In dieser Verordnung war als Element eines »technology forcing« (Technologie-Erzwingung) ein revolutionäres Null-Emissions-Mandat enthalten (Tabelle 6 und Bild 5), das ab dem Jahr 1998 mit mindestens 2 % Null-Emissions-Fahrzeugen verpflichtend werden sollte. Bei Nichterfüllung sollten die Hersteller je Null-Emissions-Fahrzeug (Zero Emission Vehicle ZEV), das

zur Erfüllung der Quote fehlt, 5 000 Dollar zahlen. Zunächst waren nur Hersteller mit einem Volumen von über 35 000 verkaufter Autos pro Jahr (General Motors GM, Ford, Toyota, Chrysler, Honda, Nissan und Mazda) betroffen. Es war der Industrie freigestellt, mit welcher Technologie sie ZEV realisierte, dennoch stellte man sich von Anfang an batteriebetriebene Elektrofahrzeuge vor. Kurz vor dem Erlass der CARB-Verordnung 1990 hatte der Vorstandsvorsitzende von GM unvorsichtigerweise öffentlich geäußert, man werde bald in der Lage sein, Elektroautos herzustellen.

Die Autoindustrie reagierte zweigleisig. Einerseits begann sie mit der Entwicklung von Elektroautos. Andererseits setzen Autoindustrie und Mineralölindustrie verschiedene Strategien aggressiver Lobbyarbeit gegen das ZEV-Mandat ein: Zeitungskampagnen, Finanzierung wissenschaftlicher Studien, Spenden für positiv gewogene Politiker, sogenanntes »astroturf lobbying« (hierbei werden Tarnorganisationen gegründet oder unterstützt, die nach außen mit der Industrie nicht in Verbindung zu stehen scheinen) sowie Klagen vor Gerichten (Weider, 2007). Der Widerstand hatte bei einer CARB-Anhörung im Jahr 1996 dann Erfolg und führte zu einer ersten Revision. Im Vorfeld war 1995 ein wissenschaftlicher Artikel in der renommierten Zeitschrift *Science* erschienen, in dem behauptet wurde, durch den Einsatz von Bleibatterien in Elektrofahrzeugen käme es zu gesundheitsgefährdenden Blei-Emissionen in die Umwelt. Später stellte sich heraus, dass diese Berechnungen auf falschen Annahmen beruhten.

Von den Gegnern der ZEV-Strategie wurde schließlich die Argumentation wie schon zuvor beim Clean Air Act auf die Frage der ökonomischen und technischen Machbarkeit fokussiert. Die Hersteller behaupteten 1996, ein zu geringer Aktionsradius und zu hohe Kosten würden die Akzeptanz des Elektroautos beim Kunden verhindern. Daraufhin strich das CARB die ZEV-Vorgaben für die Jahre 1998 und 2001 und behielt lediglich die Zehn-Prozent-Quote für 2003 bei. In einer Art Kompromiss verpflichteten sich die Automobilhersteller gegenüber CARB, ab dem Baujahr 2001 nur noch Autos zu verkaufen, die dem kalifornischen LEV-Standard entsprachen (Tabelle 5). Infolge weiteren Widerstands auf Herstellerseite führte CARB 1998 und 2001 den PZEV- und den AT-PZEV-Standard (Tabelle 5) für Autos ein und reduzierte den verlangten Anteil an Null-Emissions-Fahrzeugen (Weider, 2007). In die PZEV- und AT-PZEV-Kategorien fielen Vollhybride wie der Toyota Prius, aber auch Erdgasautos wie der Honda Civic GX



(Halderman und Martin, 2008), die inzwischen entwickelt worden waren und dem Ziel der Null-Emission ein Stück weit entgegen kamen.

Im Jahr 2003 erlangten die Automobilunternehmen schließlich einen entscheidenden juristischen Sieg gegen die Emissions-Gesetzgebung von CARB. Ein Gericht stellte fest, dass CARB in einem Punkt gegen Bundesrecht verstoßen hatte (Weider, 2007). CARB beschloss daraufhin, dass die Autohersteller unter bestimmten Bedingungen keine ZEV mehr anbieten müssen. Der weltweit verbreitete Dokumentarfilm »Who killed the electric car« (USA, 2006) zeigt, wie GM daraufhin die bisher ausgelieferten Elektroautos gegen den Willen von Kunden abholen und verschrotten ließ (Kapitel 6). Eine der Optionen, die CARB nun eröffnete, war, dass die Hersteller bis zum Jahr 2008 einige Brennstoffzellenautos auf den Markt zu bringen hatte. Hier finden wir den Grund für die langjährige Forschung einiger Automobilunternehmen auf dem Gebiet des Brennstoffzellen-PKW. Nicht zufällig hat die Firma Honda im Jahr 2008 erste mit Brennstoffzellen betriebene Fahrzeuge des Typs FCX an ausgewählte Kunden in Kalifornien ausgeliefert.

Was bleibt? Durch die beschriebenen und zum Teil dramatisch anmutenden Auseinandersetzungen um die US-amerikanischen Clean Air Acts und das kalifornische Nullemissions-Mandat wurde eine Industrie zu Innovationen gezwungen, die seit Beginn des 20. Jahrhunderts ihre Produkte mit Ausnahme des Wankelmotors im Prinzip unverändert herstellte und damit Luft und Ressourcen auf nicht mehr hinnehmbare Weise belastete und beanspruchte. Die Autos veränderten sich nun, emittierten erheblich weniger Schadstoffe. Mehr noch: Wegweisende Technikinnovationen wie Elektroautos, Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeuge wurden innerhalb weniger Jahre nach Erlass der kalifornischen Null-Emissions-Verordnung Realität. Was in der Berichterstattung über Experimentalautos manchmal wie Zufall aussieht oder in der Werbung als innovatives Engagement der Autoindustrie hingestellt wird, ist in Wirklichkeit kalifornischem Zwang und Durchhaltevermögen zu verdanken.

Vielleicht genauso wichtig: Die öffentliche Diskussion in den USA über die Nachhaltigkeit von Automobilität und ihre technischen Alternativen hat bis heute angehalten und sich in viele Länder ausgebreitet.

## Deutschland und Europa

Die Bürger Europas ernteten dagegen bislang lediglich die Früchte US-amerikanischer Umweltpolitik. Die europäische Regulierungsphilosophie besteht im Unterschied zum »technology forcing« der USA aus »freiwilligen Selbstverpflichtungen« der Industrie. In der Literatur ist lediglich von einem einzelnen »Überraschungscoup« des ehemaligen deutschen Innenministers Zimmermann zu lesen, der in den 1980er Jahren die Einführung des Abgas-Katalysators verfügt haben soll (Weider, 2007). So verspätet die US-amerikanischen Abgasstandards zum Beispiel für Deutschland übernommen wurden, so schwierig war dennoch ihre Implementierung. Ein Insider schreibt: »Abwehrender war die Haltung der Automobilindustrie bei der Einführung von bleiarmem Kraftstoff und extrem ablehnend bei der Einführung der modernen Abgasgesetzgebung. ... von den Vorständen einiger Unternehmen (wurde) argumentiert, dass der Automobilstandort Bundesrepublik Deutschland bei Einführung der dafür erforderlichen teuren Technologie gefährdet sei.« (Barske, 2002).

### Die neuen CO<sub>2</sub>-Zielwerte für Europa

Die freiwilligen Selbstverpflichtungen der europäischen Autoindustrie (ACEA) umfassten seit 1995 eine Senkung der CO<sub>2</sub>-Emission auf 140 g/km je Fahrzeug im Jahr 2008 mit einer bereits frühzeitig geplanten weiteren Reduktion auf 120 g/km. Im Jahr 2008 stellte sich heraus, dass das Ziel von 140 g/km nicht erreicht war. Vertreter der Autoindustrie äußerten schließlich, man habe gar keine Vereinbarung gehabt. Im Dezember 2008 wurde dann nach langem Ringen zwischen EU-Kommission und ACEA eine neue Zielzahl von 130 g/km festgesetzt – als Durchschnittswert zu realisieren zwischen 2012 und 2015.

Hierzu zwei Vergleichszahlen: Der ab dem Jahr 2009 angebotene Vollhybrid Toyota Prius III soll nach dem genormten Messverfahren (EU-Mix) eine CO<sub>2</sub>-Emission von 89 g/km haben, entsprechend einem Verbrauch von 3,9 L Benzin/100 km. Im Vergleich zu anderen sogenannten »CO<sub>2</sub>-Zwergen« ist von Belang, dass es sich beim Prius um eine fünfsitzige Mittelklasse-Limousine handelt, deren Größe und vielseitige Technik zudem ein erhebliches Gewicht mit sich bringt (1,4 t beim Prius II).

Eine andere Vergleichszahl: Der ebenfalls im Jahr 2009 neu vorgestellte Vollhybrid Lexus RX 450h aus dem Hause Toyota ist ein sogenanntes SUV (Sport Utility Vehicle) mit 4,80 m Länge und einem Gewicht von 2,19 t. Seine Motoren leisten insgesamt 299 PS. Trotz dieser unökologischen Ausmaße werden im EU-Mix bei diesem Auto nur 154 g CO<sub>2</sub>/km emittiert entsprechend einem Verbrauch von 6,5 L/100 km (diese Zahlen wurden Autozeitschriften entnommen). Toyota kann sicherlich die Norm-Emission eines Lexus RX 450h durch Hinzufügen eines Plug-in-Moduls zum Aufladen an der Steckdose in den Bereich von 130 g CO<sub>2</sub>/km bringen. Aus diesen beiden Beispielen wird klar: Die europäische Autoindustrie wurde für die Zukunft nur zu CO<sub>2</sub>-Zielen verpflichtet, die sie ohnehin erreichen muss, um international wettbewerbsfähig zu bleiben.

Erstmals sieht der EU-Beschluss zum CO<sub>2</sub>-Zielwert bei Nichterfüllung Strafzahlungen je überschüssigem Gramm CO<sub>2</sub> vor mit einer Staffelung bis 2018. Allerdings relativieren einige Detailvereinbarungen den daraus folgenden möglichen Innovationsdruck: Die Autoindustrie kann selbst entscheiden, welche Fahrzeuge berücksichtigt werden sollen, besondere »eco innovations« können zusätzlich gezählt werden, spezielle EEV (Enhanced Environmental Friendly Vehicles, Tabelle 4) können dreifach gezählt werden. Man darf davon ausgehen, dass die ins Auge gefassten Öko-Innovationen bereits verfügbar sind. Immerhin – vielleicht ergibt sich hieraus ein Anreiz, Elektrofahrzeuge auf den Markt zu bringen. Bemerkenswert ist, dass die CO<sub>2</sub>-Zielzahlen, über die bereits 1995 diskutiert wurde, nun erst mit einer Übergangszeit von dann 20 Jahren verpflichtend werden sollen. Es handelt sich zudem immer um die genormten Verbrauchszahlen, nicht um die tatsächlichen. Bei technologischen Effizienz-Vergleichen zum Beispiel mit Elektromobilität ist zu berücksichtigen, dass die tatsächlichen Emissionen um ca. 25 % höher liegen (Kapitel 4–6).

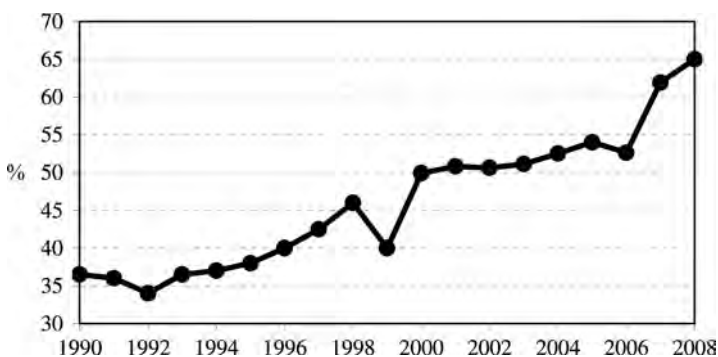
Die EU-Kommission hat damit seit vielen Jahren kontinuierlich vermieden, zur Erreichung ihrer CO<sub>2</sub>-Zielzahlen innovative Technologie vorauszusetzen. Um die heimische Autoindustrie vor der Notwendigkeit eines echten Technikwandels zu bewahren, hat die EU zur Erreichung ihrer CO<sub>2</sub>-Ziele sogar die Luftreinhaltung vor Ort zurückgestellt, ja zurückgefahren. Der dafür ursächliche Diesel-PKW-Boom in den meisten Ländern Europas seit Mitte der 1990er Jahre wird in den Kapiteln 2 und 3 dieses Buches näher beschrieben.

Insgesamt ging also von der europäischen Umweltpolitik über Jahrzehnte kein nennenswerter Innovationsdruck auf die heimische Autoindustrie aus. Darüber hinaus wirken weitere Faktoren innovati-  
onshemmend.

## Staatsverflechtung

Im Zusammenhang mit der Frage nach grundlegenden techni-  
schen Neuerungen im Autobau, auf die dringend gewartet wird, spielt die Staatsverflechtung der Autoindustrie eine wichtige Rolle. Zah-  
lungen des Staates an die Autoindustrie belegen diese Staatsverflech-  
tung. Die Zunahme der staatlichen Subventionen für die Automobil-  
industrie zeigt sich wohl am deutlichsten im Anteil der Dienstwagen  
innerhalb des Neuwagengeschäfts. So steigt seit 15 Jahren der Anteil  
der Neufahrzeuge, die in Deutschland als Dienstwagen steuerlich ab-  
gesetzt werden (Bild 6).

Bis zu 50 % des Kaufpreises eines Dienstwagens sollen nach ver-  
schiedenen Quellen aus Steuerabschreibungen in Deutschland zu-  
rückerstattet werden. Nach Zahlen von 2008 erreicht die deutsche  
Dienstwagensubvention eine Größenordnung von 2,5 Milliarden  
Euro im Jahr. Gleichzeitig wurden laut VDA (2008) im Jahr 2007 aber  
auch 75 % der im Inland hergestellten PKW exportiert. Damit kann ei-  
ne Subventionsrate angesichts von zuletzt 65 % Dienstfahrzeugen



**Bild 6** Anteil der Dienstwagen in Prozent aller Neu-  
wagenkäufe in Deutschland. Quelle: ADAC motorwelt  
4/2008. Zahl für 2008 vorläufig.

(Bild 6) berechnet werden. Hieraus ergibt sich, dass etwa 8 % der Autoindustrie am Standort Deutschland direkt durch staatliches Geld betrieben wird. Doch diese Rechnung täuscht. Je teurer die Autos, desto höher der Dienstwagenanteil. Die Firma Audi hatte zuletzt 77 % Dienstwagenverkäufe, BMW zwischenzeitlich um 90 %. Die in Deutschland neu zugelassenen Autos der Daimler-Nobelmarke Maybach (Kaufpreis: eine halbe Million Euro) sollen zu 100 % Dienstwagen sein. Die Rendite ist bei Luxuswagen zudem höher als bei kleinen Autos. Die Förderung der Autoproduktion der höheren Klassen mit Staatsmitteln durch die Dienstwagen-Abschreibung sollte finanziell für die Hersteller also weit bedeutsamer sein, als es die Abschätzung von 8 % staatlich finanzierter Autoproduktion impliziert. Hinzu kommen weitere Subventionen z. B. durch die Finanzierung von Werksöffnungen bis zur Höhe von hunderten Millionen Euro pro Standort.

Im Jahr 2009 zahlt der deutsche Staat bis zu fünf Milliarden Euro in Form der sogenannten »Verschrottungsprämie«. Da sich die Prämie besonders bei der Anschaffung eines Kleinwagens lohnt, werden nun nach Mittel- und Oberklassen-PKW auch Kleinwagen vom Staat mitfinanziert. Die einzelne Prämie in Höhe von 2500 Euro stellt im typischen Fall etwa ein Viertel des Wertes eines verkauften Kleinwagens dar. Wie immer man die Berechtigung der kontinuierlich hohen staatlichen Mitteltransfers in die Autoindustrie beurteilt: Sie lähmt die Innovationsbereitschaft. Je mehr Autos der Staat indirekt selber bestellt, desto geringer ist der Anlass, die technische Grundstruktur dieses Produktes zu ändern, denn der Absatz wird ja staatlich garantiert, zumindest im Inland. Die Botschaft aus den hohen Subventionen des Staates für den Automobilbau lautet: Unterstützt wird die Technik von heute, weniger die Investitionen in die Zukunft. Gerät die Automobilindustrie aufgrund mangelnder Innovationsbereitschaft in die Krise, kann sie erwarten, dass ihr Absatz dennoch staatlich gefördert wird. Selbstverständlich ist die allgemeine Wirtschaftskrise des Jahres 2008/09 nicht primär auf fehlende Innovationen der Automobilhersteller zurückzuführen. Hier soll jedoch auf Folgendes hingewiesen werden: Die Automobilfirmen haben über 100 Jahre fast durchgehend versucht, grundsätzliche Technik-Änderungen zu vermeiden, bestärkt durch staatliche Transferzahlungen. In der Werbung liest sich dies erwartungsgemäß anders, wie zum Beispiel so: »100 Jahre Vorsprung durch Technik«.

Ein weiteres entscheidendes Element der Staatsverflechtung ist die bereits erwähnte Tatsache, dass die Automobilindustrie den Rahmen ihres eigenen Handelns (z. B. Emissions-Grenzen) über die Kooperation mit der EU-Kommission weitgehend selbst zu definieren vermag. Dies ergibt sich aus den EU-Richtlinien für Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-Emissionen (Kapitel 3), die jeweils lediglich den erreichten Ist-Zustand für die Zukunft festschreiben.

Anlässe für wegweisende technische Innovationen müssen deshalb von Märkten außerhalb Europas kommen, deren Regeln sich nicht wie zuhause beeinflussen lassen. So ist es zu erklären, dass Opel den seriellen Hybrid Ampera mit entwickelt hat. Der Anstoß kommt über GM aus dem US-amerikanischen Markt. So kommt es, dass Daimler ab dem Jahr 2009 mit 12 Jahren Verspätung gegenüber Toyota den ersten deutschen Mildhybrid in Serie fertigt – in der luxuriösen S-Klasse. Der US-amerikanische Markt und die dortige Dominanz von Lexus-Vollhybrid-PKW verlangten es. Es ist aber keineswegs so, dass es in Deutschland völlig an Innovationen fehlt: Volkswagen entwickelte und baut beispielsweise das weltweit effizienteste Getriebe (Direktschaltgetriebe) und die sparsamsten Benzinmotoren (Direkteinspritzer TSI). BMW hat Start-Stopp-Anlagen und Brems-Energierückgewinnung im Programm. Was fehlt, sind jedoch Grundinnovationen, die Mobilität wesentlich ressourcenschonender und umweltverträglicher machen.

Die deutsche Bundesregierung hat im Jahr 2008 einen »Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität« vorgelegt. Während jedoch andernorts die Produktion von Elektroautos bereits aufgebaut wurde (Tesla, Mitsubishi), werden in Deutschland zunächst staatlich finanzierte Experimentalfahrzeuge fahren: Ein Flottenversuch »Elektromobilität« des VW-Konzerns, der 25 Plug-in-PKW umfasst, soll mit 15 Millionen Euro aus dem Bundesumweltministerium bezuschusst werden. Zur gleichen Zeit wird Toyota wohl bereits eine Plug-in-Version des Prius am Markt anbieten.

## **Auto- und Ölindustrie**

Innovationshemmend im Hinblick auf eine wünschenswerte Abkehr von fossilen und darüber hinaus kohlenstoffbasierten Brennstoffen wirkte die inzwischen hundertjährige Partnerschaft von Auto-

und Ölindustrie. Während bereits die großen Autohersteller eine weltweite Wirtschaftsmacht darstellen, gilt dies noch mehr, wenn man Auto- und Ölindustrie gemeinsam betrachtet: Unter den 25 international größten Unternehmen aller Bereiche entfallen mehr als die Hälfte aller Umsätze und Gewinne auf Firmen, die Rohöl fördern und verarbeiten oder Kraftfahrzeuge herstellen (Wolf, 2007). Werden nur die 25 größten Industriekonzerne betrachtet, konzentrieren sich bereits drei Viertel der gemeinsamen Umsätze auf den Bereich Öl-Auto. Nimmt man einen weiteren ressourcenintensiven Verkehrssektor hinzu, kann von einer »Weltmacht Öl-Auto-Flugzeug« gesprochen werden (Wolf, 2007). Bei Wolf (2007) findet sich diese Erkenntnis: »Ein Blick auf die größten Unternehmen der Welt führt zu einer einzigen Schlussfolgerung: Mehr als je zuvor sind die natürlichen Ressourcen die Triebkraft der Weltwirtschaft. Fünf der zehn größten Gesellschaften auf der 2006er Global-500-Liste von Fortune sind Ölgesellschaften, eine mehr als im Vorjahr. Vier weitere sind Autohersteller, deren Kundschaft gewaltige Mengen von Kraftstoff benötigen«.

In diesem Umfeld erscheint es glaubhaft, wenn frühere Schwierigkeiten bei der Etablierung von Elektroautos auf Interventionen der Ölindustrie zurückgeführt werden. Zum Beispiel habe es vor etwa 10 Jahren Probleme bei der Herstellung von größeren Lithium-Metall-Akkus gegeben, nachdem GM die Mehrheitsanteile der Firma Ovonic, welche die Produktion dieser Stromspeicher mittels Patenten kontrollieren, an den Ölkonzern Texaco verkauft habe. Die Daimler AG befand oder befindet sich in einem Rechtsstreit mit einem US-Akkushersteller, der sich weigerte, vertragsgemäß Akkus für eine Hybridversion der M-Klasse zu liefern. Im Internet wird weiterhin berichtet, dass Toyota im Jahr 2003 die Produktion seines Elektroautos RAV4 EV nicht habe fortführen können, weil der Ölkonzern Chevron die Kontrolle über das weltweite Patent zur Herstellung der relativ großen Nickel-Metall-Batterie erlangt habe. Die Produktionsanlagen für diese Batterie seien daraufhin demontiert worden. Es leuchtet ein, dass Toyota später nur deshalb über eine Million Hybridautos produzieren konnte, weil die Herstellung der Stromspeicher innerhalb des eigenen Konzerns stattfand.

Die klassische Kooperation zwischen Öl- und Autoindustrie war auch immer Motor gezielter technischer Weiterentwicklungen. Aktuell experimentieren deutsche Hersteller mit Motoren, die mit einem

besonderen Treibstoff (»Diesotto«) herausragende Leistungen erzielen können. Das ist sowohl im Experiment als auch später in der Serie nur möglich, wenn dieser Treibstoff von den Raffinerien synthetisiert wird. Marktrealität ist »V-Power-Diesel«, ein in Zusammenarbeit von Volkswagen und Shell entwickelter Synthesekraftstoff. Die Kooperation Auto-Ölindustrie hat des Weiteren zum Ziel, »offene Systeme« zu unterbinden: Treibstoffe sollen nach Möglichkeit nicht von jedermann hergestellt werden können. Erreicht werden kann dies mit Motoren, die auf Benzin oder Diesel innerhalb enger Qualitätsgrenzen angewiesen sind. Diese Strategie hat die breitere Nutzung von Pflanzenöl als Dieselerersatzstoff verhindert.

Schlussendlich kann mit großer Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass sich die über 100 Jahre erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen Öl- und Autoindustrie nicht einfach etwa von der Begeisterung für Elektromobilität beiseite wischen lässt. Im Hinblick auf einer Förderung von Elektromobilität sollte man deshalb akzeptieren, dass sich Autohersteller neue strategische Partner suchen. Vor diesem Hintergrund wären Allianzen zwischen Autoherstellern und großen Energieversorgungsunternehmen, von der europäischen Umweltbewegung mit verständlichem Argwohn betrachtet, auch als positives Zeichen anzusehen.

## Literatur

- ACEA, 2008. The automobile industry pocket guide 2008. European automobile manufacturers association (ACEA).
- H. Barske, 2002. Mehr durch Weniger. Wie man durch intelligente Verbrauchslimitierung ökonomisches Wachstum erzeugt und der Umwelt nützt. Omikron Publishing, Düsseldorf.
- J.D. Halderman, T. Martin, 2008. Hybrid and Alternative fuel vehicles. Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- L. Leschus, H. Vöpel, 2008. Wasserstoff im Verkehr. Anwendungen, Perspektiven und Handlungsoptionen. Hamburgisches Weltwirtschafts-Institut.
- O. Schöller, 2007. Verkehrspolitik: Ein problemorientierter Überblick. In: O. Schöller, W. Canzler, A. Knie (Hrsg.): Handbuch Verkehrspolitik. VS Verlag.
- M. Weider, 2007. Technology forcing – Verkehrspolitik und Umweltinnovation In: O. Schöller, W. Canzler, A. Knie (Hrsg.): Handbuch Verkehrspolitik. VS Verlag.
- T. Wiedmann, J. Kersten, K. Ballschmiter, 2000. Art und Menge von stofflichen Emissionen aus dem Verkehrsbereich. Akademie für Technikfolgenabschätzung Baden Württemberg, Mai 2000.
- W. Wolf, 2007. Strukturen der Verkehrsindustrie – Wirtschaftsinteressen und Verkehrspolitik. In: O. Schöller, W. Canzler, A. Knie (Hrsg.): Handbuch Verkehrspolitik. VS Verlag.