Technische Universität Dresden

Fakultät Wirtschaftswissenschaften

Professur für Volkswirtschaftslehre

insbes. Managerial Economics

Prof. Dr. habil. M. Lehmann-Waffenschmidt

PD Dr. P. Fäßler

Kontrafaktische Fallstudien in Geschichte und Ökonomie

Katalysator- vs. Magermotorlösungen

Korinna Laitenberger
BWL, 7. Semester
Matr.Nr. 3257868

Dresden, 03.05.2006

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS **2**

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS **3**

1 Einleitung **4**

2 Kontingenz und Kontrafaktik **5**

3 Zur Vorgeschichte des ersten Abgasgesetz **6**

4 Beschreibung der potenziellen Technologien **7**

4.1 Der Katalysator ***7***

4.2 Der Magermotor ***8***

4.3 Der Drehkolbenmotor ***9***

4.4 Alternative Motoren ***9***

5 Japan und USA: Weichenstellung für die Katalysatorlösung **10**

6 Diskussion der Kontingenz der situativen Einflussfaktoren **13**

6.1 Das politische Zeitfenster ***13***

6.2 Die Marktstruktur der US-amerikanischen Automobilindustrie ***16***

6.3 Die Ölkrise 1973 ***17***

6.4 Die Smogbelastung in japanischen Großstädten ***19***

6.5 Fazit zu Kapitel 6 ***20***

7 Gegenwart und Zukunft der Motoren **20**

LITERATURVERZEICHNIS **22**

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Entwicklungszeiten verschiedener Technologien 14

Abbildung 2: Prozessgraph mit realisiertem und kontrafaktischen Zuständen 16

Abbildung 3: Prozessgraph unter Berücksichtigung des Drehkolbenmotors 18

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

CO – Kohlenmonoxid

CVCC – Compound Vortex Controlled Combustion

EPA – U.S. Environmental Protection Agency (US - amerikanisches Amt für Umweltschutz)

HC - Kohlenwasserstoffe

NAS – National Academy of Science (Nationale Akademie der Wissenschaft)

NO_2 – Stickstoffdioxid

SO_2 – Schwefeldioxid

NO_x – Stickstoffoxide

UBA - Umweltbundesamt

USA – United States of America (Vereinigte Staaten von Amerika)

USD – Dollar (Währung der USA)

„Ich glaube an das Pferd.

Das Automobil ist nur eine vorübergehende Erscheinung.“

Kaiser Wilhelm II. (1859-1941)

1 Einleitung

Was in der Geschichte verdanken wir dem Zufall? Oder war der Lauf der Dinge unausweichlich und hätte trotz kleiner Änderungen seinen Kurs beibehalten?

Die Kontrafaktik gibt Antworten auf diese Fragen, indem sie Überlegungen anstellt, wie die Geschichte anders hätte verlaufen können. Dabei werden Handlungsspielräume und situative Einflussfaktoren aufgezeigt und auf ihren Kausalitätsgrad hin analysiert. Insbesondere wird die Frage gestellt, inwiefern bestimmte Entwicklungen kausal und somit unausweichlich für den status quo waren und welche nur zufällig entstanden sind.

Speziell bei Innovationen ist die Fragestellung interessant: Warum setzen sich etwa bestimmte Produkte als Standards durch, während andere wenig Erfolg haben bzw. nicht einmal zu Ende entwickelt werden?

Als zu Beginn der 1970er Jahre die Diskussion über Luftverschmutzung durch gesundheitsschädliche Fahrzeugabgase in den USA ihren Höhepunkt erreichte, sah sich die Regierung gezwungen, zu handeln: Die schädlichen Emissionen mussten drastisch gesenkt werden. Obwohl mehrere Technologien dafür in Frage gekommen wären, hat sich der Drei-Wege-Katalysator in den USA und später auf der ganzen Welt als Standard durchgesetzt.

Ziel dieser Seminararbeit ist es, die Hintergründe der Einführung des Katalysators zu beleuchten. Hierzu soll zunächst die theoretische Basis mit den Begriffen „Kontingenz“ und „Kontrafaktik“ gelegt werden (Kapitel 2). Dann sollen die historischen Begebenheiten erläutert werden, um ein Verständnis der Ausgangssituation zu schaffen (Kapitel 3). Die potentiellen Technologien werden in Kapitel 4 vorgestellt und die historische Weichenstellung zur Katalysatorlösung in Kapitel 5 beschrieben. Es folgt eine Analyse der situativen Einflussfaktoren hinsichtlich ihrer Kausalität und die Illustration von plausiblen Alternativprozessen (Kapitel 6). Den Abschluss der Arbeit bildet eine kurze Darstellung der weiteren Entwicklung der Motoren, verbunden mit einem Ausblick auf zukünftige Antriebskonzepte (Kapitel 7).

2 Kontingenz und Kontrafaktik

Der Begriff „Kontingenz“ (spätlateinisch: Möglichkeit) kommt aus der Philosophie und beschreibt „das nicht Notwendige und nicht Unmögliche“[1]. Ein Zustand wird als kontingent bezeichnet, wenn er „nicht notwendig“ ist (es hatte so kommen können, musste es aber nicht) und gleichzeitig ein Alternativzustand „nicht unmöglich“ ist (es hätte auch anders kommen können, ist es aber nicht).

Die formale Definition lautet: „Ein Zustand E_i eines Prozesse π zum Zeitpunkt t_i ist kontingent, wenn zum Zeitpunkt t_i außer E_i mindestens ein weiterer Zustand E_i’ möglich ist, d.h., auf den erreichten Zustand E_{i-1} des Prozesses π zum Zeitpunkt t_{i-1} können statt E_i alternativ auch E_i’ oder möglicherweise andere Zustände folgen.“[2]

Auf geschichtliche Entwicklungen bezogen ist Kontingenz so zu verstehen, dass diese weder gänzlich vom Zufall noch von direkten Ursache-Wirkung-Beziehungen abhängen. Vielmehr hängt der Verlauf der Geschichte von einer Vielzahl relevanter Variablen ab, die hinreichend dafür waren, dass ein Folgezustand eingetreten ist. Vorstellbar ist allerdings auch, dass eine andere, plausible Auswahl an Variablen einen alternativen Folgezustand hervorgerufen hätte.

Diesen alternativen Folgezustand nennt man *Kontrafaktum*: Er ist „ex-post konstruiert, möglich – also als historische Alternative vorstellbar – und kam im faktischen Prozessverlauf nicht vor“.[3] Mit der Darstellung kontrafaktischer Prozesse sollen Entscheidungssituationen besser verstanden werden: Damalige Handlungsspielräume werden aufgezeigt und neben dem schließlich zum realisierten Zustand führenden Faktor werden die konkurrierenden Potenzen untersucht, die entscheidend hätten sein können, falls der erfolgreiche Faktor durch einen Zufall ausgeschaltet worden wäre.[4]

In Kapitel 6 der Seminararbeit soll dieser Ansatz (wie schon angedeutet) dazu verwendet werden, die Faktoren zu diskutieren, die zur Einführung des Katalysators geführt haben. Dabei soll die Frage im Vordergrund stehen, ob diese Faktoren zufällig aufgetreten sind oder ob die Entwicklung hin zum 3-Wege-Katalysator als Standard logisch zwingend war.

---

[1] Vgl. [Br06], Suchwort: Kontingenz

[2] Vgl. [Leh04], S. 133; für die Definition eines Prozesses siehe [Leh05], S. 132

[3] Vgl. [Leh05], S.32

[4] Vgl. [Jor02], S.192

3 Zur Vorgeschichte des ersten Abgasgesetz

Die USA hatten bereits in den 60er Jahren große Probleme mit der Luftverunreinigung durch Fahrzeugabgase, vor allem in Kalifornien, wo eine Fortbewegung ohne Auto aufgrund der Siedlungsstruktur fast unmöglich ist. Somit ist es nicht verwunderlich, hier bereits der Grundstein in der gesetzlichen Beschränkung von Fahrzeugemissionen bereits im Jahre 1965 mit dem so genannten „Motor Vehicle Air Pollution Control Act“ gelegt wurde, einem Gesetz, das 1967 durch das „Air Quality Act“ erweitert wurde. Die hier geforderte Abgasreduktion war jedoch aufgrund noch unausgereifter technologischer Kenntnisse so gering, dass sie durch ein paar einfache Änderungen am Motor problemlos eingehalten werden konnte.[5]

Ende der 60er Jahre kamen dann mehrere Untersuchungen über die Gefahren der Luftverschmutzung heraus, u.a. der Artikel „Unsafe at any Speed“ von Ralph Nader, was zu einem erhöhten Umweltbewusstsein in der Bevölkerung führte. Die Verharmlosung durch die Automobilindustrie stieß auf Empörung und verstärkte den öffentlichen Druck.[6]

Präsident Nixon, ansonsten wenig vertraut mit der Umweltproblematik, nutzte diese ökologische Bewegung in der Bevölkerung, um sich mit einem Gesetzesentwurf, der eine 90%ige Verringerung der Automobilabgase in einem Zeitraum von zehn Jahren vorsah, populär zu machen. Senator Muskie wiederum, ein aussichtsreicher Präsidentschaftskandidat der demokratischen Partei und Experte im Umweltschutz, erhoffte sich einen politischen Erfolg, indem er diese Regulierung in seinem Gesetzesentwurf aufgriff und dabei das Zeitfenster auf fünf Jahre – also eine Realisierung im Jahre 1975 – verkleinerte. Der auf ihn zurückgehende „Clean Air Act“ wurde 1970 verabschiedet.[7]

Dieses „Gesetz zur Reinhaltung der Luft“ sah vor, die Automobilabgase um 90% im Vergleich zum aktuellen Standard zu reduzieren. Betroffen waren die Kohlenmonoxidemissionen (CO), die auf 3,4 Gramm pro Meile herabgesetzt werden sollten, die Kohlenwasserstoffemissionen (HC), deren Begrenzung bei 0,41 Gramm pro Meile lag und schließlich die Stickoxide (NO_X), die auf 0,4 Gramm pro Meile

[5] Vgl. [Sat05], S. 109

[6] [Sat05], S. 109

[7] [Sat05], S. 110

eingeschränkt wurden. Durchgesetzt werden sollten diese Forderungen durch ein mit einer hohen Strafe (10.000 USD) belegtes Verkaufsverbot für Autos, die diesen Standards nicht genügten.[8]

Der neue Standard stellte eine radikale Verschärfung der bisherigen Regulierungen zur Abgaskontrolle dar. Der Stand der Wissenschaft war jedoch nicht so weit, schnelle Antworten auf das neue Gesetz zu geben. Die Automobilindustrie war also gezwungen, in Forschung und Entwicklung zu investieren, um Lösungen zur Abgasreduzierung zu finden.

4 Beschreibung der potenziellen Technologien

Im Folgenden sollen die verschiedenen Technologien beschrieben werden, die in Betracht gezogen wurden. Dabei soll ihre ökologische Effizienz und auch die wissenschaftliche Weiterentwicklung in den Jahren nach der Verabschiedung des Gesetzes aufgezeigt werden.

4.1 Der Katalysator

Ein Katalysator ist eine Substanz, welche die Reaktionsgeschwindigkeit einer chemischen Reaktion beeinflusst, ohne dabei selbst verbraucht zu werden. Diese Beeinflussung geschieht durch Herauf- oder Herabsetzen der Aktivierungsenergie.[9]

Die Verwendung eines Katalysators in einem Fahrzeug findet so statt, dass dieser dem Motor nachgeschaltet wird, um die Abgase in einer katalytischen Nachverbrennung zu reinigen. Man kann zwischen zwei Typen von Katalysatoren unterscheiden: Oxidationskatalysator und Reduktionskatalysator. Beim Oxidationskatalysator oxidieren unverbrannte Kohlenwasserstoffe zu Kohlendioxid und Kohlenmonoxid zu Wasserdampf. Der Reduktionskatalysator entzieht Stickstoffoxiden den Sauerstoff mit Hilfe eines Reduktionsmittels, wobei reiner Stickstoff zurückbleibt.[10]

Als nachgeschaltete Umwelttechnologie (sog. End–of–pipe–Technologie) sind beim Einsatz eines Katalysators keine Änderungen am Motor selbst vorzunehmen und auch die Fahrleistung wird nicht beeinträchtigt, was den Katalysator für die Automobilindustrie attraktiv machte.

---

[8] Vgl. [Sat05], S. 109

[9] Vgl. [Wik06], Suchwort: Katalysator

[10] Vgl. [Bött96], S. 132

Der erste Oxidationskatalysator war bereits 1924 patentiert worden, doch begann die eigentliche Forschung und Entwicklung erst in den 50er Jahren. Die Technologie war also 1970 bereits bekannt und stellte die aussichtsreichste Möglichkeit zur Einhaltung der 1975 geforderten Abgasreduzierung dar. Dennoch gab es noch einige technologische Schwierigkeiten, weshalb eine Massenproduktion noch nicht in Frage kam. Zum Beispiel beschädigte das im Benzin enthaltene Blei die katalytisch aktiven Schichten; auch war eine Zusammenführung des Oxidationskatalysators und des Reduktionskatalysators notwendig, um alle drei Abgase zu reinigen. Hinzu kam der durch den Einsatz des Katalysators erhöhte Benzinverbrauch, der zu Kritik Anlass gab.

Die Entwicklung eines Katalysators, der die vorgegebenen Emissionswerte erfüllte und gleichzeitig eine annehmbare Lebensdauer aufwies, war also nicht so einfach, wie anfangs angenommen.[11]

4.2 Der Magermotor

Die theoretische Basis des Magermotors scheint einfach, nicht jedoch ihre praktische Umsetzung: Beim Magermotor wird das Verhältnis von Luft und Kraftstoff „mager“ gehalten, das heißt, es ist mehr Verbrennungsluft vorhanden als für die Verbrennung des Kraftstoffes im Zylinder gebraucht wird, wodurch die Abgase stark reduziert werden.

Die Entwicklung des Magermotors stellte wesentlich höhere Ansprüche als die eines gewöhnlichen Otto-Motors, da die Zündung der „mageren“ Mixtur Probleme verursachte. Zwar lagen die HC- und CO-Emissionen unter dem geforderten Grenzwert, doch bereiteten die hohen NO_x-Emissionen bis zuletzt Schwierigkeiten, da es technisch nicht möglich war, einen Reduktionskatalysator mit dem Magermotor zu kombinieren.[12]

Eine Art Variante des Magermotors stellt der sog. CVCC-Motor dar, der von Honda entwickelt wurde. Er besaß eine dickere Mixtur in der Nähe der Zündkerze und eine magere Mixtur im Zylinder, womit der Motor „rund läuft“. Der CVCC-Motor reduziert vor allem CO und HC, nicht aber NO_x.[13]

Im Ganzen ist der Magermotor eine elegantere Lösung als der Katalysator, der die

[11] Vgl. [Sat05], S. 103 - 105

[12] [Sat05], S.105

[13] Vgl. [Wik06], Suchwort: CVCC

Abgase nur beseitigt, aber nicht vermeidet. Er verbraucht auch weniger Benzin als ein gewöhnlicher Otto-Motor.[14]

4.3 Der Drehkolbenmotor

Dieser Motor wurde von dem japanischen Automobilhersteller Mazda weiterentwickelt. Er emittiert weniger Stickstoffoxide und würde in Kombination mit einem Oxidationskatalysator auch die schädlichen Kohlenwasserstoff- und Kohlenmonoxidabgase wesentlich reduzieren. Der Benzinverbrauch war jedoch wesentlich höher als bei den damals üblichen herkömmlichen Motoren.[15]

4.4 Alternative Motoren

Zu der Zeit, als die Frage der Herabsetzung von Fahrzeugabgasen auf der Tagesordnung stand, zählten die Gasturbinen, Dampfmaschinen, Brennstoffzellen und elektrische Fahrzeuge zu den denkbaren, möglichen Alternativen. Einige dieser Motoren, wie z.B. elektrische oder auf Brennstoffzellen basierende Motoren hätten langfristig die Emissionen fast auf null reduzieren können; andere dagegen, wie z.B. die Gasturbinen, wären kaum vorteilhafter als herkömmliche Motoren gewesen.

Alle alternativen Motoren waren um 1970 jedoch noch weit davon entfernt, in Produktion zu gehen: Für Brennzoffzellen und elektrische Fahrzeuge wäre ein komplett neues Konzept für das Auto notwendig gewesen, für Gasturbinen und Dampfmaschinen zumindest ein neues Triebwerk. Auch wenn die Gasturbine am weitesteten entwickelt war, hätte die Produktion entsprechender Fahrzeuge nicht vor 1984 stattfinden können. Da allerdings eine Lösung bis 1975 gefordert war, entfielen die alternativen Antriebe als echte Alternative.[16]

---

[14] Vgl. [Sat05], S. 107

[15] [Sat05], S. 105

[16] [Sat05], S. 106

5 Japan und USA: Weichenstellung für die Katalysatorlösung

Die neuen Vorschriften der USA lösten sowohl bei den US-amerikanischen als auch bei den japanischen Unternehmen eine intensive Beschäftigung mit den verschiedenen Technologien aus.[17]

Japan hing nicht nur stark von den Exporten in die USA ab, sondern verzeichnete selbst Umweltskandale. So führten z.B. Bleivergiftungen auf den viel befahrenen Straßen Tokios und Berichte über die gesundheitlichen Folgen von Smog zu einem ähnlichen Gesetz zur Einschränkung von Autoabgasen wie dem US-amerikanischen „Clean Air Act“, jedoch mit einem Limit zur Erfüllung der Standards innerhalb von nur drei Jahren.[18] Außerdem beschloss die Regierung schon 1970, den Bleigehalt im Benzin zu verringern und ab 1975 nur noch bleifreies Benzin zu erlauben.

Was die Forschung und Entwicklung angeht, so beschränkten sich die US-amerikanischen Unternehmen schnell auf eine Kombination aus verbessertem Otto-Motor und Katalysator. Einzig Ford forschte an einem Einspritzmotor, wobei sich rasch herausstellte, dass dieser keinesfalls vor 1979 einsatzbereit sein würde, was zur Aufgabe weiterer Forschung führte. Der Grund, warum sich die Firmen rasch auf eine Katalysatorenlösung beschränkten, lag im kurzen Zeitfenster, das der Clean Air Act vorschrieb: Um nur in fünf Jahren abgasärmere Fahrzeuge auf den Markt zu bringen, entwickelten sie lieber eine bereits bekannte Technologie weiter als aufwendigere Innovationen zu finanzieren.[19]

Ein anderer Grund für die Entwicklung in USA kann auch in der Struktur des amerikanischen Automobilmarktes gesehen werden: Die drei Hauptakteure General Motors, Ford und Chrysler bildeten ein Oligopol mit sehr hohen Eintrittsbarrieren, was die Unternehmen vor Konkurrenz schützte und hochinnovative Impulse fast ausschaltete.[20]

Japans Wirtschaft war dagegen dynamischer und innovativer. Neben den beiden großen Automobilmogulen Nissan und Toyota gab es mehrere kleinere Firmen, die ihren

---

[17] [Sat05], S. 111

[18] Vgl. [Sat05], S. 114, das sog. „Pollution Control“ – Gesetz von 1970

[19] [Sat05], S. 111

[20] [Sat05], S. 108

Marktanteil durch Innovationen erhöhen wollten.[21] So wurde hier in verschiedene Richtungen geforscht: Sowohl Honda als auch Mazda präsentierten bereits 1972 Prototypen von Motoren, die den US-amerikanischen Standard von 1975 erfüllt hätten, was die CO- und HC-Werte anging. Honda hatte eine Art Magermotor entwickelt, den CVCC-Motor, während Mazda einen Drehkolbenmotor in Kombination mit einem Thermoreaktor vorstellte. Allerdings erfüllten beide Motoren nicht den für 1976 vorgesehenen NO_x-Standard, wozu eine Kombination mit einem Reduktionskatalysator nötig gewesen wäre; dieser wiederum hätte den Benzinverbrauch um ca. 20% erhöht.[22]

Interessant ist folgender Umstand: Obwohl schon 1972 bekannt war, dass zwei japanische Firmen den vorgesehenen Emissionsstandard für 1975 in der vorgegebenen Zeit hätten liefern können, wurde dem Antrag der US-amerikanischen Automobilindustrie, den Zeitrahmen um ein Jahr auszudehnen, von der „U.S. Environmental Protection Agency“ (Amt für Umweltschutz, EAP) stattgegeben. Die Unternehmen bekamen sogar Rückendeckung von der „National Academy of Science“ (Nationale Akademie der Wissenschaft, NAS), welche erklärte, dass der geforderte Standard „technologisch nicht machbar im vorgegebenen Zeitfenster“ sei.[23]

Doch dies war nur eine erste Verzögerung. Im Jahre 1973 wurde aufgrund der Ölkrise die Einführung des HC- und des CO-Standards auf 1976, die des NO_x-Standards auf 1977 verschoben. Zwischen 1975 und 1977 sollten vorübergehend geringere Abgasbeschränkungen für HC und CO gelten, wofür alle amerikanischen Unternehmen Katalysatoren eingesetzten.[24]

Der Aufschub der Emissionsbegrenzung führte dann auch in Japan dazu, dass die beiden führenden Automobilunternehmen Toyota und Nissan um einen Aufschub zumindest für die Einhaltung der NO_x-Werte baten. Sie argumentierten, dass der Standard technisch in der kurzen Zeit nicht realisierbar sei; außerdem sei er zu teuer und der Benzinverbrauch zu hoch.[25] Schließlich gab die Regierung unter Anhörung verschiedener Expertenkomitees dem Antrag statt, wobei die Magermotor-Lösung favorisiert wurde.

---

[21] [Sat05], S. 113

[22] Vgl. [Sat05], S. 114

[23] [Sat05], S. 111

[24] [Sat05], S. 111

[25] [Sat05], S. 115

1974 bewirkte der noch nachwirkende Ölpreisschock, dass die wirtschaftliche Lage zum Hauptanliegen der Regierung und auch der Bevölkerung wurde, während das Problem der Luftverschmutzung in den Hintergrund trat. Dies nutzte die US-amerikanische Automobilindustrie, die erst vor einem Jahr einen Aufschub bekommen hatte, um gleich einen nächsten Aufschub zu erbitten: Die Standards für HC und CO sollten nun erst 1981, der für NO_x erst 1983 verbindlich werden. Dabei wurde argumentiert, dass ein gewisser Trade-off zwischen Benzinverbrauch und Emissionsreduktion bestehe.

Im Jahre 1976 brachte Volvo den Drei-Wege-Katalysator auf den amerikanischen Markt, eine Kombination aus Oxidations- und Reduktionskatalysator, der 1981 zur Standardausstattung amerikanischer Fahrzeuge wurde.[26]

Auch in Japan wurde um weitere Aufschiebung der Einführung der Standards gebeten. Erneut wurde hierzu ein Expertenteam einberufen, das die technologischen Möglichkeiten untersuchen sollte. Der Skandal war groß, als herauskam, dass eines der Komiteemitglieder den Automobilherstellern insgeheim über die Inhalte der vertraulichen Treffen berichtete. Daraufhin wurden alle Mitglieder des Komitees ausgetauscht und unabhängige Experten herangezogen; schließlich wurde der Standard für NO_x auf das Jahr 1978 verschoben. Kurz darauf stellten alle Automobilhersteller Prototypen von Katalysatoren vor, die die Standards erfüllten.[27]

Der 3–Wege–Katalysator hatte auch insofern mehr Chancen als das Umweltministerium seit 1975 die Ausstattung mit Katalysatoren durch Steuervergünstigungen und Zuschüsse förderte. Dadurch und mit dem zur gleichen Zeit eingeführten bleifreien Benzin wurde der Katalysator schnell zum Standard in allen Fahrzeugen.

Honda produzierte jedoch weiterhin den CVCC-Motor, später in Kombination mit einem Oxidationskatalysator, um den Grenzwerten gerecht zu werden. 1987 ging Honda dann ebenfalls komplett zum 3–Wege–Katalysator über.

Trotz des neuen Standards wurde die Forschung an Magermotoren nicht völlig aufgegeben. Auch wurden bis in die 80er Jahre NO_x-Katalysatoren entwickelt, die in Kombination mit Magermotoren funktionierten. Toyota beispielsweise präsentierte

[26] Vgl. [Sat05], S. 112

[27] [Sat05], S. 116

Mitte der 80er ein Auto, das von einem Magermotor zu einem 3–Wege–Katalysator umgeschaltet werden konnte. Mitte der 90er kombinierte Mitsubishi einen Magermotor erfolgreich mit einem NO_x-Katalysator, dessen Technik heute noch von manchem europäischen Automobilhersteller angewandt wird.[28]

6 Diskussion der Kontingenz der situativen Einflussfaktoren

Wie im vorigen Kapitel deutlich wurde, haben mehrere Faktoren dazu beigetragen, dass sich schließlich der Drei–Wege–Katalysator als Standard durchgesetzt hat. Doch musste es unter anderen Umständen auch zu dieser Entwicklung kommen? Welche der Faktoren ergaben sich per Zufall, und hätte ihr Wegfall trotzdem zum selben Ergebnis geführt?

Folgende Faktoren sollen diskutiert werden, die meines Erachtens hauptverantwortlich für die letztendliche Entscheidung zu Gunsten des Katalysator waren: (1) das Zeitfenster von fünf Jahren, das im „Clean Air Act“ zur Einführung von abgasärmeren Fahrzeugen vorgegeben war; (2) die Marktstruktur der US-amerikanischen Automobilindustrie; (3) die Ölkrise; (4) die erhebliche Smogbelastung in japanischen Großstädten Mitte der 70er Jahre.

6.1 Das politische Zeitfenster

Der Hauptgrund, warum sich die Unternehmen auf die Weiterentwicklung des Katalysators konzentrierten, lag vor allem in der kurzen Zeit, die ihnen zwischen Erlass des „Clean Air Acts“ und seinem Inkrafttretens blieb: Damit eine Massenproduktion 1975 überhaupt möglich war, musste schnell eine Lösung gefunden und konnte keine Zeit für aufwendigere Innovationen verschwendet werden.

Nill (2002)[29] fasst das eingeführte Zeitfenster („Politikfenster“) als das Resultat der Veränderung mehrerer Ströme auf: Der sog. „problem stream“ bezieht sich auf die steigende Umweltbelastung durch Autoabgase sowie die Berichte, welche die Aufmerksamkeit auf dieses Problem richteten. Der so entstandene öffentliche Druck wirkte in der umweltpolitischen Diskussion in Richtung auf strenge Abgasauflagen. Diese Entwicklung hält die Autorin für keineswegs zufällig; gerade in den USA wurde zu dieser Zeit das Auto zur Selbstverständlichkeit, und das erhöhte

[28] [Sat05], S. 116

[29] Vgl. [Nil02], S. 26 ff.

Verkehrsaufkommen musste früher oder später zu Luftverunreinigungen gerade in den Städten führen. Die Sensibilisierung der Öffentlichkeit war die logische Folge. Als „politics stream“ sind die Präsidentschaftswahlen und das Bestreben des republikanischen Präsidenten Richard Nixon zu nennen, sich durch einen Vorschlag zur Emissionssenkung Sympathien in der Bevölkerung zu sichern, was den sog. „policy entrepreneur“, den demokratischen Senator und Präsidentschaftskandidaten Edward Muskie veranlasste, den vorgesehenen Zeitraum sogar von zehn auf fünf Jahre zu verkürzen.

Hier zeigt sich ein großer Zufallsfaktor: Die Präsidentschaftswahlen verschärften die Konkurrenz zwischen den beiden Parteien, deren Kandidaten sich mit Gesetzesvorschlägen zu übertrumpfen versuchten. Ohne Präsidentschaftswahlen wäre sicherlich ein größerer Zeitraum für die Entwicklung von Lösungen zur Abgasreduzierung gewährt worden (etwa die von Nixon vorgeschlagenen 10 Jahre).

Welche Alternativen wären möglich gewesen, wenn mehr Zeit zur Verfügung gestanden hätte?

In einer Untersuchung der Universität von Oklahoma für einen Zeitraum ab 1971 wurden die Entwicklungszeiten der verschiedenen Technologien abgeschätzt, die in folgendem Diagramm abgebildet sind[30]:

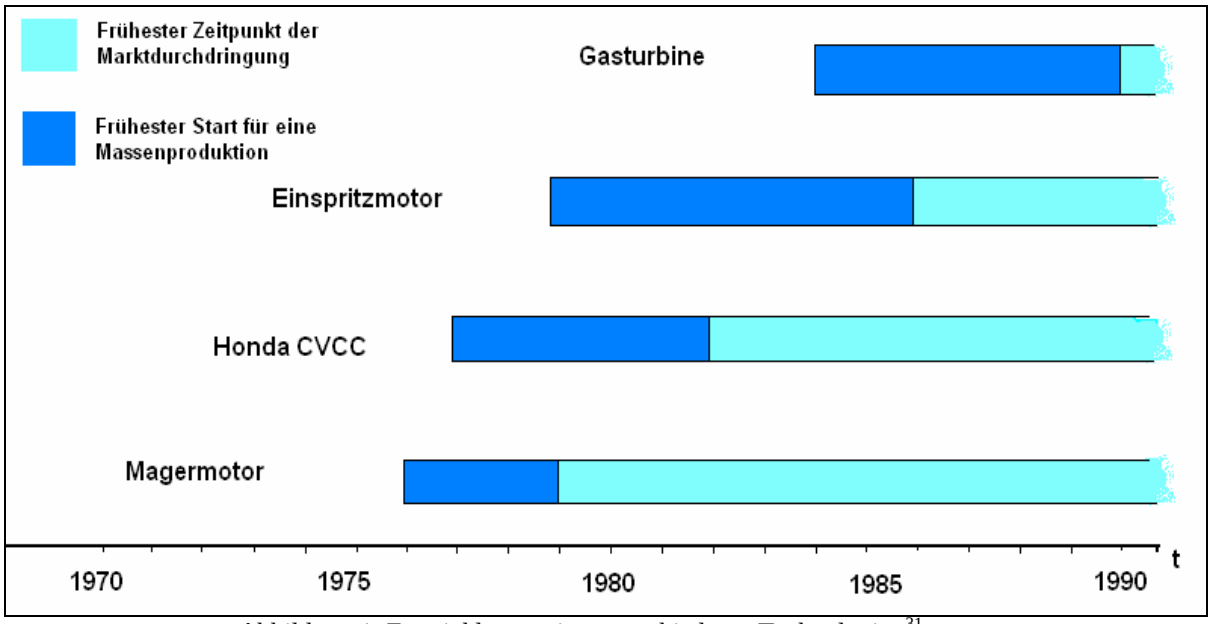


Abbildung 1: Entwicklungszeiten verschiedener Technologien[31]

[30] Vgl. [Grad75], S. 301, S. 309

[31] Quelle: Eigene Darstellung in Bezug auf [Grad75], S. 301, 309

Der früheste Zeitpunkt zur Einführung des Magermotors wäre demnach 1976 gewesen; eine Marktdurchdringung drei Jahre später.[32] Der erreichte Entwicklungsstand hinsichtlich der Abgaswerte hätte allerdings nur dem Zwischenstandard von 1975 bis 1978 entsprochen; um die danach eintretenden, strikteren Standards zu erfüllen, wären noch weitere Entwicklungen nötig gewesen.

Der Magermotor wäre also eine realistische Alternative zum Katalysator gewesen, wenn das Zeitfenster größer gewesen und die Entwicklung nicht zu früh aufgegeben bzw. eingeschränkt worden wäre. Dabei war hier der Stand von 1973 zu Grunde gelegt; Komplikationen hätten trotzdem die Marktdurchdringung des Magermotors verhindern können.

Die Einspritzmotoren, wie sie Ford zuerst entwickelte, erforderten größere Änderungen am Fahrzeug, weshalb eine Massenproduktion frühestens 1979 möglich wäre. Mit einem Oxidationskatalysator kombiniert wären jedoch die Werte, wie sie der „Clean Air Act“ ursprünglich vorsah, eingehalten worden und außerdem Benzineinsparungen bis zu 20% möglich gewesen.[33]

Die Entwicklung von Alternativantrieben wäre eine radikale Innovation gewesen, die viel Zeit in Anspruch genommen hätte: Nach den Schätzungen der Universität von Oklahoma wäre für die Gasturbine (die bis dahin am weitesten entwickelt war) das Jahr 1984 der früheste Zeitpunkt für eine Massenproduktion gewesen, für andere alternative Technologien noch später.[34] Somit wären selbst in dem von Nixon vorgeschlagenen Zeitraum von zehn Jahren keine Alternativantriebe als Konkurrenz zu anderen Technologien wahrscheinlich gewesen.

Im Folgenden will ich die realisierten und kontrafaktischen Zustände in einem Prozessgraphen zusammenstellen:

[32] Vgl. [Grad75], S. 308

[33] Vgl. [Grad75], S.302

[34] [Grad75], S. 301

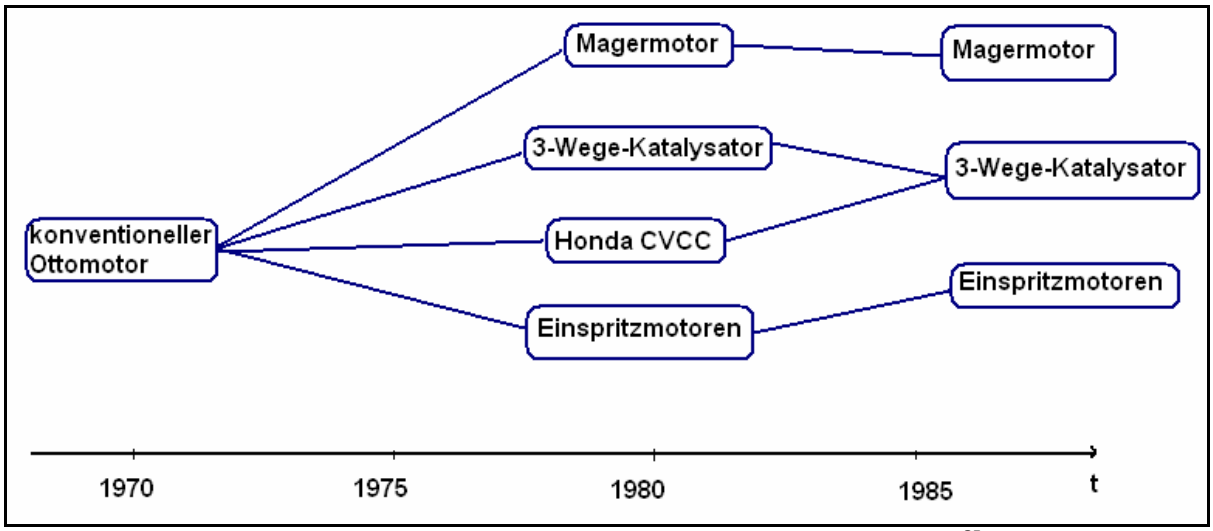


Abbildung 2: Prozessgraph mit realisiertem und kontrafaktischen Zuständen[35]

Der Prozessgraph geht von einem Anfangszustand im Jahre 1970 aus: Standard ist der konventionelle Ottomotor. Wäre nun ein Zeitraum von zehn Jahren zur Entwicklung von abgasärmeren Antrieben gewährt worden, wären eventuell als Alternative zu den realisierten Antrieben (dem 3–Wege–Katalysator und dem von Honda konstruierte CVCC–Motor) die Fertigstellung des Magermotors unter den geforderten Bedingungen möglich gewesen. Auch der ursprünglich von Ford entwickelte Einspritzmotor hätte wahrscheinlich zu Ende gebracht werden und sich im Markt etablieren können.

Der CVCC–Motor von Honda jedoch, der tatsächlich in bestimmten Fahrzeugen eingesetzt wurde, hätte auch bei einem größeren Zeitraum nicht die geforderten NO_x–Werte einhalten können und wäre auch bei größerem Zeitfenster im Jahre 1987 durch den Katalysator ersetzt worden.

Trotzdem kann man im Ganzen sagen, dass der Wegfall des Einflussfaktors „Zeitfenster“, der rein zufällig entstanden ist, Alternativprozesse zugelassen hätte.

6.2 Die Marktstruktur der US-amerikanischen Automobilindustrie

Die Automobilindustrie der USA Anfang der 70er Jahre kann, wie schon angedeutet, als Oligopol mit drei Oligopolisten charakterisiert werden: General Motor, Ford und Chrysler. Die Markteintrittsbarrieren isolierten sie und reduzierten die Konkurrenz.[36] Die Folge war eine gewisse Schwerfälligkeit der Industrie, die kaum Innovationen hervorbrachte und sich statt auf neue Technologien eher auf Luxusausstattung

[35] Quelle: Eigene Darstellung

[36] Vgl. [Sat05], S.108

konzentrierte.[37] Gerade Umweltthemen und die Diskussion um abgasärmere Fahrzeuge schienen eher lästig und wurden nicht als möglicher Wettbewerbsvorteil erkannt: General Motors zum Beispiel versuchte Ende der 60er Jahre den Autor Ralph Nader wegen seiner abgaskritischen Publikation öffentlich zu diskreditieren.[38]

Eine konkurrenzorientierte Automobilindustrie hätte abgasärmere Fahrzeuge vielleicht als Wettbewerbsvorteil nutzen können und hätte deshalb schon vor dem „Clean Air Act“ an neuen Technologien geforscht, so wie es auch heute schon zum Teil vor der Erlassung eines Gesetzes geschieht. Japan hatte zwar eine dynamische Wirtschaft, doch wäre das Entwicklungsergebnis eines kleinen, japanischen Herstellers in den USA auf keine große Akzeptanz gestoßen, wie sich auch im Falle des CVCC–Motors von Honda gezeigt hat.[39]

Hinsichtlich möglicher kontrafaktischer Prozesse lässt sich sagen, dass eine innovativere, umweltfreundlichere Einstellung der Unternehmen zwar wünschenswert gewesen wäre, der Einflussfaktor „Marktstruktur“ sich jedoch über Jahre hinweg entwickelt hatte und deshalb nicht kurzfristig hätte ausgeschaltet werden können. Alternativszenarien unter Wegfall dieses Einflussfaktors wären daher wenig plausibel.

6.3 Die Ölkrise 1973

Im Herbst 1973 drosselte die OPEC die Fördermengen für Erdöl, um den Preis zu erhöhen; damit begann die erste Ölkrise in den ölabhängigen Industriestaaten. Der Preis des bislang billig exportierten Rohstoffes kletterte in die Höhe. Die Industrieländer reagierten mit Initiativen, um Öl einzusparen und ihre Abhängigkeit vom Öl zu verringern.

Wie schon erwähnt, drängten in Japan und in USA die Automobilunternehmen wegen des trade–offs von NO_x-Emissionswerten und Benzinverbrauch darauf, den Termin zur Einführung der strikteren Standards nach hinten zu verschieben (was sie auch erreichten).[40] Dieser „trade–off“ zeigte sich vor allem bei einem Motor, dessen Relevanz allerdings wegen der Ölproblematik sehr gering wurde: Es handelt sich um den von Mazda weiterentwickelten Drehkolbenmotor, dem zunächst als dritte

[37] [Sat05], S. 108

[38] [Sat05], S.109

[39] Vgl. [Sat05], S.112

[40] [Sat05], S. 115 und [EPA74]

Alternative neben dem Magermotor und Katalysator gute Chancen zugeschrieben worden waren.

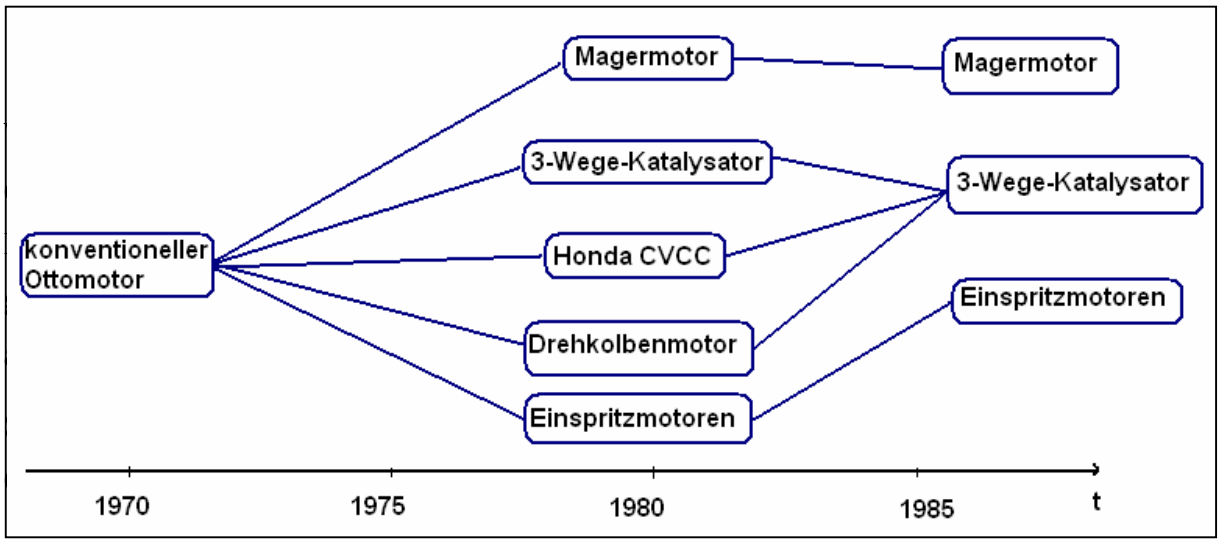
Was wäre wohl passiert, wenn die OPEC nicht ausgerechnet in dieser Zeit die Fördermengen gedrosselt hätten?

Der Drehkolbenmotor hat die Eigenschaft, 20 – 60% weniger NO_x zu emittieren als herkömmliche Motoren, wobei jedoch mehr HC und CO ausgestoßen wird. In Kombination mit einem Oxidationskatalysator allerdings hätten die Abgase ohne Schwierigkeiten reduziert werden können.[41]

Hätte der Drehkolbenmotor eine Alternative darstellen können, wenn der Rohölpreis weiterhin günstig gewesen wäre?

Wahrscheinlich wäre es ihm so ergangen wie dem Honda CVCC–Motor: Mazda gehörte zu den kleineren, japanischen Automobilunternehmen, die wenig Einfluss hatten und vermutlich als Standard nicht akzeptiert worden wären. Der Motor wäre wohl einige Jahre zur Reduktion von NO_x herangezogen worden, danach allerdings durch den fortschrittlicheren 3–Wege–Katalysator ersetzt worden (auch deshalb, weil sein Potenzial zur NO_x–Reduktion ausgeschöpft gewesen wäre).

Folgende Abbildung zeigt den vorher bereits verwendeten Prozessgraphen, erweitert um den neuen Drehkolbenmotor:



[41] [Sat05], S. 107

[42] Quelle: Eigene Darstellung

6.4 Die Smogbelastung in japanischen Großstädten

In Japan hatte für eine Zeit lang der Magermotor dieselben Chancen als Standard übernommen zu werden wie der 3-Wege-Katalysator. Beide verfügten jedoch über verschiedene umwelttechnische Vorzüge: Während der Magermotor einen geringeren Benzinverbrauch aufwies, reduzierte der Katalysator die NO_x-Werte entscheidend.[43]

In Japans Großstädten, vor allem in Tokio, führt die Verbindung von UV-Strahlung im Sommer mit bestimmten Emissionen wie NO_x zum so genannten Photosmog. Dieser äußert sich durch eine erhöhte Ozonkonzentration, die gesundheitsschädliche Folgen auf den Menschen hat.[44]

Da der Smog als das schwerwiegendste Umweltproblem erachtet wurde, entschied die politische Diskussion den technologischen Wettkampf zu Gunsten des 3-Wege-Katalysator, bevor der Markt entscheiden konnte.[45] So subventionierte die japanische Regierung seit 1975 die Ausstattung der Autos mit Katalysatoren durch Steuersenkungen und Zuschüsse.[46]

Man könnte mutmaßen, dass ohne die sommerliche Belastung durch den Photosmog die Politik sich nicht für den Katalysator entschieden hätte; jedoch ist diese Annahme absurd, da ja gerade die Luftverunreinigung in den Großstädten mitverantwortlich war, dass überhaupt gesetzliche Regelungen in Kraft getreten sind und sie den technologischen Wettbewerb losgetreten haben. Allerdings ist es fragwürdig, ob die gesetzgeberische Aktivität der Regierung überhaupt nötig war: Genauso wie der erhöhte Benzinverbrauch des Katalysators durch Weiterentwicklung eingedämmt werden konnte, wäre vermutlich auch für den Magermotor eine Lösung für die erhöhten NO_x-Werte gefunden worden. Ein Aufschieben des technologischen Wettbewerbs durch Inaktivität seitens der Regierung wäre aber unter dem öffentlichen Druck und der Tatsache, dass bereits eine Lösung des Emissionsproblems bestand, nicht in Frage gekommen, vor allem, weil unsicher war, wie die Weiterentwicklung des Magermotors verlaufen würde.

---

[43] Vgl. [Sat05], S. 177

[44] Vgl. [Wik06], Suchwort: Smog

[45] [Sat05], S. 117

[46] [Sat05], S. 116

6.5 Fazit zu Kapitel 6

Die Analyse der verschiedenen Einflussfaktoren hat gezeigt, dass das von den USA vorgegebene, durch politische Zufälle zustande gekommene Zeitfenster den Hauptfaktor der Entwicklung darstellt. Wäre der Zeitrahmen größer gefasst worden, was ohne die bevorstehenden Wahlen möglich gewesen wäre, so hätten die Automobilhersteller die möglichen Alternativen besser entwickeln können.

Das Wirksamwerden der Faktoren „Marktstruktur“ und „Smogbelastung“ war dagegen unausweichlich; sie bestimmten zwar nicht, verschärften aber die Situation. Die Ölkrise fiel zwar eher per Zufall in den Entwicklungszeitraum der verschiedenen Technologien; ohne sie hätten vielleicht andere Technologien vorübergehend Chancen gehabt (Drehkolbenmotor), doch ist es eher unwahrscheinlich, dass sie sich als Standard durchgesetzt hätten.

Nur ein größerer Zeitrahmen bis zur geforderten Implementierung der Abgasregelung hätte also wirklich alternative Prozesse zugelassen.

7 Gegenwart und Zukunft der Motoren

Die Kombination des herkömmlichen Otto-Motors mit dem 3-Wege-Katalysator hat sich letztendlich in Japan und in den USA als Standard durchgesetzt.

In den 80er Jahren gab es eine Diskussion in Europa, bei der noch einmal der Wettbewerb Katalysator vs. Magermotor entfacht wurde. Während einige Unternehmen (vor allem deutsche) aufgrund ihrer Exportabhängigkeit schon früh in umweltfreundlichere Motoren bzw. den Katalysator investiert hatten, gab es andere Unternehmen, die die Katalysatorlösung gerade für kleinere Autos für zu teuer hielten. Die Gründe, warum schlussendlich doch der 3-Wege-Katalysator als Standard akzeptiert wurde, lagen zum einen in dem Wahlerfolg von grünen Parteien in verschiedenen europäischen Staaten und zum anderen in der relativen technologischen Reife des Katalysators: Er war schon weit genug entwickelt, um die neuen Abgasbeschränkungen einzuhalten. Der öffentliche Druck einer umweltbewussteren Bevölkerung verlangte eine schnelle Lösung, was den Wettbewerb zu Gunsten des Katalysators entschied.[47] Ein weiterer Grund ist in der verzögerten Entwicklung des Magermotors zu sehen: Es war klar, dass für größere Fahrzeuge mit einer Kapazität von

[47] Vgl. [Sat05], S. 125

über 2 Kubiklitern der Katalysator verwendet worden wäre (was die Forschung auf kleinere Autos beschränkte). Es waren vor allem französische und englische Unternehmen, die in die Entwicklung des Magermotors investierten. Doch die Konkurrenz japanischer Unternehmen und die Rezession der 80er Jahre entzog diesen (eher kleineren) Unternehmen das nötige Kapital, um den Magermotor, der Mitte der 80er Jahre nur als Prototyp vorhanden war, weiterzuentwickeln. Zu dieser Zeit fiel dann endgültig die Entscheidung zur Einführung des Katalysators.[48]

Heutzutage wird viel in die Optimierung der Motoren investiert; sie sind in den letzten Jahren ständig verbessert worden, sowohl was die Abgase als auch den Benzinverbrauch betrifft. Den Magermotor der 80er Jahren gibt es nicht mehr. Allerdings kann man beobachten, dass das Prinzip dieses Motors, ein mageres Kraftstoff-Luft-Gemisch, weiterverwendet wird, z.B. in den sog. FSI-Modellen von Volkswagen.[49]

Die Zukunft jedoch wird auch noch andere Perspektiven brauchen. Obwohl sie im Wettbewerb um abgasärmere Motoren in den 70er Jahren unterlagen, werden die Alternativantriebe schon jetzt weiterentwickelt und in Zukunft sicher feste Positionen auf dem Markt einnehmen. Nicht nur die Kriterien der Abgaseinschränkung und des Kraftstoffverbrauchs müssen hierbei erfüllt werden; auch Faktoren wie der Lärmschutz werden dabei eine Rolle spielen.[50] Wegen der Knappheit des Erdöls wird die Automobilindustrie neue Konzepte finden müssen, Motoren mit anderen Kraftstoffen zu bedienen. Dabei sind Energieträger wie Erdgas, Brennstoffzellen und Wasserstoff im Gespräch.[51]

Immerhin ist die Entwicklung schwer vorherzusagen; heute wird in verschiedene Richtungen geforscht, doch manchmal kann es– wie sich gezeigt hat - ein Zufall sein, der die Zukunft bestimmt.

---

[48] Vgl. [Sat05], S.121, 122

[49] Vgl. [Kfz06]

[50] Vgl. [UBA01], S. 4

[51] [UBA01], S. 5 - 14

LITERATURVERZEICHNIS

[Bött96] Böttger M.: „Einführung ökologischer Produkte: Timing Strategien – dargestellt am Beispiel der Automobilindustrie“, Schriftenreihe Unternehmensführung; Bd. 11, Verlag Wissenschaft & Praxis Dr. Brauner GmbH, Berlin, 1996

[Br06] Der Brockhaus (Hrsg.), Suchwort: Kontingenz. Onlineauflage. <http://www.brockhaus.de/suche/index.php?begriff=Kontingenz&bereich=mixed&x=42&y=10>, Abruf: 15.04.2006

[EPA74] U.S. Environmental Protection Agency: „EPA’s position on the energy crisis“, EPA position paper (1974). Online im Internet. <http://www.epa.gov/history/topics/energy/01.htm>, Abruf: 20.04.2006

[Grad75] Grad F. et al: “The automobile and the regulation of ist impact on the environment“, University of Oklahoma, Oklahoma, USA, 1975

[Kfz06] Kfztechnik Wiesinger (Hrsg.): “Die Benzin Direkteinspritzung”, online im Internet. <http://www.kfztech.de/kfztechnik/motor/otto/fsi.htm>, Abruf 29.04.2006

[Jor02] Jordan, S.: “Lexikon Geschichtswissenschaft: Kontrafaktische Geschichte“, Reclam 2002, S.190 - 193

[Leh04] Lehmann-Waffenschmidt M.: “Der kontingenztheoretische Ansatz zur Strukturanalyse verlaufs- und ergebnisoffener wirtschaftlicher Prozesse“, in: Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, Nr. 53, 2004, S. 131 – 136

[Leh05] Lehmann-Waffenschmidt M.: “Zwischen Verlaufsoffenheit und Determiniertheit – Kontingenz als Charakteristikum evolutorischer Prozesse in der Ökonomie“, Forschungskolloquium der wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät Freiburg, 2005

[Nill02] Nill J.: „Wann benötigt Umwelt(innovations)politik politische Zeitfenster?“, Diskussionspapier des IÖW, Berlin, 2002.

[Sat05] Satorius C., Zundel S.: “Time Strategies, Innovation and Environmental Policy”, MPG Books Ltd, Cornwall, Großbritanien, 2005, S. 102 – 132

[UBA01] Umweltbundesamt (Hrsg.): “Auto der Zukunft“ (2001). Online im Internet als PDF zum Download. <http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/index-alternativ.htm>, Abruf: 30.04.2006

[Wik06] Wikipedia, Suchwort: “Katalysator”. Online im Internet. <http://de.wikipedia.org/wiki/Katalysator>, Abruf 17.04.2006

[Wik06] Wikipedia, Suchwort: „CVCC“. Online im Internet <http://en.wikipedia.org/wiki/CVCC>, Abruf 20.04.2006

[Wik06] Wikipedia, Suchwort: „Smog“, Online im Internet. <http://de.wikipedia.org/wiki/Smog>, Abruf: 20.04.2006