

Pfadabhängigkeit versus Innovation?
Royal Dutch Shells Exploration alternativer Automobilkraft-
stoffe als strategisches Pfadmanagement

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Wirtschaftswissenschaft (Dr. rer. pol.) des
Fachbereichs Wirtschaftswissenschaft der Freien Universität Berlin

Vorgelegt von: Jan Christopher Strobel (M.A.)

Dekan: Prof. Dr. Michael Kleinaltenkamp
Erstgutachter: Prof. Dr. Ulrich Jürgens
Zweitgutachter: Prof. Dr. Jörg Sydow

Tag der Disputation: 22. Juni 2009

Danksagung

Ich danke allen, die dazu beigetragen haben, dass diese Arbeit gelingt. Dies sind insbesondere meine Erst- und Zweitgutachter, Prof. Dr. Ulrich Jürgens und Prof. Dr. Jörg Sydow, sowie Prof. Dr. Stephan Duschek, Prof. Dr. Werner Rammert, Prof. Dr. Georg Schreyögg, Prof. Dr. Sigrid Quack und mein Tübinger Lehrer Prof. Dr. Josef Schmid.

Dank gebührt auch dem DFG Graduiertenkolleg „Pfade organisatorischer Prozesse“ und der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die großzügige Unterstützung meiner Promotion, den zahlreichen Interviewpartnern für ihre Zeit und Offenheit sowie dem Energieinformationsdienst (Hamburg) für die Öffnung seines Archivs.

Meinen Kolleginnen und Kollegen vom Pfadkolleg möchte ich nicht nur für ihre Diskussionsbereitschaft danken, sondern auch für die Freude, die mir das wissenschaftliche Arbeiten in ihrem Kreis bereitet hat.

Schließlich und nicht zuletzt danke ich meiner Frau und meinen Eltern für ihre Unterstützung und Ermunterung.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	v
1 Einleitung	1
1.2 Forschungsfrage und Fallauswahl	4
1.3 Vorgehen der Arbeit	5
1.4 Anspruch der Arbeit	6
2 Theorie: Pfadabhängigkeit und Pfadmanagement als rekursive Dualität	7
2.1 Strukturationstheorie: Rekursivität und Dualität von Struktur und Handeln	7
2.2 Die Diskussion des Pfadabhängigkeitskonzepts	11
2.2.1 Das klassische Pfadabhängigkeitskonzept	12
2.2.2 Die institutionalistische Adaption des Pfadabhängigkeitskonzepts	15
2.2.3 Die Pfadabhängigkeitsadaption des Strategischen Managements	17
2.2.4 Die Adaption in der Innovationsforschung	19
2.2.5 Fazit: Die strukturationstheoretisch geordnete Pfadabhängigkeitsdebatte	22
2.3 Pfadabhängigkeit als rekursive, mechanismusgetriebene Dualität.....	23
2.3.1 Kontingenz als Modellplatonismus.....	23
2.3.2 Positive Rückkopplungen als ein sozialer Mechanismus unter anderen	24
2.3.3 Veränderungsmechanismen und weitere soziale Mechanismen	30
2.3.4 <i>Lock-in</i> : Prozessuale Stabilität statt ‚frozen landscape‘	33
2.3.5 Pfadmanagement über die Gestaltung der Handlungsanreize	34
2.4 Fazit: Pfadabhängigkeit und Pfadmanagement als rekursive Dualität	35
3 Fallstudiendesign, Methodik und Operationalisierung	37
3.1 Das Untersuchungsdesign: ‚Embedded case study‘	37
3.2 Datenerhebung: Feldzugang und erhobenes Material.....	39
3.3 Datenauswertung: Zur Entwicklung des Analyserasters.....	43
4 ‚Fossile Kraftstoffe‘ als pfadabhängiges technologisches System	49
4.1 Das traditionelle Geschäftsmodell der internationalen Mineralölkonzerne	50
4.2 Exploration und Produktion von Erdöl – Quelle der Profitabilität und der Probleme	52
4.2.1 Erdölexplorations- und -produktionstechnologien	52
4.2.2 Ökonomie des Upstreambereichs.....	55
4.2.3 Die regulativen Strukturen des Upstreambereichs	57
4.2.4 Die Stakeholdererwartungen im E&P-Bereich an die Mineralölkonzerne	59
4.2.5 Die Handlungsanreize der Explorations- und Produktionsstrukturen	63
4.3 Raffinerie – Kuppelproduktion, schrumpfende Märkte und Regulierung...	66

4.3.1 Raffinerietechnik – Kuppelproduktion von Benzin und Diesel.....	67
4.3.2 Marktentwicklung – Schrumpfende Märkte, wechselnde Nachfragemuster.....	70
4.3.3 Die europäische und deutsche Regulierung des Raffineriebereichs	75
4.3.4 Stakeholdererwartungen im Raffineriebereich.....	79
4.3.5 Die strukturellen Handlungsanreize im Raffineriebereich	82
4.4 Der Vertrieb über die Tankstelle	85
4.4.1 Tankstellentechnologie und -infrastruktur	85
4.4.2 Der Tankstellenmarkt als Käufermarkt	86
4.4.3 Regulierung – Verbrauchssenkung durch Besteuerung?	88
4.4.4 Stakeholder und ihre Erwartungen im Tankstellenbereich.....	90
4.4.5 Die strukturellen Handlungsanreize im Tankstellenbereich.....	92
4.5 Endverbrauch – Innovationsdynamiken im Automobilbereich.....	93
4.5.1 Technologieentwicklung im Automobilbereich – Verbrauch und Emissionen ...	94
4.5.2 Ökonomie – Globale Märkte und regionale Trends.....	96
4.5.3 Regulierungen im Pkw-Bereich	98
4.5.4 Erwartungen an die Automobilindustrie	101
4.5.5 Strukturelle Handlungsanreize beim Endverbrauch von Benzin und Diesel ...	102
4.6 Fazit: Fossile Kraftstoffe als pfadabhängiges technologisches System... 103	
5 Strukturelle Anreize zur Exploration alternativer Kraftstoffe.....	108
5.1 Regulative Explorationsanreize	108
5.1.1 Politische Mengenziele als Explorationssignal	109
5.1.2 Steuerliche Anreize für alternative Kraftstoffe.....	111
5.1.3 Ordnungsrechtliche Verwendungspflichten	114
5.1.4 Kraftstoffstandards: Normen und EU-Richtlinien	117
5.1.5 FuE-Förderung – Mittelbereitstellung und Erwartungskoordination	121
5.1.6 Landwirtschaftspolitik	122
5.1.7 Fazit: Explorationsanreize der Regulierungsstrukturen	123
5.2 Explorationsanreize durch Antriebsentwicklungen im Automobilbereich 126	
5.2.1 ‚Engines for fuels‘ – Otto- und Dieselmotoren für alternative Kraftstoffe	126
5.2.2 ‚Fuels for engines‘	130
5.2.3 Fazit: Explorationsanreize infolge neuer Antriebstechnologien.....	133
5.3 Entwicklung, Produktion und Distribution alternativer Kraftstoffe.....	135
5.3.1 Marktneulinge als Entwickler und Produzenten alternativer Kraftstoffe	135
5.3.2 Distribution: Infrastruktur und Reinkraftstoff-Produktkoalitionen	140
5.3.3 Fazit: Explorationsanreize durch die Entwicklung von Alternativen	145
5.4 Fazit: Strukturelle Anreize zur Exploration alternativer Kraftstoffe.....	146
6 Shells Exploration alternativer Kraftstoffe.....	149
6.1 Royal Dutch Shell – ‚More Upstream, Profitable Downstream‘	149

6.2 Shells <i>Gas-to-Liquids</i>-Aktivitäten	155
6.2.1 Die <i>Gas-to-Liquids</i> -Alternative	155
6.2.2 Shells Gestaltung der GtL-Wertschöpfungskette.....	157
6.2.3 GtL und der Kraftstoffpfad: Synergien und Konkurrenzen.....	160
6.2.4 GtL und die Explorationsanreize: Strukturierung statt Reaktion.....	163
6.2.5 Shells GtL-Explorationsstrategie: Auf dem Weg zum ‚ <i>green fossil fuel</i> ‘	164
6.3 Shells Exploration der Alternative <i>Biomass-to-Liquids</i>	166
6.3.1 Die <i>Biomass-to-Liquids</i> -Alternative	166
6.3.2 Shells Gestaltung der BtL-Wertschöpfungskette.....	168
6.3.3 Synergien und Konkurrenzen zwischen BtL und dem Kraftstoffpfad	176
6.3.4 Die <i>Biomass-to-Liquids</i> -Alternative und die Explorationsanreize.....	178
6.3.5 Fazit: BtL als ‚ <i>win-win</i> ‘-Alternative.....	180
6.4 Shells Aktivitäten im Bereich Ethanol aus Lignozellulose	183
6.4.1 Ethanol aus Lignozellulose	183
6.4.2 Die Gestaltung der Wertschöpfungskette von Ethanol aus Lignozellulose	185
6.4.3 Die Zelluloseethanolalternative und der Kraftstoffpfad	190
6.4.4 Zelluloseethanol und die Explorationsanreize.....	192
6.4.5 Fazit: Zelluloseethanol als das ‚bessere Übel‘?.....	193
6.5 Wasserstoff als der ultimative Kraftstoff?	195
6.5.1 Wasserstoff als Paradigmenwechsel	196
6.5.2 Shells evolutorische Gestaltung der Wasserstoff-Wertschöpfungskette	197
6.5.3 Wasserstoff und der Kraftstoffpfad.....	202
6.5.4 Wasserstoff und die Explorationsanreize	204
6.5.5 Fazit: Wasserstoff als ‚ <i>licence to grow</i> ‘?.....	205
6.6 Fazit: Shells Exploration alternativer Kraftstoffe	206
7 Fazit: Shells Exploration alternativer Kraftstoffe als Pfadmanagement	210
7.1 Warum Shell alternative Kraftstoffe exploriert	210
7.2 Wie Shell alternative Kraftstoffe exploriert	218
7.3 Ausblick	229
Verwendete Abkürzungen	233
Literatur	236

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rekursive Dualität zwischen Strukturen und Akteurshandeln	10
Abbildung 2: Lokalisierung des Konzepts der ‚sozialen Mechanismen‘	26
Abbildung 3: Exploitation und Exploration als Rekursivität auf zwei Feldern	46
Abbildung 4: Verteilung bewiesener Reserven 1986, 1996 und 2006.....	53
Abbildung 5: Entwicklung von Royal Dutch Shell A Aktien in New York 2004	62
Abbildung 6: Investitionen der IOCs im E&P-Bereich	65
Abbildung 7: Deutsche Konversions- und Entschwefelungskapazitäten 1950-2006	68
Abbildung 8: Downstreamergebnis der deutschen Mineralölindustrie vor Steuern 1979- 2006 im Vergleich zum Ölpreis der Sorte Brent	70
Abbildung 9: Deutsche Raffineriekapazitäten und Rohöleinsatz 1950-2006	71
Abbildung 10: Inlandsabsatz von Mineralölprodukten 1950 bis 2006.....	73
Abbildung 11: Entwicklung des deutschen Tankstellenbestandes	86
Abbildung 12: Die sechs größten IOCs im Jahr 2006.....	150
Abbildung 13: Shells Kraftstoffstrategie	152
Abbildung 14: Shells Gestaltung der GtL-Wertschöpfungskette	158
Abbildung 15: Kosten der und Potenzial zur CO2-Vermeidung.....	167
Abbildung 16: Die Wertschöpfungskette von BtL.....	169
Abbildung 17: CHORENs und Shells Beiträge zur BtL-Anlage.....	170
Abbildung 18: Shells Gestaltung der Wertschöpfungskette von Zelluloseethanol	185
Abbildung 19: Die Kraftstoff- und Antriebsstrategie von Volkswagen.....	188
Abbildung 20: Shells Gestaltung der Wertschöpfungskette von Wasserstoff	198
Abbildung 21: Shells Vision der Wasserstoffquellen	199

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Positive Rückkopplungsmechanismen	28
Tabelle 2: Veränderungsmechanismen	31
Tabelle 3: Interviewpartner nach Organisationen und Bereichen (Anzahl)	40
Tabelle 4: Die Aussagekraft der erhobenen Quellen	44
Tabelle 5: Analysematrix des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ mit Beispielen	47
Tabelle 6: Die strukturellen Handlungsanreize im E&P-Bereich	63
Tabelle 7: Konversionsanlagen	67
Tabelle 8: Die strukturellen Handlungsanreize im Raffineriebereich	82
Tabelle 9: Die strukturellen Handlungsanreize im Tankstellenbereich	92
Tabelle 10: Deutscher Pkw-Bestand 2008 und 2007 nach Kraftstoffarten	97
Tabelle 11: Zusätzliche Handlungsanreize aus dem Automobilbereich	102
Tabelle 12: Handlungsanreize für die IOCs	104
Tabelle 13: Steuersätze in Cent pro Liter für B100, Pflanzenöl und Diesel	112
Tabelle 14: Biokraftstoffquoten in Prozent des Energiegehalts 2007-2015	115
Tabelle 15: Regulative Explorationsanreize zur Entwicklung von Alternativen	124
Tabelle 16: ‚Engines for Fuels‘-Ansätze	129
Tabelle 17: Explorationsanreize infolge von Antriebsentwicklungen	134
Tabelle 18: Marktneulinge im Bereich der Kraftstoffproduktion	136
Tabelle 19: Distributionsansätze für alternative Kraftstoffe	141
Tabelle 20: Reinkraftstoff Produktkoalitionen	143
Tabelle 21: Explorationsanreize infolge der Entwicklung von Alternativen	145
Tabelle 22: Explorationsanreize zugunsten alternativer Kraftstoffe	146
Tabelle 23: Ergänzte Übersicht positiver Rückkopplungsmechanismen	213
Tabelle 24: Ergänzte Übersicht der Veränderungsmechanismen	215
Tabelle 25: Übersicht der Explorationsmechanismen	216

„(T)he almost unquestioned dominance of gasoline in transportation is being challenged. Oil companies are seeking to put less-polluting reformulated or 'green' gasoline into the market, while various governmental authorities are promoting such alternative vehicle fuels as compressed natural gas, methanol, and alcohol fuels – and the electric car, which lost its battle against the gasoline powered car at the beginning of the twentieth century“ (Yergin 2003:785).

1 Einleitung

Die Entwicklung des Automobils, seiner Antriebe und der verwendeten Antriebsenergien sind ein klassisches Analyseobjekt von Pfadabhängigkeit. So bezeichnete bereits Arthur (1989) den Wettbewerb von Otto- und Dampfmotor als „promising empirical case“ (ebd. 126f). Eine Pfadabhängigkeit der automobilen Antriebe und Kraftstoffe würde bedeuten, dass dies Technologien sind, die in ihrem Diffusionsprozess durch positive Rückkopplungen verstärkt und stabilisiert werden und die trotz einer eventuellen Ineffizienz den Wechsel zu einer Alternative erschweren:

„(I)ncreasing returns can cause the economy gradually to lock itself in to an outcome not necessarily superior to alternatives, not easily altered [...]“ (ebd. 128).

Ausgehend von dieser Pfadabhängigkeitsvermutung untersuchen daher Cowan und Hultén (1996, 2003) die Frage, wie die Entwicklung des Elektroautos dem technologischen *Lock-in* in der Antriebstechnologie entkommen könne; Grablowitz et al. (1998) gehen unter anderem der Frage nach, wie trotz Pfadabhängigkeit Möglichkeitsräume für erdgasbetriebene Fahrzeuge geschaffen werden können; Farrell et al. (2003) argumentieren für eine Markteinführungsstrategie von Wasserstoff und Åhman und Nilsson (2007) untersuchen allgemeiner, wie welche neuen Antriebe und Kraftstoffe eingeführt werden könnten. Wie diese Arbeiten bereits andeuten, ist die Frage der Pfadabhängigkeit der automobilen Antriebe und Kraftstoffe als Innovationshindernis für Alternativen keine rein akademische Frage, sondern auch eine von großer praktischer Relevanz. Diese praktische Relevanz ergibt sich aus zwei kritischen Aspekten der verwendeten erdölbasierten Energieträger Benzin und Diesel: Erstens die unsichere Versorgungslage auf der ‚Inputseite‘ resultierend aus der Endlichkeit von Erdöl, der Preisentwicklung und vor allem der Importabhängigkeit; zweitens die CO₂-Emissionen und Abgase des Verkehrsbereichs infolge ihrer Verbrennung auf der ‚Outputseite‘ (vgl. Europäische Kommission 1997:4ff; Lahl & Knobloch 2006:1f). Daraus schlussfolgert zum Beispiel die Europäische Kommission (2001), dass „[...] die Abhängigkeit vom Erdöl (derzeit 98%) durch den Einsatz alternativer Kraftstoffe verringert und die Energieeffizienz der Verkehrsträger erhöht werden (muss), was auch eine technische Herausforderung darstellt“ (ebd. 11). Der Beitrag einer Pfadabhängigkeitsperspektive zu diesem Praxisproblem besteht in der Sensibilisierung für die stabilisierenden, Wandel erschwerenden Aspekte (vgl. Unruh 2000; Geels 2004; Foxon 2006). Als solche Aspekte werden auf Praktikerkonferenzen die über Jahrhunderte kumulierten Investitionen, Skaleneffekte, spezifische Regulierungen, Machtkoalitionen und Werte der Verbraucher angeführt (vgl. Pearson 2007):

„I want to emphasize how the existing fossil-fuel, carbon based system has become entrenched with so much inertia that it's very hard to change. It's a system with numerous players – companies, labor, state agencies, NGOs, and multi-lateral organizations – and it has become entrenched in many dimensions. We see lock-in in the technological-economic area where there are two centuries of cumulative investment and economies of scale; in the organizational-political area where there are subsidies, policy influence, and 'highway coalition'; and also in the more cultural and normative areas of private consumption, standards, and everyday practices" (Levy 2008:65).

Anhand dieser Problembeschreibung und der eingangs angeführten Arbeiten können bereits vier Feststellungen getroffen werden: Erstens handelt es sich bei diesem klassischen Analyseobjekt der Pfadabhängigkeit nicht um ein, sondern streng genommen um zwei eng miteinander interagierende Objekte: automobile Antriebe auf der einen und die in diesen verwendeten Kraftstoffe auf der anderen Seite (vgl. Farrell et al. 2003:1361; Aigle & Marz 2007:7). Diese können zweitens als ‚technologische Systeme‘ im Sinne von Hughes (1989) verstanden werden, die „messy, complex, problem-solving components“ enthalten inklusive natürlicher Ressourcen, physischer Artefakte, Organisationen sowie wissenschaftlicher und legislativer Komponenten (ebd. 51; vgl. Mayntz 1988; Rammert 2000:28f). Da dabei das fossile Kraftstoffsystem von der Verwendung des Verbrennungsmotors im Automobilsystem abhängig ist, variiert drittens die Bedeutung von Veränderungen der Symbiose Verbrennungsmotor-fossile Kraftstoffe für die beiden Systeme: Während dies für die Automobilseite das Ende einer Technologie bedeuten kann, kann es für die Kraftstoffseite zum Ende ihres Marktes führen (vgl. Yergin 2003:80). Viertens schließlich resultiert das Problem der Pfadabhängigkeit sowohl aus den Charakteristika der Makroebene (technisch-ökonomische und regulative Aspekte), wie auch aus der Verzahnung der Makroebene mit den Interessen und dem Verhalten der Akteure auf der Mikroebene (vgl. Geels 2004; Foxon 2006:6). Es handelt sich also um ein Mehrebenenproblem bzw. eine Art ‚doppelte Pfadabhängigkeit‘ von technologischem System und Akteurshandeln im bestehenden institutionell-operationalem Kontext.

Hinsichtlich dieser Gemengelage gilt es im Folgenden die Forschungslücken in den bisherigen Arbeiten aufzuzeigen, um die Fragestellung dieser Arbeit entwickeln und die zu bearbeitenden Fälle auswählen zu können. Daraus wiederum ergeben sich das Vorgehen zur Bearbeitung der Fragestellung und der Anspruch dieser Arbeit.

1.1 Forschungslücken

Die eingangs genannten Arbeiten verfolgen das Ziel, Vorschläge dafür zu erarbeiten, wie trotz der geschilderten pfadabhängigen Gemengelage ein Wandel der automobilen Antriebe und Kraftstoffe herbeigeführt werden kann (Kemp et al. 1998; Garud & Karnøe 2001). Dabei heben sie vor allem die staatliche Technologieförderung (Åhman & Nilsson 2007) und die regulative oder strategische Schaffung von Marktnischen hervor (Cowan & Hultén 1996, 2003; Grablowitz et al. 1998; Farrell et al. 2003). Sie schlussfolgern also aus der Pfadabhängigkeit des gegenwärtigen technologischen Systems, dass für die Al-

ternativen neue Pfade kreiert werden können, indem für sie ebenfalls positive Rückkopplungen geschaffen werden (vgl. Cowan & Hultén 2003:141ff). Als Träger des Wandels wird nach Arthur (1989) und weiteren Vorschlägen aus der Organisations- und Innovationsliteratur folgend der Staat gesehen sowie Marktneulinge, die eher radikale Innovationen befördern (ebd. 127; Tushman & Anderson 1986; Leblebici et al. 1991; Jacob et al. 2005). Damit leisten diese Arbeiten nicht nur empirische Beiträge dazu, wie alternative Antriebe und Kraftstoffe im Verkehrsbereich etabliert werden könnten, sondern greifen auch zwei theoretisch-konzeptionelle Aspekte der Pfadabhängigkeitsdebatte auf, die in dieser Arbeit weiter entwickelt werden sollen: Der erste Aspekt betrifft die Bedeutung der Akteure für Pfadprozesse wie zum Beispiel den Staat und Marktneulinge. Dadurch geraten grundsätzlich das Handeln der Akteure, ihre Unterschiedlichkeit und ihre unterschiedlichen Interessen sowie ihr Einfluss auf die Entwicklung bzw. ihre Macht in den Blick der Analyse. Die Akteure des bestehenden Pfades, also die Automobilindustrie und vor allem die Mineralölindustrie, spielen dagegen in den genannten Arbeiten nur eine untergeordnete Rolle. Diese Lücke kontrastiert mit dem Hinweis in der Literatur, dass bei der Etablierung neuer Alternativen ein negatives Feedback durch die Vertreter bzw. die Incumbents des alten Pfades droht (vgl. Leblebici et al. 1991:357):

„(U)nfavourable responses from *powerful threatened actors* can generate negative feedback“ (Garud & Karnøe 2001:11; Hervorhebung JCS).

Die Rolle der Vertreter des alten Pfades ist somit der erste Aspekt, den es weiter zu verfolgen gilt. Der zweite, theoretisch vielversprechende Aspekt, der in den ‚Pfadkreationsarbeiten‘ angesprochen wird und Entwicklungspotenzial besitzt, ist die Frage der Kausalität und der Beziehung zwischen Pfadabhängigkeit und Akteurshandeln: Was bzw. wer beeinflusst wen, warum und wie? So stellt die Pfadkreativperspektive der linearen Kausalität des klassischen Pfadabhängigkeitskonzepts eine gezielte Gestaltung des Pfades durch die Akteure gegenüber (vgl. Arthur 1989:117; Garud & Karnøe 2001:7f). Damit geht sie einen ersten Schritt in eine Richtung, die von Arthur (1996) selber gefordert wurde, aber deren konzeptionelle Einlösung noch aussteht, nämlich zu einem aktiven Management der positiven Rückkopplungen durch die Akteure (ebd. 105; vgl. Deeg 2001:12f). Dieses wird in dieser Arbeit unter dem Terminus ‚Pfadmanagement‘ gefasst. In dieser Hinsicht verweisen die Arbeiten wie bereits erwähnt auf die Möglichkeiten zur Kreation neuer positiver Rückkopplungen zugunsten der Alternativen sowie zu einem Ausweichen vor den positiven Rückkopplungen des bestehenden Pfades in Nischen. Die Frage, wie sich die ‚gegenseitige Organisation‘ der positiven Rückkopplungen und des Akteurshandelns gestaltet und konzeptionell greifen lässt, ist damit aber nur unvollständig beantwortet: Zum einen greifen die Arbeiten auf die eher eigenständigen, den Gedanken der Pfadabhängigkeit nur als Ausgangspunkt nehmenden Ansätze der Pfadkreation (Garud & Karnøe 2001) und des strategischen Nischenmanagements (Kemp et al. 1998, 2001) zurück und bewegen sich damit nicht innerhalb des Pfadabhängigkeitskon-

zepts im engeren Sinne. Zum anderen lassen die Autoren die Beeinflussung und Gestaltung der positiven Rückkopplungen des *bestehenden* Pfades außen vor.

Die bisherigen Arbeiten zur Pfadabhängigkeit im Automobilbereich und der möglichen Etablierung alternativer Antriebe und Kraftstoffe lassen mithin zwei Punkte offen. Erstens: Welche Rolle spielen diejenigen Akteure für die Entwicklung von Alternativen, die das bisherige System entscheidend mit geprägt, von diesem profitieren und ihre Kompetenzen und Sichtweise auf dieses ausgerichtet haben – gewissermaßen die ‚Pfadincumbents‘? Für diese handelt es sich bei der Frage, ob sie ihre Kompetenzen zur Weiterentwicklung des bestehenden Pfades einsetzen oder sich auch an der Entwicklung von Alternativen beteiligen, um eine klassische Exploitation-Exploration-Frage (March 1991; Koza & Lewin 1998). Diese Exploitation-Explorations-Frage wird dadurch aufgeladen, dass die Pfadincumbents sowohl auf der Makro- wie auch auf der Mikroebene einer Pfadabhängigkeit unterliegen können und dass das Neue das Alte potenziell substituiert (vgl. Tushman & Anderson 1986). Zweitens: Wie lässt sich das von Arthur geforderte aktive Management positiver Rückkopplungen konzeptionell innerhalb des bestehenden Pfadabhängigkeitskonzeptes einlösen? Diese beiden Punkte lassen sich miteinander verbinden und in einem iterativen Verfahren füllen, da das aktive Management der positiven Rückkopplungen – sofern es erfolgt – konsequenter Weise auch durch die Pfadincumbents vorgenommen werden kann. Ein solches Management liegt angesichts der Exploitation-Explorations-Problematik auch in dem Sinne nahe, als dass die Incumbents dabei zwischen dem alten Pfad und den Alternativen navigieren, also in Beziehung zu beiden Entwicklungen treten. Somit ist zur Füllung der beiden offenen Punkte zu fragen, warum sich die Incumbents trotz Pfadabhängigkeit an der Exploration von Alternativen beteiligen (können) und auf welche Weise dies erfolgt? Die Frage nach dem ‚*Warum?*‘ spiegelt dabei die Kausalitätsorientierung des Pfadabhängigkeitskonzeptes wider und fordert ihren Erklärungsgehalt empirisch heraus. Das ‚*Wie?*‘ zielt auf die Gestaltung der positiven Rückkopplungen durch die Incumbents ab.

1.2 Forschungsfrage und Fallauswahl

Die Frage nach dem ‚*Warum?*‘ und ‚*Wie?*‘ der Alternativenexploration stellt sich wie eingangs dargelegt für die Akteure auf der Kraftstoffseite mit einer größeren Intensität als auf der Automobilseite, da ersteren eine eventuelle Substitution ihres Marktes droht. Deshalb liegt es nahe, die Frage nach dem Agieren der Pfad-Incumbents auf die Kraftstoffseite zu fokussieren. Zu den dortigen Incumbents zählen die internationalen Mineralölkonzerne ExxonMobil, Royal Dutch Shell, BP, ChevronTexaco und Total als Begründer und Entwickler des fossilen Kraftstoffsystems (vgl. Yergin 2003; Davis 2006a). Von diesen wurde Shell aus mehreren Gründen als zu untersuchendes Unternehmen ausgewählt, so dass die spezifische Forschungsfrage dieser Arbeit lautet: ‚*Warum und wie exploriert Shell alternative Kraftstoffe?*‘

Für die Beschränkung der Analyse auf Shell sprechen ihr Innovationsportfolio im Bereich alternative Kraftstoffe, die Ausformuliertheit des technologischen Designs der einzelnen Alternativen sowie der forschungspraktische Zugang zu den Aktivitäten. Hinsichtlich des Innovationsportfolios im Bereich der alternativen Kraftstoffe ist Shell insbesondere auch im Vergleich zu ihren Wettbewerbern breit aufgestellt.¹ Damit bieten Shells Explorationsaktivitäten die Möglichkeit, mehrere Unterfälle im Rahmen desselben Unternehmens zu untersuchen und somit eine ‚embedded case study‘ durchzuführen (vgl. Yin 1994:42ff). Dafür wurden aufgrund ihres Entwicklungsstandes vier Fälle aus Shells Innovationsportfolio ausgewählt: Dazu gehören die fossile Dieselalternative Gas to Liquids (GtL) aus Erdgas, die Shell bereits als einziges Mineralölunternehmen in Europa vertreibt, Biomass to Liquids (BtL) und Ethanol aus Lignozellulose als Biokraftstoffe der sogenannten ‚zweiten Generation‘, die bereits die Pilotphase hinter sich haben, sowie Wasserstoff als ‚Kraftstoff der Zukunft‘ (van der Veer 2003:1; Couvaras 2006a, b).² Der Entwicklungsstand dieser Alternativen – insbesondere der ersten drei – ist der zweite Grund für die Wahl der Explorationsaktivitäten von Shell, da sich das technologische Design (Utterback 1994) der Alternativen bereits recht deutlich abzeichnet und somit gut analysiert werden kann. Drittens schließlich kommt noch der forschungspraktische Zugang hinzu, der durch die Bedeutung des deutschen Marktes für Shells Explorationsaktivitäten gewährleistet ist: So gehört Shell in Deutschland zu den Marktführern im Raffinerie- und Tankstellenbereich, sie kooperiert intensiv mit den deutschen Automobilherstellern Volkswagen und Daimler und entwickelt die Alternativen – außer Wasserstoff – nicht zuletzt auch hinsichtlich des deutschen Marktes.

1.3 Vorgehen der Arbeit

Angesichts der Forschungsfrage nach dem ‚*Warum?*‘ und dem ‚*Wie?*‘ von Shells Alternativenentwicklung in Kombination mit dem Bestreben, die konzeptionelle Lücke eines aktiven Managements der positiven Rückkopplungen zu füllen, ist die Arbeit iterativ angelegt. Das bedeutet, dass die Arbeit auf der einen Seite auf eine theoretisch angeleitete Beschreibung und Erklärung der Aktivitäten Shells und auf der anderen Seite auf eine empirisch fundierte Weiterentwicklung des Pfadabhängigkeitskonzeptes zielt (vgl. Yin 1994:3ff, 27ff).

Zur Bearbeitung der Fragestellung und zum Erreichen dieser Zielsetzung wird folgendermaßen vorgegangen: Zunächst gilt es in Kapitel 2, die theoretische Basis des Pfadabhängigkeitskonzeptes so weiter zu entwickeln, dass es sich dafür eignet, sowohl Pfadabhän-

¹ Auch Shells Wettbewerber betätigen sich in der Exploration alternativer Kraftstoffe wie zum Beispiel der Wasserstoffalternative (Total, BP, ExxonMobil), hydriertem Pflanzenöl (Neste Oil, OMV, BP, Total), GtL und CtL (Sasol Chevron; ExxonMobil) und Biobutanol (BP).

² Weitere von Shell verfolgte Alternativen sind zum Beispiel konventionelle Kraftstoffe aus Ölsanden und im Biokraftstoffbereich ‚Biobenzin‘ aus Zucker und die Gewinnung von Pflanzenöl aus Meeresalgen. Außerdem verfügt Shell über das Know-how zur Herstellung von *Coal-to-Liquids* (CtL) (Shell 2006a:5, 2007a:15, 2008a, 2008e).

gigkeiten und ihre Ursachen auf der einen als auch die Pfadgestaltung durch die Akteure auf der anderen Seite zu analysieren. Dem schließt sich in Kapitel 3 die Darlegung des methodischen Vorgehens dieser Arbeit an, welches aufgrund des iterativen Vorgehens zwischen Empirie und Theoriebildung eine wichtige Rolle spielt. Auf diesen beiden Schritten aufbauend erfolgt die empirische Analyse in drei Teilen: Im ersten Empirieteil wird das technologische System ‚fossile Kraftstoffe‘ anhand seiner Strukturen und seiner Entwicklung dargestellt sowie auf seine Pfadabhängigkeit hin analysiert (Kapitel 4). Im zweiten Empirieteil werden die auf eine Exploration alternativer Kraftstoffe hinauslaufenden Regulierungsstrukturen sowie die Technologieentwicklungen im Automobilbereich und im Kraftstoffbereich erarbeitet (Kapitel 5). In diesen ersten beiden Teilen geht es um die Sammlung möglicher Einflussfaktoren auf der Makroebene auf die Explorationsaktivitäten Shells. Im dritten Empirieteil wird das Unternehmen Shell hinsichtlich möglicher interner Einflussfaktoren auf der Mikroebene erörtert sowie Shells Aktivitäten im Bereich alternativer Kraftstoffe dargestellt und hinsichtlich der ‚*Warum?*‘ und ‚*Wie?*‘-Fragen diskutiert (Kapitel 6). Im Fazit werden die Ergebnisse zusammengefasst und hinsichtlich ihrer empirischen und theoretischen Generalisierbarkeit diskutiert (Kapitel 7).

1.4 Anspruch der Arbeit

Die gewählte Fragestellung wie auch die Komplexität der Pfadabhängigkeitsdiskussion bringen es mit sich, dass in dieser Arbeit eine große Bandbreite relevanter Aspekte zu bearbeiten ist. Das gilt nicht nur für die Empirie, die einem facettenreichen und komplexen Funktionsgefüge Rechnung tragen muss. Auch in theoretischer Hinsicht gilt es aufgrund der interdisziplinären Schnittstellenposition des Pfadabhängigkeitskonzeptes und der Notwendigkeit seiner Weiterentwicklung verschiedene Anregungen aus den Disziplinen Betriebswirtschaftslehre, Politikwissenschaft und Techniksoziologie aufzunehmen. Damit zielt die Arbeit auf eine breit angelegte Analyse, die auf Konzepte der unterschiedlichen Disziplinen zurückgreift und dabei neue Perspektiven generiert. Dieser Anspruch der Innovativität und Breite gilt erstens für die konzeptionelle Entwicklung der Idee eines aktiven Managements positiver Rückkopplungen, das in den genannten Disziplinen verwendet und unter dem Begriff des ‚Pfadmanagements‘ gefasst werden kann. Er gilt zweitens hinsichtlich der Erarbeitung einer vielseitigen und komplexen Materie und der Offenlegung ihrer Dynamiken und Zusammenhänge im Lichte des zuvor entwickelten konzeptuellen Rahmens. Und er gilt drittens in der angestrebten gegenseitigen Befruchtung von Theorieentwicklung und empirischer Analyse.

2 Theorie: Pfadabhängigkeit und Pfadmanagement als rekursive Dualität

Ziel dieses Abschnittes ist es, ein Pfadverständnis zu entwickeln, das sowohl Pfadabhängigkeit wie auch die von Arthur (1996) geforderte Möglichkeit eines „*active management of increasing returns*“ (ebd. 105; Hervorhebung im Original) umfasst, welches hier unter dem Terminus ‚Pfadmanagement‘ gefasst wird. Dafür muss die Akteursferne des klassischen Pfadabhängigkeitsansatzes (David 1985; Arthur 1989) überwunden und das im Konzept bereits angelegte Handlungspotenzial der Akteure deutlicher herausgearbeitet werden. Zur Entwicklung eines solchen umfassenden Pfadabhängigkeits- und Pfadmanagementverständnisses wird zunächst (2.1) Giddens (1997) Strukturationstheorie als erkenntnisleitendes Konzept herangezogen. Dafür spricht, dass die Strukturationstheorie mittels ihrer Grundlogik einer Rekursivität und Dualität von Struktur und Akteurshandeln die Möglichkeit eröffnet, Akteurshandeln im Pfadabhängigkeitskonzept zu verankern. Mit dieser ‚rekursiven Wende‘ folgt diese Arbeit anderen Ansätzen, die bestrebt sind, Pfadabhängigkeit mit einer Akteursperspektive zu verbinden (vgl. Garud & Karnøe 2001; Windeler 2003). Zudem stellt die Strukturationstheorie mit ihren drei zentralen Komponenten ‚Struktur‘, ‚Akteurshandeln‘ und ‚rekursive Dualität‘ ein Ordnungsschema bereit. Dieses wird im zweiten Schritt (2.2) verwendet, um die sehr breite und heterogene Diskussion des Pfadabhängigkeitskonzepts zu ordnen und dadurch hilfreiche und kommensurable Bestandteile zur Entwicklung des erweiterten Pfadabhängigkeitsverständnisses zu identifizieren. Dies geschieht im Sinne von Giddens ‚geleitetem Eklektizismus‘:

„Wenn Ideen interessant und erhellend sind, dann zählt mehr als ihr Ursprung, daß man imstande ist, sie so zu schärfen, daß ihre Nützlichkeit bewiesen werden kann, selbst wenn dies innerhalb eines ganz anderen Rahmens geschieht als dem, der sie hervorgebracht hat“ (Giddens 1997:35).

Auf den beiden vorhergehenden Schritten aufbauend wird im dritten Kapitel (2.3) Pfadabhängigkeit neu gedeutet als rekursive, mechanismusgetriebene Stabilität; eine Modifikation, die insbesondere auf das Konzept sozialer Mechanismen (Hedström & Swedberg 1996; Mayntz 2005) zurückgreift. Dadurch kann die rekursive Wende mit einem besseren Verständnis der positiven Rückkopplungen und möglicher Veränderungsmechanismen verbunden werden (Beyer 2005; Djelic & Quack 2007). In dieses modifizierte Pfadabhängigkeitsverständnis wird der Gedanke eines aktiven Managements der positiven Rückkopplungen konzeptionell eingebettet. Im abschließenden Kapitel (2.4) wird auf die Dualität von Pfadabhängigkeit und Pfadmanagement verwiesen und ihre zu analysierenden Komponenten benannt werden.

2.1 Strukturationstheorie: Rekursivität und Dualität von Struktur und Handeln

Ziel dieses Abschnittes ist es, die Giddensche Rekursivität und Dualität zwischen Struktur und Akteurshandeln vorzustellen, um die Grundlogik der Arbeit und die zentralen Komponenten des Ordnungsschemas für die folgende Diskussion der Pfadabhängigkeitsansätze (s. 2.2) zu erarbeiten. Dafür werden neben Giddens (1997) Strukturationstheorie auch

andere Arbeiten verwendet, die erstere spezifizieren und ergänzen (vgl. Archer 1982, 1995; Sewell 1992; Stones 2001, 2005). Mit dem Rückgriff auf die Strukturationstheorie folgt die Arbeit dem Vorbild ähnlich gelagerter Ansätze wie zum Beispiel Mayntz und Scharpfs (1995) ‚Akteurzentriertem Institutionalismus‘ (vgl. Scott 2001), Garud und Karnøes (2001) akteursfokussiertem Pfadkreationsansatz sowie dem gradualistischen Pfadkonzept von Sydow et al. (Sydow, Windeler, Möllering & Schubert 2005; Sydow, Windeler & Möllering 2004; Windeler 2003). Allen Ansätzen gemeinsam ist, dass sie Strukturen (Institutionen, Technologien) und Akteurshandeln miteinander vereinbaren, indem sie auf die Strukturationstheorie und ihr dezidiertes Verständnis einer rekursiven Dualität zwischen Struktur und Akteurshandeln zurückgreifen. Diese drei Komponenten – Struktur, Akteurshandeln und ihre rekursive Dualität – gilt es im Folgenden zu erörtern.

Giddens (1997) definiert **Struktur** als „Regeln und Ressourcen, die [...] nur in Form von Erinnerungsspuren [...] und als im Handeln exemplifiziert“ (ebd. 432) existieren. Diese Regeln und Ressourcen sind dabei Strukturen der symbolischen Ordnung bzw. Sinngebung (Signifikation), der normativen Regulierung (Legitimation) und der Herrschaft, wobei letztere in autoritative (politische) und allokativen (ökonomische und technologische) Ressourcen unterteilt wird (ebd. 84; vgl. Barley 1986:78; Orlikowski & Barley 2001:149). Diese Strukturen „have a real existence as ‘potentials’ that may or may not be drawn upon“ (Stones 2001:182; vgl. Archer 1995:97f; Sewell 1992: 9f). Zu beachten ist, dass die verschiedenen Strukturen nicht unverbunden nebeneinander stehen, sondern miteinander interagieren (Ortmann et al. 1997:324). Außerdem ist zu erwähnen, dass sie – z.B. Signifikation – teilweise endogen(isiert) sind. So kommt es auch zu einer „duality within agents (or people)“ (Stones 2001:184), die aus internalisierten Strukturen – also Wissen um Regeln und Verfügen über Ressourcen – und Akteurshandeln (*agency*) besteht (vgl. Stones 2005:5).

Das komplettierende Gegenstück zu den Strukturen bildet das **Handeln**, das weder strukturell determiniert noch vollkommen voluntaristisch erfolgt. Stattdessen sind die Akteure in ihrem Handeln zwar auf die Strukturen angewiesen, können diese gleichzeitig aber über ihr Handeln auch verändern (vgl. Barley & Tolbert 1997:97; Windeler 2003:320). Das Giddensche Akteursverständnis beruht dabei auf zwei zentralen Annahmen: Die erste Annahme ist, dass die Akteure ‚kompetent‘ (*knowledgeable*) Handelnde sind, die im Umgang mit ihrer Handlungsgrundlage, den Strukturen, über „ein handlungspraktisches und potenziell auch diskursives Wissen“ (Walgenbach 2002:184) verfügen (vgl. Giddens 1997:56, 429). Der Grad ihrer Reflexivität der eigenen Aktivitäten spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle. Die zweite Annahme ist, dass die Befähigung zum Handeln durch die Strukturen bereits Gestaltungsfreiheit bedeutet, denn „Handeln hängt von der Fähigkeit des Individuums ab, ‚einen Unterschied herzustellen‘ zu einem vorher existierenden Zustand oder Ereignisablauf“ (Giddens 1997:66). Entsprechend

können die Akteure die verwendeten Strukturen nicht nur einfach reproduzieren, sondern auch kreativ nutzen und auf neuartige Art und Weise einsetzen:

„This conception of human agents as ‘knowledgeable’ and ‘enabled’ implies that those agents are capable of putting their structurally formed capacities to work in creative or innovative ways. And, if enough people or even a few people who are powerful enough act in innovative ways, their action may have the consequence of transforming the very structures that gave them the capacity to act“ (Sewell 1992:4).

Mit dieser Gestaltungsfreiheit der Akteure ist ihre Zweckorientierung verbunden, die Giddens (1997) explizit anführt – und zugleich von einem voluntaristischen Intentionalitätsverständnis abgrenzt (ebd. 53).

Einschränkungen erfährt diese Kreativität der Akteure zum einen durch die Betonung der Routinisierung des Akteurshandelns. Darunter versteht Giddens die „gewohnheitsmäßige, für selbstverständlich hingegenommene Natur der großen Masse der Handlungen des Alltagslebens [sowie] das Vorherrschen vertrauter Verhaltensstile und -formen“ (ebd. 431). Die Akteure überprüfen somit nicht beständig die Zweckmäßigkeit ihrer Handlungen, sondern sehen diese über ihre Routinehandlungen als weitgehend gesichert an. In neuartigen Situationen treten die routinisierten Verhaltensweisen zugunsten eines hinterfragenden, diskursiven Wissens zurück, da „auch die beste Routine immer wieder nur bis zum nächsten Problem“ reicht (Holtgrewe 2000:4). Eine zweite Einschränkung, insbesondere des zweckorientierten Handelns, erfolgt durch die Betonung unintendierter Effekte von Akteurshandeln. Die Bedeutung unintendierter Effekte kann für Giddens aufgrund der begrenzten Kontrolle der Akteure über ihre unmittelbaren Handlungskontexte „kaum hoch genug eingeschätzt werden“ (ebd. 62).

Insgesamt gesehen gesteht Giddens somit den Akteuren Kreativitätsspielräume und zweckorientiertes, partiell reflexives Handeln zu. Gleichzeitig schränkt er die daraus resultierenden Handlungsspielräume durch die Betonung von Handlungs routinen und unintendierten Konsequenzen ein. Grundsätzlich spielt in seiner Konzeptionalisierung das Handeln der Akteure eine wichtigere Rolle als ihre Reflexivität.

Die Interaktion von Struktur und Handeln bildet den Schwerpunkt der Strukturierungstheorie, da sie den Gegensatz zwischen struktureller Determinierung und voluntaristischem Akteurshandeln aufhebt. An die Stelle von Voluntarismus und Determinismus setzt Giddens eine **rekursive Dualität**. ‚Rekursivität‘ heißt, dass Strukturen und Akteurshandeln beständig aufeinander bezogen sind, und ‚Dualität‘, dass sie sich gegenseitig bedingen: Die Akteure handeln also auf der Basis der Strukturen, die ihrerseits ohne dieses Handeln nicht zu Stande kämen (Giddens 1997:37, 52; Stones 2005:16f):

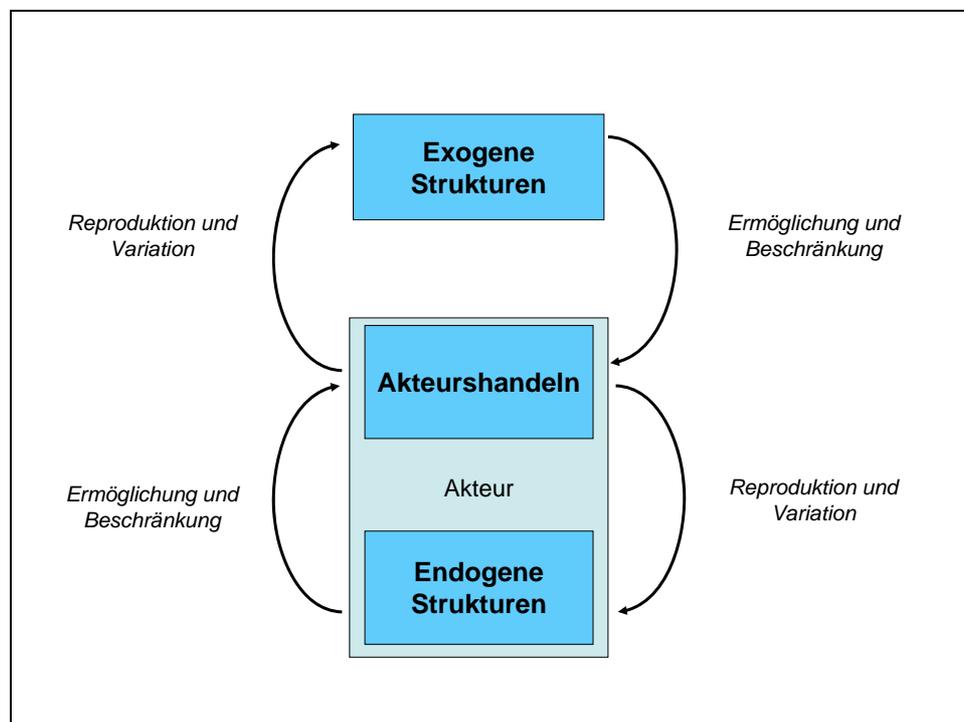
„Entscheidend für den Begriff der Strukturierung ist das Theorem der Dualität von Struktur [...] Konstitution von Handelnden und Strukturen betrifft nicht zwei unabhängig voneinander gegebene Mengen von Phänomenen – einen Dualismus –, sondern beide Momente stellen eine Dualität dar. Gemäß dem Begriff der Dualität von Struktur sind die Strukturmomente sozialer Systeme sowohl Medium wie Ergebnis der Praktiken [bzw. des Akteurshandelns; JCS], die sie rekursiv organisieren“ (Giddens 1997:77).

Trotz ihrer Dualität sind die Strukturen und das Akteurshandeln nach Archer (1982, 1995) *analytisch* voneinander zu trennen, um die Kausalbeziehungen zwischen ihnen identifizierbar zu machen und die zeitliche Dimension ihrer Interaktion zu berücksichtigen (vgl. Barley & Tolbert 1997:100f):

„In turn this [die Unterschiede zwischen struktureller Ausgangslage und Ergebnis; JCS] invites *analytical dualism* when dealing with structure and action. Action of course is ceaseless and essential both to the continuation and further elaboration of the system, but subsequent interaction will be different from earlier action because conditioned by the structural consequences of that prior action. Hence the morphogenetic perspective is not only dualistic but sequential, dealing in endless cycles of – structural conditioning/social interaction/structural elaboration – thus unravelling the dialectical interplay between structure and action“ (Archer 1982:458; Hervorhebung im Original).

Die Interaktion zwischen endogenen und exogenen Strukturen mit dem Akteurshandeln kann damit folgendermaßen bildlich dargestellt werden (vgl. Abbildung 1):

Abbildung 1: Rekursive Dualität zwischen Strukturen und Akteurshandeln



Die Strukturierungstheorie als theoretisches ‚Metakzept‘ beinhaltet somit folgendes Verständnis von Strukturen, Akteurshandeln und ihrer Interaktion:

- a) Die **Struktur** ist sowohl exogen als auch endogen(isiert). Sie lässt sich unterteilen in Strukturen der Signifikation, der Legitimation und der Herrschaft, wobei letztere wiederum in allokativen und autoritativen Ressourcen unterteilt wird. Damit sieht die Strukturierungstheorie letztlich vier Strukturen vor, die das Akteurshandeln ermöglichen und die durch dieses Handeln reproduziert werden. Strukturen, auf die in der jeweiligen Handlung nicht zurückgegriffen wird, bestehen zwar ‚real‘, werden aber durch die Handlung nicht aktualisiert.

- b) Das **Akteurshandeln** erfolgt zweckorientiert und ist potenziell kreativ. Größtenteils jedoch handeln die Akteure nicht-reflexiv auf Basis eines praktischen Bewusstseins und nur in Form von Routinen.
- c) Struktur und Akteurshandeln sind miteinander in einer sich gegenseitig bedingenden **rekursiven Dualität** verbunden. Aus analytischen Gründen werden sie jedoch voneinander getrennt betrachtet.

Dieses grundsätzliche Verständnis von Strukturen, Akteurshandeln und die Grundlogik ihrer rekursiven Dualität bildet die Grundlage für die Erarbeitung eines modifizierten Pfadabhängigkeitskonzepts inklusive eines Verständnisses von Pfadmanagement und übernimmt in der folgenden Diskussion der Adaptionen des Pfadabhängigkeitskonzepts eine erkenntnisleitende Funktion.

2.2 Die Diskussion des Pfadabhängigkeitskonzepts

Strukturierungstheoretisch betrachtet beschäftigt sich Pfadabhängigkeit mit einer besonderen Form von rekursiver Dualität, nämlich mit positiven Rückkopplungen. Diese ergänzen den Gedanken der Dualität um eine kausale Verknüpfung von Struktur und Akteurshandeln, die zu einer Verstärkung der Struktur führt. So betrachtet sind ‚Pfade‘ die zeitliche Ausformung einer kausal geleiteten rekursiven Dualität.

Da aber ‚Pfadabhängigkeit nicht gleich Pfadabhängigkeit‘ (Beyer 2005) ist, sondern es sich um ein multidisziplinäres Forschungsunternehmen mit vielfältigen Adaptionen handelt, wird es im Folgenden nicht nur darum gehen, ein vertieftes Verständnis der Pfadabhängigkeitsdebatte zu liefern. Vielmehr geht es darum, mit Hilfe der strukturierungstheoretischen Metaperspektive und ihrer drei Komponenten (Struktur, Akteurshandeln, rekursive Dualität) kommensurable Bestandteile der verschiedenen Pfadabhängigkeitsadaptionen zu identifizieren. Dafür wird die Pfadabhängigkeitsdebatte anhand der verschiedenen Pfadobjekte grob in vier Ansätze unterteilt: Da ist zunächst das klassische Pfadabhängigkeitskonzept (David 1985; Arthur 1989), das sich auf die ökonomischen Gründe von Technologieadaptionen (*„economics of technology“*; Cowan & Gunby 1996) konzentriert. Dieses Konzept wurde durch den Neoinstitutionalismus zur Analyse der Entwicklung politischer, sozialer und ökonomischer Institutionen adaptiert (North 1990; Pierson 2000a; Mahoney 2000). Auf die Entwicklung von Organisationen und Unternehmen wurde das Pfadabhängigkeitskonzept im Rahmen des Strategischen Managements bezogen (Schreyögg et al. 2003; Sydow, Schreyögg & Koch 2005; Teece et al. 1997; Gilbert 2005). Schließlich wurde das klassische Konzept insbesondere in der Technologie- und Innovationsforschung um aktorsfokussierte Pfadkreationen und Pfadtransformationen erweitert (Garud & Karnøe 2001; Kemp et al. 2001; Foxon et al. 2005; Sydow, Windeler, Möllering & Schubert 2005).

2.2.1 Das klassische Pfadabhängigkeitskonzept

Das klassische Pfadabhängigkeitskonzept wurde von seinen ‚Gründungsvätern‘ Paul David (1985) und Brian Arthur (1989) in Hinblick auf die Diffusion neuer, konkurrierender Technologien entwickelt. Die Kernidee ist dabei, dass der Diffusionsprozess maßgeblich von ‚*increasing returns*‘ geprägt wird – also positiven Rückkopplungen in Form steigender Erträge –, so dass die Attraktivität der zu Beginn mehr oder weniger zufällig gewählten Alternative durch ihre Wahl und die damit verbundenen Skaleneffekte, Lerneffekte etc. steigt (David 1985:334ff; Arthur 1989:116, 1994:81). Die relative Attraktivität der nicht gewählten Alternative sinkt dagegen, so dass das nutzenorientierte Akteurshandeln einen gleichförmigen, repetitiven Charakter der wiederholten Wahl annimmt. Infolge der Skaleneffekte etc. ist der Diffusionsprozess somit nicht reversibel. Langfristig kann er zudem zu einem möglicherweise ineffizienten *Lock-in* führen, in dem der Effizienzvorsprung alternativer Technologien durch den Adoptionsvorsprung der dominierenden Technologie überkompensiert wird. Damit bezog das klassische Pfadabhängigkeitskonzept mit Verweis auf die Bedeutung der Vergangenheit für die Gegenwart und die Möglichkeit von Ineffizienzen gegen die Marktgleichgewichte der Neoklassik Stellung (David 1985; Arthur 1989; Liebowitz & Margolis 1990, 1995).

Zum Pfadabhängigkeitskonzept gelangen David und Arthur mittels des bekannten Beispiels der QWERTY-Schreibmaschinentastatur einerseits (David 1985) sowie der Modellierung der Adoption konkurrierender Technologien angesichts von ‚*increasing returns*‘ mit Hilfe der Polya-Urne andererseits (Arthur 1989, 1994, 1996). Anhand beider Arbeiten lassen sich drei Kerngedanken des Pfadabhängigkeitskonzepts identifizieren:

- (1) Non-Ergodizität bzw. Kontingenz: Zu Beginn des Pfadabhängigkeitsprozesses kann das Ergebnis nicht vorhergesagt werden, da es durch ein zufälliges Ereignis, das eine *critical juncture* darstellt, eingeleitet wird.
- (2) Increasing returns: Das Prozessergebnis stellt sich infolge positiver Rückkopplungen ein. Als Ursachen positiver Rückkopplungen identifizieren sie Skalen-, Lern- und Koordinationseffekte sowie adaptive Erwartungen. Als weitere Effekte führt David (1985) Komplementaritätseffekte („*technical interrelatedness*“) und die Quasiirreversibilität von Investitionen (*sunk costs*) an (ebd. 336). Diese bewirken, dass frühere Ereignisse das Prozessergebnis stärker beeinflussen als spätere (*sequencing*).
- (3) Lock-in: Das Prozessergebnis kann mittel- bis langfristig ineffizient und irreversibel sein.

Von diesen drei Grundbestandteilen stehen die *increasing returns* im Zentrum, da die anderen beiden Eigenschaften des Pfadabhängigkeitsprozesses sich von der Wirkungsweise dieses Mechanismus ableiten (Arthur 1994, 1996; Arrow 2000).

Empirisch bedeutet das, dass sich QWERTY nach einem anfänglichen Wettbewerb mit unbekanntem Ausgang ‚zufällig‘ zur dominierenden Tastaturbelegung entwickelt hat – trotz heute vorliegender, technisch leicht implementierbarer effizienterer Alternativen.

Ursache dafür sind die positiven Rückkopplungen zugunsten QWERTYs in Form der Verzahnung von Tastaturbelegung und erlernter Zehn-Fingermethode (*technical interrelatedness*), die durch die zunehmende Diffusion generierten Kostenvorteile in der Schreibmaschinenproduktion (*economies of scale*) sowie der *sunk costs* – oder besser: *sunk capabilities* – der Anwender bei einem Wechsel der Tastaturbelegung (David 1985:334ff). An dieser Stelle sei zu Davids Beispiel angemerkt, dass es darüber hinaus verdeutlicht, dass sich positive Rückkopplungsursachen im Zeitverlauf verändern können: So gilt das *economies of scale* Argument angesichts flexibler Tastaturbelegungen am PC sicher nicht mehr, während die *technical interrelatedness* bzw. die Komplementarität zwischen Tastaturbelegung und Schreibmethode sowie die anwenderseitigen *sunk costs* (*capabilities*) weiterhin für das Beibehalten der vertrauten Lösung sprechen.

Arthur dagegen modifiziert zur Modellierung pfadabhängiger Prozesse die Polya-Urne. Diese geschlossene Urne enthält eine rote und eine weiße Kugel, aus der pro Runde ein Ball aus der Urne gezogen und mit einem Ball derselben Farbe wieder zurückgelegt wird. Dabei verändert sich die Ziehungswahrscheinlichkeit bereits nach der ersten Runde bereits von 50:50 auf 66,6:33,3 zugunsten der gezogenen Farbe. Wird in den nächsten Runden wiederholt dieselbe Farbe gezogen, so betragen die Wahrscheinlichkeiten in Runde drei 75:25, in Runde vier 80:20 usw. Dagegen kann die in der ersten Runde unterlegene Alternative in Runde zwei die Wahrscheinlichkeit nur ausgleichen und erst in Runde drei die Wahrscheinlichkeiten auf 40:60 verändern (Strobel 2004:5). Die Kernaussage der Arthurschen Modifikation besteht darin, dass sich dank der *increasing returns* – also mit dem Eintreten von Skaleneffekten etc. zugunsten der gezogenen Farbe – mit der Verteilung auch der *Nutzen* der Alternativen ändert. In diesem Prozess ist das Ergebnis damit zu Beginn nicht vorhersagbar (50:50) und frühere Ereignisse entfalten eine größere Wirkung auf das Ergebnis als spätere. Im Prozessverlauf findet dann eine zunehmende Nutzenverschiebung zugunsten einer Alternative statt, so dass der Prozess „progressively more locked-in“ (Arthur 1989:117) wird. Entsprechend fasst Arthur diesen Prozess wie folgt zusammen:

„(I)ncreasing returns can cause the economy gradually to lock itself in to an outcome not necessarily superior to alternatives, not easily altered, and not entirely predictable in advance“ (Arthur 1989:128).

Arthur und Davids Arbeiten wurden empirisch ergänzt durch die Untersuchungen von Katz und Shapiro (1986) sowie von Farrell und Saloner (1986, 1992), die die auf Netzwerkexternalitäten beruhende Bedeutung installierter Infrastruktur in Netzwerkmärkten für die weitere Technologieadoption analysierten (vgl. Arrow 2000:178). Weitere Arbeiten im Stile von Davids QWERTY-Studie wurden von Cowan und Gunby (1996) zur Anwendung von Pestiziden sowie zum Erfolg des Videoformats VHS vorgenommen (vgl. Arthur 1994; Sydow, Schreyögg & Koch 2005). Zudem finden sich modelltheoretische Ergänzungen, die den Verlauf der Technologieadoption in bestehenden Netzwerkmärkten

untersuchen (*non-virgin markets*; Witt 1997), auf ein besseres Verständnis davon zielen, wann im Polya-Urnen-Prozess ein *Lock-in* erreicht ist (Roedenbeck & Nothnagel 2008), sowie auf die Möglichkeit verweisen, den Inhalt der Urne durch die Ziehung aus anderen Urnen zu variieren (Crouch & Farrell 2004:13).

Die durch die Möglichkeit eines ineffizienten *Lock-ins* herausgeforderten Vertreter der Neoklassik konzentrieren ihre Kritik am Pfadabhängigkeitskonzept auf Davids Darstellung des QWERTY-Beispiels sowie auf die Dauer ineffizienter *Lock-ins*. Dabei unterscheiden Liebowitz und Margolis (1995:210ff) Pfadabhängigkeiten ersten Grades, bei der zeitliche Zusammenhänge, aber keine Ineffizienzen bestehen, Pfadabhängigkeiten zweiten Grades, bei der Ineffizienz infolge unvollständigen *ex ante* Wissens auftritt, aber *ex post* korrigiert werden kann, und Pfadabhängigkeiten dritten Grades, die *ex ante* ineffizient sein und *ex post* nicht korrigiert werden können. Allerdings bezweifeln die Autoren die Existenz der letzten Form:

„Our assertion of the rarity of third-degree path dependence is not simply the result of some Panglossian mysticism. Where there is a knowledge and feasible improvement to be gained from moving onto a better path, those who will benefit from the improvement, and who know it, will be willing to pay to bring the improvement about. Where simple spot-market transactions are insufficient to bring the improvements about, institutional³ [sic!] or strategic innovation seems a likely response, especially if the improvement is important enough that the innovator is likely to be well paid“ (Liebowitz & Margolis 1995:224).

Die Frage der nicht durch unternehmerische oder staatliche Anstrengungen – institutionelle und strategische Innovationen – korrigierbaren Ineffizienz stellt somit aus Sicht der Neoklassik gleichzeitig die Frage nach der ‚Daseinsberechtigung‘ des Pfadabhängigkeitskonzepts.

Werden die drei Kernbestandteile des klassischen Pfadabhängigkeitskonzepts (Non-Ergodizität, *increasing returns*, *Lock-in*) an die oben dargelegten diskussionsleitenden strukturationstheoretischen Aspekte Strukturen, Akteurshandeln und ihre rekursive Dualität rückgebunden, dann ergibt sich folgendes Bild des klassischen Pfadabhängigkeitskonzepts:

- a) Die **Strukturen** des klassischen Pfadabhängigkeitskonzepts sind Technologien und ihre Marktstrukturen. Diese können aus strukturationstheoretischer Sicht als exogene allokativen Strukturen betrachtet werden, die als Ressource und Know-how auch endogenisiert werden.
- b) Das **Handeln** ist der Giddenschen Zweckoptimierung ähnelnd auf die individuelle Nutzenmaximierung ausgerichtet. Es wird jedoch von homogenen Akteuren und allein von Anwendern ausgegangen, während andere intervenierende Akteure per Definition ausgeschlossen sind (Arthur 1989:117). Deshalb spielt das Akteurshandeln im Pfad-

³ Das können dann auch staatliche Innovationen sein. Damit stimmen sie mit Arthur (1989) überein, der staatliche Interventionen fordert (ebd. 127).

abhängigkeitskonzept eine untergeordnete Rolle, da es angesichts einer eindeutigen Nutzenverteilung nach dem Pfadbeginn keinen zusätzlichen Erklärungswert besitzt.

- c) Die **rekursive Dualität** zwischen Struktur und Handeln verläuft im klassischen Pfadabhängigkeitskonzept in Form von positiven Rückkopplungsschleifen (*increasing returns*), also in Form eines repetitiven, Struktur verstärkenden Akteurshandelns. Ursachen dieser Rückkopplungen sind die Nutzenorientierung der Akteure einerseits und die eindeutige Nutzenverteilung in der Marktstruktur der Technologie andererseits, die aus den mit der Rückkopplung verbundenen Skaleneffekten, Lerneffekten, Koordinationseffekten, Komplementaritätseffekten, adaptiven Erwartungen oder *sunk costs* resultiert. Diese Effekte sind somit unterschiedlichste Rückkopplungen materielle und kognitiver Art. Zudem können sie, wie das QWERTY-Beispiel zeigt, im Zeitverlauf variieren: So scheinen die Komplementarität von Struktur und Know-how und anwenderseitige *sunk costs* für die Fortdauer der QWERTY-Tastatur eine langlebigere Rolle zu spielen als Kostenvorteile in der Produktion. Letztlich stellen *increasing returns* somit aus strukturationstheoretischer Perspektive eine rekursive Dualität dar, die kausal begründet ist.

Diese *increasing returns* sind der zentrale Bestandteil des Pfadabhängigkeitskonzepts, da sie die Non-Ergodizität beenden und den *Lock-in* begründen. Damit unterscheidet sich das Pfadabhängigkeitskonzept von Giddens rekursiver Dualität durch eine explizite Betrachtung von Prozessen – es fügt also neben der kausalen Verknüpfung auch eine Zeitdimension hinzu.

Dieses klassische Pfadabhängigkeitskonzept wird in den nachfolgenden Adaptionen um weitere kommensurable, das Pfadabhängigkeitsverständnis erweiternde Aspekte ergänzt.

2.2.2 Die institutionalistische Adaption des Pfadabhängigkeitskonzepts

Im Rahmen des ökonomischen Neoinstitutionalismus wie auch des historischen Institutionalismus wurde das klassische Pfadabhängigkeitskonzept auf die Entwicklung von Institutionen ökonomischer, politischer, sozialer und kognitiver Art übertragen (vgl. North 1990:92ff; Thelen 1999:384ff; Pierson 2000a; Mahoney 2000⁴). Diese Institutionen können als Giddensche allokativen und autoritativen Ressourcen sowie als Signifikations- und Legitimationsregeln interpretiert werden (vgl. Scott 2001:51ff). Die institutionalistische Pfadabhängigkeitsadaption hält sich eng an das klassische Konzept – insbesondere an Arthurs (1989) Modellierung – und beinhaltet dessen drei Grundbestandteile Non-Ergodizität, positive Rückkopplungen und *Lock-in* (North 1990; Pierson 2000a). Allerdings fügen die Autoren neue Ursachen positiver Rückkopplungen hinzu wie normative Legitimationszwänge seitens der Institutionen („Isomorphie“, Meyer & Rowan 1991), be-

⁴ Mahoney (2000) führt zudem als einen weiteren Pfadabhängigkeitstyp ‚reaktive Sequenzen‘ ein, bei dem aus A B folgt, aus B C usw. (ebd. 526). Da dieser aber auf den Kerngedanken der positiven Rückkopplungen verzichtet, wird er hier nicht weiter erörtert.

grenzte Information und Informationsverarbeitung der Akteure (*„bounded rationality“*, Simon 1985; *„mental maps“*, Denzau & North 1994) sowie den Einsatz von Macht (Thelen 1999:394; Pierson 2000a:259f).

Neben dieser sehr engen Anlehnung an das klassische Pfadabhängigkeitskonzept zeichnet sich die institutionalistische Adaption insbesondere dadurch aus, dass sie den Blick verstärkt auf Frage nach der Stabilität und dem Wandel von Pfaden und der Rolle der Akteure lenkt. Hinsichtlich der Frage der Stabilität wird in der institutionalistischen Debatte darauf verwiesen, dass für diese die Art der Struktur von zentraler Bedeutung ist: So hängt die Veränderbarkeit der Institutionen von der Bestimmtheit, mit der sie ihre Reproduktion vorgeben (*„must“*, *„must not“* und *„may“* Regeln), von ihrer internen Widersprüchlichkeit und von Widersprüchen zwischen Institutionen ab (Clemens & Cook 1999:448ff). Hinsichtlich der Wandlungsmöglichkeit von Pfaden wird der klassischen Annahme eines exogenen Schocks (*„punctuated equilibrium“*, Krasner 1984) ein gradueller Wandel mittels institutionellen *„layerings“* (Thelen 2004:35) gegenüber gestellt. Dabei verändert sich der Charakter pfadabhängiger Institutionen schrittweise über partielle Veränderungen und Hinzufügungen (Deeg 2001; Strobel 2004; Djelic & Quack 2007). Neben diesem intensivierten Strukturverständnis findet sich im Institutionalismus auch eine stärkere, auf die Strukturationstheorie zurückgreifende Beachtung der Akteure als Wandelursache (Mayntz & Scharpf 1995:46; Scott 2001:74f). Die Idee institutionellen Wandels über Akteurshandeln wird über Ansätze wie den Akteurzentrierten Institutionalismus (Mayntz & Scharpf 1995), die Forschung zu sozialen Bewegungen (McAdam & Scott 2005) und *Institutional Entrepreneurship* (DiMaggio 1988; Lawrence 1999; Greenwood & Suddaby 2006) gefasst, die von den Autoren auch mit Pfadabhängigkeit und Pfadwandel in Verbindung gebracht werden (vgl. Garud et al. 2002). Den Ansätzen gemeinsam ist, dass sie die Aktivitäten von singulären oder kollektiven Akteuren gegenüber ihrer Umwelt in den Vordergrund stellen und ihr Handeln als durch das institutionelle Umfeld ermöglicht und eingeschränkt betrachten. So betonen beispielsweise Mayntz und Scharpf (1995) hinsichtlich des akteurzentrierten Institutionalismus:

„[E]r betrachtet Institutionen sowohl als abhängige wie als unabhängige Variablen und er schreibt ihnen keine *determinierende* Wirkung zu. Institutionelle Faktoren bilden vielmehr einen – stimulierenden, ermöglichenden oder auch restringierenden – *Handlungskontext*“ (ebd. 43; Hervorhebung im Original).

Basierend auf einem solchen Verständnis erhalten die Akteure einen Handlungsspielraum gegenüber institutionellen Zwängen, den sie kreativ nutzen können. Die stärkere Berücksichtigung der Akteure führt auch zu einer Beachtung ihrer potenziell widerstreitenden Interessen und ihrer Heterogenität. Entsprechend treten sie als Befürworter spezifischer institutioneller Regelungen in Wettbewerb zueinander und stabilisieren oder destabilisieren oder kreieren durch den Einsatz ihrer Ressourcen die Institutionen (Oliver 1991, 1992; Beckert 1999:781; Lawrence 1999; Greenwood & Suddaby 2006). Zur Beurteilung der Positionierung der heterogenen Akteure untereinander und zur Identifizierung von

Akteurskoalitionen findet sich im Institutionalismus das Konzept von Akteursarenen bzw. organisationalen Feldern, die zur zentralen Analyseebene werden (Kitschelt 1980; Leblebici et al. 1991; Hoffman 1999; Davis & Marquis 2005). Organisationale Felder werden dabei definiert als „*a community of organizations that engage in common activities and are subject to similar reputational and regulatory pressures*“ (Powell et al. 2005:1134). Da diese organisationalen Felder auch Ort der Auseinandersetzung über relevante Themen und ihre Interpretation sind, werden sie auch als ‚*issue fields*‘ (Hoffman 1999) bezeichnet, die alle beteiligten Akteure umfassen.

In die strukturationstheoretische Metaperspektive eingeordnet, steuert die institutionalistische Adaption des klassischen Pfadabhängigkeitskonzepts Folgendes bei:

- a) Als **Strukturen** werden ökonomische, politische, soziale und kognitive Institutionen eingeführt, die weitgehend deckungsgleich mit den Giddenschen autoritativen und allokativen Ressourcen sowie den Signifikations- und Legitimationsregeln sind. Darüber hinaus lenkt die institutionalistische Adaption den Blick auf die Wandlungsmöglichkeiten von institutionellen Pfaden, die neben exogenen Schocks insbesondere in Form von graduellem institutionellem *layering* erfolgen kann. Zudem sensibilisieren sie für die Wandelanfälligkeit der Institutionen infolge ihrer Bestimmtheit, ihrer internen Widersprüchlichkeit und infolge von Widersprüchen zwischen Institutionen.
- b) Das **Handeln** erfährt in der institutionalistischen Adaption dadurch eine Aufwertung, dass die Akteure nicht einfach nur die institutionellen Handlungsanreize befolgen und zu einer positiven Rückkopplung führen, sondern dass sie ihrerseits auch Kreativitätsspielräume besitzen und die Struktur beeinflussen können. Dabei können die Akteure wie im klassischen Pfadabhängigkeitskonzept weiterhin Nutzenmaximierer sein, sich aber aufgrund andersartiger Interessen gegen die dominanten Institutionen entscheiden. Ein weiterer wichtiger Beitrag der institutionalistischen Adaption ist die Einführung des organisationalen Feldes als zentrale Ebene des Akteurshandelns.
- c) Die **rekursive Dualität** zwischen Struktur und Akteurshandeln findet auch in der institutionalistischen Adaption in Form positiver Rückkopplungen statt. Allerdings führen sie als neue Rückkopplungsursachen Macht, Legitimität und die Kognition der Akteure ein. Durch das Zugeständnis von Kreativitätsspielräumen an die Akteure kann die rekursive Dualität aber auch in Form anderer Rückkopplungen stattfinden wie zum Beispiel in der Veränderung oder der Neukreation von Strukturen.

2.2.3 Die Pfadabhängigkeitsadaption des Strategischen Managements

In der Tradition der ‚*Strategy follows Structure*‘-Diskussion (Chandler 1962; Hall & Sias 1980) lenkt die Adaption des Pfadabhängigkeitskonzepts im strategischen Management den Blick auf Organisationen als pfadabhängiges Objekt. Damit besteht der erste und primäre Beitrag dieser Adaption in der Identifikation eines Pfadabhängigkeitsobjektes, welches im zuvor dargelegten institutionalistischen Diskurs noch als (kollektiver) Akteur

Wandelursache war. Entsprechend kann die Organisation Akteur *und* pfadabhängiges Objekt zugleich sein (Schreyögg et al. 2003; Sydow, Schreyögg & Koch 2005). Diese Fokusverschiebung geht einher mit dem zweiten Beitrag, der Identifikation *interner* Ursachen positiver Rückkopplungen in Form endogen(isiert)er Strukturen, die die organisationale Anpassung an Umweltveränderungen erschweren bzw. zu einer organisationalen ‚*inertia*‘ führen (Huff et al. 1992). Dabei werden in der Zusammenführung verschiedener Ansätze durch Sydow, Schreyögg und Koch (2005) drei Ursachen interner organisationaler Pfadabhängigkeit angeführt: Zum ersten die begrenzten kognitiven Fähigkeiten – also die Signifikation – des Managements inklusive eines auf Bestätigung ausgerichteten einfachen Lernens (‚*single-loop learning*‘), die Routinisierung organisationaler Prozesse sowie der Aufbau spezifischer organisationaler Ressourcen und Fähigkeiten, die von Kernkompetenzen zu Kernrigiditäten werden können (ebd. 15f; vgl. auch Koch 2007:285; Schreyögg 2008:8). Damit werden die endogenen Ressourcen, die in der institutionalistischen Debatte als Basis für den Handlungsspielraum der Akteure betrachtet werden, in der Adaption des Strategischen Managements zu einer Ursache organisationaler Pfadabhängigkeit.

Der dritte Beitrag des Strategischen Managements zur Pfadabhängigkeitsdiskussion besteht in seiner ‚naturgemäßen‘ Fokussierung auf das Akteurshandeln, also auf die Frage, wie die Akteure mit den Strukturen und organisationaler Inertia umgehen können. Dabei fällt insbesondere der Ansatz der ‚*dynamic capabilities*‘ auf, der auf die Fähigkeit des Managements abhebt, die organisationalen Kompetenzen und Ressourcen an sich verändernde Umweltveränderungen dynamisch anzupassen (Teece & Pisano 1994; Teece et al. 1997; Teece 2007). Der organisationalen Pfadabhängigkeit infolge spezifischer Routinen und Ressourcen stellen die Autoren die Gestaltung der internen Strukturen via Investitionsentscheidungen u.ä. gegenüber und verbinden dies zugleich mit einem Blick auf die exogenen Strukturen, ohne diese allerdings als Pfadursache zu betrachten (ebd. 538, 546f):

„The dynamic capabilities framework recognizes that the business enterprise is shaped but not necessarily trapped by its past. Management can make big differences through investment choice and other decisions. Enterprises can even shape their ecosystem. [...] Managers really do have the potential to set technological and market trajectories, particularly early on in the development of a market [...]“ (Teece 2007:1341).

Letztendlich geht es dem Ansatz der ‚*dynamic capabilities*‘ also um die Frage, wie Organisationen angesichts pfadgebundener Ressourcen und Fähigkeiten über Lernen und den kreativen Einsatz ihrer Fähigkeiten und Neuinvestitionen zwischen der Exploitation des bestehenden organisationalen Pfades und der Exploration neuer Möglichkeiten und Fertigkeiten navigieren können (Teece & Pisano 1994:538; vgl. March 1991; Koza & Lewin 1998). Angemerkt sei auch an dieser Stelle, dass sich zum Umgang von Organisationen mit ihrer restringierend-ermöglichenden Umwelt mit dem ‚*strategic choice*‘ ein der Strukturtheorie stark ähnlicher Ansatz findet (Child 1972, 1997; Whittington 1992):

„Strategic choice as a process [...] furnishes an example of 'structuration' (Giddens 1984). That is, action is bounded by the cognitive, material and relational structures existing within organizations and their networks, but at the same time it impacts upon those structures" (Child 1997:60).

Grundsätzlich gilt auch im Strategischen Management für das Akteurshandeln, dass es trotz des Steuerungs- und Planungsbestrebens beständig unintendierten Effekten und einem Bedarf zur Nachjustierung ausgesetzt ist, so dass die organisationalen Strategien letztlich emergente Phänomene sind (vgl. Mintzberg 1978:945ff). Pfadabhängigkeit verbleibt damit etwas, das den Organisationen ungewollt widerfährt.

Strukturierungstheoretisch geordnet steuert das Strategische Management in seiner Adaption des Pfadabhängigkeitskonzepts somit folgende, vor allem durch die Verschiebung der Betrachtungsebene geprägte Punkte zur Diskussion bei:

- a) Als Pfadabhängigkeit verursachende **Strukturkomponente** werden die endogenen Strukturen der Organisation in Form ihrer Ressourcen, Kompetenzen und ihrer Signifikation herangezogen. Die exogenen Strukturen werden dagegen tendenziell als sich dynamisch wandelnde Strukturen betrachtet.
- b) Das **Handeln** wird wie im Institutionalismus durch endogene und exogene Strukturen eingeschränkt, aber auch ermöglicht. Zugleich schärfen der ‚*dynamic capabilities*‘ und der ‚*strategic choice*‘ Ansatz das Verständnis von Akteurshandeln als beständig mögliche Wandelursache mit begrenzter Reichweite, die sich aus dem Lernen der Akteure und ihrer kreativen Neukombination von oder Neuinvestition in Ressourcen und Fähigkeiten speist. Dadurch können sich die Akteure zwischen einer Befolgung der Rückkopplungsanreize und der Exploration neuer Möglichkeiten entscheiden. Das Akteurshandeln erfolgt jedoch auf Basis einer begrenzten Rationalität, so dass das Handeln zu unintendierten Konsequenzen führen kann. Zentrale Ebene des Akteurshandelns und damit der Analyse ist die Organisation, die pfadabhängiges Objekt und *zugleich* Akteur sein kann – sofern nicht innerhalb der Organisation nach weiteren Akteuren unterschieden wird.
- c) Die **rekursive Dualität** zwischen Struktur und Akteurshandeln wird in der Adaption des Strategischen Managements um positive Rückkopplungen infolge organisationaler Routinen und spezifischer Ressourcen sowie einer eingeschränkten organisationalen Wahrnehmung (Signifikation) ergänzt. Andererseits findet sich dank der Ansätze der ‚*dynamic capabilities*‘ und des ‚*strategic choice*‘ auch der Gedanke der pro-aktiven, wenn auch teilweise in ihren Auswirkungen unintendierten Gestaltung der Strukturen durch die Akteure.

2.2.4 Die Adaption in der Innovationsforschung

Die Adaption des Pfadabhängigkeitskonzepts in der Innovationsforschung zeichnet sich dadurch aus, dass sie sich stärker auf die Frage konzentriert, wie Pfadprozesse beein-

flusst oder kreierte werden können. Dabei finden sich zwei Forschungsstränge, die das Pfadabhängigkeitskonzept aufgreifen und die sich gegenseitig ergänzen: Im ersten Strang wird das Pfadabhängigkeitskonzept zur Identifikation von Innovationshemmnissen im Markt bzw. in der Gesellschaft genutzt (Zundel et al. 2005; Foxon et al. 2005). Dies geschieht insbesondere in der ökologischen Transitionsforschung unter einer normativen Fragestellung, die pfadabhängigkeitsbedingte Hindernisse einer gesellschaftlichen Nachhaltigkeit und ihre Überwindung ins Zentrum der Analyse stellt (Unruh 2000; Kemp et al. 1998; Elzen 2004).⁵ Zur Überwindung von Pfadabhängigkeiten erarbeiten diese Ansätze zeitliche und räumliche Ausweichstrategien, wofür sie neben der Internalisierung externer Kosten die Idee eines strategischen Nischenmanagements entwickeln, in dem die Alternativen ihre Marktreife in geschützten Marktnischen erlangen können. In diesem Zusammenhang greifen die Ansätze auch die Idee von ‚Zeitfenstern‘ (*‘windows of opportunity’*) zur Etablierung von Alternativen auf (Kemp et al. 1998, 2001; Unruh 2002; Zundel et al. 2005). Die Möglichkeitsfenster beruhen dabei auch auf der Architektur bzw. dem Design einer Technologie, das – ganz ähnlich wie im Institutionalismus – die Offenheit der Technologie gegenüber Veränderungsmöglichkeiten und Alternativen maßgeblich ist (Hargadon & Douglas 2001; Rycroft & Kash 2002). Damit gerät auch staatliche Regulierung in den Blick, die zur Entwicklung von Technologienischen und ‚Leadmärkten‘ beitragen kann (vgl. Jacob et al. 2005). In diesem Strang dient somit das unveränderte klassische Pfadabhängigkeitskonzept als theoretischer Ausgangspunkt, auf den die Überlegungen zu möglichen Ausweichstrategien vor den positiven Rückkopplungsanreizen aufsetzen. Entsprechend bewusst gehen die Akteure in ihrem Handeln mit der Pfadabhängigkeit um.

Der zweite Strang, der von Garud und Karnøe (2001) konzipierte Ansatz der Pfadkreation, konzentriert sich auf den Pfadbeginn und die Frage, wie Pfade von den Akteuren bewusst kreierte werden können. Zu diesem Zwecke wird auf der Basis von Giddens Rekursivität die Pfadstruktur als Resultat von Akteurshandeln betrachtet (ebd. 3). Das Pfadabhängigkeitskonzept bleibt so einerseits erhalten, andererseits wird diesem aber ein ergänzendes Konzept gegenüber gestellt, das auf die Handlungskomponente am Beginn des Pfadprozesses fokussiert ist. Entsprechend können die Akteure zugunsten eines zukünftigen Nutzens bewusst von den existierenden Strukturen – sie sprechen in dem Zusammenhang nicht von existierenden Pfaden – abweichen (*‘mindful deviation’*), dabei aber nicht vollkommen frei handeln:

„Path creation does not mean that entrepreneurs can exercise unbounded strategic choice. Rather entrepreneurs are embedded in structures that they jointly create [...] and from which they mindfully depart“ (ebd. 2).

⁵ Diese Ansätze spezifizieren damit Arthurs (1989:127) Ineffizienz in Form einer nicht nachhaltigen Gesellschaft und stellen die Frage, wie mit dieser Ineffizienz umgegangen werden kann, in den Vordergrund.

Pfadkreation umfasst dabei sowohl Technologien als auch Institutionen, soziale und kognitive Strukturen, die als ‚technologische Felder‘ verstanden werden, und verweist nachdrücklich auf die Zukunftsorientierung der handelnden Akteure (ebd. 7; vgl. Garud & Rappa 1994; Garud et al. 2002). Das Ergebnis ist ein Ansatz, der die Aktivitäten zur Etablierung eines neuen technologischen Pfades untersucht und der damit im Gegensatz zur ex-post stattfindenden Pfadabhängigkeitsanalyse auch prozessbegleitend erfolgen kann. In diesem Zusammenhang verweisen Garud und Karnøe (2001, 2003) auf mögliche Pfadkreationsstrategien in Form der Sinngebung von Alternativen (‚*Framing*‘) und die ergebnisoffene, schrittweise Entwicklung von Alternativen (‚*Bricolage*‘)⁶, die auf die Generierung einer kritischen Masse hinauslaufen, die auch als ‚Momentum‘ bezeichnet wird (2001:14ff, 2003:294ff; vgl. Campbell 2005). Damit knüpfen Garud und Karnøe an Hughes (1989) an, der unter einem Momentum die Charakterisierung von Diffusionsprozessen durch eine bestimmte Masse, Diffusionsgeschwindigkeit, Entwicklungsrichtung und Wandelresistenz versteht (ebd. 76; Garud & Karnøe 2001:17f; Jansen 2004). Außerdem führen Garud und Karnøe (2001) die Möglichkeiten des ‚*De-framing*‘, der Diskreditierung und des Verlernens des bestehenden Pfades an (ebd. 14).

Die Innovationsforschung ergänzt somit die strukturationstheoretisch betrachtete Pfadabhängigkeitsdebatte um folgende Punkte:

- a) Die **Strukturkomponente** umfasst sowohl Technologien als auch deren kognitive, soziale und institutionelle Einbettung, die gemeinsam technologische Felder konstituieren. Das Design bzw. die Struktur der Technologien kann wie im Institutionalismus den Akteuren Möglichkeitsfenster eröffnen.
- b) Das **Handeln** wird in den Pfadabhängigkeitsadaptionen der Innovationsforschung insbesondere durch die Entwicklung der Pfadkreation aufgewertet. Letztlich beruht die Idee der Pfadkreation auf der in der Giddenschen Rekursivität angelegten Möglichkeit der Akteure, ihre strukturelle Handlungsgrundlage graduell zu verändern. Als entsprechende Strategien zur Pfadkreation führen Garud und Karnøe *Bricolage* und *Framing* an. Weitere Handlungsmöglichkeiten, die in der Diskussion von Pfadabhängigkeit in der Innovationsforschung angeführt werden, sind das räumliche und zeitliche Ausweichen vor dem Pfad über die Nutzung von Nischen und *timing*-Strategien. Weitere Strategien zur Pfadabweichung sind die kognitive Umdeutung (*De-framing*) des bestehenden Pfades, sein Verlernen sowie seine legitimatorische Diskreditierung.
- c) Die **rekursive Dualität** von Struktur und Handlung findet einerseits in Form positiver Rückkopplungen statt, wobei explizit die kognitive Komponente von Technologien, also das Know-how, mit als Rückkopplungsursache angeführt wird. Darüber hinaus kann die rekursive Dualität zu einem Momentum führen, ab dem sich die Entwicklung

⁶ Garud und Karnøe (2003) identifizieren zudem den Ansatz, einen großen, ausformulierten Entwurf zu verfolgen (‚*breakthrough*‘), dem sie aber weniger Erfolgspotenzial zurechnen (ebd. 294ff).

durch Masse, Geschwindigkeit, eine Entwicklungsrichtung und Wandelresistenz auszeichnet. Zugleich betont die Adaption der Innovationsforschung die Möglichkeit abweichenden und pro-aktiv kreierenden Verhaltens, die zu neuen Strukturen und einem neuen Momentum führen können.

2.2.5 Fazit: Die strukturationstheoretisch geordnete Pfadabhängigkeitsdebatte

Die Debatte veranschaulicht, dass die Pfadabhängigkeitsdiskussion ein echtes multidisziplinäres Unterfangen ist. Dieses facettenreiche Unterfangen lässt sich mit Hilfe der drei Komponenten Struktur, Handeln und rekursive Dualität so ordnen, dass die kommensurablen Aspekte der unterschiedlichen Adaptionen des Pfadabhängigkeitskonzepts deutlich werden:

So ist allen Adaptionen gemein, dass sie **Strukturen** als Ursache und ihre Stabilität als Folge der Pfadabhängigkeit erkennen. Pfade lassen sich somit in erster Linie anhand der zeitlichen Ausformung ihrer Strukturen identifizieren. Dabei haben die Pfadabhängigkeitsansätze so unterschiedliche Strukturen wie Technologien, Institutionen, organisationale Fähigkeiten sowie Paradigmen im Blick, die sich aber alle in den strukturationstheoretischen Regeln und Ressourcen wiederfinden.

Hinsichtlich des **Handelns** – und damit auch des Akteursverständnisses – weisen die Pfadabhängigkeitsansätze eine größere Bandbreite auf: Vom gleichförmigem, repetitiven Handeln des klassischen Pfadabhängigkeitskonzepts bis hin zu widersprüchlichem, konkurrierendem Handeln im Institutionalismus und der Innovationsforschung, die von den Strukturen abweichen und diese neu gestalten können. Diese Bandbreite resultiert insbesondere daraus, dass im klassischen Pfadabhängigkeitskonzept die Akteure homogen und allein auf den gegenwärtig in der Struktur angelegten Nutzen ausgerichtet sind. In den anderen Ansätzen werden die Akteure dagegen tendenziell eher als heterogen und partiell auch zukunftsorientiert begriffen. Entsprechend handeln die Akteure in allen Ansätzen zweckorientiert. Dabei unterscheidet sich die *„bounded rationality“* der institutionalistischen Adaption von der rationalen Wahl des klassischen Konzepts allein durch die Einbeziehung von Restriktionen, die die Wahl beeinflussen (vgl. Simon 1985; Schmidt 1995:796; Thelen 1999:374ff). Die *„bounded rationality“* ähnelt damit Giddens *„knowledgeable agents“*, die durch die Strukturen nicht nur in ihrem Handeln geleitet werden, sondern von diesen auch ein handlungspraktisches und teilweise auch diskursives Wissen besitzen. Zur Gestaltung neuer Pfade durch das Akteurshandeln werden *Bricolage-*, *Framing-*, Nischen- und *timing-*Strategien vorgeschlagen, zur Gestaltung bestehender Pfade Umdeutung (*De-framing*), Verlernen und Diskreditierung.

Hinsichtlich der **rekursiven Dualität** fassen alle Ansätze die *Rekursivität* zwischen Struktur und Akteurshandeln in Form der positiven Rückkopplungen. Im klassischen Pfadabhängigkeitskonzept erfolgt dabei keine Variation aufgrund des homogenen, auf den gegenwärtig in der Struktur angelegten Nutzen ausgerichteten Akteurshandelns. Die

drei Adaptionen des Institutionalismus, des Strategischen Managements und der Innovationsforschung fügen dagegen den positiven Rückkopplungen noch verändernde Rückkopplungen hinzu, die aus der pro-aktiven Gestaltung der Struktur durch die heterogenen Akteure resultiert. Die *Dualität* von Struktur und Akteurshandeln, also ihr gegenseitiges Bedingtsein, findet sich am stärksten im Institutionalismus wieder. Sie wird aber auch in strukturationstheoretisch geprägten Ansätzen des Strategischen Managements und der Innovationsforschung berücksichtigt. Das klassische Pfadabhängigkeitskonzept schwankt indessen zwischen einem vollkommenen Voluntarismus zu Beginn des Pfadprozesses und einer anschließend zunehmenden nutzenbestimmten Determinierung. Dieses Schwanken zwischen Voluntarismus und Determination kommt in der Betonung der anfänglichen Kontingenz und des ‚abschließenden‘ *Lock-in* zum Ausdruck. Letztlich kann jedoch aus der Erwägung heraus, dass die Nutzenverteilung zwischen den Alternativen der Polya-Urne Ausdruck vorhergehender Entscheidungen und Ursache für nachfolgende Handlungen ist, auch beim klassischen Pfadabhängigkeitskonzept von einer Dualität von Struktur und Akteurshandeln gesprochen werden.

Die mit Hilfe der Strukturationstheorie herausgearbeiteten kommensurablen Bestandteile der Pfadabhängigkeitsdebatte gilt es im Folgenden zu einem Pfadabhängigkeitsverständnis zusammen zu fügen, das die Möglichkeit eines aktiven Managements von positiven Rückkopplungen umfasst und damit ein Verständnis von Pfadmanagement ermöglicht.

2.3 Pfadabhängigkeit als rekursive, mechanismusgetriebene Dualität

Zur Deutung von Pfadabhängigkeit als eine rekursive, mechanismusgetriebene Dualität kommt es durch eine genauere Definition der drei im Abschnitt 2.2.3 herausgearbeiteten Komponenten des klassischen Pfadabhängigkeitskonzepts: Der Kontingenz, der positiven Rückkopplung und des potenziell ineffizienten *Lock-in*. Dabei erfolgt diese Neudeutung auf Basis der kommensurablen Bestandteile der Pfadabhängigkeitsadaptionen, die mit Hilfe der drei strukturationstheoretischen Komponenten Struktur, Akteurshandeln und rekursiver Dualität herausgearbeitet wurden, sowie durch die Hinzuziehung des Konzepts sozialer Mechanismen (Hedström & Swedberg 1996; Mayntz 2005). Letzteres hilft das Kernstück der Pfadabhängigkeit, die positiven Rückkopplungen, weiter zu spezifizieren und um weitere Interaktionsformen zwischen Struktur und Akteurshandeln zu ergänzen. In dieses modifizierte Pfadabhängigkeitsverständnis wird abschließend der Gedanke eines aktiven Managements der positiven Rückkopplungen konzeptionell eingebettet.

2.3.1 Kontingenz als Modellplatonismus

Im klassischen Pfadabhängigkeitskonzept und in den engeren Adaptionen besteht vor Beginn des Pfades eine offene Situation zwischen gleichwertigen Alternativen, so dass vielfältige Ergebnisse (*„multiple equilibria“*) möglich sind. Diese offene Situation wird durch ein erstes zufälliges Ereignis beendet (vgl. Arthur 1989:117f; Mahoney

2000:511ff). Dies bezeichnet Mahoney (2000) als ‚Kontingenz‘, die er folgendermaßen definiert:

„Contingency refers to the inability of theory to predict or explain, either deterministically or probabilistically, the occurrence of a specific outcome. [...] To argue that an event is contingent is not the same thing as arguing that the event is truly random and without antecedent causes“ (ebd. 513).

Da die Ereignisse zu Beginn des Prozesses im Prozessverlauf nicht ‚vergessen‘ werden, beeinflusst diese erste ‚zufällige‘ Wahl alle Folgenden. Damit stellt es eine entscheidende Weichenstellung bzw. eine ‚*critical juncture*‘ dar (Arthur 1989; Collier & Collier 1991). Entsprechend wichtig sind das Timing und die Reihenfolge der Entscheidungen, da der Zeitpunkt der Ereignisse über ihre Wirkung entscheidet. Kleine Ereignisse zu Prozessbeginn können deshalb eine größere Wirkung entfalten als große Ereignisse zu einem späteren Zeitpunkt. Es gilt also „*when things happen in a sequence affects how they happen*“ (Pierson 2000a:264; Hervorhebung im Original).

Letztlich stellt Kontingenz in diesem Sinne jedoch einen empirisch nicht umsetzbaren Modellplatonismus, also eine nur unter Modellbedingungen erfüllbare Bedingung, dar, da Ausgangssituationen stets historisch eingebettet sind und zumeist kein zeitgleiches Auftreten gleichwertiger Wahlalternativen erfolgt (vgl. Thelen 1999:185; Deeg 2001: 11ff; Sydow, Schreyögg & Koch 2005:16f; Beyer 2006). Vor allem aber spricht gegen die Erhebung der Kontingenz zu einer notwendigen Bedingung von Pfadabhängigkeit die Tatsache, dass es für den weiteren Pfadverlauf unerheblich ist, ob zu Pfadbeginn eine kontingente Situation vorlag oder nicht: Was für die Pfadabhängigkeit einzig und allein zählt ist das Einsetzen positiver Rückkopplungen, die die einmal getroffene Wahl verstärken. Allein für Fragen, die auf den Pfadbeginn zielen, kann der Gedanke der Kontingenz von Bedeutung sein. Dabei kann jedoch die Kontingenz zugunsten eines Verständnisses von Pfaden als *emergente*, nicht vollständig planbare Konsequenz kollektiven Handelns aufgegeben werden (vgl. Mintzberg 1978; Hall & Taylor 1996:941; Pierson 2000b:483; Garud & Karnøe 2003:279f; Mayntz 2005:218). Die Betonung der *critical juncture* sowie der Sequenz der Ereignisse kann auch bei einem solchen emergenten Pfadverständnis beibehalten werden, da diese ihre Bedeutung bzw. Wirkung den nachfolgenden positiven Rückkopplungen verdanken. Entsprechend ist der Prozessbeginn weiterhin zentral und die Einflussmöglichkeiten sind zu diesem Zeitpunkt besonders groß.

2.3.2 Positive Rückkopplungen als ein sozialer Mechanismus unter anderen

Im Zentrum des Pfadabhängigkeitskonzepts stehen die ‚*increasing returns*‘ bzw. positiven Rückkopplungen (Arrow 2000; Beyer 2005), die das Phänomen bezeichnen, dass sich die Attraktivität einer Alternative durch ihre Wahl im Vergleich zu anderen Alternativen erhöht:

„Increasing returns are the tendency for that which is ahead to get further ahead, for that which loses advantage, to lose further advantage. They are mechanisms of positive feedback that op-

erate – within markets, businesses, and industries – to reinforce that which gains success or aggravate that which suffers loss“ (Arthur 1996:100).

Allerdings besteht auch in Bezug auf dieses Kernstück der Pfadabhängigkeitsdebatte Klärungsbedarf. Dabei ist zunächst zu klären, ob allein ‚*increasing returns*‘ oder generell positive Rückkopplungen zu den Verstärkungs- und Stabilitätsursachen von Pfaden zählen. Ein zweiter Aspekt ist die Frage nach der Funktionsweise der ‚*increasing returns*‘ bzw. positiven Rückkopplungen, der hier mit Hilfe des Konzepts ‚sozialer Mechanismen‘ erläutert wird. Drittens stellt sich die Frage ihrer Systematisierung.

Zur Klärung der Frage, ob nur ‚*increasing returns*‘ oder auch generell positive Rückkopplungen zu den Verstärkungs- und Stabilitätsursachen von Pfaden zählen, plädiert diese Arbeit aus zwei Gründen für die Fokussierung auf die positiven Rückkopplungen: Erstens sind ‚*increasing returns*‘, also die steigenden Erträge, *nur eine bestimmte Ausformung* positiver Rückkopplungen. Andere Formen positiver Rückkopplungen sind konstante und auch sinkende Erträge, die je nach Entwicklungsstadium des Pfades auftreten können (vgl. Mayntz 2005:213).⁷ Das gilt insbesondere auch für die von Arthur selbst angeführten Skalen- und Lernkurveneffekte, die nur in ihrer Anfangsphase zu exponentiell sinkenden Kosten führen, um später zunehmend in eine Phase konstanter Erträge überzugehen (vgl. Zundel et al. 2005:25ff; Grant & Nippa 2006:327). Gleichwohl bestätigen auch konstante und sinkende Erträge Arthurs (1996) „tendency for that which is ahead to get further ahead“ (ebd. 100) im Vergleich zu der nicht gewählten Alternative. Der zweite Grund für die Bevorzugung des Begriffs ‚positive Rückkopplung‘ ist, dass bereits David (1985) Ursachen von Pfadabhängigkeit anführt, die sich nicht in steigenden, sondern eher in konstanten Erträgen ausdrücken wie die Beibehaltung einer Alternative infolge von *sunk costs* und Komplementaritäten (vgl. Arrow 2000; Beyer 2005:8f). Somit muss nach den Ursachen der positiven Rückkopplungen gesucht werden und nicht nach ihrer Ausformung als steigende, konstante oder sinkende Erträge.

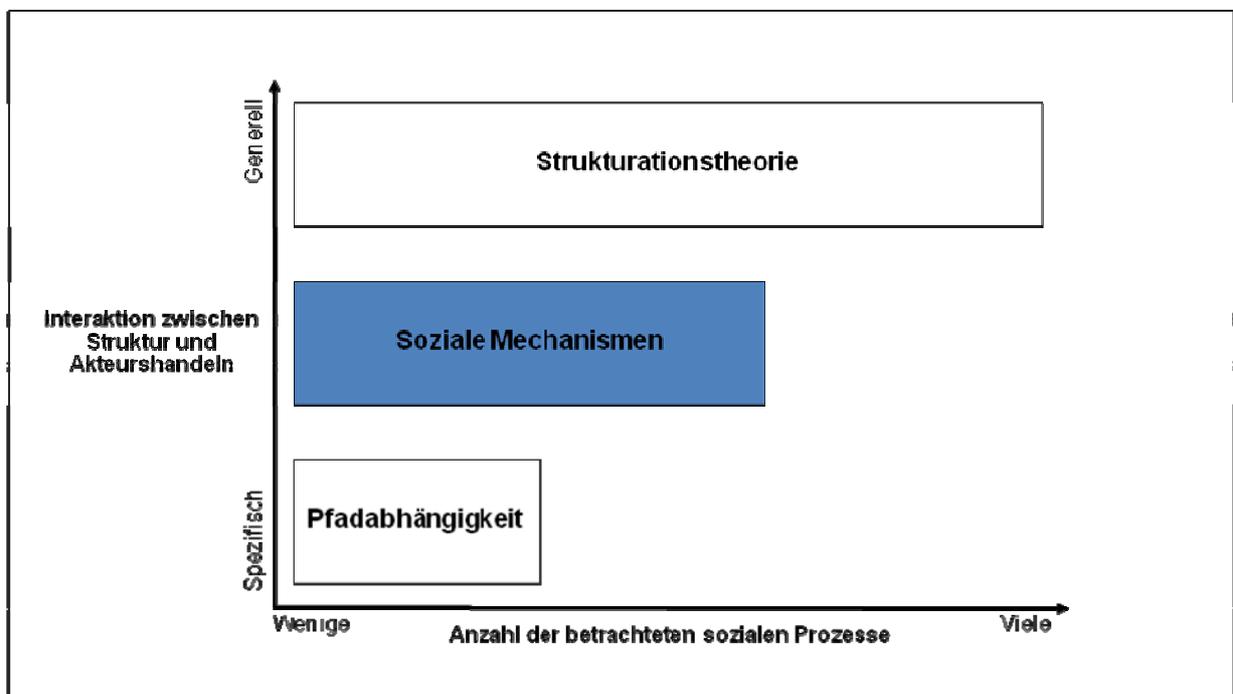
Der zweite zu klärende Aspekt bezieht sich auf die Funktionsweise der positiven Rückkopplungen und stellt – wie unten zu zeigen sein wird (vgl. 2.3.4) – das zentrale Bindeglied des modifizierten Pfadabhängigkeitsverständnisses zum Pfadmanagement dar. Im obigen Zitat beschreibt Arthur (1996) die Funktionsweise der positiven Rückkopplungen (bzw. ‚*increasing returns*‘) als Mechanismus (ebd. 100). Damit lässt sich Arthurs Verständnis der positiven Rückkopplungen in die Debatte sozialer Mechanismen einbetten – die diese ihrerseits aufgreift (Archer 1982:479; Hedström & Swedberg 1996; Mayntz 2005:213; Davis & Marquis 2005; Campbell 2005).⁸ Der erste Vorteil einer solchen Ein-

⁷ Diesen Gedanken veranschaulicht auch die im Rahmen der Innovationsforschung angesprochene S-Kurve – von der Arthur freilich nur die untere Hälfte des exponentiellen Wachstums in seinem Modell abbildet (vgl. Sahal 1981; Rogers 1983; Unruh 2000; Strobel & Roedenbeck 2006).

⁸ Archer (1982) verweist explizit darauf, dass die Suche nach Mechanismen Giddens Strukturierung in der Frage der Interaktion von Struktur und Handlung ergänzt (ebd. 475).

setzung ist, dass das Konzept der ‚sozialen Mechanismen‘ die strukturationstheoretische Metalogik einer rekursiven Dualität zwischen Struktur und Akteurshandeln durch eine explizite Kausalbeziehung zwischen diesen beiden spezifiziert und dadurch die Funktionsweise der positiven Rückkopplungen besser erklären kann. Der zweite Vorteil der sozialen Mechanismen ist, dass mit ihrer Hilfe mehr mechanismenbasierte Prozesse als allein mit Hilfe des klassischen Pfadabhängigkeitskonzepts berücksichtigt werden können. Dieser zweite Vorteil ist insofern von besonderer Bedeutung, da zur Beantwortung der Fragestellung, warum und wie Shell alternative Kraftstoffe exploriert, mehr als nur Pfadabhängigkeitsmechanismen betrachtet werden müssen. Das Konzept liegt somit in seinem Abstraktionsgrad der Interaktion zwischen Struktur und Handeln und auch hinsichtlich der Anzahl der betrachteten sozialen Prozesse zwischen dem Pfadabhängigkeitskonzept und der Strukturationstheorie (s. Abbildung 2):

Abbildung 2: Lokalisierung des Konzepts der ‚sozialen Mechanismen‘



Ursache für die Positionierung des Konzepts sozialer Mechanismen zwischen Pfadabhängigkeit und Strukturation ist die Definition der Funktionsweise ‚sozialer Mechanismen‘: Diese sind „Sequenzen kausal verknüpfter Ereignisse, die in der Wirklichkeit wiederholt auftreten, wenn bestimmte Bedingungen gegeben sind“ (Mayntz 2005:208). Dabei sind die Bedingungen struktureller Natur und werden als Gründe und Konsequenz von Akteurshandeln betrachtet (ebd. 219; Hedström & Swedberg 1996:299). Soziale Mechanismen zeichnen sich also durch Repetition, Kausalität sowie durch eine Rückkopplung zwischen Strukturen infolge von Handeln aus. Mit der Betrachtung von Strukturen als Grundlage und Konsequenz von Akteurshandeln spiegelt das Konzept somit einerseits die strukturationstheoretische Metalogik einer rekursiven Dualität wider. Andererseits entsprechen die Wiederholung und die Kausalität der Spezifität der positiven Rückkopplun-

gen, da positive Rückkopplungen durch wiederholtes Akteurshandeln hergestellt werden und da sie durch die Nutzenorientierung des Akteurs einerseits und einem in der Struktur angelegten, erzielbaren Nutzen andererseits kausal erklärt werden können. Der erzielbare Nutzen stellt somit einen Handlungs*anreiz* dar, dessen Befolgung zu dem positiven Rückkopplung*effekt* führt. Mit anderen Worten: Die Ursache positiver Rückkopplungen liegt – die Nutzenorientierung der Akteure vorausgesetzt – in den (Pfad-)Strukturen begründet, die das Akteurshandeln damit nicht nur wie in der Strukturierungstheorie restrizieren und ermöglichen, sondern es auch über Handlungsanreize zu einem bestimmten, die Struktur verstärkenden Handeln *motivieren*. Infolge der Verstärkung steigt auch der Anreiz, die Handlung gegebenenfalls zu wiederholen. Damit lassen sich positive Rückkopplungen als eine spiralförmige Rekursivität beschreiben, deren Output dem (gegebenenfalls potenzierten) strukturellen Input entspricht. ‚Zwischengeschaltet‘ ist das Akteurshandeln, das in seiner kausalen Einbettung zwischen strukturellem Input und Output zentral für das Wirken der (positiven) Rückkopplungen wird. Entsprechend können positive Rückkopplungen nicht als determinierte ‚Selbstläufer‘ verstanden werden, sondern ‚nur‘ als Resultat einer den Akteuren durch die strukturellen Anreize nahegelegten Handlung.

Zusammengenommen spezifiziert das Mechanismusverständnis die rekursive Dualität der Strukturierungstheorie durch die Einführung einer nutzenbasierten Kausalität. Positive Rückkopplungen, die als soziale Mechanismen verstanden werden, lassen sich deshalb in die vier Bestandteile (Pfad-)Struktur, struktureller Handlungsanreiz, nutzenorientiertes Akteurshandeln und positiver Rückkopplungseffekt untergliedern. Diese begriffliche Quadriga begründet die Funktionsweise positiver Rückkopplungsmechanismen und bildet die Grundlage der weiteren Diskussion.

Die dritte zu klärende Frage bezieht sich auf die Systematisierung der in der Literatur genannten positiven Rückkopplungen bzw. – in der hier gewählten Mechanismusterminologie – welcher Nutzen in der Struktur angelegt und mit Hilfe der positiven Rückkopplungseffekte zu erzielen ist. Da diese Systematisierung nur auf partielle Vorarbeiten zurückgreifen kann (vgl. Ackermann 2001; Beyer 2005; Sydow, Schreyögg & Koch 2005:6ff; Dobusch & Schüßler 2006), erfolgt hier nur eine kurze Zusammenführung und Ordnung der Vorschläge ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Dabei wird bewusst ein offenes Ordnungsschema verwendet, das weitere Ergänzungen erlaubt. Dieses Ordnungsschema greift wie schon die Diskussion der Pfadabhängigkeitsadaptionen auf die Strukturierungstheorie zurück, diesmal jedoch allein auf ihre Strukturkomponenten der allokativen und der autoritativen Ressourcen sowie der Legitimations- und der Signifikationsregeln, da ja die Rückkopplungsursachen in den Strukturen angelegt sind (s. Tabelle 1). Sprachlich passt sich die Übersicht der Rückkopplungsmechanismen dabei an die in der Literatur übliche Verwendung des Begriffs ‚Effekt‘ an, z.B. ‚Skaleneffekte‘. Allerdings wird damit stets implizit das umfassendere Mechanismusverständnis, also das Zusammenwirken von

Strukturen, strukturellen Anreizen, Akteurshandeln und Rückkopplungseffekten, verbunden – die Verwendung des Begriffs ‚Effekte‘ dient hier also jeweils als *pars pro toto* für die Bezeichnung des gesamten Mechanismus (vgl. Mayntz 2005:205).

Tabelle 1: Positive Rückkopplungsmechanismen

Strukturkomponente	Positive Rückkopplungsmechanismen
<i>Allokative Ressourcen</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Skaleneffekte (<i>economies of scale</i>) - Synergieeffekte (<i>economies of scope</i>) - Lernkurveneffekte - <i>Sunk costs</i>-Effekte - Direkte Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte - Indirekte Netzwerkeffekte - Komplementaritätseffekte
<i>Autoritative Ressourcen</i>	- Machteffekte
<i>Legitimität</i>	- Legitimitätseffekte
<i>Signifikation</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Routinisierungseffekte - Benchmarkeffekte - Erwartungseffekte

Den *allokativen Ressourcen* lassen sich – vermutlich aufgrund der technisch-ökonomischen Herkunft des Pfadabhängigkeitskonzepts – die meisten Vorschläge von positiven Rückkopplungsmechanismen zuordnen. Dazu zählen die angebotsseitige Möglichkeit von Skaleneffekten (*economies of scale*) und Lernkurveneffekten durch eine Steigerung der Produktion sowie von *economies of scope* durch die Nutzung von Anlagen im Verbund und Kuppelproduktion – letztere können somit auch als Synergieeffekte verstanden werden (vgl. Zundel et al. 2005:24ff; Sydow, Schreyögg & Koch 2005:7f; Grant & Nippa 2006:323ff, 567). Angebots- wie auch nachfrageseitig können versunkene Kosten (*sunk costs*) in Produktionskapazitäten oder Fertigkeiten entstehen, die eine Beibehaltung und Stabilisierung des Alten oder eine Re-Investition und damit Verstärkung des Bestehenden nahe legen (Beyer 2005:8; Zundel et al. 2005:27; Dobusch & Schübler 2006:23). Nachfrageseitig können zudem direkte und indirekte Netzwerkeffekte auftreten, die aus der Notwendigkeit resultieren, ein Produkt in Interaktion mit anderen zu nutzen (direkter Netzwerkeffekt) oder aus dem Umstand, dass für verbreitetere Produkte ein größeres Serviceangebot entwickelt wird. Da in der institutionalistischen Adaption Koordinationseffekte inhaltlich wie die direkten Netzwerkeffekte definiert werden, können diese beiden Effekte gleichgesetzt werden – allerdings gelten sie dann nicht nur für die Nachfrageseite (vgl. Arthur 1996:103; Arrow 2000:177f; Ackermann 2001:101f):

„A third mechanism is ‘coordination effects’ in which the benefits accruing to one set of actors from engaging in a particular activity (i.e., following a certain path) grow when other actors adapt their behavior to promote that same path“ (Pierson 2000a:254).

Aufgrund der inhaltlichen Äquivalenz von direkten Netzwerk- und den Koordinationseffekten wird daher im Folgenden vom ‚direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekt‘ gesprochen. Schließlich sind an dieser Stelle noch Komplementaritätseffekte zu nennen, die aus

der gegenseitigen Bezugnahme von Technologien, Institutionen oder Fähigkeiten resultieren wie zum Beispiel bei Davids (1985) ‚*technical interrelatedness*‘ zwischen Tastatur und der Zehn-Finger-Methode der Schreibenden (ebd. 334; Deeg 2001:10; Beyer 2005:8). Letztlich unterscheidet sich der Komplementaritätseffekt von den oben genannten Synergieeffekten bzw. den *economies of scope* dadurch, dass ersterer stärker den Charakter eines notwendigen ‚Gegenstücks‘ bzw. der gegenseitigen Abhängigkeit betont (vgl Grant & Nippa 2006:142f).

Hinsichtlich der *autoritativen Ressourcen* findet sich in der institutionalistischen Adaption der Verweis darauf, dass die Akteure unterschiedlich guten Zugang zu den institutionellen Machtressourcen haben und darüber Prozesse in ihrem Sinne gestalten können (Thelen 1999:394; Pierson 2000a:259f; Beyer 2005:11; Djelic & Quack 2007:165).⁹

Die Bedeutung der *Legitimität* für pfadabhängige Prozesse wird vor allem im Rahmen des soziologischen Institutionalismus in Form der ‚*logic of appropriateness*‘ und des Gedankens der Isomorphie, also der Anpassung an externe Erwartungen, betont (March & Olsen 1984; Meyer & Rowan 1991:41; Djelic & Quack 2007:165). Legitimität kann dabei erzielt werden durch eine politisch erzwungene Isomorphie (*coercive*), mimetische Isomorphie, die Standardantworten auf Unsicherheiten nachahmt, sowie normative Isomorphie, die die Zugehörigkeit zu einer bestimmten, professionalisierten Akteursgruppe stärkt (vgl. DiMaggio & Powell 1983:150ff; Child 1972:2; Fox-Wolfgramm et al. 1998:88f). Hier wird jedoch vereinfachend von ‚Legitimitätseffekten‘ gesprochen, da die Isomorphie-Trias partiell in die anderen Strukturbereiche reicht: So kann die erzwungene Isomorphie als die Perspektive des von Machteffekten betroffenen Akteurs betrachtet und damit vernachlässigt werden. Die normative Isomorphie wiederum weist aufgrund der betonten Verinnerlichung der geltenden Regeln – eine Art ‚Gruppendenken‘ – eine große Nähe zu den Wertmaßstäben der Akteure auf und wird deshalb im Bereich der Signifikation angesiedelt.

Den *Signifikationsstrukturen* lassen sich die positiven Rückkopplungseffekte zuordnen, die auf die Kognition der Akteure und verinnerlichte Strukturen abheben wie die ‚*mental maps*‘ (Denzau & North 1990), Belief-Systeme (Sabatier 1993; Strobel 2004) und (technologische) Paradigmen (Dosi 1982). Hier resultieren die positiven Rückkopplungen aus der (Nicht-) Wahrnehmung der Akteure infolge von gelerntem, routinisiertem Handeln oder aus ihren Wertmaßstäben und Erwartungen. Entsprechend werden hier ‚Routinisierungseffekte‘, ‚Benchmarkeffekte‘ – für die Wertmaßstäbe – und ‚Erwartungseffekte‘ eingeführt (vgl. Arthur 1989:123; Pierson 2000a:254; Sydow, Schreyögg & Koch 2005:8, 16; Mante & Sydow 2008; Holtmann 2008).

⁹ Durch die Einordnung in Giddens (1997) autoritative Ressourcen wird aber klar, dass sich Machteffekte allein auf die Verfügung über die Aktivitäten anderer Akteure beschränken (ebd. 428; vgl. Sewell 1992).

Zusammenfassend lässt sich somit in Bezug auf den Kernbestandteil des Pfadabhängigkeitskonzepts festhalten, dass positive Rückkopplungen nicht nur in Form von steigenden, sondern auch in Form von konstanten und sinkenden Erträgen als Verstärkungs- und Stabilitätsursache von Pfaden betrachtet werden können. Die positiven Rückkopplungen stellen sich dabei als soziale Mechanismen dar, die infolge der Nutzenorientierung der Akteure und eines in den Strukturen angelegten Nutzens auftreten und sich durch die Handlung der Akteure einstellen. Dementsprechend beinhalten die Strukturen für die Akteure motivierende Handlungs*anreize*, während sich der durch die Handlung erzielte Akteursnutzen als Handlungs*effekt* bezeichnen lässt. Drittens schließlich lassen sich die positiven Rückkopplungsmechanismen mit Hilfe der vier Giddenschen Strukturen (allokative und autoritative Ressourcen, Legitimations- und Signifikationsstrukturen) ordnen.

2.3.3 Veränderungsmechanismen und weitere soziale Mechanismen

Die Verwendung des Konzepts sozialer Mechanismen führt auch dazu, dass weitere Mechanismen in den konzeptionellen Fokus geraten. Dies betrifft im Rahmen der bisherigen Pfadabhängigkeitsdebatte insbesondere destabilisierende und Veränderungen hervorrufende soziale Mechanismen (Garud & Karnøe 2001:8; Campbell 2005:60):

„On the whole, and whatever the version considered, path dependency arguments tend to focus on mechanisms that anchor and stabilize trajectories while paying less attention to the sources and mechanisms of change“ (Djelic & Quack 2007:162).

Das Bild solcher Wandel- oder Veränderungsmechanismen ist allerdings mindestens ebenso unklar wie das der positiven Rückkopplungsmechanismen (vgl. Campbell 2005:48ff; Beyer 2005:19; Djelic & Quack 2007:166f). Deshalb können die – vor allem aus dem Institutionalismus stammenden – Vorschläge für Veränderungsmechanismen hier nur cursorisch zusammengefasst und geordnet werden. Dabei wird auf dasselbe Gliederungsschema wie bei den positiven Rückkopplungsmechanismen zurückgegriffen wie auch auf die ‚*pars pro toto*-Funktion‘ des ‚Effekts‘ des Akteurshandelns für den gesamten Veränderungsmechanismus (vgl. Tabelle 2). Abweichend von der Systematisierung der positiven Rückkopplungsmechanismen lassen sich die Veränderungsmechanismen in den vier Strukturkomponenten darüber hinaus noch jeweils in drei Unterkategorien weiter ausdifferenzieren. Ausschlaggebend dafür sind die unterschiedlichen Auswirkungen der Veränderungsmechanismen auf die Pfadstrukturen: So führt die erste Art von Veränderungsmechanismen zu einer Aufhebung der oben genannten positiven Rückkopplungseffekte durch Gegen- oder *Destabilisierungseffekte*. Für die positiven Rückkopplungseffekte kommen dabei unterschiedliche Destabilisierungseffekte in Frage: So können zum Beispiel die Skaleneffekte durch das Erreichen der ‚*decreasing returns*‘-Phase, aber auch durch weitere gegenläufige Effekte wie sinkende Komplementaritäten, die Bildung von Gegenmacht, Delegitimierungseffekte und negative Erwartungen oder Verlernen bzw. De-Routinisierungseffekte geschwächt werden (Mahoney 2000:517; Garud &

Karnøe 2001:14; Beyer 2005:14ff; Ebbinghaus 2005:23).¹⁰ Die zweite Unterkategorie von Veränderungsmechanismen führt zu *pfaddiversifizierenden* Effekten und basiert auf der Heterogenität und möglichen Widersprüchlichkeit der Strukturen, die den Akteuren Handlungsspielräume zu variierendem Verhalten eröffnen, also strukturelle Möglichkeitsfenster (vgl. Clemens & Cook 1999; Crouch & Farrell 2004).

Tabelle 2: Veränderungsmechanismen

Strukturkomponente	Veränderungsmechanismen
<i>Allokative Ressourcen</i>	<p><u>Pfaddestabilisierend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Decreasing return-Effekte - Sinkende Komplementaritätseffekte <p><u>Pfaddiversifizierend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Heterogenitätseffekte - Widersprüchlichkeitseffekte <p><u>Pfadneuausrichtend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Hybridisierungseffekte - Konversionseffekte
<i>Autoritative Ressourcen</i>	<p><u>Pfaddestabilisierend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Gegenmachtseffekte <p><u>Pfaddiversifizierend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Heterogenitätseffekte - Widersprüchlichkeitseffekte <p><u>Pfadneuausrichtend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Hybridisierungseffekte - Konversionseffekte
<i>Legitimität</i>	<p><u>Pfaddestabilisierend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Delegitimierungseffekte <p><u>Pfaddiversifizierend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Heterogenitätseffekte - Widersprüchlichkeitseffekte <p><u>Pfadneuausrichtend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Hybridisierungseffekte - Konversionseffekte
<i>Signifikation</i>	<p><u>Pfaddestabilisierend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Negative Erwartungseffekte - De-Routinisierungseffekte <p><u>Pfaddiversifizierend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Heterogenitätseffekte - Widersprüchlichkeitseffekte <p><u>Pfadneuausrichtend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Re-Interpretationseffekte (<i>double-loop-Lernen</i>)

In die dritte Unterkategorie fallen Veränderungsmechanismen, die auf eine Neuausrichtung des Pfades infolge aktiver Strukturgestaltung mit Hilfe von ‚Layering‘- oder ‚Bricola-

¹⁰ Um diese in der Ökonomie regelmäßig auftretenden gegenläufigen Mechanismen zu vermeiden, betont Arthur (1996) die Geltung des Pfadabhängigkeitskonzepts auf Technologien, die „heavy on know-how and light on resources“ (ebd. 102) und damit (vermeintlich) nicht von natürlichen Wachstumsbarrieren betroffen sind (ebd. 102f).

ge'-Strategien hinauslaufen, die wiederum zu ‚Hybridisierungs-‘ und ‚Konversionseffekten‘ führen (vgl. Garud & Karnøe 2001:23; Campbell 2005:56; Djelic & Quack 2007:166). Zu solchen Neuausrichtungseffekten lassen sich auf der kognitiven Ebene auch die Möglichkeit von Re-Interpretationen im Sinne eines ‚double loop‘-Lernens zählen (Campbell 2001:167ff, 2005:48ff; Sydow, Schreyögg & Koch 2005:8).

Hinsichtlich dieser kurzen Übersicht der pfadverändernden Mechanismen muss auf drei Unterschiede zu den positiven Rückkopplungsmechanismen hingewiesen werden: Erstens ist die Zuordnung der Veränderungsmechanismen zu den Strukturen schwieriger als bei den positiven Rückkopplungen, da der strukturelle Output der Veränderungsmechanismen nicht dem (potenzierten) strukturellen Input entspricht. Stattdessen unterscheiden sich bei den Veränderungsmechanismen die Strukturen, die Veränderungen nahe legen, von den Strukturen, die von Veränderungseffekten betroffen sind, so dass die Veränderungsmechanismen ‚über Bande‘ wirken (vgl. Campbell 2005:66). Die Ausnahme bilden vielleicht die Kognitionseffekte, die sich im Rahmen der Signifikationsstrukturen abspielen.

Der zweite Unterschied zwischen den positiven Rückkopplungs- und den Veränderungsmechanismen besteht darin, dass auch die Akteure, die die Effekte hervorrufen und von den Handlungsanreizen betroffen sind, in der Regel nicht dieselben sein dürften, sondern dass die Veränderungseffekte als (unbeabsichtigtes) (Neben-)Ergebnis nutzenorientierten Akteurshandelns auf die Strukturen wirken und dadurch anderen Akteuren Veränderungen nahe legen. Dadurch verändert sich drittens die Reihenfolge der Veränderungsmechanismen im Vergleich zu den positiven Rückkopplungsmechanismen: Anstelle der positiven Rückkopplungsabfolge ‚Struktur – struktureller Handlungsanreiz – Akteurshandeln – Rückkopplungseffekt‘ findet sich bei den Veränderungsmechanismen die nicht mehr in einer geschlossenen Rückkopplungsschleife stattfindende Folge ‚(Neben)Effekte – Struktur – struktureller Handlungsanreiz – Akteurshandeln‘. Die grundsätzliche Logik der Veränderungsmechanismen entspricht jedoch der der positiven Rückkopplungen, also einem Zusammenwirken von Strukturen, strukturellen Anreizen, Akteurshandeln und Rückkopplungs- bzw. Handlungseffekten.

Neben den positiven Rückkopplungen finden sich somit weitere soziale Mechanismen, die auf eine Veränderung des Pfades hinauslaufen, in dem sie entweder den positiven Rückkopplungen des Pfades entgegenwirken oder zu strukturellen Möglichkeitsfenstern oder Neuausrichtungen führen.

Das Konzept der sozialen Mechanismen weist aber über die Pfadabhängigkeit und Pfadveränderung und die erörterten positiven Rückkopplungs- und Veränderungsmechanismen hinaus. Dieser Aspekt muss an dieser Stelle hervorgehoben werden, da in der Empirie dieser Arbeit Explorationsmechanismen identifiziert werden, die in pfadexternen Strukturen angelegt sind und den Handlungsanreiz beinhalten, Pfadalternativen zu ver-

folgen. Solche Explorationsmechanismen sind in der bisherigen Pfadforschung lediglich rudimentär in Crouch und Farrells (2004) Betonung multipler Urnen angelegt (ebd. 24ff), können aber ebenfalls mit Hilfe der Logik sozialer Mechanismen (Strukturen, strukturelle Handlungsanreize, Akteurshandeln, Handlungseffekte) identifiziert werden.

2.3.4 Lock-in: Prozessuale Stabilität statt ‚frozen landscape‘

Im klassischen Pfadabhängigkeitskonzept führen die positiven Rückkopplungen durch den Adaptionsvorsprung zum Wegfall der langfristig eventuell effizienteren Alternativen, zu einem potenziell ineffizienten *Lock-in* (David 1985:332; Sydow, Schreyögg & Koch 2005:6):

„An early run of agent-types who prefer an initially attractive but slow-to-improve technology can lock the market in to this inferior option; equal development of the excluded technology in the long run would pay off better to both types“ (Arthur 1989:122).

Bei dem *Lock-in* handelt es sich jedoch nicht um einen bestimmten Moment in Zeit und Raum, an dem der *Lock-in* eintritt und der soziale Prozess sich in eine ‚frozen landscape‘ (Pierson 2000a:265) wandelt. Stattdessen handelt es sich auch beim *Lock-in* um einen Prozess, der durch die positiven Rückkopplungen in den Worten Arthurs (1989) „progressively more ‚locked in“ ist (ebd. 117). Für ein besseres Verständnis dieser zunehmenden Stabilisierung sei hier auf Hughes (1989) ‚Momentum‘ zurückgegriffen, mit dem die Pfadentwicklung durch eine zunehmende Masse, Richtung, Geschwindigkeit und wachsende Wandelresistenz charakterisiert werden kann – man könnte auch sagen, der Pfad gewinnt an Anziehungskraft:

„Technological systems, even after prolonged growth and consolidation, do not become autonomous; they acquire momentum. They have a mass of technical and organizational components; they possess direction, or goals; and they display a rate of growth suggesting velocity. A high level of momentum often causes observers to assume that a technological system has become autonomous. Mature systems have a quality that is analogous, therefore, to inertia of motion“ (ebd. 76).

Das Vorliegen eines *Lock-ins* ist ab dem Zeitpunkt ersichtlich, zu dem die Akteure die Wahl ‚bereuen‘, da eine andere Alternative langfristig von größerem Nutzen gewesen wäre. Dabei verortet Arthur (1989) den ‚regret‘ auf der Akteursebene (ebd. 117ff; David 1985:332):

„Suppose the market locks in to technology A. R-agents do not loose; but S-agents would each gain [...] if their favoured technology B had been equally developed and available for choice. *There is regret, at least for one agent type*“ (Arthur 1989:122; Hervorhebung JCS).

Mit dieser Verortung des ‚regret‘ auf der Akteursebene wird auch die Frage der Ineffizienz zu einer subjektiven und nicht zu einer objektiv bestimmbar – zumal dies für eine nicht entwickelte Alternative schwierig sein dürfte. Entsprechend ist die auf den endogenisierten Signifikationsstrukturen der Akteure beruhende Beurteilung der Effizienz – sofern die Beurteilungskriterien allgemein geteilt werden – letztendlich ein soziales Konstrukt (Garud & Karnøe 2001:8):

„Performance criteria pragmatically emerge from the institutional interdependences in society, as other institutions do, too. Performance evaluation and reward is an institution like others, which receives a specific form within such interdependences“ (Sorge 2006:189).

Aufgrund der Heterogenität der Akteure müssen nicht alle diese Ineffizienzeinschätzung teilen, vielmehr können sich auch Akteure, die vom Pfad profitieren, für seine Aufrechterhaltung einsetzen (Leblebici et al. 1991; Garud & Karnøe 2001; Botzem & Mante 2007).

2.3.5 Pfadmanagement über die Gestaltung der Handlungsanreize

Das modifizierte Verständnis von Pfadabhängigkeit als eine spezifische Form einer rekursiven, mechanismusgetriebenen Dualität rückt als integralen Bestandteil der Dynamik die ‚Wirkungsträger‘ in den Fokus: Die Akteure und ihr Handeln. Deren Bedeutung für die Entwicklung von Pfaden liegt in der Aufgabe begründet, die Verbindung zwischen den strukturellen Handlungsanreizen einerseits und den strukturellen Ergebnissen andererseits – sei es in Form einer positiven Rückkopplung oder eines Veränderungsmechanismus – zu ‚schließen‘ (vgl. Hughes 1989:54; Reed 1997:32; Mayntz 2005:219). Zu dieser ‚Mittlerposition‘ kommen als weitere Bedingungen von Pfadmanagement der allgemeine Charakter der Strukturen und das jeweilige individuelle Handlungspotenzial der Akteure hinzu (vgl. Archer 1982:461): Strukturseitig resultiert die Möglichkeit zum Pfadmanagement aus der schon angesprochenen potenziellen Heterogenität, Widersprüchlichkeit, Unbestimmtheit wie auch aus einem geringen Entwicklungsgrad (Stichwort: Momentum) der Strukturen, die zu divergierenden oder nur schwachen Handlungsanreizen führen können. Die Strukturen und ihre Handlungsanreize können also nicht nur als Handlungsbeschränkungen, sondern auch als Spielräume eröffnend verstanden werden (vgl. Child 1972:2; Oliver 1991, 1992; Clemens & Cook 1999). Entsprechend einschränkend wirken vollständig entwickelte, homogene, bestimmte Pfadstrukturen, die zu klaren Handlungsanreizen führen. Akteursseitig finden sich als Begründung von Pfadmanagement die unterschiedlichen Positionen und Interessen der Akteure, ihre Abwägung zwischen gegenwärtigem und zukünftigem Nutzen, unterschiedliche Beurteilungen komplexer Prozesse sowie unterschiedliche Handlungsressourcen (vgl. Child 1972:4; Emirbayer & Mische 1998:964; Hoffman 1999; Holtgrewe 2000; Battilana 2006). Mit anderen Worten: Seitens der Akteure resultiert die Möglichkeit zum Pfadmanagement aus ihrer an die Signifikationsstrukturen angebundenen Freiheit zur Evaluation der Strukturen und den in ihrem Rahmen generierbaren Nutzen einerseits sowie auf der Basis ihrer eigenen Handlungsressourcen. Als Handlungsressourcen dienen dabei der strukturationstheoretischen Logik folgend neben den Signifikationsstrukturen auch die partiell endogenisierten allokativen und autoritativen Ressourcen (Sewell 1992:9f; Sorge 2006:174).

Die solcherart begründete Möglichkeit von Pfadmanagement entwertet somit nicht die Idee der Pfadabhängigkeit. Stattdessen verbindet sie den angenommenen eindeutigen Nutzenvorteil des Pfades mit der grundsätzlichen Freiheit der Akteure, die Handlungsan-

reize selektiv aufzugreifen, auszugestalten und auch zu kreieren. Somit kann das von Arthur (1996) geforderte aktive Management positiver Rückkopplungen (und von Veränderungsmechanismen) und damit die Möglichkeit von ‚Pfadmanagement‘ innerhalb des modifizierten Pfadabhängigkeitsverständnisses konzeptionell eingelöst werden. Der Kerngedanke des Pfadmanagements ist es, dass die Akteure durch ihre ‚Kultivierung‘ der strukturellen Handlungsanreize den Pfadverlauf beeinflussen (vgl. Deeg 2001:32; Garud & Karnøe 2001:9ff; Strobel & Duschek 2007:3). Damit steht die Frage im Vordergrund, *wie* die Akteure mit den strukturellen Handlungsanreizen umgehen und welche Folgen dies wiederum für die Struktur hat. Da sich für diese Kernfrage des Pfadmanagements in der Literatur nur sehr heterogene und in der Regel eher auf die Strukturen denn auf ihre Handlungsanreize fokussierte Vorschläge finden, wird ihre Beantwortung der nachfolgenden Empirie überlassen.¹¹

Schließlich sei noch angemerkt, dass das verwendete Managementverständnis nur davon ausgeht, dass die Handlungen intentional erfolgen *können*. Das bedeutet aber weder, dass dem so sein muss, noch, dass die Intentionalität auf die Folgen des Handelns übertragbar ist, da diese auch unintendiert sein können und der Interaktion mit anderen Akteuren wegen nicht allein in der Hand des Pfadmanagement betreibenden Akteurs liegen. Damit verbleiben Pfade ein partiell intendiertes und partiell emergentes und damit nicht vollkommen steuerbares kollektives Phänomen (vgl. Mintzberg 1978:945; Sydow, Windeler & Möllering 2004:5).¹²

2.4 Fazit: Pfadabhängigkeit und Pfadmanagement als rekursive Dualität

Das im Vorhergehenden entwickelte Pfadverständnis ruht somit auf zwei Säulen: Auf der als prozessuale, mechanismusgetriebene Stabilität verstandenen Pfadabhängigkeit sowie auf der Idee von Pfadmanagement, die die Möglichkeit der Akteure in den Vordergrund stellt, die strukturellen Handlungsanreize nicht einfach nur auszuführen, sondern aktiv zu gestalten. Diese beiden Säulen sind aufeinander bezogen und vermeiden so einen strukturellen Determinismus oder akteursseitigen Voluntarismus: Das Potenzial der Akteure, die Situation anders zu evaluieren und auf Basis der eigenen Handlungsressourcen vom Pfad abzuweichen baut dem Determinismus vor, der durch die Befolgung der positiven Rückkopplungsanreize erzielbare größere Nutzen dagegen einem Voluntarismus. Pfadabhängigkeit bleibt dadurch ein restringierendes, aber nichtsdestotrotz durch Pfadmanagement gestaltbares Phänomen.

¹¹ Um die Unterschiedlichkeit der Ansätze zu dokumentieren, seien an dieser Stelle als nicht systematisierte Beispiele genannt: Institutionelles *Layering* (Thelen 2004), *Framing*-Strategien (Fligstein 1991; Campbell 2005), technologische Nischen- und *Timing*-Strategien (Kemp et al. 1998; Zundel et al. 2005), Regelsetzung und Standardisierung sowie Mitgliedschafts- und Personalgestaltung (Child 1972; Lawrence 1999; Garud et al. 2002), Technologiewahl und Technologiedesign (Hargadon & Douglas 2001; Rycroft & Kash 2002).

¹² In diesem Zusammenhang sei hier auf Sydow et al. (Sydow, Windeler & Möllering 2004, Sydow, Windeler, Möllering & Schubert 2005) verwiesen, die selber auf die empirischen Probleme mit der Intentionalität der Akteure als zentralem Unterscheidungskriterium in ihrem gradualistischen Pfadabhängigkeitsansatz verweisen (2004:5; 2005b:5).

Basierend auf dem bisher Gesagten lassen sich zur Analyse dieser beiden, ineinander verwobenen Pfadbestandteile folgende, in der Empirie zu benennende Komponenten ausmachen: Zunächst müssen die Pfadstrukturen sowie die darin angelegten Handlungsanreize identifiziert werden. Für die Strukturen bieten sich als grobes Raster Giddens (1997) Signifikationsregeln, Legitimationsregeln sowie allokativen und autoritativen Ressourcen an, da die in den Pfadabhängigkeitsadaptionen im Fokus stehenden Strukturen diesen jeweils zugeordnet werden konnten. Nach der Identifikation der Handlungsanreize ist das Akteurshandeln daraufhin zu analysieren, ob es die Handlungsanreize befolgt und somit positive Rückkopplungseffekte hervorruft. In diesem Fall kann von einem pfadabhängigen Prozess ausgegangen werden. Verändern die Akteure dagegen die Pfadstrukturen und ihre positiven Rückkopplungsanreize, ist von einem Pfadmanagement auszugehen.

3 Fallstudiendesign, Methodik und Operationalisierung

Ziel dieses Abschnittes ist es, das Vorgehen im empirischen Teil offen zu legen. Dazu gehören das für die Bearbeitung notwendige Untersuchungsdesign, das erhobene Material und die Art der Erhebung sowie der Auswertung.

3.1 Das Untersuchungsdesign: ‚Embedded case study‘

Als Untersuchungsdesign wird in dieser Arbeit ein Fallstudiendesign nach Yin (1994) gewählt. Für ein Fallstudiendesign spricht, dass dieses der analytischen Generalisierung, also der Fundierung einer Theorie, dient und dabei im Gegensatz zu ethnographischen oder ‚grounded theory‘-Ansätzen theoriegeleitet vorgeht – was allerdings nicht einer Iteration zwischen Theorieentwicklung und empirischer Untersuchung im Wege steht (ebd. 10, 27; Flick 2002:71ff; Garud et al. 2002:201; Siggelkow 2007:22). Für ein Fallstudiendesign spricht ferner, dass die ‚Gegenwärtigkeit‘ des Falles gegen ein historisches Design, seine Einbettung in einen sozialen Kontext gegen ein Experiment und die Suche nach Kausalitäten gegen einen Survey sprechen. Somit erfüllt die verfolgte Fragestellung alle drei Fallstudienkriterien Yins (1994:4ff):

„In general, case studies are the preferred strategy when ‘how’ or ‘why’ questions are being posed, when the investigator has little control over events, and when the focus is on a contemporary phenomenon within some real-life context“ (ebd. 1).

Wichtige Komponenten von Fallstudien sind nach Yin (a) die Fragestellung, (b) die Untersuchungseinheit(en), (c) die Verknüpfungsweise der Daten sowie (d) die Interpretationskriterien (ebd. 20ff). Da die Fragestellung schon in der Einleitung entwickelt wurde und da die Erhebung und Auswertung der Daten inklusive der Operationalisierung im Anschluss beschrieben wird (s. 3.2 und 3.3), muss an dieser Stelle allein die Untersuchungseinheit genauer bestimmt werden. Zudem liefert Yin die Kriterien zur Bewertung der Güte einer Fallstudie, deren Berücksichtigung im Untersuchungsverlauf hier ebenfalls dargelegt wird.

Als Untersuchungseinheit wurde Shell und ihre Explorationsaktivitäten im Bereich ‚alternative Kraftstoffe‘ ausgewählt, so dass eine einfache Fallstudie auf der Mikroebene vorgenommen wurde. In dieser stellen die vier gewählten Kraftstoffalternativen GtL, BtL, Ethanol aus Lignozellulose und Wasserstoff die Untereinheiten eines ‚embedded case study designs‘ dar (ebd. 42ff). Wie in der Einleitung bereits erwähnt, verfolgen auch Shells Wettbewerber alternative Kraftstoffe, jedoch nicht in demselben Umfang wie Shell mit ihrer Portfoliostrategie und auch nicht in demselben Entwicklungsstadium. Deshalb ist der analysierte Fall einzigartig. Zugleich ermöglichen die vier untereinander vergleichbaren Unterfälle vielfältige Rückschlüsse für die Theorie (vgl. Yin 1994:39). Zeitlich gesehen konzentriert sich die Analyse der ‚embedded cases‘ auf Shells Explorationsaktivitäten zwischen 2006 und 2008, ohne jedoch vorhergehende Ereignisse auszublenden. Außerdem wird in den ersten beiden Empirieteilen eine Längsschnittstudie der Makroebene,

also des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ und seiner Herausforderungen vorgenommen, um die dortige Dynamik zu erfassen. Damit überträgt die vorliegende Arbeit Pettigrews (1995) Konzept einer ‚kontextualistischen‘ Analyse von Wandel auf die Untersuchung von Pfadmanagement im Rahmen seiner Stabilitäts- und Veränderungsdynamiken – wobei ‚Kontext‘ und ‚Makroebene‘ gleich gesetzt wurden:

„In summary, the key points to emphasize in analyzing change in a contextualist mode are as follows: first, the importance of *embeddedness*, studying change in the context of interconnected levels of analysis; second, the importance of *temporal interconnectedness*, locating change in past, present, and future time; third, the need to *explore context and action*, how context is a product of action and vice versa; and finally, the central assumption about *causation* in this kind of holistic analysis, the causation of change is neither linear nor singular [...]. Explanations of change are bound to be holistic and multifaceted“ (ebd. 94; Hervorhebung JCS).

Auch die Längsschnittstudie legt jedoch ein größeres Gewicht auf die gegenwärtige Entwicklung des Explorationskontextes: So werden zwar die Anfänge des technologischen Systems berücksichtigt, der Schwerpunkt liegt aber auf den Entwicklungen seit den Ölkrisen in den Siebzigern sowie vor allem auf den regulatorischen und wettbewerblichen Veränderungen im deutschen und europäischen Markt seit den 1990ern. Die weitere Präzisierung der Untersuchungseinheit erfolgte im Rahmen einer induktiven Kategorienbildung und wird deshalb auch dort weiter diskutiert (s. 3.3).

Die Güte von Fallstudien lässt sich anhand der gängigen Kriterien Validität und Reliabilität beurteilen. Die Validität bezieht sich auf die Gültigkeit der Operationalisierung (Konstruktvalidität), der etablierten Kausalverbindungen (interne Validität) sowie der Generalisierung (externe Validität). Die Reliabilität bezieht sich auf die Verlässlichkeit der Ergebnisse. Um diese vier Gütekriterien zu erfüllen wurden im Laufe der Untersuchung folgende Schritte unternommen (vgl. Yin 1994:33; Bürklin & Welzel 1996:382f):

Die *Konstruktvalidität*, das heißt die richtige Operationalisierung bzw. die Erfassung der relevanten Aspekte, wurde durch die Erhebung und Auswertung unterschiedlicher Quellenarten (s. 3.2) sicher gestellt, da auf diese induktive Weise die zentralen Komponenten des Falles deutlich wurden (Yin 1994:90ff; Huberman & Miles 1994:438f; Flick 2004).

Zur Gewährleistung der *internen Validität*, also der Etablierung korrekter Kausalitäten, empfiehlt Yin den Vergleich der in der Empirie gefundenen ‚Muster‘ mit denen in der Theorie proklamierten (‚*pattern matching*‘) – gegebenenfalls in Form abhängiger und unabhängiger Variablen (Yin 1994:106ff). In dieser Arbeit werden jedoch sehr komplexe Kausalitätsmuster untersucht, da zum einen infolge der Dualität von Strukturen und Akteurshandeln abhängige und unabhängige Variable über die Zeit alternieren und zum zweiten ein umfassender, mehrere Ursachen beinhaltender struktureller Kontext berücksichtigt wird. Um die interne Validität dieser komplexen Kausalitätsmuster sicher zu stel-

len, wurden sie wiederholt auf Arbeitstreffen mit Wissenschaftlern und Praktikern¹³ vorgestellt, um die gefundenen Muster zu erhärten.

Die *externe Validität* bezieht sich bei Fallstudien wie bereits erwähnt auf die korrekte *analytische* Generalisierung der Fallstudienresultate für eine Theorie. Dafür empfiehlt Yin *multiple case studies*, die eine Replikationslogik verwenden (ebd. 35f). Die hier durchgeführte einfache Fallstudie kann damit das Kriterium der externen Validität nicht erfüllen.

Hinsichtlich der *Reliabilität* der Fallstudie ist zunächst kritisch anzumerken, dass die verwendete qualitative Inhaltsanalyse keine feststehende Technik ist, sondern vom Vorgehen und den Entscheidungen des Analysierenden abhängt, und dass bei der qualitativen Inhaltsanalyse die Validität der Analyse höher bewertet wird als ihre Reliabilität (Mayring 2003:45). Um letztere zu gewährleisten wird daher vor allem eine größtmögliche Transparenz bei der Erhebung und Auswertung der Daten angestrebt, die in den entsprechenden Abschnitten dargelegt wird (s. 3.2 und 3.3; Huberman & Miles 1994:439).

3.2 Datenerhebung: Feldzugang und erhobenes Material

Die Frage des Feldzugangs steht am Beginn der Datenerhebung (Flick 2002:86ff). Dafür wurden zum einen Hintergrundgespräche mit in diesem Bereich tätigen Wissenschaftlern sowie mit Ministerialbeamten in Bundesministerien geführt. Zum anderen wurde über die Teilnahme an insgesamt 14 Veranstaltungen wie Fachkonferenzen, Parlamentarischen Abenden etc. ein direkterer Zugang zum Feld und den involvierten Akteuren gesucht. Die Veranstaltungsteilnahmen erstreckten sich von 2005 bis 2007 mit einem besonderen Schwerpunkt im Jahre 2007. Ziel dieses Feldzugangs war neben dem Erwerb eines grundsätzlichen Feldverständnisses und der Beobachtung aktueller Entwicklungen und Akteurskonstellationen die induktive Weiterentwicklung der aus der Theorie gewonnenen Kategorien (vgl. Yin 1994:86f; Flick 2002:71f, 87ff; Schöne 2003:4).

Eine weitere Funktion des gewählten Feldzugangs war die Gewinnung von Interviewpartnern zur Durchführung von Interviews als Hauptquelle dieser Arbeit. Die Interviewpartner wurden auf den Konferenzen und nach dem ‚Schneeballprinzip‘ angesprochen. Als Interviewpartner ausgewählt wurden Teilnehmer aus allen Bereichen des ‚Themenfeldes‘ (Hoffman 1999) fossile/alternative Kraftstoffe (vgl. Tabelle 3):

¹³ Auszüge und Grundgedanken der Arbeit wurden unter anderem auf folgenden Veranstaltungen vorgestellt: Auftaktveranstaltung ‚Technologische und strategische Pfade‘ des Innovationsforums der Gottlieb Daimler- und Karl Benz-Stiftung, Berlin, 26. Mai 2008; 19. Jahrestreffen der Society for the Advancement of Socio-Economics (SASE), Kopenhagen/Dänemark, 28.-30. Juni 2007; Internationale Workshopserie ‚System Innovations for Sustainable Development‘, Zürich/Schweiz, 15.-18. April 2007.

Tabelle 3: Interviewpartner nach Organisationen und Bereichen

<i>Mineralöl- branche</i>	<i>Substitutions- produkte</i>	<i>Automobil- branche</i>	<i>Politik</i>	<i>Andere Berei- che</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Kurt Döhmel, CEO Deutsche Shell Holding GmbH - James Primrose, European Fuels Policy Manager, BP p.l.c. - Karl-Heinz Schult-Bornemann, Pressechef ExxonMobil Central Europe Holding GmbH - Dr. Friedrich Homann, Generalbevollmächtigter, Interessengemeinschaft Mittelstand e.V. - Jean-François Larivé, CONservation of Clean Air and Water in Europe (CONCAWE) - Mitarbeiter European Petroleum Industry Association (EUROPIA) - Weitere Mitarbeiter Mineralölbranche 	<ul style="list-style-type: none"> - Tom Blades, CEO, CHOREN Industries GmbH - Dr. Lutz Guderjahn, COO, CropEnergies AG - Dr. Helmut Born, Generalsekretär, Deutscher Bauernverband e.V. (DBV) - Dieter Bockey, Referent, Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP) - Mitarbeiter Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V. (DWV) - Mitarbeiter Erdgasmobil Verw. GmbH - Mitarbeiter Biokraftstoffbranche - Mitarbeiter Anlagenbauer 	<ul style="list-style-type: none"> - Mitarbeiter Automobilhersteller 	<ul style="list-style-type: none"> - Bundesministerien - Bundestagsfraktionen - Europäische Kommission Generaldirektionen 	<ul style="list-style-type: none"> - Dr. Steffen Daebeler, Abteilungsleiter, Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) - Jacco Woldendorp, TC19 Chair, Europäisches Komitee für Normung (CEN) - Heino Elfert, Herausgeber, Energie Informationsdienst (EID) - Mitarbeiter Bankhaus Sarasin - Mitarbeiter NGO - Mitarbeiter Forschungsinstitute - Mitarbeiter PR Agentur
12	9	6	9	9

Das breite Spektrum an Interviewpartnern von der Mineralölindustrie über die Automobilindustrie, die Entwickler alternativer Kraftstoffe und die Politik bis hin zu Nichtregierungsorganisationen, der Forschung, dem Finanzmarkt und den Medien diente der Erfassung des weiten Kontextes der Arbeit sowie der verschiedenen Akteursperspektiven.

Als Interviewform wurde ein halbstandardisiertes ‚problemzentriertes Experteninterview‘, also eine Verbindung von problemzentriertem und Experteninterview (Gläser & Laudel 2004) gewählt. Das problemzentrierte Interview (PZI) steuerte dabei die Interviewmethodik in Form eines halbstandardisierten, deduktiv-induktiven und problemzentrierten Vorgehens bei. Dies ermöglicht die Erhebung eines breiten und differenzierten Materials, das die Sicht der Befragten berücksichtigt und den Gegensatz zwischen Theoriegeleitetheit und Offenheit überwindet (Witzel 2000; Hopf 1991:177f). Das Experteninterview zeichnet sich dagegen durch seine Orientierung auf den Interviewzweck und die

Interviewgruppe aus, da es den Fokus auf die Rekonstruktion sozialer Situationen und Prozesse legt und die Interviewten als am (Entscheidungs-)Prozess beteiligte ‚Experten‘ mit einem spezifischen Handlungswissen definiert (Gläser & Laudel 2004:10):

„Der Experte verfügt über technisches, Prozess- und Deutungswissen, das sich auf sein spezifisches professionelles oder berufliches Handlungsfeld bezieht. Insofern besteht das Expertenwissen nicht allein aus systematisiertem, reflexiv zugänglichem Fach- oder Sonderwissen, sondern es weist zum großen Teil den Charakter von Praxis- oder Handlungswissen auf, in das verschiedene und durchaus disparate Handlungsmaximen und individuelle Entscheidungsregeln, kollektive Orientierungen und soziale Deutungsmuster einfließen. Das Wissen des Experten, seine Handlungsorientierungen, Relevanzen usw. weisen zudem – und das ist entscheidend – die Chance auf, in der Praxis in einem bestimmten organisationalen Funktionskontext hegemonial zu werden, d.h., der Experte besitzt die Möglichkeit zur (zumindest partiellen) Durchsetzung seiner Orientierungen. Indem das Wissen des Experten praxiswirksam wird, strukturiert es die Handlungsbedingungen anderer Akteure in seinem Aktionsfeld in relevanter Weise mit“ (Bogner & Menz 2005:46).

Der PZI-Tradition folgend übernahm der halbstandardisierte Leitfaden die Funktion einer thematischen Orientierung, an den das Interview angebunden war (Hopf 1991:178). Dieses Vorgehen stellte einen Kompromiss zwischen einem rein leitfadenorientierten und einem narrativen Interview dar. Dadurch wird einerseits ein offener Gesprächscharakter bewahrt, in dem die Interviewten den Prozess aus ihrer Perspektive entwickeln und neu auftretende Aspekte weiter verfolgt werden konnten, während zugleich andererseits die Rückbindung an aus der Theorie generierte Komponenten gewährleistet ist (vgl. Hopf 1991:178; Llewellyn 2007:139ff).

Die Leitfäden wurden aufgrund des Facettenreichtums des Falles und seines Kontextes individuell für jedes Interview erstellt und waren auf den besonderen Wissensbereich des jeweiligen Experten fokussiert, fragten aber auch nach ihrer Beurteilung der Gesamtentwicklung. Dabei waren die Leitfäden auf vier nicht immer klar trennbare Gesprächsphasen ausgelegt (vgl. Mey 2000:141ff; Witzel 2000:5f): Eine (a) problemfokussierte, narrative Eröffnungsphase; (b) eine die in der Eröffnungsphase angesprochenen Aspekte vertiefende allgemeine Sondierungsphase; (c) eine spezifische Sondierungsphase, in der vorab gewonnenes Wissen getestet wurde; (d) eine Phase mit ad-hoc Fragen, die nicht im vorhergehenden Gespräch geklärt werden konnten, sowie nach Materialien und weiteren Gesprächspartnern. Die Interviews wurden von Mai 2006 bis September 2007 durchgeführt und dauerten in der Regel etwas über eine Stunde, in einigen Fällen (Elfert, EID; Mineralölbranche 2 Mitarbeiter) aber auch über zwei Stunden. Sie wurden auf Deutsch, Englisch und Schwedisch geführt und im Falle des schwedischen Interviews eigenständig ins Deutsche übersetzt. Die Interviews erfolgten in der Regel *face-to-face*¹⁴ und wurden, sofern die Interviewten einverstanden waren, aufgenommen, im Wortlaut transkribiert und Zitate anschließend zur Autorisierung vorgelegt. Anonymisierungen erfolgten je nach Wunsch in einem unterschiedlichen Grad, stets aber im Maskulinum („Mitarbeiter“). Ge-

¹⁴ Sechs der Interviews wurden telefonisch durchgeführt.

sprache, für die eine Reaktion auf die Autorisierungsbitte ausblieb, wurden vollständig anonymisiert. Unmittelbar nach den Interviews wurden Postskripte angefertigt. Das Gesprächsklima war durchweg freundlich, so wie auch das Ansinnen eines Interviews zuvor freundlich aufgenommen worden war.

Mit den Interviews als Hauptquelle und den Konferenzteilnahmen als gewählttem Feldzugang verwendet diese Arbeit die zwei Erhebungstechniken und Quellenarten, die Fallstudien von anderen Forschungsdesigns wie historischen Arbeiten oder Experimenten unterscheiden (Yin 1994:8). Gleichwohl hätte die Arbeit allein auf Basis dieser Quellen nicht verfasst werden können. Sie ermöglichen zwar einen unmittelbaren Zugang zu Kausalzusammenhängen und der gegenwärtigen Entwicklung inklusive ihres relevanten Kontextes, aber keine vollständige Erfassung der facettenreichen Entwicklung sowie vor allem nicht ihres historischen Verlaufs. Zudem unterliegen Interviews dem Risiko einer Ergebnisverzerrung durch einen Frage- oder Antwortbias und die teilnehmende Beobachtung der Gefahr der Selektivität. Um diese Schwächen zu kompensieren und das Wissen um die Entwicklung zu komplettieren, wurden öffentlich zugängliche Dokumente als eine weitere Quellenart herangezogen, die sich durch Exaktheit und die Abdeckung einer langen Zeitspanne auszeichnet (ebd. 80; Dahlgren & Floren 1996:191). Die dabei erhobenen Quellen lassen sich grob in drei Dokumentenarten unterteilen: Publikationen der am Feld teilnehmenden Akteure, Zeitschriften und ‚ergänzendes Material‘ wie zum Beispiel Gesetzestexte, Datenmaterial u.ä..

Hinsichtlich der ersten Quellenart sind zunächst die Publikationen Shells in Form von Geschäftsberichten (ab 1993), Reden (ab 1996) sowie Konferenzbeiträge, Pressemitteilungen (ab 2000) und Broschüren hervorzuheben, die in großem Umfang auf Shells Homepage (www.shell.com) bereit gestellt werden – wobei freilich ein Selektivitätsbias seitens des Unternehmens vorliegt. Aufgabe dieser Dokumente war es, die Fundierung des Gesagten zu ermöglichen und ein übergreifendes Verständnis des Unternehmens zu vermitteln. Bei der Recherche wurden zunächst die grundlegenden Dokumente (Geschäfts- und Nachhaltigkeitsberichte) erhoben. Anschließend wurden über eine systematische allgemeine Stichwortsuche (z.B. ‚Kraftstoffe‘, ‚GtL‘, ‚BtL‘, ‚Ethanol‘, ‚Wasserstoff‘) und später sporadisch über eine spezifische Suche (z.B. ‚Bintulu‘, ‚CHOREN‘, ‚Iogen‘, ‚Volkswagen‘) Dokumente von der Homepage ausgewählt. Ähnlich – wenn auch nicht in derselben Intensität – wurden Publikationen der anderen Feldteilnehmer erhoben wie zum Beispiel von Shells Wettbewerbern (ExxonMobil, BP, Total), den Automobilherstellern (Volkswagen, Daimler), Marktneulingen (z.B. CHOREN), von Verbänden (MWV, EUROPIA, VDA), Vereinen (DWV, FNR), Organisationen (Greenpeace) und Institutionen (BMU, BMELV).

Neben diesen Dokumenten der Feldteilnehmer wurden Zeitschriften verwendet, um eine neutralere Perspektive mit einzubeziehen und vor allem um zeitlich zurückliegende Ereignisse und Entwicklungen besser und korrekt erfassen zu können. Zentral war dafür die wöchentliche Branchenzeitschrift ‚Energie Informationsdienst‘ (EID), ehemals ‚Erdöl In-

formationsdienst', deren Kundenkreis aus „der gesamten Energiewirtschaft, also aus dem Strom- und Gasbereich, aus der Mineralölwirtschaft, aber auch aus der Industrie, dem Dienstleistungs- und staatlichen Sektor“ (Elfert, EID, 2007-05-07) stammt. Dieser wurde von 1990 bis – dank eines großzügig gestalteten Abonnements – einschließlich Ende 2007 zur Identifikation wichtiger Themen und zum Verständnis der Entwicklung des deutschen Marktes herangezogen. Besonders hilfreich für die Analyse und insbesondere für kurzfristiges ‚Nacherheben‘ war, dass dabei die für die Analyse wichtigen Jahrgänge 2003 bis 2006 auf CD-ROM vorlagen. Ergänzend wurde zur besseren Berücksichtigung der alternativen Kraftstoffe das monatlich erscheinende Magazin ‚Neue Energie‘ verwendet, das ab April 2007 ebenfalls im Abonnement bezogen wurde und das insbesondere die aktuelle deutsche und europäische Gesetzgebung abdeckte. Als dritte Zeitschriftenquelle wurde das Online-Archiv des Handelsblatts (HB) herangezogen. Dieses wurde vor allem wegen der langen abgedeckten Periode (alle Artikel seit 1986) gewählt. Funktion dieser Quelle war somit die rasche Erschließung insbesondere länger zurückliegender Ereignisse, die im Gegensatz zu den Fachzeitschriften thematisch breiter gestreut sein konnten (z.B. Automobil, Klimawandel etc.). Der Rückgriff auf diese Quelle erfolgte sporadisch zur Klärung einzelner Aspekte, die gezielt per Stichwort (z.B. ‚Biodiesel‘) gesucht wurden. Viertens wurde – ebenfalls gezielt per Stichwortsuche – das Informationsportal ‚EurActiv‘ (www.euractiv.com) verwendet, um die politischen Maßnahmen und Prozesse auf EU-Ebene zu erschließen. Die Stärke dieser Quelle besteht darin, dass sie Dossiers zu den gefragten Themen inklusive des gesetzgeberischen Vorlaufs, Stellungnahmen der beteiligten Akteure und Links zu den Originalquellen liefert. Zu guter Letzt wurden auch Artikel des Monatsmagazins ‚Technology Review‘, der FAZ und der ZEIT verwendet.

In die Kategorie ‚ergänzendes Material‘ fallen so diverse Quellen wie Gesetzestexte, Statistiken, Markt- und Technologieberichte von Organisationen wie dem *Joint Research Centre* der Europäischen Kommission, der Internationalen Energieagentur (IEA) und der OPEC sowie von Forschungsinstitutionen wie zum Beispiel dem Wuppertal Institut, dem ECN und der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) sowie schließlich auch Sekundärliteratur zum Thema (z.B. Yergin 2003).

3.3 Datenauswertung: Zur Entwicklung des Analyserasters

Hinsichtlich der Qualität und Aussagekraft der erhobenen Quellen in Bezug auf die Fragestellung, also der Quellenkritik, ist Folgendes anzumerken (vgl. Tabelle 5; Yin 1994:80; Dahlgren & Floren 1996:184ff): Die auf den Konferenzen gemachten Beobachtungen sind Primärquellen, deren Aussagekraft insbesondere für den abgedeckten Zeitraum gilt. Die Aussagekraft wird dadurch eingeschränkt, dass die Konferenzteilnehmer an einer positiven öffentlichen Darstellung interessiert sind, und dadurch, dass in dem Erhebungszeitraum nicht alle Konferenzen besucht werden konnten. Die Aussagekraft der Interviews ist durch das Erinnerungsvermögen der Interviewten und durch ihr Bestreben, ihr Handeln

und ihre Organisation möglichst positiv darzustellen, eingeschränkt. Die hohe Bereitschaft zu den Interviews zeigt zudem, dass eine positive Selbstdarstellung – bzw. positive Darstellung der eigenen Organisation – für die betroffenen Akteure von Bedeutung ist. Wie die Konferenzbeobachtungen zeichnet sich diese Quellenart durch ihren direkten Themenzugang aus. Darüber hinaus reicht ihre Aussagekraft, wenn auch eingeschränkt, über den Erhebungszeitraum hinaus in die Vergangenheit hinein. Eine weitere Primärquelle stellen die Unternehmensdokumente dar. In diesen kommt die positive Selbstdarstellung noch stärker zum Tragen aufgrund ihrer schriftlichen Fassung sowie ihrer bewussten Auswahl als für die Öffentlichkeit bestimmte Information (Selektivitätsbias). Der Umfang der auf den Homepages erhältlichen Informationen ist ein weiterer Beleg für die Bedeutung des gewählten Themas für die Beteiligten. Die Stärke dieser Quellen liegt in ihrer zeitlichen und inhaltlichen Bestimmtheit. Die übrigen verwendeten Quellenarten (Zeitschriften und ‚weiteres Material‘) sind Informationen aus (mindestens) zweiter Hand, also Sekundärquellen. Ihre Stärke liegt in der Erfassung eines längeren Zeitabschnittes sowie in ihrer geringeren Interessegeleitetheit.

Tabelle 4: Die Aussagekraft der erhobenen Quellen

	<i>Aussagezeitraum</i>	<i>Tendenz</i>	<i>Grad der Informiertheit</i>
<i>Konferenzen</i>	2005-2007	interessegeleitet	Primärquelle
<i>Interviews</i>	2006-2007 und davor	interessegeleitet	Primärquelle
<i>Dokumente</i>			
<i>Unternehmensdokumente</i>	ab 1993	interessegeleitet	Primärquelle
<i>Zeitschriften</i>	ab 1986	‚objektiv‘	Sekundärquelle
<i>Ergänzendes Material</i>		‚objektiv‘	Sekundärquelle

Die unterschiedlichen Quellen – also die Interviews, schriftlichen Dokumente und Konferenzbeobachtungen – ermöglichen somit nicht nur eine Triangulation zwischen und innerhalb der Quellenarten, sondern sie machen sie aufgrund ihrer divergierenden Aussagegehalte unumgänglich. Die Stärke einer solchen Quellentriangulation, also der ‚Konstitution des Forschungsgegenstandes von (mindestens) zwei Punkten aus‘ (Flick 2004:11), liegt sowohl in der Erfassung der großen Bandbreite interessierender Aspekte des Falles als auch in der Validierung einzelner Aussagen (Yin 1994:91ff; Flick 2004:13f). Damit dient die Triangulation auch – wie oben (3.1) schon erwähnt – der Sicherung der Konstruktvalidität bei der Operationalisierung des theoretischen Konstruktes (Yin 1994:33f).

Die Triangulation der Quellenarten erfolgte im Rahmen einer qualitativen Inhaltsanalyse. Diese wird nach Mayring (2003) verstanden als eine ‚systematische und theoriegeleitete Analyse von fixierter Kommunikation in Form von Texten, Bildern und ähnlichem Material, das mit dem Ziel von Schlussfolgerungen auf bestimmte Aspekte wie Kommunikati-

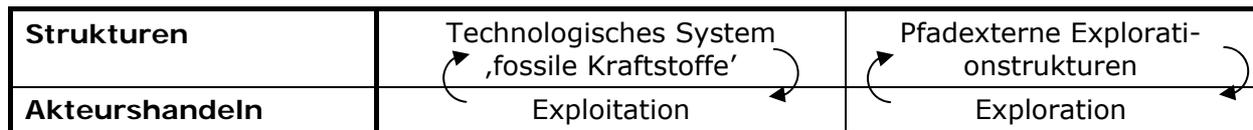
onsabsichten, -wirkungen und dergleichen ausgewertet wird' (ebd. 12f). Das Ziel der durchgeführten Analyse bestand in der Identifikation und dem Verständnis der Strukturen und Handlungen und ihrer kausalen Verknüpfung. Die qualitative Inhaltsanalyse bot sich dabei insbesondere deshalb als ‚Interpretationslehre‘ an, da sie theoriegeleitet vorgeht und sich (1) eines deduktiv hergeleiteten Kategoriensystems bedient, das (2) induktiv modifiziert und (3) gefüllt wird – ein Vorgehen, das sich insbesondere für auf Theorieentwicklung zielende Einzelfallstudien anbietet (Mayring 1988:48ff, 2003:20ff; Kuckartz 1999:202ff). Das Kategoriensystem steht somit im Zentrum der qualitativen Inhaltsanalyse und soll für die Nachvollziehbarkeit und Überprüfbarkeit der Ergebnisse sorgen (Mayring 1988:48, 2003:43f). Hervorzuheben ist, dass in dieser Arbeit die Entwicklung des Kategoriensystems gleichbedeutend mit der Operationalisierung der theoretischen Vorüberlegungen für die empirische Analyse ist. Dabei wurde wie folgt verfahren¹⁵:

Die (1) deduktive Kategorienbildung erfolgte bereits (vgl. 2.4) am Ende des Theorieteils mit der Benennung der zentralen theoretischen Modellkomponenten, also der Fokussierung der Analyse auf die vier Giddenschen Strukturen (allokative, autoritative, Legitimations- und Signifikationsstrukturen) sowie auf die in ihnen angelegten Handlungsanreize einerseits sowie andererseits auf das Akteurshandeln und der Rückwirkung des Akteurshandelns auf die Struktur.

Die (2) induktive Kategorienbildung erfolgte dagegen in Form einer empirisch informierten Operationalisierung der deduktiven Kategorien auf Basis der Konferenzbeobachtungen, der Hintergrundgespräche und der ersten Interviews. Dieses entspricht Mayrings (2003) für diese Phase vorgesehenen zwei Grundformen des Interpretierens: Der Identifikation relevanter Strukturen und Handlungen als interpretative Zusammenfassung (ebd. 59ff) sowie einer formalen Strukturierung, das heißt eine Herausarbeitung der thematischen Gliederung des Materials (ebd. 85). Dabei zeigte sich hinsichtlich der strukturellen Makroebene, dass durch die mit der Fragestellung erfolgte Ansiedlung des Falles zwischen Pfadabhängigkeit und Exploration eine Teilung der Analyse in eine ‚Rekursivität auf zwei Feldern‘ erforderlich wurde (Abbildung 3): Auf der einen, der ‚Exploitations-Seite‘ ging es darum, Kategorien zu bilden, die die Strukturen des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ – also der technologischen, ökonomischen und regulativen Strukturen (vgl. Hughes 1989) – erfassen und dadurch die Identifikation der Handlungsanreize (positive Rückkopplungs- und Veränderungsanreize) ermöglichen würden.

¹⁵ Der Ansatz, die qualitative Inhaltsanalyse mit Hilfe der Analysesoftware Atlas.ti vorzunehmen wurde anhand von fünf zentralen Interviews (Döhmel, Shell; Primrose, BP; Blades, CHOREN; Guderjahn, CropEnergies; EUROPIA Mitarbeiter) erprobt. Letztlich wurde dieses Vorgehen aber verworfen, da deutlich wurde, dass der Facettenreichtum des Falles und der Interviews die Analyse eines sehr umfassenden Materials notwendig gemacht hätte, um zu einer Sättigung im Kategoriensystem zu gelangen (vgl. Mayring 2003:61). Stattdessen wurde der Weg der deduktiv-induktiven Generierung der Analysematrix mit anschließendem Experten-Review vorgezogen.

Abbildung 3: Exploitation und Exploration als Rekursivität auf zwei Feldern



Auf der anderen Seite wurde anhand der Empirie deutlich, dass auch Kategorien gebildet werden konnten und mussten, die die Erfassung von Strukturen ermöglichten, die die Exploration alternativer Kraftstoffe nahe legten – also von Explorationsstrukturen und ihren Explorationsanreizen. Diese Strukturen waren dabei insofern (pfad)*extern*, als dass sie in keiner direkten oder nur sehr losen Verbindung mit dem bestehenden technologischen System standen. Damit wurde das im Theorieteil entworfene, auf Pfadabhängigkeit und Pfadmanagement fokussierte Konzept empirisch bedeutend erweitert. Dies erfolgte jedoch innerhalb des Grundgedankens einer rekursiven Dualität zwischen Struktur und Akteurshandeln bzw. innerhalb des Mechanismusverständnisses. Praktisch bedeutete das, dass die induktive Kategorienbildung drei Bereiche umschloss: Auf der Makroebene (a) die Strukturen und Handlungsanreize des technologischen (pfadabhängigen) Systems ,fossile Kraftstoffe' sowie (b) die Explorationsstrukturen und -anreize alternativer Kraftstoffe sowie auf der Mikroebene (c) Shells Explorationsaktivitäten und deren strukturelle Folgen.

Für die induktive Kategorienbildung des (a) technologischen Systems ,fossile Kraftstoffe' wurden die vier Giddenschen Strukturen in die empirischen Kategorien ,Technologie' und ,Markt' sowie Unternehmenskompetenzen (allokative Struktur), Regulierung (autoritative Struktur), Stakeholdererwartungen (Legitimationsstruktur) und Unternehmenssicht (Signifikationsstruktur) übersetzt (vgl. Hughes 1989:51). Letztere ist somit eine rein endogene Struktur ebenso wie die Unternehmenskompetenzen. Die anderen Strukturen sind dagegen exogen. Außerdem wurden diese Strukturen entlang der (vereinfachten) Wertschöpfungskette von Benzin und Diesel ausdifferenziert, also der Exploration und Produktion von Erdöl, seiner Verarbeitung in der Raffinerie, der Vertrieb über die Tankstelle sowie die Verwendung im Automobil. Der letzte Schritt liegt außerhalb des Geschäftsbereichs der Mineralölkonzerne. Zudem wurde die Analyse des technologischen Systems ,fossile Kraftstoffe' auf den Pkw-Bereich begrenzt – Entwicklungen im Lkw-Bereich, öffentlichen Personennahverkehr und der Luftfahrt wurden also weitestgehend ausgeblendet. Das Ergebnis war ein matrixförmiges Analyseraster für die Erfassung der Strukturen. In die einzelnen Felder ließen sich dann weitere Subkategorien einfügen wie zum Beispiel das Thema ,Ölpreis' in die Kategorie ,allokative Struktur/Markt//Exploration und Produktion'. Zur Verdeutlichung ist dieses Analyseraster mit Beispielen in Tabelle 5 dargestellt.

Bei dieser induktiven Entwicklung des Analyserasters zeigte sich zudem, dass sich die Untersuchung der verschiedenen Wertschöpfungsstufen auf verschiedene Regionen beziehen muss: So befasst sich die Analyse der Explorations- & Produktionsstrukturen mit

den Förderländern und – aufgrund des weltweiten Transports von Erdöl – mit dem globalen Ölmarkt. Die Raffination dagegen befindet sich meist bereits im Verbrauchermarkt, so dass der Großteil der Raffinerieprodukte direkt im regionalen Markt abgesetzt werden kann (MWV 1996:11, 2003a:5). Deshalb wurde die Analyse dieser Ebene auf den deutschen Markt und seine europäische Einbettung konzentriert, ohne jedoch Bezüge zu ähnlichen Entwicklungen z.B. in den USA zu vernachlässigen. Der Vertrieb über die Tankstelle und die Verwendung im Automobil ist klar regional im deutschen Markt verankert, zugleich aber ist die Automobilindustrie mit ihren Produkten global orientiert (vgl. VDA 2007a:40ff).

Tabelle 5: Analysematrix des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ mit Beispielen

<i>Strukturen</i> <i>Wertschöpfungskette</i>	<i>Allokative Strukturen</i>			<i>Autoritative Strukturen</i>	<i>Legitimationsstrukturen</i>	<i>Signifikationsstrukturen</i>
	<i>Technologie¹</i>	<i>Markt¹</i>	<i>Kompetenz²</i>	<i>Regulierung¹</i>	<i>Erwartung¹</i>	<i>Unternehmenssicht²</i>
<i>Exploration & Produktion</i>	E&P-Technologie	Ölpreis	E&P-Know-how	Marktbeschränkung (OPEC)	Autarkie- und Renditeerwartung	Wachstumsmarkt
<i>Raffinerie</i>	...	...	...	...	...	...
<i>Tankstelle</i>	...	...	...	...	...	...
<i>Automobil</i>	...	...	...	...	...	...
¹ Exogene Struktur						
² Endogene Struktur						

Bei der Kategorienbildung (b) der Explorationsstrukturen zeigte sich, dass diese sich aufgrund ihrer Vielfalt, ihrer teilweise nur geringeren Ausformuliertheit sowie aufgrund ihrer nur losen Kopplung untereinander nicht entlang der Strukturen und der Verknüpfung *einer* Wertschöpfungskette betrachten ließen. Stattdessen wurden die diversen Entwicklungen in drei Bereichen betrachtet: neue Regulationsstrukturen, neue Automobiltechnologien und alternative Kraftstoffe. Die Entwicklungen der Legitimations- und Signifikationsstrukturen wurden in diesem Zusammenhang nicht aufgenommen, da sie im Wesentlichen schon im Rahmen des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ erörtert worden waren. Die Analyse der Explorationsstrukturen konzentrierte sich auf den deutschen Markt und seine europäische Einbettung – ohne jedoch auch hier ähnliche Entwicklungen in anderen Regionen zu vernachlässigen.

Schließlich (c) wurden auf der Mikroebene zur Erfassung von Shells Explorationsaktivitäten ihre (anvisierten) Handlungen und die ihrer Partner in eine Analysematrix eingeordnet, deren Achsen wie beim technologischen System ‚fossile Kraftstoffe‘ aus der Wertschöpfungskette der jeweiligen Alternative und den allokativen, autoritativen, Legitimations-

ons- und Signifikationsstrukturen bestand. Dadurch konnten Shells Explorationsaktivitäten detailliert erfasst und mit den Entwicklungen auf der Makroebene in Verbindung gebracht werden.

Die (3) induktive Kategorienfüllung schließlich beinhaltete die Zusammenfassung des Materials zu den Makro- und Mikrokategorien inklusive einer Kontextanalyse des Materials durch die Hinzuziehung zusätzlicher Quellen und gezieltes Nachfragen in späteren Interviews (vgl. Mayring 1988:53f, 2003:77ff, 89; Yin 1994:91f).

Erst auf dieser Basis konnten als abschließender Analyseschritt die in den Strukturen enthaltenen Handlungsanreize sowie die Auswirkungen von Shells Explorationsaktivitäten auf die Struktur identifiziert werden. Dazu sind drei Aspekte hervorzuheben: Erstens ist zu erwähnen, dass die meisten Veränderungs- und Explorationsanreize – im Gegensatz zu den positiven Rückkopplungsanreizen – aus der Empirie generiert werden mussten, so dass das Spektrum der Handlungsanreize empirisch ergänzt wurde. Zweitens ist anzumerken, dass sich die identifizierten Handlungsanreize akteurspezifisch sind, da sie sich allein aus der In-Beziehungsetzung von Struktur und Akteur ergeben und die Handlungsanreize derselben Struktur je nach Akteur variieren. Drittens schließlich sind die Handlungsanreize auch ‚fragestellungsspezifisch‘ in dem Sinne, dass sie von der jeweiligen Fragestellung abhängen, ob die analysierte Struktur positive Rückkopplungsanreize enthält oder Veränderungsanreize oder Explorationsanreize.

Entsprechend der Entwicklung des Kategoriensystems ist die folgende empirische Untersuchung in drei Teile untergliedert. Zunächst wird das technologische System ‚fossile Kraftstoffe‘ analysiert und die damit verbundenen Handlungsanreize herausgearbeitet. Im zweiten Schritt werden dann die Explorationsstrukturen und ihre Handlungsanreize erörtert. Abschließend erfolgt vor diesem Hintergrund die Analyse von Shells Explorationsaktivitäten. Abweichend von der Kategorienbildung erfolgt aus Darstellungsgründen die Analyse der endogenen Strukturen auf der Mikroebene, also von Shells Kompetenzen (allokative Struktur) und Signifikationsstrukturen, im Rahmen des dritten Empirieteils.

4 ‚Fossile Kraftstoffe‘ als pfadabhängiges technologisches System

Ziel dieses ersten Untersuchungsteils ist es, die Pfadabhängigkeit des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ nachzuweisen und dessen Handlungsanreize herauszuarbeiten. Zum Beleg der Pfadabhängigkeit müssen dem modifizierten Pfadabhängigkeitsverständnis zufolge als *conditio sine qua non* im Entwicklungsverlauf des technologischen Systems positive Rückkopplungen identifiziert werden, das heißt Rückkopplungsanreize, die auch befolgt werden. Im Gefolge der positiven Rückkopplungen kann zweitens nach einem *Lock-in* des Technologiepfades gesucht werden, der sich an einem folgenlosen, subjektiven ‚*regret*‘ der Akteure festmachen lässt. Drittens schließlich können auch Veränderungsanreize gefunden werden, die ebenfalls in der Struktur des technologischen Systems angelegt sind. Zur Identifikation der positiven Rückkopplungsanreize wie auch der Veränderungsanreize und der Frage eines Bedauerns der Akteure (*Lock-in*) wird die Entwicklung der Strukturen des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ untersucht. Dafür wird – unter Auslassung der im dritten Empirieteil behandelten Signifikationsstrukturen Shells – die im Methodikteil vorgestellte Analysematrix verwendet (s. 3.3), auf deren einer Achse die Struktur Aspekte Technologie, Ökonomie, Regulierung und die Akteurserwartungen stehen sowie auf der anderen die Wertschöpfungskette von Benzin und Diesel (Exploration & Produktion, Raffinerie, Tankstelle, Automobil).

Es ist anzumerken, dass zum einen wie bereits im Methodikteil erwähnt die einzelnen Stufen der Wertschöpfungskette eine unterschiedliche geographische Reichweite aufweisen. Deshalb befasst sich die Analyse der Explorations- & Produktionsstrukturen mit den Förderländern und dem globalen Ölmarkt, die Raffineriestrukturen werden dagegen ebenso wie die Strukturen auf der Tankstellenebene vornehmlich im Rahmen des deutschen Marktes und seiner europäischen Einbettung diskutiert. Auch die Kraftstoffverwendung im Automobil ist klar regional im deutschen Markt verankert, zugleich aber weist die Automobilindustrie wieder eine globale Orientierung auf. Zum anderen ist darauf hinzuweisen, dass die strukturellen Handlungsanreize für die Akteursgruppe analysiert werden, zu der auch Shell gehört: Die internationalen Mineralölkonzerne bzw. im Fachjargon die ‚*International Oil Companies*‘ (IOCs). Diese sind auf das Engste mit dem technologischen System ‚fossile Kraftstoffe‘ verknüpft, da sie es maßgeblich mit ihrem traditionellen Geschäftsmodell einer vertikalen Integration ausgestaltet haben und bis in die Siebziger Jahre hinein „the world of oil“ (Davis 2006a:xiii) konstituierten. Deshalb beginnt die Analyse des technologischen Systems nicht mit diesem selber, sondern zunächst (4.1) mit der Darstellung des traditionellen Geschäftsmodells der IOCs, um ein Grundverständnis der Perspektive der zentralen Akteure dieser Arbeit zu erzielen. Im Anschluss wird die Entwicklung der einzelnen Glieder der Wertschöpfungskette ‚Exploration & Produktion‘ (4.2), Raffinerie (4.3), Tankstelle (4.4) und Automobil (4.5) jeweils hinsichtlich ihrer technologischen, ökonomischen, regulativen sowie ihrer Erwartungsstrukturen im Zeitverlauf erörtert und auf ihre strukturellen Handlungsanreize hin ausgewertet. Diese wer-

den der Übersichtlichkeit halber bei ihrer ersten Nennung in jedem Abschnitt hervorgehoben. Zum Abschluss (4.6) werden die identifizierten Handlungsanreize des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ zusammengefasst und unter der Frage der Pfadabhängigkeit diskutiert.

4.1 Das traditionelle Geschäftsmodell der internationalen Mineralölkonzerne

Das traditionell vertikal integrierte Geschäftsmodell der IOCs umfasst die gesamte Wertschöpfungskette fossiler Kraftstoffe von der Suche, Erschließung und Produktion von Erdöl („Upstream“) über den Transport, die Lagerung, die Verarbeitung in der Raffinerie sowie den Verkauf an der Tankstelle („Downstream“) (vgl. MWV 2001:20, 75). Dieses vertikal integrierte Geschäftsmodell beinhaltete bis in die Siebziger Jahre drei Imperative, wobei der erste in der Notwendigkeit bestand, die Aktivitäten entlang der Wertschöpfungskette auszubalancieren:

„Those in oil are always in quest for balance. An investment in one part of the business forces them to make new investments in another part, to protect the viability of the existing investment. Producers need markets if their oil is to have value. [...] Refiners, meanwhile, need both supply and markets; a refinery that goes unused is little more than scrap metal and used pipe. And those who run a marketing system need oil to pass through it; otherwise they, too, have nothing but financial losses. The intensity of those needs varies at different times, but the underlying imperative is a constant in the industry“ (Yergin 2003:114).

Dieses Streben nach Balance resultierte auch aus den hohen Fixkosten und den damit möglichen Skaleneffekten im Upstreambereich, die eine stabile Nachfrage des Downstreambereichs erforderten. Aufgrund der Umwälzungen durch die unten zu erörternde OPEC-Revolution wurde dieses Streben nach Balance durch eine zunehmende Flexibilisierung im Ein- und Verkauf von Rohöl aufgelöst (vgl. Levy 1982:115; Davis 2006b:4f). Deshalb ist die heutige vertikale Integration der IOCs weniger eine operative denn eine finanzielle, wobei die Erzielung von Skaleneffekten weiterhin die zentrale Rolle spielt:

„[...] the industry has moved from being operationally integrated to being financially integrated. Today the larger private oil companies organise themselves around separate business units and leverage their scale to maximum effect“ (Antill & Arnott 2002:49f).

Zweiter Imperativ des Geschäftsmodells war die Kontrolle der Erdölförderung. Diese Notwendigkeit folgte zum einen aus der eben angesprochenen Balance zwischen den Gliedern der Wertschöpfungskette, die letztlich vom Beginn der Kette abhängt (Yergin 2003:52). Zum anderen wurden die Erträge der Unternehmen auf der ersten Stufe der Wertschöpfungskette generiert und hingen damit vom Rohölpreis und dem Rohölangebot ab:

„Since the breakup of Standard Oil Trust in 1911, the real wealth and power in the industry has tended to come not from the downstream, refining and marketing, but from the upstream, ownership and control of the oil in the ground“ (Yergin 2003:783).

Davis (2006b) nennt deshalb das Geschäftsmodell der Mineralölkonzerne ein „control of crude model“, in dem „oligopoly rents were a function of [...] [the] control of the price

and supply of crude" (ebd. 6).¹⁶ Dank der Kontrolle des Rohölangebots konnte das Öl extern wie auch intern zu hohen Preisen verkauft werden. Dem Downstreambereich dagegen kam die Rolle eines sicheren Abnehmers des Upstream geförderten Rohöls zu, der weniger Gewinn erwirtschaften musste und diesen Markt so für Marktneulinge unattraktiv machte (Levy 1982:114f; Davis 2006b:6):

„Downstream operations were traditionally not very profitable: their primary strategic role was to provide secure outlets for crude oil production, and so lessen the risks of huge long-term investments in exploration and production" (Grant & Cibin 1996:170).

Eine weitere Funktion vor allem des Raffineriebereichs war es, in Zeiten niedriger Ölpreise die sinkende Profitabilität des Upstreambereichs aufzufangen (vgl. Olien 2002:278):

„For IOCs, the conventional paradigm was that refining capacity – in unregulated markets – provided a hedge against crude prices. When crude prices were high, upstream profitability would be strong and refining less so – and vice versa when crude prices were low" (Brinded 2005:3).

Damit aber war die Markteintrittsbarriere eher in Zeiten hoher Ölpreise wirksam als in solchen mit niedrigen. Vor diesem Hintergrund bestand der dritte Imperativ in der Kostenführerschaft im Downstreambereich, um Verluste zu vermeiden und um die Markteintrittsbarriere aufrecht zu erhalten. Kostenführerschaft bedeutete nicht nur Effizienz und Kostenkontrolle, sondern auch Technologieführerschaft, das Ausnutzen von Skaleneffekten – auch im Downstreambereich – und die Suche nach neuen Märkten, die in der Lage waren, die produzierten Volumina aufzunehmen (Yergin 2003:46). Das klassische Geschäftsmodell der vertikal integrierten Mineralölkonzerne beruhte somit auf Skaleneffekten im Up- und Downstreambereich sowie einer strategischen Komplementarität zwischen diesen auszubalancierenden Gliedern der Wertschöpfungskette (Levy 1982:114).

Das letzte Glied der Wertschöpfungskette des Benzin- und Dieselpfades liegt außerhalb des Geschäftsbereichs der Mineralölkonzerne: der Verbrauch. Nachdem die Mineralölindustrie anfangs Kerosin zur Beleuchtung hergestellt hatte, fand sie ihre großvolumigen Märkte im Mobilitätsbereich. Ursache dafür war der Erfolg des mit Benzin betriebenen Automobils – zunächst in den USA – sowie die zunehmende Verwendung von Diesel in Schiffen und später auch in Bussen und LKW (Hård & Knie 2000:6f; Taminiau 2006:252):¹⁷

„Heretofore, gasoline had been an insignificant part of the output of the refining process, with some small value for solvents as a fuel for stoves, but with little other use. [...] That changed with the motorcar, which turned gasoline into an increasingly valuable product. In addition to gasoline, a second major new market for petroleum was developing with the growth in use of fuel oil in the boilers of factories, trains, and ships" (Yergin 2003:80).

¹⁶ Die ‚Kontrolle‘ des Rohölangebots erfolgte dabei nicht durch ein Unternehmen allein, sondern durch die sogenannten ‚Sieben Schwestern‘ (Exxon, Mobil, Chevron, Texaco, Gulf, BP, Shell) sowie der Compagnie Française des Petroles (CFP), die bis 1970 gemeinsam 81 Prozent der weltweiten Rohölproduktion kontrollierten (Davis 2006a:xiii; vgl. Levy 1982:116f) Deshalb spricht Davis (2006b:6) von „Oligopolrenten“.

¹⁷ Benzine und die Mitteldestillate Diesel und leichtes Heizöl machen gemeinsam – je nach Verarbeitung – 62 bis 80 Prozent der Raffinerieausbeute aus (ExxonMobil 2003:S4).

Die Verwendung von Benzin und Diesel im Automobil bildet somit neben der Exploration und Produktion von Erdöl, der Herstellung von Benzin und Diesel in der Raffinerie und ihrem Vertrieb über die Tankstelle das vierte Glied der Wertschöpfungskette. Veränderungen in diesem Bereich in Form der abgesetzten Menge, der nachgefragten Produktstruktur (Benzin, Diesel) und der Qualität wirken direkt auf die von der Mineralölindustrie kontrollierte Wertschöpfungskette zurück.

Wie die technologischen, ökonomischen, regulativen und Erwartungsstrukturen dieser vier Glieder der Wertschöpfungskette aussehen und wie sie sich – und damit ihre Handlungsanreize – in den letzten Jahrzehnten entwickelt haben ist Inhalt der folgenden Abschnitte.

4.2 Exploration und Produktion von Erdöl – Quelle der Profitabilität und der Probleme

Die Wertschöpfungskette des Benzin- und Dieselpfades beginnt Upstream am Bohrloch mit der Suche, Erschließung und Förderung von Erdöl (Exploration & Produktion, E&P). Der Upstreambereich nimmt dabei insofern eine zentrale Rolle ein, als dass der Wert der anderen Glieder vom E&P-Erfolg abhängt, denn „(l)etzten Endes müssen sie sich zunächst mal in den Besitz des Öls bringen, d.h. auf der Upstreamseite erfolgreich sein“ (Elfert, EID, 2007-05-07). Hinzu kommt, dass im Rahmen des oben dargestellten Geschäftsmodells der Rohölkontrolle der Upstreambereich auch die Hauptquelle der Unternehmensgewinne darstellt. Aufgrund der Entwicklung der technologischen, ökonomischen, regulativen wie auch der Erwartungsstrukturen im Upstreambereich stellt dieser zugleich auch eine der größten Herausforderungen für die IOCs dar.

4.2.1 Erdölexplorations- und -produktionstechnologien

Die Suche und Förderung von Erdöl¹⁸ basiert darauf, dass dieses sich wie auch Erdgas bei der Diffusion zur Erdoberfläche in Gesteinsporen unter undurchlässigen Schichten in sogenannten ‚geologischen Fallen‘ sammelt, wobei sich durch nachdrängendes Wasser ein Lagerstättendruck bildet (MWV 1996a:5).¹⁹ Diese Erdölvorkommen sind global ungleich verteilt: So liegt im Mittleren Osten²⁰ mit 61,5 Prozent der größte Teil der weltweiten ‚Reserven‘ – das heißt: der zu einem bestimmten Ölpreis förderbaren Menge aus dem Erdölvorkommen –, unter anderem die beiden größten Ölfelder in Kuwait und in Saudi-

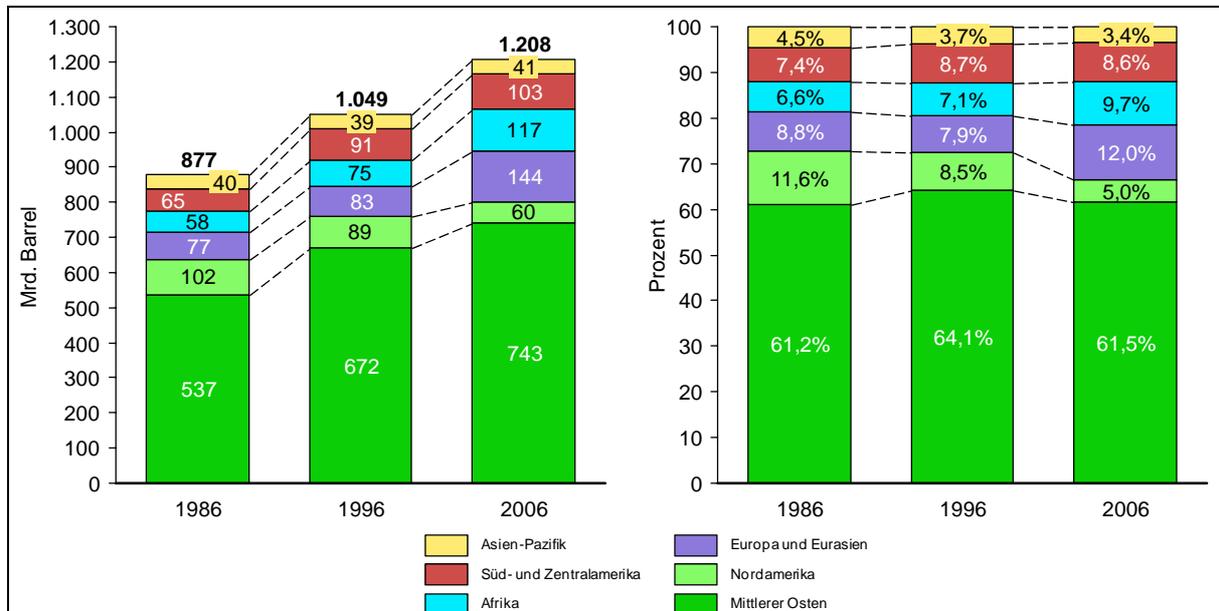
¹⁸ Sobald Erdöl aus seiner Lagerstätte entnommen ist, spricht man von ‚Rohöl‘ (MWV 2003a:19). Diese Begriffe werden hier synonym verwendet. ‚Mineralöl‘ dagegen bezeichnet „aus Erdöl (Rohöl) hergestellte Energieträger (Kraftstoffe, Brennstoffe) oder Schmierstoffe (Öle und Fette)“ (MWV 2001:46), also die raffinierten Produkte.

¹⁹ Andere Ansammlungsformen sind zum Beispiel Teersande und Ölschiefer, sogenannte ‚unkonventionelle Öle‘ (MWV 2001:54; Deffeyes 2005:99ff).

²⁰ Saudi-Arabien hält 21,9 Prozent der weltweiten Reserven, der Iran 11,4 Prozent, der Irak 9,5 Prozent, Kuwait 8,4 Prozent und die Vereinigten Arabischen Emirate 8,1 Prozent (BP 2007a:6). Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Informationen über die Reserven des Mittleren Ostens staatliche und damit nicht von unabhängiger Seite überprüfte Angaben sind (vgl. Davis 2006c:152ff).

Arabien. Diese 61,5 Prozent entsprechen in der gängigen US-Messeinheit 742,2 Milliarden Barrel (Abk. ‚bl.‘, ‚bbl.‘) bzw., da ein Barrel 159 Liter fasst, 101,2 Milliarden Tonnen Erdöl. Die zweitgrößten Reserven liegen in den Ländern der ehemaligen Sowjetunion (10,5 Prozent) – und verbessern die Werte von ‚Europe & Eurasia‘ in Abbildung 4 (vgl. Rempel et al. 2006:33; BP 2007a:6ff):

Abbildung 4: Verteilung bewiesener Reserven 1986, 1996 und 2006



Quelle: BP 2007a:7.

Die globalen Vorkommen variieren als heterogene Kohlenwasserstoffgemische in ihrer Qualität²¹. So unterscheiden sie sich unter anderem durch eine variierende Viskosität, die vom Anteil kürzerer und damit flüchtigerer Kohlenwasserstoffketten abhängt, sowie durch ihren Schwefel- und ihren Aromatengehalt. Aromate sind ringförmige Kohlenwasserstoffketten mit Einfach- und Doppelbindungen im Wechselspiel (MWV 2003a:17ff; Rempel et al. 2006:41).

Das Wissen um die Einlagerung von Erdöl und Erdgas in bestimmten Gesteinsformationen wird bei der Exploration verwendet. Dabei weisen die Suchtechnologien eine dynamische Entwicklung von der Oberflächenerkundung zur unterirdischen ‚Vermessung‘ von Lagerstätten mit Hilfe von Seismographen, Gravimetern und Magnetometern auf. Mit Hilfe dieser Technologien kann die Lage und die Größe von Erdöllagerstätten bereits vor der ersten Suchbohrung immer besser eingeschätzt und kostenintensive Fehlbohrungen vermieden werden (MWV 1996a:7f; IEA 2005a:46, 53f, 2006a:26; Shell 2007a:4). Auch die anschließend verwendete Bohrtechnologie hat sich weiter entwickelt, so dass nicht mehr nur vertikal, sondern auch horizontal und in Schlangenlinien („snake drill“) gebohrt wird, um mit einer Bohrung möglichst viele Reservoirs zu erreichen und eventuell mehrere

²¹ Der Kohlenstoffgehalt schwankt zwischen 83 und 87 Prozent und der von Wasserstoff zwischen elf und 15 Prozent, während Schwefel bis zu sechs Prozent ausmacht (MWV 2003a:19).

kleinere Vorkommen wie ein Größeres fördern zu können (MWV 1996a:9; Shell 2007a:6f). Außerdem kann wesentlich tiefer gebohrt werden (IEA 2005a:73). Vor allem aber hat sich auch seit 1947 die Förderung auf See entwickelt (*„offshore“*), bei der mittlerweile in Meerestiefen von bis zu 3.000 m gebohrt wird (Yergin 2003:429; IEA 2005a:66ff; Picard 2006:35). Insbesondere das Vordringen in größere Meerestiefen führt wiederum zu einem Anstieg der Explorationskosten (IEA 2005a:17).

Ist das Erdölvorkommen erschlossen, kommen Fördertechnologien zum Zuge, die darauf abzielen, den so genannten ‚Entölungsgrad‘ von heute durchschnittlich 35 auf 45 Prozent²² zu erhöhen (IEA 2005a:51, 56). Ausschlaggebend dafür sind der Lagerstättendruck, die Viskosität des Erdöls sowie die Durchlässigkeit des Lagerstättengesteins. Zur Verbesserung des Entölungsgrades kann das Lagerstättengestein zerkleinert (*„fraktioniert“*) und die Viskosität über ein Dampfflutverfahren oder die Zugabe von Chemikalien erhöht werden.²³ Schließlich kann der Lagerstättendruck durch Pumpen kompensiert oder über die Verpressung von Wasser oder Gasen erhöht werden (MWV 1996a:9; IEA 2005a:58ff). Hinsichtlich der Weiterentwicklung dieser Technologien ist insbesondere die Erhöhung des Lagerstättendruckes über die Verpressung von CO₂ zu nennen, das im Rahmen der Erdgasförderung bereits praktiziert und im Kraftwerksbereich als sogenannte CCS-Technologie (*„Carbon Capture and Sequestration“*) erprobt wird (vgl. IEA 2005a:58ff; Shell 2007a:28). Alle diese Technologien steigern wiederum die Förderkosten. Die geringsten Förderkosten fallen für Vorkommen an, die an Land liegen und leicht auf dem Seeweg abtransportiert werden können wie zum Beispiel die Vorkommen im Mittleren Osten (vgl. MWV 2001:27; IEA 2005a:66, 71).

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass die E&P-Aktivitäten infolge ihres zunehmenden Technologie- und Infrastruktureinsatzes einen erheblichen Investitionsaufwand erfordern: So gaben zum Beispiel die neun größten nicht-russischen IOCs 2005 gemeinsam über 50 Milliarden US Dollar für ihre Upstreamaktivitäten aus (IEA 2006a:25). Insgesamt zeichnet sich der technologisch aufwendige E&P-Bereich durch sehr hohe Fixkosten und eine langfristige Kapitalbindung aufgrund von Amortisierungszeiträumen von zehn Jahren und mehr aus:

„A key to understanding these dynamics [der Entwicklung neuer Ressourcen; JCS] is a grasp of the huge initial capital investment required to develop a field: exploration surveys, well drilling and construction, production and treatment facilities, transport (pipelines, tankers, LNG plants). Capital depreciation represents a large portion of hydrocarbon production cost. While this varies widely around the world, 60% is probably a typical value. Marginal production costs, on the other hand, are relatively low, ranging from less than USD 1 per barrel in Saudi Arabia to up to USD 10 per barrel in difficult offshore, Arctic regions. The pay-back period for large capital investments is often ten years or more“ (IEA 2005a:32).

²² Shell spricht von teilweise bis zu 70 Prozent (Shell 2007a:12).

²³ Die Chemikalien können auch die Fließfähigkeit von in der Lagerstätten enthaltenem Wasser verringern (MWV 1996a:9). Eine weitere, derzeit noch zu erforschende Alternative ist die Verwendung von Mikroben, um das Erdöl aus den Gesteinsporen zu lösen (IEA 2005a:61).

Die technologischen Strukturen des E&P-Bereichs beinhalten damit zwei deutliche Handlungsanreize: So bietet ihr im Vergleich zu den Produktionskosten hoher Fixkostenanteil erstens den Anreiz zur Generierung von *Skaleneffekten*²⁴ (*economies of scale*), also zur Verteilung der Fixkosten auf ein möglichst großes Produktionsvolumen. Die Höhe dieser Fixkosten wiederum beinhaltet zweitens bei bereits bestehenden Förderanlagen – dies gilt insbesondere für kürzlich errichtete Anlagen – Handlungsanreize, die *sunk cost-Effekte* nahe legen (vgl. Farrell et al. 2003:1361; Zundel et al. 2005:27). Die gegenwärtige technologische Entwicklung dürfte daran wenig ändern, da sie zwar auf der einen Seite dank der Vermeidung teurer Fehlbohrungen durch genaue seismische Voruntersuchungen zu sinkenden Kosten führt. Auf der anderen Seite aber geht der Trend zur Förderung in der Tiefsee und an anderen schwierigen Standorten wie in der Arktis, die wiederum steigende Infrastrukturkosten verursachen:

„Die Produktionskosten steigen ohne weiteres, obwohl die meisten Innovationen sicherlich darauf gerichtet sind, auch die Kosten zu senken. Aber: Man geht in immer größere Wassertiefen, man geht in immer unwirtlichere Gebiete, die Transporte werden immer größer, das heißt: Die werden steigen, die Produktionskosten“ (Schult-Bornemann, ExxonMobil, 2007-05-07).

Hinzu kommt, dass die Kosten für Stahl und Bohrdienstleistungen seit Mitte der Neunziger Jahre stark gestiegen sind (IEA 2006a:26). E&P-Projekte werden damit zwar immer effizienter und auch unter schwierigen Bedingungen durchführbar, aber zunächst nicht billiger. Die Amortisierung dieses Aufwandes hängt entsprechend von der ökonomischen Entwicklung im Upstreambereich ab.

4.2.2 Ökonomie des Upstreambereichs

Weltweit gesehen sind E&P-Aktivitäten wirtschaftlich attraktiv, da es sich um einen Anbietermarkt mit steigender Nachfrage und einem derzeit – wie auch mittelfristig – knappen Angebot handelt, in dem die Preise steigen. So wuchs der weltweite Konsum von Erdöl trotz zweier Einbrüche im Gefolge der Ölkrisen von 1973 und 1979/80 zwischen 1965 und 2006 um knapp 150 Prozent und seit 1983 – dem tiefsten Stand nach der Ölkrise von 1979/1980 – um 42 Prozent. Bis zum Jahre 2030 prognostiziert die IEA ein weiteres jährliches Wachstum von 1,8 Prozent. Allerdings ist das Wachstum ungleich verteilt: Der Verbrauch der OECD-Staaten erreichte infolge eines eher geringen jährlichen Zuwachses von durchschnittlich 0,4 Prozent (1979-2006) seinen Höchststand von 1979 erst wieder 1996. Allerdings betrug im Jahre 2006 der OECD-Anteil am Gesamtverbrauch 58,6 Prozent, so dass das geringe Wachstum auf einem sehr hohen Niveau stattfand. Trotz dieses OECD-Gesamtwachstums sank der Verbrauch in der EU 25 zwischen 1979 und 2006 um 2,3 Prozent und in Deutschland sogar um 22,4 Prozent. Die Nachfrage in den USA dagegen, auf die 2006 42 Prozent der OECD-Gesamtnachfrage entfielen, stieg

²⁴ Wie eingangs erwähnt werden der Übersichtlichkeit halber die Handlungsanreize/-effekte bei ihrer ersten Nennung in jedem Abschnitt hervorgehoben.

im selben Zeitraum um 11,7 Prozent. Dem stagnierenden OECD-Verbrauch steht ein rasantes chinesisches Wachstum gegenüber, das zwischen 1979 und 2006 über 300 Prozent betrug und im Jahre 2006 bereits 8,9 Prozent der weltweiten Nachfrage ausmachte. China ist dabei nur ein besonders herausragendes Beispiel für die wachsende Bedeutung der Schwellenländer²⁵, die dank Wirtschaftswachstum und zunehmender Mobilisierung zwischen 1979 und 2006 ihren Anteil am weltweiten Verbrauch von 19 auf 36,6 Prozent steigerten (Fischer 2000:283ff; Matthies 2000; IEA 2005a:23; ExxonMobil 2006a:6f; BP 2007a, 2007b; Nylund et al. 2008:21):

„Perhaps the most important consideration in evaluating the medium-term demand projections is the rising importance of non-OECD areas. Due to a combination of rapid economic growth and swiftly expanding manufacturing and transport sectors, non-OECD countries are quickly assuming a large share of oil consumption and are thus expected to dominate future changes in global oil demand“ (IEA 2006a:17).

Angesichts des projizierten fortgesetzten Nachfragewachstums bis 2030 scheint von dieser Seite her die Attraktivität auch mittel- und langfristig erhalten zu bleiben. Zu dem – zumindest partiell – sehr dynamischen Nachfragewachstum kommt, dass im Verbund mit der Auslastung der Produktionskapazitäten die im E&P-Bereich erzielbaren Preise steigen: Seit dem Preiseinbruch von 1986 steigen – allerdings unterbrochen von dem Preiseinbruch 1998 – die Ölpreise im Trend wieder an und liegen seit 2004 weit jenseits der zuvor in den Neunzigern erzielten Preise zwischen 12,72 (1998) und 20,67 (1996) US Dollar pro ein Barrel Öl der Sorte Brent (Campbell et al. 2003:156f; Deffeyes 2006:31f ; BP 2007a, 2007b). Nach Schätzungen der IEA (2005b:63f) wird sich der Ölpreis für den Zeitraum 2010 bis 2030 über 35 US Dollar halten, wobei diese Annahme vor dem Hintergrund der 2007er Spotmarktpreise von weit über 100 US Dollar sehr konservativ zu sein scheint (vgl. IEA 2007a:35f). Das wirtschaftliche Umfeld für Upstreamaktivitäten ist mithin sehr günstig – wobei allerdings Schwankungen im Ölpreis durch eine sinkende Nachfrage und Spekulationsauschläge nicht ausgeschlossen werden können (Olien 2002:273; Mineralölbranche 3 Mitarbeiter 1, 2007-02-27):

„Das Ausmaß der Zyklen ist immer schwer vorauszuschätzen. Selbst wenn es im Trend aufwärts geht, kann man es mit einer relativen langen Zeit niedriger Preise zu tun haben. Und die müssen die Unternehmen auch überstehen“ (Elfert, EID, 2007-05-07).

Als Handlungsanreiz legen diese attraktiven Marktbedingungen somit weitere Investitionen im E&P-Bereich nahe und erhöhen damit die Opportunitätskosten von Alternativinvestitionen. Entsprechend kann von einem in der Literatur bisher nicht berücksichtigten ‚*Opportunitätskosteneffekt*‘ ausgegangen werden (vgl. Archer 1995:205; Zundel 2005:27).

Im nächsten Abschnitt geht es darum zu klären, wie die internationalen Mineralölgesellschaften infolge der regulativen Rahmenbedingungen im E&P-Bereich insbesondere an

²⁵ BP (2007b) spezifiziert nicht näher, welche Länder zu den EMEs, also den *Emerging Market Economies* gezählt werden.

den steigenden Preisen, weniger aber an der steigenden Produktion partizipieren (vgl. Zittel & Schindler 2007:97; OPEC 2007:121f).

4.2.3 Die regulativen Strukturen des Upstreambereichs

Die Möglichkeit zur Partizipation an dem Wachstum des Ölmarktes wie auch die Durchführung des Geschäftsmodells der Rohölkontrolle hängen von dem Zugriff auf die geologisch-geographischen, global ungleich verteilten Erdölvorkommen ab. Dieser Zugriff ist jedoch für die IOCs politisch restringiert (vgl. Olien 2002:277; Deffeyes 2006:6; IEA 2006a:25, 27f). Dabei lassen sich die Entwicklung der OPEC und die allgemeinen Förderbedingungen in Nicht-OECD-Staaten unterscheiden.

Die in den Siebziger Jahren erfolgende „OPEC-Revolution“ (Mommer 2000:i) nationalisierte die größten Erdölvorkommen im Mittleren Osten und übertrug die Förderung nationalen Mineralölgesellschaften (*„National Oil Companies“*, NOCs). Dies war für die IOCs ein einschneidendes und bis heute prägendes Ereignis, da dadurch ihre Rohölkontrolle gebrochen wurde: 1970 hatten die acht größten IOCs gemeinsam noch 81 Prozent der weltweiten Rohölproduktion kontrolliert (Davis 2006a:xiii; vgl. Levy 1982:117). Hinzu kam, dass in den wichtigen Förderländern Saudi-Arabien, Kuwait, Irak und Mexiko die Förderung monopolisiert wurde, so dass diese Vorkommen gänzlich dem Zugriff der IOCs entzogen wurden (Levy 1982:119f; Picard 2006:36; Fattouh 2007:20; vgl. OPEC 2007). Mit den Nationalisierungen einher ging die Errichtung eines neuen Preisregimes, dessen Koordination die Aufgabe der 1960 gegründeten OPEC (*„Organization of the Petroleum Exporting Countries“*) ist und das auf Förderquoten für die Mitgliedsländer²⁶ basiert. Ziel dieses Produktionskartells sind stabile Erlöse, die sich an einem Preiskorridor orientieren. Dieser lag bis 1998 bei 18 US Dollar je Barrel, danach zwischen 22 und 28 US Dollar. Aufgrund der am steigenden Ölpreis orientierten Haushaltsplanungen der OPEC-Mitgliedsstaaten liegt der erforderliche Ölpreis selbst für Länder wie die Vereinigten Arabischen Emirate inzwischen bei 42 US Dollar je Barrel, so dass die IOCs keine Niedrigpreisstrategie von den OPEC-Ländern befürchten müssen (Mabro 1998; MWV 2001:56; Müller 2002:23; Bozon et al. 2005; IEA 2006a:24; Hermann 2008). Grundsätzlich verfügt die OPEC zur Durchsetzung ihrer Preisvorstellungen angesichts ihres derzeitigen Reservenanteils von knapp 75 Prozent über ein erhebliches Einflusspotenzial auf den Weltmarktpreis. Aufgrund von externen *„Freeridern“* wie zum Beispiel der Russischen Fördera-tion, interner *„Freerider“* infolge mangelnder Sanktionsmöglichkeiten sowie kriegerischer Auseinandersetzungen wie zwischen dem Iran und dem Irak funktioniert die Preisstabilisierung durch die OPEC nur in Zeiten von Anbietermärkten und unter der Voraussetzung

²⁶ Die Mitgliedschaft der OPEC hat sich im Zeitverlauf verändert: Heute gehören neben den Gründungsmitgliedern Venezuela, Saudi-Arabien, dem Iran, dem Irak und Kuwait auch die Vereinigten Arabischen Emirate (VAE), Katar, Algerien, Libyen, Nigeria, Angola und Indonesien zur OPEC. Während Angola erst seit 2007 neues Mitglied ist, sind Ecuador und Gabun 1992 und 1996 aus der OPEC ausgetreten. Ecuador ist inzwischen wieder beigetreten (Mommer 2000:13ff; MWV 2001:56; Campbell et al. 2003:154; IEA 2007:19f).

einer möglichen Steigerung der Förderung. Dabei übernimmt Saudi-Arabien in der Regel die Rolle eines ‚*swing producers*‘, der steigenden oder fallenden Preisen durch eine Anpassung der Förderung entgegenwirkt (vgl. Mabro 1998:2f; BP 2007a:6; Hermann 2008). Wie oben schon erwähnt liegt ein solcher Anbietermarkt seit der 1998er Ölpreiskrise, als der Spotpreis unter 13 US Dollar pro Barrel sank, vor, unter anderem dank des stetigen Wachstums der Nachfrage aus China. Zugleich aber sind seit den Achtziger Jahren die Überkapazitäten abgebaut worden, so dass eine Kontrolle der Preisobergrenze durch die OPEC nicht mehr möglich erscheint (Mabro 1998:5ff; Kochhar et al. 2005:2; IEA 2005b:64, 2006:39, 2007:19; Correljé & van der Linde 2006:533f; Fattouh 2007:19ff):

„Early in 2004, with oil prices near \$33, OPEC announced a *cut* in production. The good news is that OPEC is no longer in charge of the price of oil. The bad news is that nobody is in charge“ (Deffeyes 2006:33; Hervorhebung im Original).

Eine weitere Einschränkung der politischen Förder- und Preiskontrolle durch die OPEC, die Eröffnung neuer Fördergebiete durch die IOCs wie zum Beispiel in der Nordsee und Alaska, ist aufgrund sinkender Fördermengen in den OECD-Staaten und der insgesamt steigenden Nachfrage inzwischen wieder im Schwinden begriffen. Diese Reaktion auf die Nationalisierungen sowie die damit eng verbundenen Ölkrisen von 1973 und 1979 reduzierte den Anteil des Mittleren Ostens an der Erdölförderung von 37,9 (1974) auf 18,5 Prozent (1985). Im Jahre 2006 lag der Anteil jedoch wieder bereits bei 31,2 Prozent. Neben der Entwicklung der OPEC finden sich weitere, vielfältige politische Einschränkungen der E&P-Aktivitäten. Dabei sind die politisch schwierigen Rahmenbedingungen in anderen wichtigen Förderländern zu nennen, in denen frei nach dem Motto „Hit a major discovery and suddenly the contract is up for renegotiation“ (Deffeyes 2006:xvi) keine Investitionssicherheit für die langfristig angelegten E&P-Aktivitäten gewährleistet ist. Ein prominentes Beispiel dafür ist die Russische Förderung, die über 6,6 Prozent der Reserven verfügt und den Erdölsektor als strategische, staatlich zu kontrollierende Branche betrachtet. In anderen Ländern wie Venezuela (6,6 Prozent) und Bolivien finden sich Nationalisierungstendenzen, in Nigeria (3 Prozent) wiederum beeinträchtigen gewalttätige Auseinandersetzungen die Förderung. Zu guter Letzt verhindern Sanktionen von der UN und den USA teilweise den Zugang zu Ölvorkommen. Infolge von US-Sanktionen sind bzw. waren z.B. Investitionen in die Ölsektoren von Libyen und dem Iran für Unternehmen, die in den USA tätig sind, nicht möglich (Olien 2002:277; Campbell et al. 2003:65; Bozon et al. 2005:95; IEA 2006a:25; Fattouh 2007:3f, 17; BP 2007a:6; BBC News 2007-07-26, 2008-02-01).

Die politischen Rahmenbedingungen des Upstreambereichs machen somit in mehrfacher Hinsicht Investitionen in diesen Bereich unattraktiv bzw. verhindern sie ganz: Erstens stellen die politischen Rahmenbedingungen einen wesentlichen Unsicherheitsfaktor für die langfristig angelegten E&P-Projekte dar, so dass sie die Risikoprämie erhöhen. Zwei-

tens beschränken die nationalen Fördermonopole in den attraktivsten Regionen den Handlungsspielraum der Mineralölkonzerne für weitere E&P-Aktivitäten auf Erdölvorkommen mit höheren Förderkosten und geringerer Reichweite wie dem Nordseeöl. Damit sind die Mineralölkonzerne in ihren gegenwärtigen E&P-Aktivitäten auf höhere Ölpreise angewiesen als die OPEC. Drittens schließlich sorgen diese Fördermonopole dafür, dass die Möglichkeit zu neuen konventionellen Upstream-Projekten mittel- bis langfristig sinkt:

„So werden die vier größten privaten multinationalen Ölgesellschaften immer weniger fähig, neue gewichtige Explorations- und Produktionskonzessionen zu erwerben, es sei denn als Juniorpartner staatlicher Unternehmen“ (Odell 2007:38).

Damit beinhalten die regulativen Strukturen des E&P-Bereichs für die IOCs keine positiven Rückkopplungs-, sondern destabilisierende Veränderungsanreize in Form von *Gegenmachtseffekten*, die von den Handlungen der OPEC-Länder ausgehen und bereits das *control of crude oil*-Modell der IOCs beendeten.

4.2.4 Die Stakeholdererwartungen im E&P-Bereich an die Mineralölkonzerne

Vor dem Hintergrund der soeben dargestellten ökonomischen und politischen Bedingungen treten im Bereich der Upstreamaktivitäten als Stakeholder mit Erwartungen an die IOCs die Erdöl exportierenden sowie die Erdöl importierenden Länder auf. Außerdem richten der Finanzmarkt und Nichtregierungsorganisationen Erwartungen an die E&P-Aktivitäten der internationalen Mineralölkonzerne.

Die Erdöl produzierenden und exportierenden Länder, die zum großen Teil in der OPEC zusammengeschlossen sind, erwarten von den IOCs insbesondere die verlässliche Abnahme des Erdöls (*security of demand*) und die Kooperation mit den heimischen NOCs in Förderprojekten, oft als Juniorpartner. Allerdings wird die Beziehung in vielen Ländern durch die komplexen Beteiligungsregeln getrübt. Ein Ausweichen der IOCs auf Alternativen zum Erdöl ist bei den Exportländern dennoch unbeliebt, da die IOCs als Technologieträger fungieren und notwendige Finanzierungsquellen erschließen (vgl. Kochhar et al. 2005:4; Fattouh 2007:20):

„Die Mineralölindustrie mit ihrem Kerngeschäft Öl und Gas ist letzten Endes auf gute Beziehungen zu den Förderländern angewiesen. Ich glaube nicht, dass es z.B. in Saudi-Arabien gerne gesehen wird, dass die USA in großem Stil auf Bioethanol setzen, womit nahöstliches Öl ersetzt werden soll“ (Elfert, EID, 2007-05-07).

Auf der anderen Seite reagierten die in der OECD organisierten Erdöl importierenden Länder auf die erste Ölkrise mit der Gründung der Internationalen Energieagentur (IEA) im Jahre 1974. Erstes und zentrales Anliegen der IEA-Länder ist das Thema ‚Versorgungssicherheit‘ (*security of supply*), das nicht nur im Sinne der physischen Erdöllieferung, sondern auch des Preises und der volkswirtschaftlichen Konsequenzen zu verstehen ist. Infolgedessen richten die IEA-Länder an die IOCs die Erwartung, neue Ölréserven zu erschließen und bestehende über neue Technologien besser auszubeuten (Keohane

1978:931f; Europäische Kommission 1995:13; Fischer 2000:283; MWV 2001:36f; Fat-touh 2007:20):

„Hydrocarbon resources around the world are abundant and will easily fuel the world [...]. What is badly needed, however, is capital investment in projects to unlock new hydrocarbon resources, be they non-conventional, or in deepwater offshore locations, or in countries where geopolitical factors have restricted investment. [...] Technological progress has always been the key factor [...] We expect that technology will once again drive costs down, providing more attractive returns for investors. Technology will enable new resources to be developed cost-effectively and it will accelerate implementation of new projects“ (IEA 2005a:3).

Die Beziehung zwischen den IOCs und den IEA-Mitgliedern weist aber in beiderlei Richtungen auch Probleme auf: So haben sich die IOCs durch unterlassene Investitionen und hohe Gewinne den Unmut der IEA-Länder zugezogen. Andererseits fordern die IEA-Mitglieder nicht nur mehr E&P-Aktivitäten seitens der IOCs, sondern streben zugleich eine Diversifizierung der Energieträger und Effizienzsteigerungen im Downstreambereich an, um die Erdölabhängigkeit abzumildern (vgl. IEA 2005c; Europäische Kommission 2006a:20ff; Steinmeier 2007:13; Odell 2007:38). Hinzu kommt, dass das Thema ‚Versorgungssicherheit‘ in der EU mit den Themen Klimawandel und CO₂-Emissionen verknüpft wird (Europäische Kommission 1995:9, 2006a:3).

Die Erwartungen – besser: Forderungen – der NGOs an die IOCs sind zweigeteilt: Zum einen kritisieren sie die Erdölförderung als solche und zum anderen die Art und Weise der Förderung. Hinsichtlich der grundsätzlichen Kritik an der Erdölförderung dominiert der Verweis auf die besondere Verantwortung der IOCs für den Klimawandel als Lieferant fossiler Energie (Luhmann et al. 2002:3). Die zweite grundsätzliche Kritik bezieht sich auf die Endlichkeit des Rohstoffes Erdöl und prognostiziert das kurz bevorstehende Überschreiten des Fördermaximums („Peak Oil“). Diese sogenannte „Peak Oil“-Theorie wird von NGOs wie dem *Club of Rome* und der *Energy Watch Group* vorgetragen und wirft den Mineralölunternehmen – wie auch den Erdöl exportierenden Ländern – eine bewusste und unverantwortliche Irreführung der Öffentlichkeit hinsichtlich der Reserven und der Reservenentwicklung vor (Campbell et al. 2003; Davis 2006c:152ff; Zittel & Schindler 2007:16).²⁷ Hinsichtlich der Art und Weise der Förderung kritisieren die NGOs wie zum Beispiel Greenpeace und der WWF die Umweltauswirkungen der E&P-Aktivitäten. Diese Kritik kann, da die Missstände gut sichtbar sind, sehr öffentlichkeitswirksam vorgetragen werden. Dies gilt für Tankerunglücke wie der Exxon Valdez wie auch für das prominente Beispiel der Auseinandersetzung um die Versenkung der Brent Spar-Plattform in der Nordsee (Yergin 2003:785; Greenpeace 2005:4; Bakir 2005:684; Diamond 2006:446f).

²⁷ 1983 erhöhte zum Beispiel der Irak seine Reserven um 11 Gb, 1985 folgte Kuwait mit Reservenzuwachs um 50 Prozent, woraufhin der Irak 1988 seine Reserven wiederum um 53 Gb erhöhte. Diese Erhöhungen zielten auf eine höhere OPEC-Förderquote und stellten damit ‚politische Reserven‘ dar, die nicht durch Neufunde oder durch entsprechend umfangreiche Neubewertungen unterlegt waren (Campbell et al. 2003:176f; Davis 2006c:153; Zittel & Schindler 2007:30).

Fragen der Ölverschmutzung sind somit eine beständig vorgetragene Kritik der NGOs an den internationalen Mineralölkonzernen:

„(D)as Generelle ist natürlich schon, dass die Ölförderung selbst noch sehr stark verschmutzend ist, dass enorme Öleinleitungen noch durch die Ölplattformen reingehen und dass das nicht so sauber ist, wie die Ölkonzerne uns das weis machen wollen. Wir haben Überflüge gemacht und man sieht überall riesige Ölteppiche, die davon ausgehen, in dem Brent Spar Feld und in der Nordost Spar-Region, das ist eine Größenordnung von 14.000 Tonnen pro Jahr, die dort an Öl über ölhaltiges Produktionswasser eingeleitet wird und man findet auch Shell darunter. Wir können das eindrucksvoll mit Bildern und mit Statistiken auch belegen“ (NGO Mitarbeiter 1, 2007-03-28).

Ein zweiter Kritikpunkt an den Fördermethoden betrifft die Frage der Menschenrechte und der Korruption in den Förderländern wie zum Beispiel in Nigeria und dem Sudan. In dieser Frage engagieren sich zum Beispiel *Transparency International* und *Humans Rights Watch*, die ebenfalls die Legitimität der IOCs in den Verbraucherländern über Kampagnen in Frage stellen (Bankhaus Sarasin Mitarbeiter, 2007-05-23).

Die Erwartungen des Finanzmarktes an die IOCs schließlich beziehen sich vor allem auf ihren Erfolg im E&P-Bereich, da dieser die Hauptertragsquelle der IOCs ist (vgl. Exxon-Mobil 2007b:3; Shell 2007b:16f; BP 2007c:6f). Dies belegt auch die Anekdote, dass Analysten BP *ohne* ihr Downstreamgeschäft um 20 Prozent höher bewertet sähen:

„Upstream ist der Bereich, wo in der Mineralölindustrie richtiges Geld verdient wird. Ich habe gerade gelesen, dass Analysten die BP mit einem 20 Prozent höheren Börsenwert einschätzen, wenn die ihr Downstream-Geschäft verkaufen würden“ (Elfert, EID, 2007-05-07).

Die zentralen Erfolgsgrößen für den Finanzmarkt sind dabei die ‚bewiesenen Reserven‘ der Mineralölkonzerne. Das sind nach den Regeln der US-Wertpapieraufsicht SEC²⁸ diejenigen Ölvorkommen, die „mit den derzeit verfügbaren technischen Möglichkeiten wirtschaftlich gewinnbar sind“ (Rempel et al. 2006:37).²⁹ Darauf basierend kann als zweiter Indikator die verbleibende Reichweite der Reserven im Verhältnis zur aktuellen Produktion ermittelt werden (BP 2007a:6). Ein dritter Maßstab des Finanzmarktes ist die ‚reserve-replacement-ratio‘, die Rückschlüsse auf das Vermögen der Mineralölkonzerne ermöglicht, ihre Produktion durch das Erschließen neuer Erdölreserven wieder auszugleichen. Vor allem mit Hilfe dieser Größen sind die Akteure des Finanzmarktes bemüht, einen Blick auf zukünftige Unternehmenserträge zu werfen (Arnott 2004:5f). Letztlich entscheiden die Reserven und die ‚reserve-replacement-ratio‘ damit über den Aktienkurs und die Refinanzierungsmöglichkeiten der Mineralölunternehmen. Dies kam besonders deutlich in den Kursverlusten von Shell nach der Korrektur ihrer Reserven um -20 Pro-

²⁸ Die SEC-Anforderungen an ‚Reserven‘ gelten der Natur der Sache nach nur für Unternehmen, die an US-Börsen gehandelt werden wie die hier untersuchten Mineralölkonzerne. Weitere Organisationen, die Reserven- und Ressourcenangaben publizieren, die nicht dem SEC-Ansprüchen genügen müssen, sind zum Beispiel das Sekretariat der OPEC, welches wiederum auf den Angaben der OPEC-Mitgliedsstaaten bzw. der staatlichen Mineralölunternehmen wie Saudi-Aramco beruht (Mitchell 2004:2).

²⁹ Als ‚Ressourcen‘ bezeichnet man dagegen Vorkommen, die (noch) nicht wirtschaftlich gewinnbar oder die vermutet, aber noch nicht nachgewiesen sind (Rempel et al. 2006:37).

zent im Januar 2004 zum Ausdruck (s. Abbildung 5; HB 2004-01-12; BBC 2007-07-26; Elfert, EID, 2007-05-07):

Abbildung 5: Entwicklung von Royal Dutch Shell A Aktien in New York 2004



Quelle: Shell 2007c.

Allerdings erwarten insbesondere institutionelle Anleger inzwischen auch von den Mineralölkonzernen, dass sie sich progressiver in Fragen des Klimawandels und der erneuerbaren Energien positionieren (Davis 2006d:169f).

Die Akteurserwartungen im E&P-Bereich an die IOCs lassen sich somit wie folgt charakterisieren: Erstens sind die Erwartungen sehr heterogen und teilweise auch widersprüchlich: Von zuverlässigen Geschäftspartnern (Exportländer) über zuverlässige Versorger (Importländer), Klimabewusstsein (Importländer/EU und NGOs), einem verantwortungsvollen Umgang mit der Umwelt und den Menschenrechten (NGOs), einer grundsätzlichen Infragestellung der Förderung (NGOs) bis hin zu einem Ausbau der Erdölreserven, aber unter Berücksichtigung des Klimawandels und der erneuerbaren Energien (Finanzmarkt). Zweitens ist davon auszugehen, dass von diesen heterogenen Erwartungen die der direkten Geschäftspartner, also der Exportländer und des Finanzmarkts, bedeutender sind, als die der Importländer und der NGOs (vgl. Child 1972:8f). Damit ist drittens davon auszugehen, dass die in den Erwartungen des Finanzmarkts und der Exportländer angelegten *Legitimationseffekte* für die E&P-Aktivitäten der IOCs von primärer Bedeutung sind, während die in den Erwartungsstrukturen der Importländer und der NGOs enthaltenen *Delegitimierungseffekte* sekundär sind. Letztere resultieren aus der Kritik an der Preisentwicklung und an den Förderpraktiken, aus den Bedenken der Importländer hinsichtlich ihrer Versorgungssicherheit sowie vor allem aus der grundsätzlichen Kritik am fossilen Energieträger Erdöl als Ursache des Klimawandels.

Viertens schließlich deuten die Erwartungsstrukturen auf einen *Lock-in* seitens der *Importländer* hin, da diese trotz ihrer Kritik an der Importabhängigkeit und trotz der seit den Siebziger Jahren beobachtbaren Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch ihre Erdölabhängigkeit im Verkehrsbereich, die weiterhin bei 98 Prozent

liegt und damit 30 Prozent der Gesamtenergienachfrage ausmacht, nicht reduziert haben (vgl. Europäische Kommission 2005:13, 2006b:6; ExxonMobil 2006a:5; Nylund et al. 2008:23). Dieser *Lock-in* der Importländer dürfte die *Delegitimierungseffekte* weiter verstärken.

4.2.5 Die Handlungsanreize der Explorations- und Produktionsstrukturen

Die oben dargelegten Strukturen des Explorations- und Produktionsbereichs von Erdöl beinhalten für die IOCs somit eine Reihe von Handlungsanreizen (s. Tabelle 6). Diese werden im Folgenden zusammengefasst und daraufhin diskutiert, inwiefern die IOCs die Anreize in ihrem Handeln berücksichtigen – inwiefern also die IOCs durch ihr Handeln die strukturellen Anreize in Rückkopplungseffekte umsetzen, so dass soziale Mechanismen auftreten.

Der erste strukturelle Handlungsanreiz der (a) E&P-Technologie besteht aufgrund der hohen, über lange Zeiträume angelegten Fixkosten in der langfristigen Ausnutzung von *Skaleneffekten* (*economies of scale*) auf der Kostenseite. Die Nutzung dieser Skaleneffekte ist für die IOCs von besonderer Bedeutung, da sie wie bereits einleitend erläutert ihr Geschäftsmodell der vertikalen Integration auf diese ausgerichtet haben. Dass auch heute noch Skaleneffekte im E&P-Bereich für die IOCs die zentrale Rolle spielen verdeutlicht zum Beispiel, dass sie weniger ertragreiche Förderprojekte in der Nordsee und in Texas an kleinere Unternehmen abgeben und ihre Explorationsbemühungen auf große und schwerer zugängliche Vorkommen wie zum Beispiel in der Tiefsee fokussieren (vgl. Olien 2002:277; Osmundsen et al. 2006:105; BP 2007c:33). Dabei nutzen sie zur Erlangung der Skaleneffekte ihr spezielles Technologie-, Planungs-, Finanzierungs- und Durchführungs-Know-how großer E&P-Projekte als Wettbewerbsvorteil (vgl. Antill & Arnott 2002:49f; Davis 2006b:7). Es lässt sich somit festhalten, dass im Bereich der E&P-Technologie die Nutzung von Skaleneffekten als positiver Rückkopplungsmechanismus erfolgt.

Tabelle 6: Die strukturellen Handlungsanreize im E&P-Bereich

	<i>Allokative Strukturen</i>		<i>Autoritative Strukturen</i>	<i>Legitimationsstrukturen</i>
	<i>Technologie</i>	<i>Markt</i>	<i>Regulierung</i>	<i>Erwartung</i>
<i>Positive Rückkopplungsanreize</i>	- Skaleneffekte - <i>Sunk costs</i> -Effekte	- Opportunitätskosteneffekte	- keine	- Legitimationseffekte
<i>Veränderungsanreize</i>	- keine	- keine	- Gegenmachtseffekte	- Delegitimierungseffekte

Der zweite strukturelle Handlungsanreiz der E&P-Technologie besteht infolge der hohen Aufwendungen in *sunk costs*-Effekten – insbesondere bei kürzlich errichteten Förderanlagen. Dies trifft insbesondere die IOCs, da diese seit dem Jahr 2000 erneut im E&P-Bereich investieren, also am Beginn eines neuen Investitionszyklus stehen, und dabei

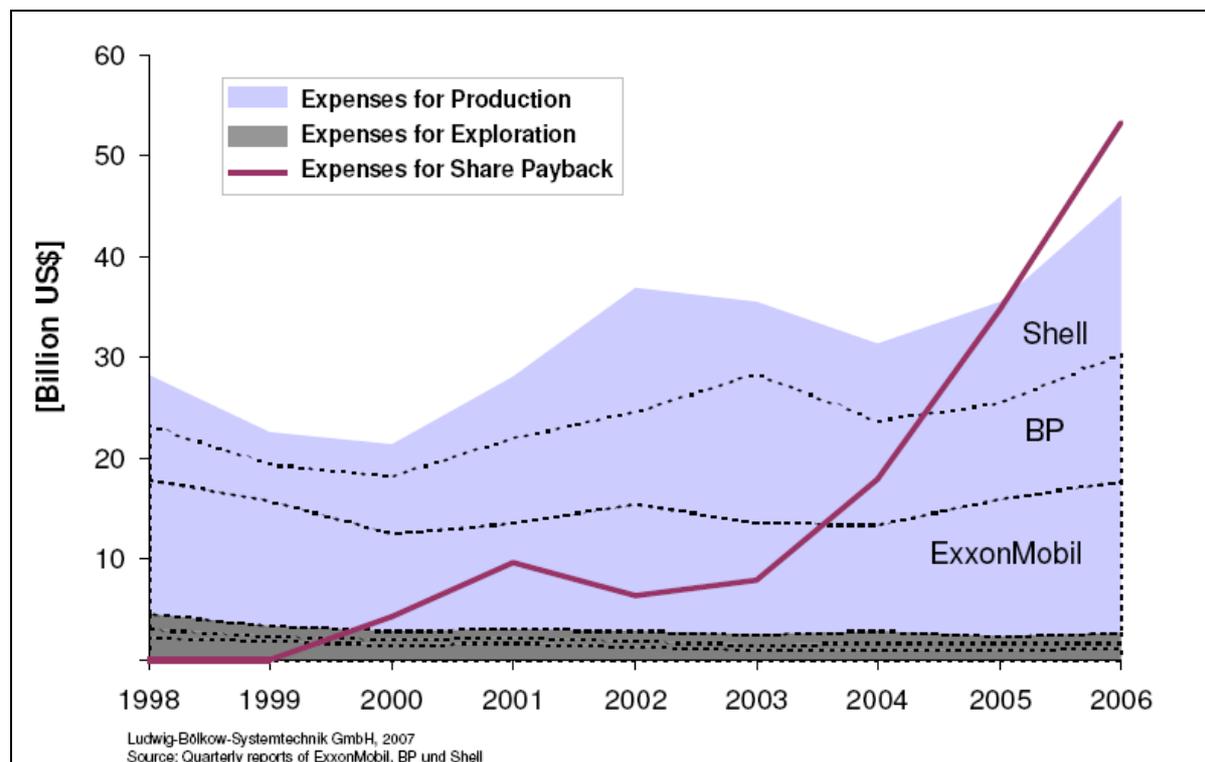
insbesondere in den Ausbau ihrer bestehenden Förderung investieren (s. Abbildung 6; vgl. Zundel et al. 2005:27; Zittel & Schindler 2007:97ff; Ernst & Young 2007; ExxonMobil 2007b:3; Shell 2007b:19; BP 2007c:33ff).

Die (b) derzeitige Marktstruktur des E&P-Bereichs, also die Erlösseite, ist ein globaler Anbietermarkt, in dem eine steigende Nachfrage einem mittelfristig knappen Angebot gegenübersteht und die Preissteigerungen auf über 100 US Dollar pro Barrel begründet. Da die IOCs ihre meisten E&P-Projekte eher konservativ planen – in der Vergangenheit mit einem historischen Durchschnittsölpreis von 20 bis 25 US Dollar –, ist dieser Markt und eine fortgesetzte E&P-Aktivität somit von der Rendite her für sie höchst attraktiv (vgl. Kochhar et al. 2005:6; Bozon et al. 2005:99f). Die Investition in alternative Projekte ist deshalb mit dem Risiko hoher entgangener Gewinne verbunden, so dass die Marktstruktur einen ‚*Opportunitätskosteneffekt*‘ nahe legt. Dafür dass die IOCs diesem Handlungsanreiz Folge leisten spricht beispielsweise Shells Investitionsverhalten im Jahre 2006: In diesem Jahr betrugen die Investitionen in den E&P-Bereich über 69 Prozent von Shells gesamten Investitionen, während zugleich nur 1,23 Prozent in andere Segmente jenseits des Kerngeschäfts Öl und Gas investiert wurden (Shell 2007b:19).

Einer der Hintergründe des Investitionsschwerpunktes in der Erdölförderung dürften die Handlungsanreize der (c) regulativen Strukturen des E&P-Bereichs sein, die rechtliche Unsicherheiten, Nationalisierungen und nationale Fördermonopole in den wirtschaftlich attraktivsten Regionen beinhalten. Mit den regulativen Strukturen kommen somit erstmals Veränderungsanreize in Form von *Gegenmachtseffekten* ins Spiel, die das ‚*control of crude oil*‘-Modell der IOCs bereits beendet haben. Auf die OPEC-Revolution, die Einschränkung ihres E&P-Spielraums und die generelle Unsicherheit der politischen – und damit auch ökonomischen – Rahmenbedingungen reagierten die IOCs mit einer Umstellung ihrer Unternehmensplanung von festen Plänen hin zu Szenarienplanung (Grant & Cibirin 1996:181f; Cornelius et al. 2005:95f). Vor allem aber reagierten sie auch mit einer Risikostreuung, die sich in regionalen und horizontalen Diversifizierungen sowie in E&P-Partnerschaften äußerte: So investierten die IOCs in regional diversifizierte E&P-Projekte wie zum Beispiel in der Nordsee, in Afrika und Alaska sowie in verwandte Upstreamprojekte wie die Erdgasförderung und den Abbau von Ölsanden, wobei in den Nicht-IEA-Mitgliedsländern in der Regel NOCs an den Projekten beteiligt sind. Die Diversifikation in andere Bereiche wie Bergbau und Kernenergie wurde in den Achtziger Jahren wieder rückgängig gemacht, so dass es eher zu einer Modifikation in den E&P-Aktivitäten der Mineralölkonzerne kam anstatt zu einem Wechsel in andere Bereiche. Seit Ende der Neunziger Jahre erfolgte zudem eine Konsolidierung der Branche durch Merger, zum Beispiel von Exxon und Mobil (1998) und BP mit Amoco (1998) und ARCO (1999) (Grant & Cibirin 1996:170ff; Martin 1996:83; Yergin 2003:741; Levy & Kolk 2002:284; Odell 2007:38). Ihre Marginalisierung im Bereich der attraktiven konventionellen Erdölförderung konnten sie damit nicht verhindern, so dass der Anteil der verbliebenen fünf IOCs

ExxonMobil, Royal Dutch Shell, BP, Chevron/Texaco und Total an den weltweiten Reserven im Jahre 2006 nur noch 2,7 Prozent betrug – was immerhin bei dem von der IEA (2005b:64) angenommenen Ölpreis von 35 US Dollar pro Barrel einem Wert von 1.133.475 Millionen US Dollar entspricht (OPEC 2007:121; Zittel & Schindler 2007:97). Die Handlungsanreize der (d) Legitimationsstrukturen, also die an die E&P-Aktivitäten der IOCs gerichteten Erwartungen, stellen sich widersprüchlich dar: Einerseits finden sich *Legitimitätseffekte* für die E&P-Aktivitäten der IOCs, die vor allem in den Erwartungsstrukturen des Finanzmarktes angelegt sind und andererseits *Delegitimierungseffekte* infolge der eher kritischen Haltung der Importländer und der NGOs, die seitens der Importländer zudem durch einen *Lock-in* auf Erdöl im Verkehrsbereich aufgeladen zu sein scheinen. Von diesen widersprüchlichen Erwartungen scheinen die des Finanzmarktes für die Mineralölkonzerne zentral zu sein, da ihre in Abbildung 6 aufgezeigten Aktienrückkäufe dem Shareholder Value entsprechen:

Abbildung 6: Investitionen der IOCs im E&P-Bereich



Quelle: Zittel & Schindler 2007:99.

Zudem bringen die Aktienrückkäufe die fehlenden Investitionsmöglichkeiten im E&P-Bereich bei gleichzeitig hohen Einnahmen zum Ausdruck und dient über die Erhöhung des eigenen Aktienkurses auch dem Schutz vor feindlichen Übernahmen (Yergin 2003:741; Odell 2007:38; Zittel & Schindler 2007:99; Ernst & Young 2007). Auf die Delegitimierungseffekte infolge des Hinweises der Importländer und der NGOs auf die Importabhängigkeit und die Endlichkeit der Vorkommen reagieren die IOCs über ihren geschlossenen Hinweis auf die ausreichende Reichweite der Erdölvorkommen, ihre Diversifizierungs-

maßnahmen sowie auf ihre technologischen Entwicklungen im E&P-Bereich. Dem Vorwurf der Umweltzerstörung, der Menschenrechtsprobleme in den Förderländern und des Klimawandels begegnen die IOCs unterschiedlich: So gibt es seit BPs Ausstieg aus der gegen Kyoto gerichteten ‚*Global Climate Coalition*‘ im Jahre 1997 einen Trend hin zur Anerkennung des Klimawandels und unternehmensinternen CO₂-Handel. Hinzu kommen die verstärkte Kommunikation mit den NGOs – wieder insbesondere BPs, gefolgt von Shell, TOTAL und am wenigsten Exxon –, die Publikation von Nachhaltigkeitsberichten und die Betonung der unternehmerischen sozialen Verantwortung (vgl. Levy & Kolk 2002:285ff; Pettigrew & Whittington 2003:182; Davis 2006d; Shell 2006d:1; Voß 2007:108f; NGO Mitarbeiter 1, 2007-03-28):

„Die Aktionäre gucken übrigens auch darauf, ob ein Unternehmen nachhaltig arbeitet. Wir sind auch mit Nachhaltigkeitsindices an der Börse, das können sie dann auch im Bericht sehen, notiert und die Aktionäre interessieren sich eben auch dafür und üben eben auch einen Einfluss mit aus, ob ein Unternehmen auch in Zukunft noch gut aufgestellt ist. D.h. also ob es nachhaltig denkt. Das ist natürlich auch ein ganz starker Einflussfaktor“ (Mineralölbranche 1 Mitarbeiter, 2007-02-26).

Die IOCs reagieren also in unterschiedlichem Grade auf die Delegitimierungseffekte, indem sie versuchen, den negativen Erwartungsstrukturen durch kommunikative Maßnahmen zu begegnen und dies auch zur eigenen Profilierung nutzen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Handlungsanreize der E&P-Strukturen, die auf positive Rückkopplungseffekte hinauslaufen, von den IOCs aufgegriffen werden, so dass es zu positiven Rückkopplungsmechanismen kommt. Die auf Veränderungen hinauslaufenden Handlungsanreize, die aus dem Handeln der OPEC (Gegenmachtseffekte) und den Erwartungen der Importländer und NGOs (Delegitimierungseffekte) resultieren, werden dagegen von den IOCs in einer den Pfad verteidigenden Art und Weise aufgenommen: Die Gegenmachtseffekte durch ein auf neue Förderstätten ausweichendes Verhalten und die Delegitimierungseffekte vor allem mit Hilfe einer verstärkten Kommunikation. Insgesamt sprechen die strukturellen Handlungsanreize somit überwiegend für eine (modifizierte) Fortsetzung und Ausweitung der E&P-Aktivitäten.

4.3 Raffinerie – Kuppelproduktion, schrumpfende Märkte und Regulierung

Vom Bohrloch aus erfolgt nach einem logistischen Zwischenschritt³⁰ die Verarbeitung des Erdöls in der Raffinerie. Die Raffinerieebene ist eine zentrale Schaltstelle „des Mineralölflusses“ (MWV 2003a:3), da sie bestimmt, in welcher Zahl und in welcher Qualität die Erdölprodukte auf den Markt kommen. Aufgrund der Vielzahl der gewonnenen Erdölprodukte sowie infolge der guten Transporteigenschaften von Erdöl findet die Verarbeitung

³⁰ Dieser Zwischenschritt beinhaltet den Transport und die Zwischenlagerung des geförderten Erdöls über Pipelines, Tanker und / oder Tanklager in die Raffinerien. Der Transportaspekt wird bereits bei der Entscheidung des Produktionsstandortes Upstream wie auch Downstream in Form der Anbindung und als Kostenfaktor berücksichtigt.

hauptsächlich direkt in den Verbrauchermärkten statt (MWV 1996a:11). Deshalb konzentriert sich die Analyse der Strukturen und Handlungsanreize dieser Ebene auf den deutschen Kraftstoff-, *leadmarket*¹ und sein europäisches Umfeld.

4.3.1 Raffinerietechnik – Kuppelproduktion von Benzin und Diesel

In der Raffinerie wird das Erdöl in den drei Verarbeitungsschritten der Erdöltrennung (Destillation), der Umwandlung (Konversion) und der Nachbehandlung bzw. Veredelung in eine Vielzahl kleinerer Kuppelprodukte aufgefächert. Im ersten Verarbeitungsschritt der Erdöltrennung (atmosphärische und Vakuum-Destillation) fällt ein Mix von Kuppelprodukten an – Gase, Benzine, Mitteldestillate und Rückstände –, der hinsichtlich seiner Zusammensetzung und seiner Qualität an die Nachfrage des jeweiligen Marktes angepasst werden muss (MWV 1996a:18). Dies kann in engen Grenzen durch die Verwendung bestimmter – zum Beispiel leichter – Erdöle sowie durch die Verschiebung der Siedegrenzen geschehen. Leichte Erdöle sind jedoch teurer als schwere und eine Verschiebung der Siedegrenzen verändert die Verteilung zwischen den Destillationsprodukten nur um 3 bis 5 Prozent (MWV 2003a:23). Deshalb werden zur quantitativen Ausbeuteverbesserung eine Konversion und zur qualitativen Verbesserung eine Nachbehandlung durchgeführt.

Tabelle 7: Konversionsanlagen

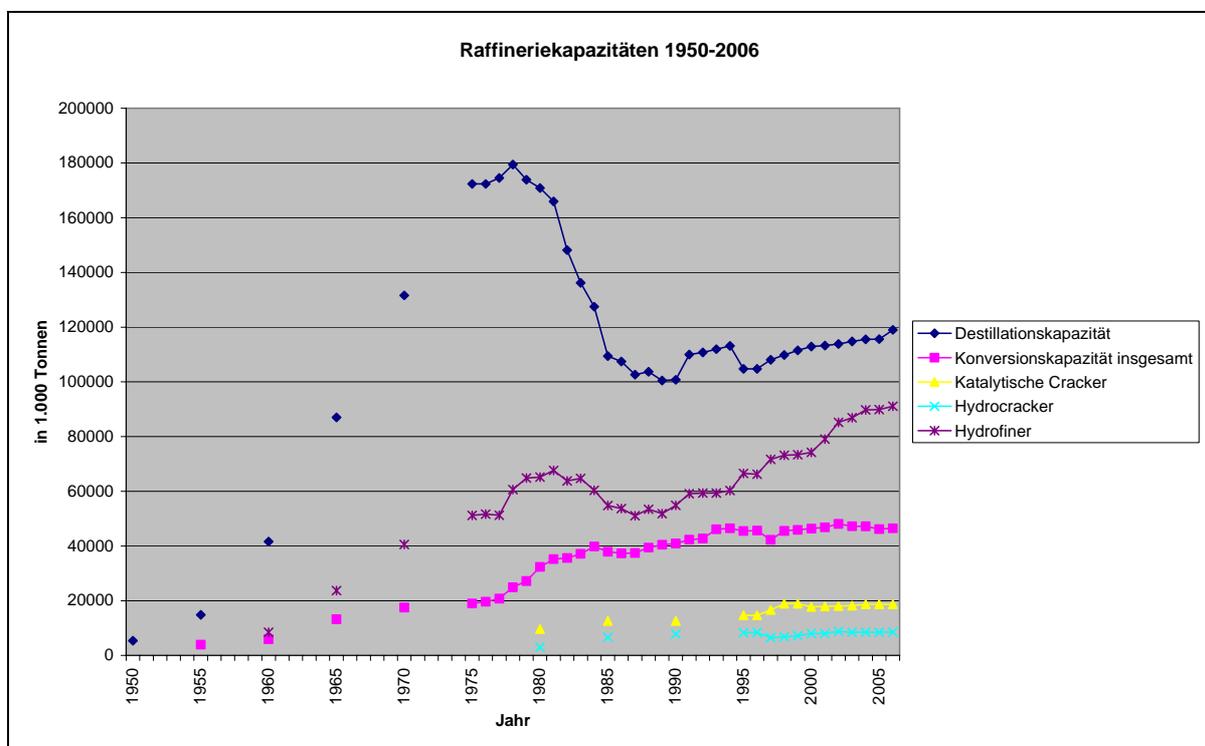
	<i>Visbreaker</i>	<i>Thermischer Cracker</i>	<i>Coker</i>	<i>Katalytischer Cracker</i>	<i>Hydrocracker</i>
Verfahrensmerkmale	Mildes thermisches Cracken	Mittleres thermisches Cracken	Scharfes thermisches Cracken	Scharfes katalytisches Cracken	Scharfes katalytisches Cracken in Wasserstoffatmosphäre
Einsatzprodukt	Top-Rückstand ²⁾	Vakuurrückstand ⁴⁾	Vakuurrückstand ⁴⁾	Vakuumdestillat ³⁾	Vakuumdestillat ³⁾
Ø Ausbeute ¹⁾					
Gase	2%	8%	7%	21%	Zwischen 18 und 7%
Benzine	5%	12%	20%	47%	55 und 28%
Mitteldestillate	13%	35%	27%	20%	15 und 56%
HS-Komponenten	80%	45%	17%	7%	12 und 11%
Koks	-	-	29%	5%	-
Nachbehandlung Konversionsprodukte	Ja	Ja	Ja	Teilweise	Nein
Anlagenflexibilität	Gering	Gering	Gering	Mittel	Hoch
Besonderheiten	Senkt Viskosität schwerer Rückstandsöle		Erzeugt Petrolkoks ⁵⁾	Teilweise Entschwefelung	Hohe Betriebskosten; ungünstige CO ₂ -Bilanz wg. Wasserstoffverbrauch
¹⁾ Bezogen auf das Einsatzprodukt (Durchschnittsangaben) ²⁾ Destillationsrückstand, der bei der atmosphärischen Destillation von Rohöl anfällt ³⁾ Ergebnis der Vakuumdestillation ⁴⁾ Destillationsrückstand (Bodenprodukt) der Vakuumdestillation ⁵⁾ Wird zur Energieerzeugung in der Raffinerie verbrannt (MWV 2003a:26)					

Quelle: MWV 2003a:28; eigene Darstellung.

Im Konversionsschritt werden die langen, schweren Kohlenwasserstoffketten in leichte Mitteldestillate (Dieselkraftstoff und leichtes Heizöl) und vor allem in Benzine umgewandelt (MWV 2003a:23; ExxonMobil 2003:S4). Die dafür verwendeten Spaltungsverfahren des thermischen, katalytischen Crackens sowie des Hydrocrackens unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich verwendbarer Edukte, sondern auch in der Flexibilität der Anlage, ihren Betriebskosten und ihrer CO₂-Bilanz (vgl. Tabelle 7).

Während bei den meisten Konversionsverfahren das Verhältnis in der Ausbeutestruktur der Kuppelprodukte konstant ist, ermöglicht der Hydrocracker eine größere Bandbreite in der Ausbeutestruktur und erübrigt außerdem eine weitere Nachbehandlung. Deshalb ist er das „technisch eleganteste und flexibelste Konversionsverfahren“ (MWV 2003a:27). Er ist aber zugleich von den Investitionen und den Betriebskosten her auch das teuerste Konversionsverfahren, unter anderem weil er einen zusätzlichen Wasserstoffeinsatz und gegebenenfalls eine Anlage zur Wasserstoffproduktion erfordert: So kostete zum Beispiel 1995 die Installation eines katalytischen Crackers mit einer Jahreskapazität von 1 Million Tonnen rund 400 Millionen DM, die eines Hydrocrackers dagegen 800 Millionen DM (MWV 1996a:20; Picard & Winkler 2006:14). Ein zweiter Nachteil des Hydrocrackers ist, dass er eine technologisch spätere Entwicklung ist und somit die anderen Konversionstechnologien früher in den deutschen Raffinerien installiert wurden (s. Abbildung 7).

Abbildung 7: Deutsche Konversions- und Entschwefelungskapazitäten 1950-2006



Quelle: EID 2007:57, MWV 2003b:10, 42, 2005:52, 2006d:31f, 2007:30f; eigene Darstellung.

Ein dritter wichtiger Nachteil des Hydrocrackers ist, dass er mit den zuvor etablierten und wesentlich zur Raffineriemarge beitragenden katalytischen Crackern um denselben ‚Feedstock‘ aus der Vakuumdestillation konkurriert (MWV 1996a:27f; IEA 2006a:47).

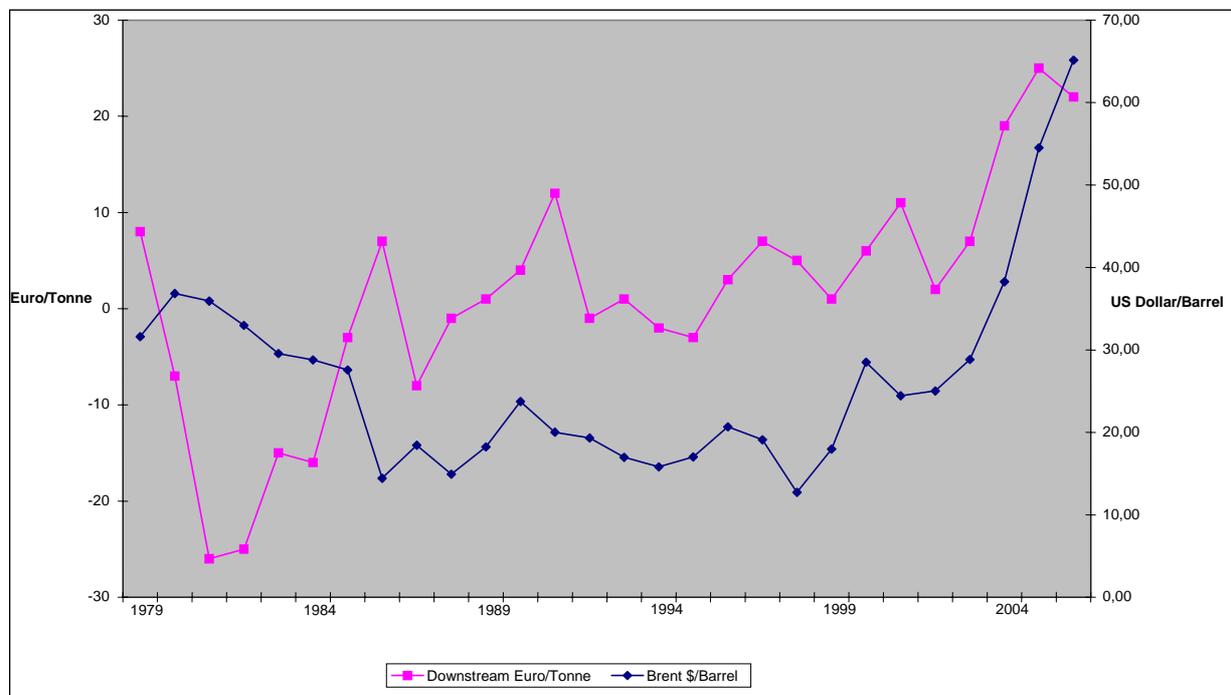
In der Nachbehandlung wird im Reformier die Oktanzahl niedrigoktanigen Benzins zwecks verbesserter Klopfestigkeit – also verringerter Selbstzündung – auf 95 bis 100 Oktan erhöht. Dafür werden Naphthene und gradkettige Paraffine in Aromate, also in ringförmige Kohlenwasserstoffe mit Einfach- und Doppelbindungen unter Freisetzung von Wasserstoff umgewandelt. Dieser Wasserstoff wiederum wird im Hydrofiner genutzt, um den Schwefelgehalt des jeweils eingesetzten Edukts (Flüssiggas, Benzin, Diesel, Heizöl) auf bzw. unter die gesetzlich zugelassene Menge von 10 ppm zu senken (MWV 1996:22f, 2003a:30f). Wie die Abbildung 7 zeigt, wurden in Deutschland seit den Siebziger Jahren umfangreiche Entschwefelungskapazitäten aufgebaut, wobei diese ebenfalls in Konkurrenz zum Hydrocracker stehen, da letzterer eine separate Entschwefelung überflüssig macht. Letzter Schritt in der Nachbehandlung ist die Mischung der Produkte Benzin und Diesel und ihre Versetzung mit Additiven, um angesichts unterschiedlicher Erdölsorten und unterschiedlicher Raffinerieverfahren eine gleich bleibende Produktqualität (Sommer- und Winterqualität) sicher zu stellen. Die Additive vermeiden beim Benzin Ablagerungen und die Reaktion mit Luftsauerstoff und beim Diesel Schaumentstehung, Kälteunbeständigkeit und stärkere Geruchsbildung (MWV 2003a:32). Im Kraftstoffbereich werden in Deutschland neben Diesel die drei Benzinsorten Normal, Super und Super Plus produziert.

Wie die E&P-Technologie geht die Raffinerietechnologie mit hohen Fixkosten einher, die eine hohe Auslastung erforderlich machen und somit die Erzielung von *Skaleneffekten* (*economies of scale*) nahe legen (MWV 2001:62; Bozon et al. 2005:102f). Hinzu kommen ebenfalls wie im E&P-Bereich mögliche *sunk-costs-Effekte* infolge der hohen Aufwendungen. Neu dagegen sind auf der Raffinerieebene die *Synergieeffekte* (*economies of scope*), die sich aus der Kuppelproduktion von Benzin und Diesel sowie aus der Verzahnung der einzelnen Prozessschritte ergeben wie zum Beispiel der Verwendung des im Benzinreformer gewonnenen Wasserstoffs in der Entschwefelungsanlage (vgl. Zundel et al. 2005:24f). Zugleich gehen diese Synergieeffekte aber auch mit einer Unflexibilität in der Ausbeutestruktur und den aufeinander abgestimmten Prozessschritten der Raffinerien einher. Grundsätzlich besteht dabei hinsichtlich der Ausbeutestruktur eine Möglichkeit zur Flexibilisierung durch die Verwendung von Hydrocrackern. Allerdings ist dies die teuerste und energieintensivste Konversionsanlage, die zudem mit den zuvor etablierten Konversions- und Nachbehandlungstechnologien um Feedstock und Wasserstoff (katalytischer Cracker und Hydrofiner) konkurriert.

4.3.2 Marktentwicklung – Schrumpfende Märkte, wechselnde Nachfragemuster

Traditionell weisen die Raffineriemargen eine negative Korrelation mit den Ölpreisen auf, so dass der Raffineriebereich die ökonomische Funktion erhält, sinkende Ölpreise aufzufangen und in Zeiten hoher Preise ein sicherer Abnehmer des geförderten Öls zu sein (Brinded 2005:3). Diese negative Korrelation findet sich in den deutschen Downstreamergebnissen³¹ bis 1999. Seit diesem Zeitpunkt aber liegt ein gleichgerichteter Wachstumstrend vor, so dass heute nicht nur der Upstreambereich sondern zugleich *auch* der Raffineriebereich hoch profitabel ist (s. Abbildung 8; EID 2006-05-08; BBC 2007-07-26). Die tiefroten Zahlen des deutschen Downstreambereichs von 1981 bis 1985 und 1987 sowie die über weite Strecken marginalen Ergebnisse weisen allerdings darauf hin, dass dieser Geschäftsbereich über lange Zeit wenn überhaupt allein aufgrund seiner Funktion als sicherer Abnehmer des Upstream produzierten Erdöls Sinn machte.

Abbildung 8: Downstreamergebnis der deutschen Mineralölindustrie vor Steuern 1979-2006 im Vergleich zum Ölpreis der Sorte Brent



Quellen: EID 2007:63, BP2007b; eigene Darstellung.

Die heutige Profitabilität und die vorhergehenden Verluste des Raffineriebereichs müssen vor dem Hintergrund von vier Entwicklungen betrachtet werden: Die sinkende Nachfrage nach Raffinerieprodukten, Veränderungen in der Nachfragestruktur, die Bedeutung des Exports sowie die Markteinführung von Substitutionsprodukten.

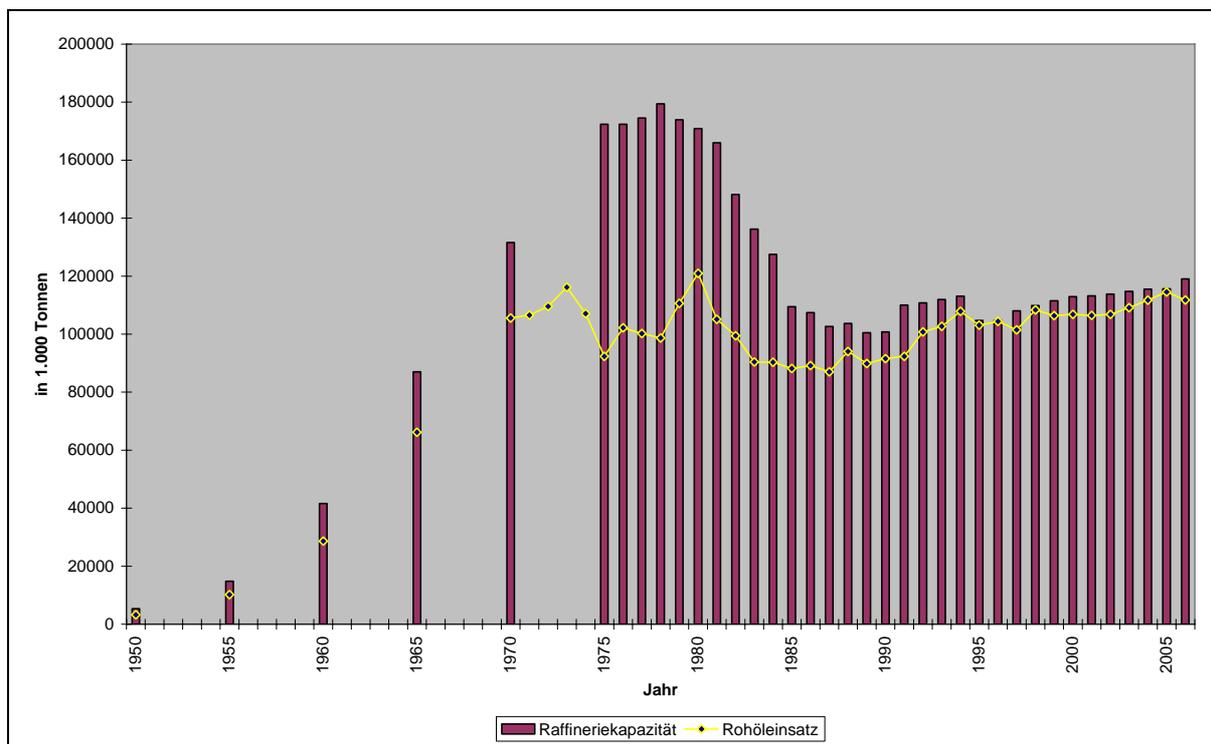
³¹ Die Downstreamergebnisse der Mineralölunternehmen umfassen sowohl das Raffinerie- wie auch das Tankstellengeschäft. Dennoch sind sie ein guter Indikator für die negative Korrelation zwischen dem E&P- und dem Raffineriebereich, da der Raffineriebereich in Deutschland den größten Beitrag zum Downstreamergebnis leistet (EID 2006-05-08).

Die erste Entwicklung ist der allgemeine Nachfragetrend. Wie bereits beim E&P-Bereich angesprochen (s. 4.2.2) wandelte sich die deutsche wie auch die europäische Nachfrage im Gefolge der Ölkrisen von 1973 und 1979 von einem Wachstums- in einen stagnierenden, langfristig leicht zurückgehenden Markt. Aufgrund von zuvor geplanten Kapazitätsausweitungen und der hohen jährlichen Betriebskosten von Raffinerien entstanden dadurch im Raffineriebereich teure Überkapazitäten³², deren Kosten aufgrund der Importmöglichkeiten fertiger Raffinerieprodukte aus dem Raum Amsterdam-Rotterdam-Antwerpen nicht weiter gegeben werden konnten (MWV 2003a:6f, 10):

„Für die Raffinerien gilt letztlich der Rotterdamer Markt: Was in Rotterdam an Notierungen da ist plus Frachtkosten ist der Raffinerieabgabepreis in Deutschland. D.h. die süddeutschen Raffinerien können in der Regel ihre Produkte etwas teurer abgeben als die norddeutschen. [...] Und der Wettbewerb ist da eben, da sich die freien Tankstellen bei den Raffinerien in Deutschland oder direkt am Rotterdamer Markt bedienen können. Letztlich entsteht so ein gleiches Preisniveau“ (Mineralölbranche 3 Mitarbeiter 1, 2007-02-27).

In der Folge wurden in den Achtziger Jahren die Überkapazitäten abgebaut, so dass ab 1987 wieder der angestrebte Auslastungsgrad über 85 Prozent erreicht wurde und seit 1996 konstant über 96 Prozent liegt (s. Abbildung 9; MWV 2003a:10ff; BP 2007a:11, 18):

Abbildung 9: Deutsche Raffineriekapazitäten und Rohöleinsatz 1950-2006



Quelle: EID 2007:57, 62; MWV 2003a:10, 42; eigene Darstellung.

³² Der Terminus ‚Raffineriekapazität‘ gibt an, wie groß die Destillationskapazität ist, also „wie viel Rohöl [...] pro Zeiteinheit in der Destillationsanlage [...] verarbeitet werden kann“ (MWV 2003a:10). ‚Überkapazität‘ bezeichnet entsprechend die Differenz zwischen der Destillationskapazität und der tatsächlichen Auslastung der Raffinerie.

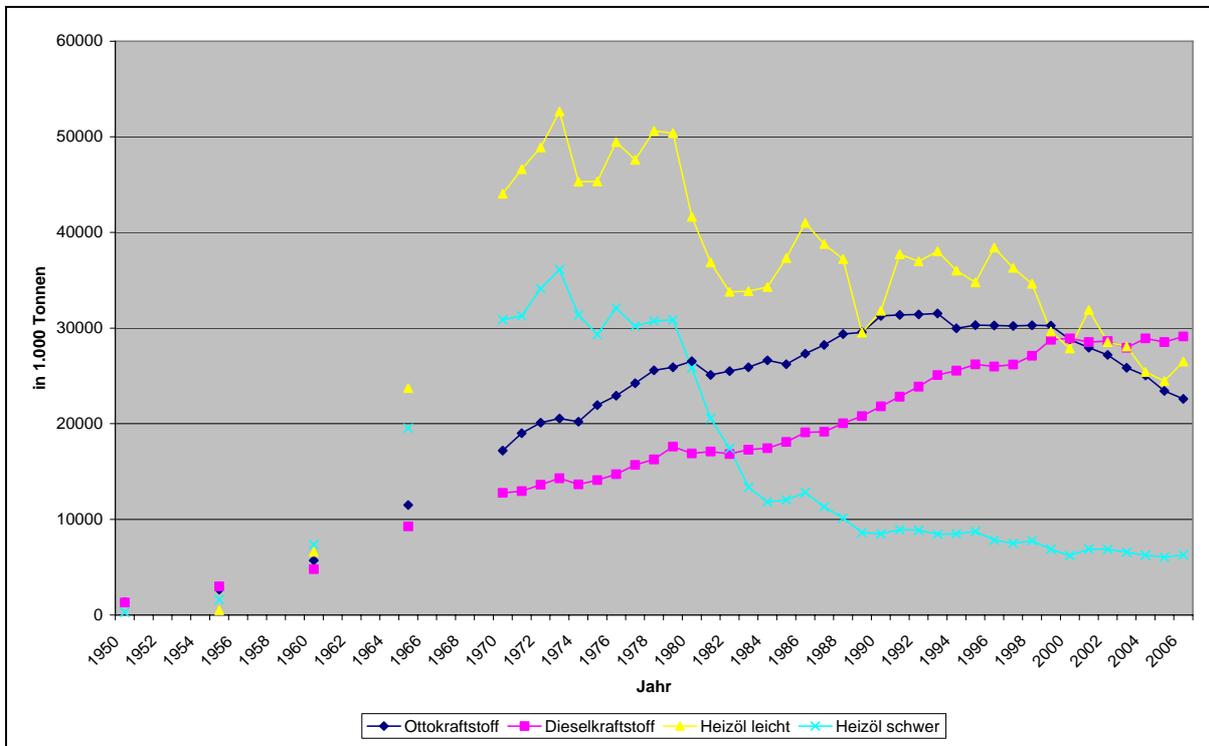
Das Problem der Überkapazitäten scheint derzeit zwar gelöst zu sein, ist aber mittelfristig durchaus weiter virulent: So werden zum einen angebotsseitig weltweit steigende Raffineriekapazitäten durch neue Raffinerien im Nahen und Fernen Osten und einen „capacity creep“ (IEA 2006a:44) in Europa und den USA erwartet, was sich negativ auf die deutschen Export-Import-Möglichkeiten auswirken dürfte (ebd. 49; MWV 2003a:11f; EID 2006-07-17; BP 2007a:18; OPEC 2007:26, 28). Zum anderen entwickelt sich die deutsche Nachfrage rückläufig: Während sie bereits zwischen 1998 und 2006 um 10 Prozent sank, wird für den Zeitraum 2006 bis 2020 ein weiterer Rückgang um 13 Prozent prognostiziert (ExxonMobil 2003:2; IEA 2006b:11; BP 2007a:11; Mineralölbranche 3 Mitarbeiter 1, 2007-02-07).³³

Die zweite Entwicklung betrifft die Nachfragestruktur, die sich zweimal wandelte: So musste zunächst in den Siebzigern und Achtzigern die Produktion von schwerem Heizöl zurückgeführt und die von Benzin aufgrund der wachsenden (Otto-)Motorisierung ausgebaut werden. Die Anpassung an diese divergierenden Tendenzen in der Nachfragestruktur wurde durch den Zubau von katalytischen Crackanlagen erreicht. Mit Hilfe dieser Konversionsanlagen konnte die Produktionsstruktur zugunsten von Ottokraftstoff abgeändert werden: So wuchs der Benzinanteil einer typischen Raffinerieproduktion von 20 auf 30 Prozent, während zugleich der Anteil von schwerem Heizöl von 32 auf 10 Prozent fiel. Diese Anpassung der Ausbeutestruktur erfolgte parallel zu dem oben angesprochenen Abbau der Destillationsüberkapazitäten (MWV 2003a:6f, 10; ExxonMobil 2003:S4; Strobel & Roedenbeck 2006). Seit den Neunzigern verschiebt sich allerdings die Nachfragestruktur von neuem, diesmal zuungunsten von Otto- und zugunsten von Dieselmotoren (vgl. Abbildung 10). Ursachen für diese erneute Verschiebung in der Nachfragestruktur sind auf der Ottokraftstoffseite die steigende Effizienz der Ottomotoren in Kombination mit einer seit 1998 sinkenden Zahl von neu zugelassenen Benzinern, was sich zeitversetzt seit 2002 in einem schrumpfenden Gesamtbestand der ottobasierten Fahrzeugflotte niederschlägt (MWV 2006a:2f, 2006b:38; Strobel & Roedenbeck 2006). Dem steht ein seit 1984 steigender Absatz von Dieselmotoren gegenüber, der aus dem Zuwachs des dieselbasierten Transportgewerbes, vor allem aber auch aufgrund der „dieselification“ (Cowan et al. 2003:186) des deutschen Pkw-Bestandes resultiert (Jürgens & Meißner 2005:135ff; Strobel & Roedenbeck 2006; CONCAWE 2007:9). In der Konsequenz wurde in Deutschland im Jahre 2000 erstmals mehr Diesel als Benzin verbraucht. Entsprechend der Entwicklung der deutschen Fahrzeugflotte wird erwartet, dass die Ben-

³³ Die Nachfrageentwicklung im gesamteuropäischen Markt nach Mineralölprodukten verlief uneinheitlich: Insgesamt stieg die Nachfrage in OECD-Europa zwischen 1990 und 2005 um knapp 13 Prozent und betrug damit 22 Prozent des gesamten OECD-Wachstums und 31 Prozent der OECD-Nachfrage. Dabei taten sich prozentual vor allem der irische (111 Prozent), der polnische (64 Prozent) und der spanische (58 Prozent) und anteilmäßig am gesamteuropäischen Wachstum der spanische (34 Prozent) und der niederländische (16 Prozent) Markt hervor. Allein in Italien war die Nachfrage mit -7 Prozent ähnlich rückläufig wie in Deutschland (IEA 2006b:14). In demselben Zeitraum sank die Raffineriekapazität Europas inklusive der ehemaligen Sowjetunion um 7 Prozent, in ‚Westeuropa‘ stieg sie um 4 Prozent (OPEC 2007:26; vgl. MWV 2003a:44f; BP 2007a:18).

zinnachfrage zwischen 2004 und 2020 weiter um 33 Prozent sinken wird, während die Dieselnachfrage nach einer anfänglichen Steigerung bis 2010 im selben Zeitraum um 10 Prozent zurück geht (ExxonMobil 2003:S4; MWV 2006a:2f, 2006b:36ff).

Abbildung 10: Inlandsabsatz von Mineralölprodukten 1950 bis 2006



Quelle: EID 2007:65; eigene Darstellung.

Dieselbe Entwicklung gilt auch für die Europäische Union, nicht aber für die anderen beiden Triademärkte USA und Japan. Dabei liegt in einigen EU-Mitgliedsländern wie etwa Frankreich der Anteil von Diesel-Pkw teilweise deutlich höher als in Deutschland (Kavalov & Peteves 2004:6; Jürgens & Meißner 2005:136f; IEA 2006a:47, 58f). Zur Befriedigung dieses Dieseltrends wurde bisher die Produktion von leichtem Heizöl gesenkt (MWV 2007a:11). Eine solche Umwidmung des einen Mitteldestillats in ein anderes löst jedoch nicht das Problem der sinkenden Nachfrage nach dem Kuppelprodukt Benzin. Eine größtenteils innereuropäische Befriedigung des Dieseltrends über eine Umrüstung der Konversionsanlagen, zum Beispiel zugunsten von mehr Hydrocrackern, würde jedoch laut einer CONCAWE-Studie von 2007 in den nächsten zehn Jahren 25 Milliarden Euro erfordern (ebd. IV, 21f; vgl. ExxonMobil 2003:S4; EID 2006-09-18). Eingedenk der oben dargelegten oft negativen Margenentwicklung sowie der Konkurrenz des Hydrocrackers mit bereits installierten katalytischen Crackanlagen und Entschwefelungsanlagen erscheint eine solche Lösung des Ungleichgewichts zwischen Angebot und Nachfrage von Otto- und Dieselmkraftstoff zunächst unwahrscheinlich. Damit wird mittelfristig auch die Inflexibilität in der Ausbeutestruktur beibehalten, die bei der Steigerung eines Produktes die eines anderen – unerwünschten – zwangsläufig nach sich zieht.

Die dritte Entwicklung ist für die gegenwärtige Lösung des Ungleichgewichts zwischen der inländischen Raffineriestruktur und der inländischen Nachfrage und damit für die gute Entwicklung der Raffineriemargen verantwortlich: Der Wandel Deutschlands zu einem Nettoexporteur von Benzin – aber auch von Diesel (EID 2006-07-03; MWV 2006a:3f). Der Großteil des Benzins geht dabei in den Ottomarkt USA, während Diesel nach Frankreich, Österreich und Polen, also in Länder mit einem noch höheren Anteil an Dieselfahrzeugen exportiert wird. Gesamteuropäisch gesehen ergibt sich ein Nettoimport auf der Seite der Mitteldestillate, die vor allem aus den unausgelasteten Raffinerien der ehemaligen Sowjetunion stammen (ExxonMobil 2003:S4; Kavalov & Peteves 2004:6, 13ff; MWV 2006a:4, 2007a:58). Diese internationale ‚Arbeitsteilung‘ im Raffineriebereich übernimmt somit eine Pufferfunktion für das hiesige Ungleichgewicht zwischen der Ausbeutestruktur und der Nachfrage. Wie lange aber dieser positive Faktor erhalten bleibt und den deutschen Raffinerien Gewinne bescheren wird, ist angesichts der Planung neuer Raffineriekapazitäten im Mittleren und Fernen Osten fraglich (EID 2006-07-17):

„Wir haben einen permanent rückläufigen Ottokraftstoffabsatz in Deutschland, wir haben ohnehin in Europa Überkapazitäten im Raffineriebereich, die [wir] im Moment [...] auf dem Weltmarkt absetzen können [...] Aber das wird sich auch wieder umkehren. Und in ein paar Jahren stehen wir wieder da und die Amerikaner nehmen uns das ‚Zeug‘ nicht mehr ab, und wohin dann damit? Dann haben wir wieder die Situation, die wir in den ganzen 80er und 90er Jahren hatten: Die Raffinerien machen massive Verluste, weil sie produzieren und ihre Produkte nicht loswerden können. Und man braucht den Dieselmotorkraftstoff, man braucht die Mitteldestillate und das heißt, dass man auch eine bestimmte Menge an Ottokraftstoffen hat, da man das nicht voneinander abkoppeln kann“ (Mineralölbranche 3 Mitarbeiter 1, 2007-02-27).

Zudem gefährden Investitionen in die Verbesserung der Kraftstoffqualität wie zum Beispiel Entschwefelungsanlagen in den USA die deutschen Kraftstoffexporte (Schult-Bornemann, ExxonMobil, 2007-05-07). Vor diesem Hintergrund erscheint ein erneutes Auftreten von Überkapazitäten und eines Unverhältnisses zwischen Ausbeutestruktur und Nachfrage im deutschen Raffineriemarkt möglich.

Eine vierte Entwicklung mit durchaus zweischneidigen Auswirkungen auf den Raffineriemarkt ist die Etablierung von Substitutionsprodukten im deutschen Markt (s.a. Kapitel 5.3.2): Erdgas (*Compressed Natural Gas*, CNG), Autogas (*Liquidified Petrol Gas*, LPG) und Ethanol (E5 und E85, also mit 5 und 85 Prozent Ethanol) auf der Benzinseite und reines Pflanzenöl sowie Biodiesel (*Fatty Acid Methyl Ether*, FAME) als Beimischung (B5) und Reinkraftstoff (B100) auf der Dieselseite. Von diesen Substitutionsprodukten war Biodiesel am erfolgreichsten und besaß im Jahre 2006 einen Anteil am deutschen Dieselabsatz von rund 7 Prozent (vgl. MWV 2007a:9; Kliem 2007:2; BMF 2007a:5f). Dabei muss berücksichtigt werden, dass diese Entwicklung in einem schrumpfenden Markt stattfindet und sich – abhängig von der Regulierung – auf einem den Absatz der konventionellen Kraftstoffe belastenden Niveau verfestigen kann (Elfert, EID, 2007-05-07). Zweischneidig ist diese Entwicklung insofern, als dass der Erfolg von Dieselsubstituten eine partielle Kompensation des Ungleichgewichts in der Raffinerieausbeute bedeuten

kann und diesem damit eine marktenspannende Wirkung zukommen kann. Auf der anderen Seite bedeutet der Erfolg von Benzinsubstituten eine Vergrößerung des Benzinangebotes und damit eine Verschärfung der Notwendigkeit, Benzin zu exportieren (Mineralölbranche 3 Mitarbeiter 1, 2007-02-27).

Insgesamt gesehen lässt sich der Markt im Raffineriebereich gegenwärtig dank des Abbaus von Überkapazitäten, der Veränderung der Ausbeutestruktur und der Verbesserung der Produktqualität als ein durch die Importmöglichkeiten begrenzter Anbietermarkt charakterisieren, zumal das neuerliche Nachfrageungleichgewicht durch Exporte ausgeglichen wird. Die Exportmöglichkeit wird jedoch durch nachholende Investitionen im Ausland gefährdet, so dass eine Belastung der unflexiblen Ausbeutestruktur durch die abermalige Verschiebung in der Nachfragestruktur droht. Dieser mögliche auch von North (1990:84) angeführte Veränderungsanreiz wird hier unter dem Terminus *„negativer Nachfrageeffekt“* geführt, der die Synergieeffekte der Kuppelprodukte Benzin und Diesel sowie des abgestimmten Raffinerieprozesses gefährdet. Ein weiterer Veränderungsanreiz geht von der sich abzeichnenden Sättigung des deutschen Raffineriemarktes aus, die die Auslastung der Kapazitäten und damit die Skaleneffekte gefährdet. Dies wird hier als *„Marktsättigungseffekt“* bezeichnet. Dieser wird potenziell durch die weitere Marktverengung durch die – bisher eher marginale – Etablierung von Substitutionsprodukten verschärft. Dabei können allerdings Dieselsubstitute, insbesondere Biodiesel, zugleich für eine partielle Kompensation des Ungleichgewichts in der Ausbeutestruktur sorgen, während die Benzinsubstitute den Benzinüberschuss eher verschärfen.

4.3.3 Die europäische und deutsche Regulierung des Raffineriebereichs

Im Vergleich zu den politischen Rahmenbedingungen des E&P-Bereichs sind die europäische und deutsche Regulierung des Raffineriebereichs insofern stabil und kalkulierbar, als sie sich auf Produkt- und Produktionsverbesserungen konzentrieren. Hinsichtlich der *Produktionsverbesserungen* zielt der gesetzliche Rahmen auf die Senkung der Umweltbeeinträchtigung durch den Produktionsprozess in Form von Emissionen, Lärm, Abwässern und Sicherheitsrisiken (MWV 2003a:8). Hervorzuheben ist dabei, dass die Raffinerien, die acht bis elf Prozent der CO₂-Emissionen in der *„Well-to-Wheel“* (WTW)-Wertschöpfungskette von Benzin und Diesel verursachen, dem europäischen Emissionshandelsystem (ETS) unterliegen. Eine steigende Energieintensität, wie sie zum Beispiel durch die Verwendung von Wasserstoffproduktionsanlagen für Hydrocracker oder die Entschwefelung verursacht wird, ist deshalb ein Malus, der je nach dem Umfang der bis 2013 gratis zugeteilten Emissionszertifikate und dem aktuellen Preis für zusätzliche Zertifikate zu Buche schlägt. Die Regulierung der CO₂-Emissionen steht somit potenziell energieintensiven Maßnahmen entgegen (CONCAWE 1995:II; MWV 2003a:31f; EUROPIA Mitarbeiter, 2007-07-25).

Die Regulierung der Raffinerieprodukte Benzin und Diesel schlägt sich direkt auf den Raffinerieprozess nieder, weshalb sie an dieser Stelle und nicht erst auf der Ebene der Tankstelle erörtert werden muss. Hinsichtlich der gesetzgeberischen Maßnahmen lässt sich feststellen, dass diese heute zunehmend durch klimapolitische Erwägungen geleitet werden, während sie zunächst seit den Siebzigern durch Schadstoffe in den Automobilabgasen motiviert waren, die unter anderem Smog, Ozon, sauren Regen und Krebs verursachen. Ziel war eine Verbesserung der Luftqualität über die Reduktion von Kohlenmonoxid- (CO), Stickstoffoxid- (NOx), Kohlenwasserstoff- (HC), Rußpartikel- (PM) und Benzol-emissionen (Friedrich et al. 2000; Jürgens & Meißner 2005:132f; Aigle & Marz 2007:47). Während in den USA Kalifornien mit dem ‚Clean Air Act‘ von 1970 der Vorreiter war, fand in Europa die Abgas- und Kraftstoffregulierung vor allem auf der EU-Ebene statt, da die Luftqualität als Umweltfrage im Kompetenzbereich der Europäischen Gemeinschaften liegt (CONCAWE 1997:VIII; Müller-Graff 2004:156; Taminiau 2006:255). Bei der Regulierung wurde eine doppelgleisige Strategie verfolgt, die die enge technische Verknüpfung von Kraftstoff und Motor berücksichtigte, indem sie einerseits die Regulierung der Automobilemissionen über Abgasnormen (EURO 1-6) und andererseits die Raffinerieprodukte über EU-Direktiven und Kraftstoffstandards umfasste (CONCAWE 1999). Kern dieser Doppelstrategie sind die beiden europäischen ‚Auto-Öl-Programme‘ von 1993 bis 1996 und von 1997 bis 2000, in deren Begründung die EU-Kommission die Notwendigkeit einer Doppelgleisigkeit deutlich hervorhob (Legge 1997; Taminiau 2006):³⁴

„[I]t was calculated that emissions of regulated pollutants would be reduced by over 90% by 1996/97 compared with their levels in the early 1970’s. At the same time [1992; JCS], however, it appeared that the scope for making further improvements in emissions performance was becoming increasingly limited and that *greater consideration needed to be given to the interaction between vehicles and their fuels* as well as other policy options, such as traffic management, alternative fuels or the promotion of public transport“ (Europäische Kommission 2000:13f; Hervorhebung JCS).

Erklärtes Ziel der Auto-Öl-Programme war somit eine verbesserte Feinabstimmung zwischen Kraftstoff und Motor und der Abgasnachbehandlung, was letztlich zu einer zunehmenden Interdependenz zwischen diesen führt (vgl. ExxonMobil 2003:S2; Esso 2007). Die kraftstoffseitigen Maßnahmen dienten dabei der Unterstützung der unten zu erörternden Entwicklung in der Abgastechnologie, so dass die Kraftstoffe als „*an enabling tool*“ (CONCAWE 1999:V) auf die Motoren zugeschnitten wurden (Primrose, BP, 2006-08-23). Ergebnis des Auto-Öl-Programms war unter anderem die 1998er Kraftstoffqualitätsrichtlinie 98/70/EC, die hinsichtlich von Benzin unter anderem den Oktangehalt, den Dampfdruck, den Aromaten-, Sauerstoff-, Schwefel- und den Bleigehalt progressiv regulierte. Beim Diesel wurden unter anderem dessen Cetan-, Aromaten- und Schwefelgehalt in ebenfalls abnehmenden Parametern festgelegt (MWV 2003a:31f; EU 2007b). Diese

³⁴ Vorbild war das US-amerikanische Auto-Öl- Programm. Ein wichtiger Unterschied zwischen den beiden Programmen ist, dass die EU auch die Emission von CO₂ berücksichtigte (Legge 1997:27ff).

Maßnahmen wurden durch die 2003er Richtlinie 2003/17/EC verschärft, die insbesondere die Einführung schwefelfreier Kraftstoffe, d.h. von Kraftstoffen mit einem Schwefelgehalt von maximal 10 ppm, ab 2005 und die Abschaffung anderer Kraftstoffe mit einem höheren Schwefelgehalt ab 2009 vorschrieb. Diese EU-Maßnahmen wurden vom *European Committee for Standardization* (CEN) um Testmethoden ergänzt und in die technischen Standards für Benzin (EN 228) und Diesel (EN 590) überführt:

„If you look at the Fuels Quality Directive you will see different properties stated and the limits, for instance sulphur and vapour pressure and that kind of things. [...] CEN [...] just copied all those properties and limits in our CEN standards [...]. The only thing what we have done is to look for the right test methods attached to those properties and test limits“ (Woldendorp, CEN, 2007-07-13).

Für den deutschen Markt wurden die verschärften europäischen Kraftstoffvorgaben in die nationalen DIN-Normen (DIN EN 228 und 590) überführt und wiederholt vorzeitig eingeführt (CONCAWE 1997:147; Mineralölbranche 3 Mitarbeiter 1, 2007-02-27; ExxonMobil 2007a):

„[W]as sehr stark [in die Kraftstoffentwicklung; JCS] hineinmischt, ist [...] die Politik, die, meine ich, so bezogen auf Europa immer so ein bisschen die Vorreiterrolle spielen will. Da neigen wir Deutsche ein bisschen dazu und die deutsche Politik ganz besonders [...] Ich will das gar nicht werten, vielleicht ist das auch ganz sinnvoll, denn viele Dinge, die hier in Deutschland gemacht werden, ‚vor erfunden‘ werden, finden dann in die europäische Gesetzgebung Eingang oder wenn nicht sogar manchmal auch weltweit in die Politik Eingang“ (Mineralölbranche 2 Mitarbeiter, 2006-12-29).

Die steigenden Produkthanforderungen wirkten wiederum auf die verwendeten Produktionsprozesse zurück: So kam der Entschwefelung der Kraftstoffe nicht nur hinsichtlich der Motorenentwicklung und der Abgasnachbehandlung eine „Schlüsselfunktion“ (ExxonMobil 2003:S2) zu, sondern auch hinsichtlich der Auswirkungen auf die Raffinerietechnologie. Dabei gilt zunächst, dass die Möglichkeit, den Schwefelgehalt durch den Einsatz schwefelarmer Rohöle zu senken, begrenzt und aufgrund der steigenden Nachfrage nach diesen selteneren Rohölen kostspielig ist (Kochhar et al. 2005:5; Bozon et al. 2005:102; Taminiau 2006:258; IEA 2006a:47f).³⁵ Eine prozesstechnische Lösung per Hydrofiner oder Hydrocracker treibt dagegen den Wasserstoffbedarf der Raffinerien nach oben. Zugleich sinkt durch die Begrenzung des Aromatengehaltes im Benzin die bisherige raffinerieinterne Wasserstoffproduktion in der Benzinreformation, so dass ein ‚Wasserstoffungleichgewicht‘ eintritt (MWV 2001:23, 2003a:27, 31):

„The most significant effect of the current changes in product quality is on the increased demand for hydrogen. Higher levels of desulphurisation, saturation of aromatics and/or olefins and increased conversion requirements to meet limitations in back-end distillation in the diesel pool all require more hydrogen. Hydrogen is typically produced in the catalytic reformer by dehydrogenation of naphthenes to high-octane aromatics used in gasoline. Lowering gasoline aromatics content reduces hydrogen production (from catalytic conversion) while at the same time, sul-

³⁵ Das Verbot von verbleitem Benzin seit 2000 erfordert dagegen eine neue Kraftstoffkomponente zur Erhöhung der Oktanzahl und damit der Klopfestigkeit wie MTBE oder ETBE (vgl. MWV 2001:10, 41).

phur reduction in many products causes an increased demand for hydrogen. This combined effect leads to a hydrogen imbalance" (CONCAWE 1999:51).

Da infolgedessen neue Wasserstoffquellen, wie zum Beispiel die Erdgasreformierung, erschlossen werden müssen, steigen sowohl die Investitions- und Betriebskosten der Raffinerien wie auch ihr Energiebedarf und damit ihre CO₂-Emissionen (ebd.; MWV 2001:23). Wie hinsichtlich der ökonomischen Entwicklung des Raffineriebereichs angeführt, bedeuten die steigenden regulativen Anforderungen an die Raffinerieprodukte aber auch, dass zum einen die Eintrittsbarrieren in den deutschen und den europäischen Markt erhöht werden und dass zum anderen die deutschen Raffinerien einen internationalen Wettbewerbsvorteil besitzen (Bozon et al. 2005:102; IEA 2006a:47f; Mineralölbranche 2 Mitarbeiter, 2007-12-29).

Hinsichtlich der bisherigen Abgasprobleme ist das Regulierungsthema ‚Luftqualität‘ durch die Einführung ‚schwefelfreier‘ Kraftstoffe und die starke Verminderung der oben genannten Automobilabgase weit fortgeschritten (vgl. Primrose, BP, 2006-08-23; VDA 2007a:146ff).³⁶ Zugleich aber wird derzeit auf der europäischen Ebene überlegt, die Kraftstoffqualitätsrichtlinie stärker mit der Frage der CO₂-Effizienz³⁷ zu verknüpfen, indem Kraftstoffanbieter verpflichtet werden, eine jährliche CO₂-Einsparung von einem Prozent nachzuweisen. Diese Einsparungen können sowohl über eine Verbesserung der Produktionsprozesse als auch über die Verwendung von Biokraftstoffen erzielt werden (EurActiv 2007-06-29):

„Die Fuel Quality Directive hat jetzt eine Wendung genommen, die für uns ein bisschen überraschend kam, indem [...] ein sogenanntes Dekarbonisierungskonzept eingeführt wurde. [...] ab dem Jahre 2011 muss man dann als Kraftstofflieferant nachweisen, dass man 1 Prozent pro Jahr weniger CO₂-Emission pro Energieeinheit produziert. Das kann man machen, indem man Biokraftstoffe beimischt, das kann man rein theoretisch auch machen, indem man den Raffinerieprozess effizienter gestaltet, wobei wir [EUROPIA; JCS] da immer sagen, dass wir das nicht schaffen werden, weil wir durch andere Anforderungen von anderen Direktiven in Zukunft in den Raffinerien mehr Energie brauchen werden“ (EUROPIA Mitarbeiter, 2007-07-25).

Damit entstünde eine Regulierung, die nicht nur den Effizienzdruck auf die Raffinerien erhöht und damit im Widerspruch zu den bisherigen Qualitätsrichtlinien steht, die den Energieverbrauch steigern, sondern zugleich auch eine, die die Frage der Kraftstoffqualität mit dem Einsatz alternativer Kraftstoffe verbindet. An dieser Stelle ist zudem noch darauf zu verweisen, dass die europäische und die deutsche Regulierung den deutschen Raffineriemarkt durch die Unterstützung der Markteinführung alternativer Kraftstoffe weiter verengt. Dies wird im zweiten Empirieteil ausführlicher erörtert werden (5.1).

Es lässt sich somit feststellen, dass die regulativen Strukturen des Raffineriebereichs sich als Innovations- und Investitionstreiber darstellen, so dass sich ihre Wirkung in technischen und ökonomischen Effekten abbildet, also in den oben schon angesprochenen Ef-

³⁶ Gleichwohl stehen mit den EURO V und VI-Normen und der Re-Formulierung der Kraftstoffqualitätsrichtlinie weiter steigende Anforderungen bevor (vgl. VDA 2007a:155f; EurActiv 2007-06-29).

³⁷ Diese wurde bereits im ersten Auto-Öl-Programm berücksichtigt (Legge 1997:27ff).

fekten der allokativen Bereiche. So legen erstens die steigenden Umwelanforderungen durch die damit verbundenen Investitionsanforderungen eine Steigerung der *sunk costs*-Effekte der Raffinerietechnologie nahe. Zweitens bedeutet ebenfalls im Bereich der Raffinerietechnologie die Absenkung der Schwefelwerte eine Verstärkung der Synergieeffekte (*economies of scope*), da der im Benzinreformer gewonnene Wasserstoff für die Entschwefelung gebraucht wird. Drittens rückt mit den regulativen Strukturen die technische Interdependenz zwischen Kraftstoff und Motor bzw. Abgasnachbehandlung in den Blick. Damit wird ein Anreiz zur Nutzung von *Komplementaritätseffekten* deutlich, den sich die Regulierung zueigen macht. Infolge der Einsicht, dass Kraftstoffe und Motoren gemeinsam zur Erreichung der Abgasziele entwickelt werden müssen, sind somit alle weiteren Maßnahmen im Kraftstoffbereich stets mit dieser zunehmend eng abgestimmten Interdependenz konfrontiert – sofern keine Abstriche in der Luftqualität gemacht werden. Viertens schließlich muss festgehalten werden, dass sich die Regulierungsziele ‚Luftqualität‘ und ‚CO₂-Effizienz‘ im Raffineriebereich partiell im Widerspruch zueinander befinden, da die Luftqualität energieintensivere Produktionsprozesse (Hydrofiner, Hydrocracker) benötigt. Entsprechend scheinen in der regulativen Raffineriestruktur ‚*Widersprüchlichkeitseffekte*‘ angelegt zu sein, die unterschiedliche Handlungen ermöglichen und somit potenziell pfaddiversifizierend wirken. Zu guter Letzt unterstützen die regulativen Strukturen die Marktsättigungseffekte durch die Marktetablierung alternativer Kraftstoffe.

4.3.4 Stakeholdererwartungen im Raffineriebereich

Die technologische und ökonomische Entwicklung des Raffineriebereichs wird in der Öffentlichkeit weniger wahrgenommen als der E&P- und der Tankstellenbereich (vgl. Elfert, EID, 2007-05-07):

„This process [die Entwicklung der Kraftstoffstandards; JCS] is largely a technology-driven one, which is almost intransparent to consumers. That is to say consumers are not necessarily aware that they are purchasing a EURO IV vehicle or EURO III or EURO II etc. And they are not necessarily aware that they are purchasing a fuel what contains 10 ppm sulphur versus a fuel what contains 50 ppm sulphur or 150 ppm sulphur“ (Primrose, BP, 2006-08-23).

Aufgrund dieser Eigenheit des Raffineriebereichs hängt in diesem Bereich die Legitimität der Aktivitäten der Mineralölunternehmen von den Erwartungen einer Akteursgruppe ab, die über ein besonderes Wissen verfügt und die ihre Konflikte nicht öffentlichkeitswirksam austragen kann. Zu dieser Akteursgruppe mit besonderem Raffineriewissen gehören in Europa und Deutschland die Automobilindustrie, europäische und nationalstaatliche Akteure und spezialisierte NGOs. Solche spezialisierten europäischen NGOs, die sich mit der Interaktion von Raffinerieprodukten und Motoren- und Abgastechnik beschäftigen, sind zum Beispiel die *European Federation for Transport and Environment* (T&E) und das *European Environment Bureau* (EEB). Die Erwartungen dieser Akteure sind auf eine weitere Senkung der Abgasemissionen und des verkehrsbedingten CO₂-Ausstoßes ausgerichtet. Entsprechend aufgeschlossen sind diese NGOs gegenüber weiteren Verschärfungen

der Kraftstoffstandards, insbesondere des Aromatengehaltes, und Vorgaben zur Steigerung der CO₂-Effizienz im Raffineriebereich (Friedrich et al. 2000:594; EurActiv 2007-03-16, 2007-06-29).

Die Erwartungen der europäischen und nationalstaatlichen Akteure sind ebenfalls, wie im soeben diskutierten Regulierungsabschnitt deutlich wurde, auf saubere Kraftstoffe und im zunehmenden Maße auch CO₂-effiziente Produktionsprozesse ausgerichtet. Es lassen sich dabei aber Nuancen zwischen den einzelnen Akteuren dahingehend ausmachen, wie sehr sie die Fragen zur Verbesserung der Luftqualität und der CO₂-Emissionen auf der EU-Ebene vorantreiben und ob sie dabei höhere Erwartungen an die Automobil- oder an die Mineralölindustrie richten. Die deutschen staatlichen Akteure neigen dabei aus unterschiedlichen Gründen zu höheren Anforderungen an die Mineralölindustrie: So spielt zum ersten natürlich die einheimische Automobilindustrie – knapp 770.000 Beschäftigte in 2006 – eine wichtige Rolle für die deutsche Positionierung in den den Raffineriebereich betreffenden Fragen (VDA 2006:16f, 2007b:5; EurActiv 2007-06-29). Eine weitere Rolle spielt, dass die beiden größeren deutschen Mineralölunternehmen ARAL und DEA in BP bzw. Shell aufgegangen sind und die Mineralölindustrie in der deutschen Öffentlichkeit unbeliebt ist, wie im Tankstellenabschnitt (s. 4.4.4) näher erörtert wird (HB 1994-07-04; Elfert, EID, 2007-05-07). Hinzu kommt schließlich drittens eine im Vergleich zu anderen europäischen Staaten stärkere Umweltorientierung der deutschen Politik, die auf europäischer Ebene als ein ‚*environmental leader state*‘ agiert und gerne verschärfte Standards einführt (Friedrich et al. 2000:605; EUROPIA Mitarbeiter, 2007-07-25):

„Unsere Forderung ist ja immer 1:1 Umsetzung, d.h., was in Europa gilt, soll auch so in Deutschland gelten – und das funktioniert nie. In Deutschland will man immer noch mal ein bisschen mehr und man ist Vorreiter und macht hier noch ein bisschen schärfere Anforderungen und da noch ein bisschen schärfere Anforderungen – unser Ziel ist immer zu versuchen, das so weit wie möglich einzuschränken und eben an die europäischen Wettbewerber anzugleichen“ (Mineralölbranche 3 Mitarbeiter 1, 2007-02-27).

Die wichtigste Rolle für die Aktivitäten der Mineralölindustrie im Raffineriebereich spielen die Erwartungen der Automobilindustrie, da diese über die Motorenentwicklung die Praxisanforderungen an die Kraftstoffe formuliert:

„Da hat es immer eine enge Verbindung [...] zwischen der Motoren- und Kraftstoffentwicklung gegeben. Die Autoindustrie hat gesagt, in welche Richtung sie geht, welche Motoren sie macht, und dann hat die Ölindustrie dafür gesorgt, dass es die Kraftstoffe gab, die man dafür brauchte. Es war nie so, dass wir einen Kraftstoff gemacht haben und dann der Automobilindustrie gesagt haben ‚Seht mal zu, dass Ihr die Motoren dafür hinkriegt, die wir dafür brauchen‘, sondern es war eher umgekehrt, dass man sieht, wohin die motortechnologische Entwicklung geht und was für Kraftstoffe gebraucht werden“ (Mineralölbranche 3 Mitarbeiter 1, 2007-02-27).

Diese Beziehung wird durch die steigenden regulativen Anforderungen intensiviert, so dass die Ausrichtung der Mineralölunternehmen auf die Motorenentwicklung der Automobilindustrie in eine immer stärkere Entwicklungskooperation übergeht:

„Wir werden in der Zukunft nicht mehr die Situation haben, dass jeder in seinen Forschungsabteilungen für sich forscht, sondern wir müssen zusammen entwickeln, weil die Produkte aufeinander angewiesen sind“ (Mineralölbranche 2 Mitarbeiter, 2006-12-29).

Die Erwartungen der Automobilindustrie gegenüber der Mineralölindustrie sind dabei geprägt durch ihren „religious belief [...] that fuels are for engines and engines are not for fuels“ (Automobilhersteller 4 Mitarbeiter, 2007-08-01). Dieser ‚Glaube‘ entspricht zugleich dem ökonomischen Interesse der Automobilindustrie, über möglichst hochwertige Kraftstoffe die Abgasnormen leichter zu erfüllen und so an Abgastechnologien zu sparen, so dass Kosten von der Automobilindustrie abgewendet werden können. Da diese Kosten damit an den Raffineriebereich der Mineralölindustrie weitergegeben werden, besteht in Regulierungsfragen stets die Gefahr des ‚Schwarze-Peter-Spielens‘ zwischen den beiden Industrien (Legge 1997:30f; Döhmel, Shell, 2007-03-27). Die Beziehung ist somit nicht nur kooperativ, sondern auch konfliktgeladen, wie zum Beispiel die Auseinandersetzung im Rahmen der Auto-Öl-Programme zeigt, in der sich die Automobilindustrie gegen eine einseitige Kostenverteilung wehrte und eine stärkere Entschwefelung der Kraftstoffe forderte (Taminiau 2006:259; PR Agentur Mitarbeiter, 2007-07-26):

„(D)ie Nachfrage nach schwefelfreien Kraftstoffen [...] ist von der deutschen Automobilindustrie sehr stark getrieben worden. Und dass in Deutschland seit 2003 Otto- und Dieselmotorkraftstoffe schwefelfrei sind – per Definition ist das <10 ppm Schwefel – da hat die deutsche Automobilindustrie eine sehr große Rolle gespielt, weil das für die deutsche Mineralölindustrie schon ein enormer Investitionsaufwand war, den ganzen Schwefel eben rauszuholen“ (Mineralölbranche 2 Mitarbeiter, 2006-12-29).

Diese Auseinandersetzung wiederholt sich derzeit in der Frage, wie die verkehrsbedingten CO₂-Emissionen – bzw. die Lasten dieser Reduktion – am besten minimiert werden:

„‘The biggest scope for CO₂ reduction is in car technology.’ [...] ‘If the Commission is serious about its 20% greenhouse-gas reduction by 2020, it will have to do something with the car industry,’ Tjan [der Generalsekretär von EUROPIA; JCS] said. But this claim was rejected by ACEA, the *European Automobile Manufacturers Association*. ‘The focus of the Commission is still far too much on vehicle technology,’ said Communications Director *Sigrid de Vries* who believes it is ‘important that the fuel industry takes part’ in reducing emissions“ (EurActiv 2007-06-29; Hervorhebung im Original).

Im Zuge dieser kooperativ-konfliktiven Auseinandersetzung um die Kraftstoffentwicklung begibt sich die Automobilindustrie durch eigene Kompetenzen und eigene Vorschläge zunehmend auf das Terrain der Mineralölindustrie. Ein Meilenstein in dieser Entwicklung ist die 1996 initiierte *World Wide Fuel Charter* der Automobilverbände Europas, der USA und Japans (ACEA, Alliance, EMA und JAMA), die weltweit vergleichbare Kraftstoffstandards sowie qualitativ bessere Kraftstoffe fordert (Friedrich et al. 2000:608). Ziel dieser auch die Mineralölindustrie unter Druck setzenden Forderung sind neben Skaleneffekten im Motorenbau die Erfüllung der Abgasnormen:

„The Charter was first established in 1998 to promote greater understanding of the fuel quality needs of motor vehicle technologies and to harmonise fuel quality worldwide in accordance with engine and vehicle needs. Importantly, it matches fuel specifications to the needs and capabilities of engine and vehicle technologies designed for various markets around the world“ (ACEA et al. 2006:i).

Wie bereits die *World Wide Fuel Charter* und die Fragen der Entschwefelung und der CO₂-Effizienz zeigen, richtet die Automobilindustrie ihre Erwartungen nicht nur direkt an die

Mineralölindustrie, sondern auch indirekt – gewissermaßen ‚über Bande‘ – über die Partizipation in der Ausgestaltung des regulativen Umfeldes auf deutscher und europäischer Ebene. Entsprechend wichtig sind die Beziehungen zu den jeweiligen staatlichen Akteuren (PR Agentur Mitarbeiter, 2007-07-26):

„Also nur weil sich da jemand hinstellt und sagt ‚Ich will morgen den Kraftstoff X haben!‘, wird sich an den Kraftstoffen nichts ändern, sondern das ist ein wechselseitiger Prozess, auch mit der Politik. Was ist politisch gewollt? Worauf läuft es hinaus? Das ist nichts, was nur Autoindustrie und Ölindustrie für sich aushandeln. Denn es muss ja auch letztlich auf europäischer Ebene dann umgesetzt werden und europaeinheitlich sein. Wir haben nichts davon, wenn wir einen Kraftstoff nur für Deutschland haben. Das ist für Deutschland, für die deutsche Mineralölindustrie blödsinnig und für die Autoindustrie genauso, denn die will ja auch ihre Autos in anderen Ländern verkaufen“ (Mineralölbranche 3 Mitarbeiter 1, 2007-02-27).

Insgesamt gesehen zeigt sich, dass alle am Raffineriebereich interessierten Akteure von der Mineralölindustrie saubere und CO₂-effiziente Kraftstoffe erwarten. Die Anreize zur Erzielung von *Legitimationseffekten* für die Aktivitäten im Raffineriebereich hängen dementsprechend von der Qualität der Raffinerieprodukte der Mineralölkonzerne ab. Hinzu kommen potenzielle *Delegitimierungseffekte* für die Raffinerieprodukte, die aus der regulativ motivierten Auseinandersetzung mit der Automobilindustrie darüber resultieren, was auf der Kraftstoffseite nicht nur wünschenswert, sondern auch technologisch und ökonomisch machbar ist.

4.3.5 Die strukturellen Handlungsanreize im Raffineriebereich

Die Strukturen des Raffineriebereichs beinhalten somit wie schon die Strukturen des Explorations- und Produktionsbereichs eine Reihe von Handlungsanreizen für die IOCs (s. Tabelle 8):

Tabelle 8: Die strukturellen Handlungsanreize im Raffineriebereich

	<i>Allokative Strukturen</i>		<i>Autoritative Strukturen</i>	<i>Legitimationsstrukturen</i>
	<i>Technologie</i>	<i>Markt</i>	<i>Regulierung</i>	<i>Erwartung</i>
<i>Positive Rückkopplungsanreize</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Skaleneffekte - <i>Sunk costs</i>-Effekte - Synergieeffekte 	<ul style="list-style-type: none"> - keine 	<ul style="list-style-type: none"> - Komplementaritätseffekte 	<ul style="list-style-type: none"> - Legitimationseffekte
<i>Veränderungsanreize</i>	<ul style="list-style-type: none"> - keine 	<ul style="list-style-type: none"> - negative Nachfrageeffekte - Marktsättigungseffekte 	<ul style="list-style-type: none"> - Widersprüchlichkeitseffekte 	<ul style="list-style-type: none"> - Delegitimierungseffekte

Wie beim Explorations- und Produktionsbereich gilt es, die Handlungsanreize des Raffineriebereichs an dieser Stelle zusammen zu fassen und zu überprüfen, inwiefern die IOCs die Anreize in ihrem Handeln berücksichtigen, so dass es zu sozialen Mechanismen kommt.

In den (a) technologischen Strukturen des Raffineriebereichs fand sich zunächst der Anreiz zur Erzielung von *Skaleneffekten* (*Economies of Scale*) infolge des Investitionsumfanges für Raffinerieanlagen (vgl. Farrell et al. 2003:1361; Bozon et al. 2005:102f). Dafür, dass diese von den Mineralölkonzernen wahrgenommen und genutzt werden spricht, dass im Raffineriebereich aufgrund der hohen Fixkosten eine Durchschnittsauslastung von über 85 Prozent angestrebt wird (MWV 2001:62, 2003a:11). Als Indikatoren für das Befolgen der ebenfalls durch die hohen Anfangsinvestitionen nahe gelegten *sunk costs-Effekte* finden sich der verzögerte Abbau der Überkapazitäten wie auch die Entwicklung der Konversionsanlagen, bei denen die bereits bestehenden katalytischen Crack- und Entschwefelungskapazitäten die Investition in konkurrierende Hydrocracker erschwerten (vgl. MWV 2003a:12, 24; 2003b:10). Eine weitere Umgangsart mit dem Anreiz zu *sunk costs-Effekten* besteht im Verkauf von Raffinerieanlagen sofern ein attraktives Angebot vorliegt wie zum Beispiel das Ausnutzen der derzeitiger erzielbaren Verkaufspreise durch Exxon zum Verkauf ihrer Raffinerie in Ingolstadt (vgl. EID 2006-03-13; Elfert, EID, 2007-05-07):

„(D)a wo der Markt schrumpft kann man welche [Raffineriekapazitäten; JCS] verkaufen. Sprich: Wir jetzt die Raffinerie Ingolstadt. Haben wir jetzt gerade, weil es möglich ist, das, was wir hier in Deutschland absetzen, mit Hilfe unserer sonstigen europäischen Raffinerien und unserer großen Beteiligung in Karlsruhe – das ist ja die größte Raffinerie in Deutschland – abzudecken. Und insofern: Wenn man dafür viel Geld angeboten bekommt, muss man dann auch mal ‚Ja‘ sagen“ (Schult-Bornemann, ExxonMobil, 2007-05-07).

Der dritte in der Raffinerietechnologie angelegte Handlungsanreiz besteht in der Erzielung von *Synergieeffekten* (*economies of scope*) infolge der Kuppelproduktion von Benzin und Diesel sowie der Verzahnung der Raffinationsschritte. Diese stellen eine zentrale Grundlage des Raffineriebereichs dar und werden derzeit durch die Exportmöglichkeit gesichert (vgl. EID 2005-08-29). Die Synergieeffekte zwischen den einzelnen Verfahrensschritten wiederum stellen angesichts der Feedstock- und Wasserstoffkonkurrenz zum katalytischen Cracker respektive zum Hydrofiner ein weiteres Hindernis für die Installation von Hydrocrackern dar und werden somit durch die zögerliche Investition in Hydrocrackerkapazitäten befolgt (vgl. MWV 2003a:27ff; IEA 2006a:47).

Die Stabilität der (b) ökonomischen Strukturen spielt eine wichtige Rolle für die Wirtschaftlichkeit des Raffineriebereichs, da die Synergie- und die *sunk costs*-Effekte für eine Unflexibilität der technologischen Strukturen sorgen. Diese Stabilität ist gegenwärtig für den europäischen und insbesondere den deutschen Markt gegeben, da dank der Exportmöglichkeit die Produktionsstruktur mit der Nachfragestruktur übereinstimmt. Mittelfristig zeichnet sich jedoch eine (weitere) Sättigung des deutschen Raffineriemarktes ab, die die Auslastung der Kapazitäten und damit die Skaleneffekte (*economies of scale*) gefährdet, so dass die ökonomischen Strukturen auch ‚*Marktsättigungseffekte*‘ beinhalten. Hinzu kommen ‚*negative Nachfrageeffekte*‘, die aus der Dieselisierung des Pkw-Bestandes resultieren und bei einem Wegfall der Exportmöglichkeit die Synergieeffekte

der Kuppelprodukte von Benzin und Diesel gefährden. Diese beiden Veränderungsanreize sind jedoch noch nicht virulent, sondern werden mittelfristig erwartet. Sie wirken sich allerdings bereits in Form einer Investitionszurückhaltung im Raffineriebereich und in Form von Raffinerieverkäufen aus (vgl. ExxonMobil 2003:2; Mineralölbranche 3 Mitarbeiter 1, 2007-02-27).

Die (c) Regulierungsstrukturen des Raffineriebereichs beinhalten sowohl positive Rückkopplungsanreize als auch Veränderungsanreize. Auf Seiten der positiven Rückkopplungsanreize ist vor allem die Verstärkung der technologischen Interdependenz zwischen Kraftstoff und Motoren- und Abgasnachbehandlungstechnologie zu nennen, die einen die Ebenen der Wertschöpfungskette übergreifenden technologischen *Komplementaritätseffekt* darstellt. Dieser Effekt wird anhand der traditionellen Partnerschaften bei der Weiterentwicklung von Kraftstoffen und Motoren deutlich wie zum Beispiel zwischen BP und Ford, Shell und Volkswagen, Exxon und GM sowie Total und Renault und PSA (Schult-Bornemann, ExxonMobil, 2007-05-07; Automobilhersteller 3 Mitarbeiter, 2007-07-06; Automobilhersteller 4 Mitarbeiter, 2007-08-01):

„[Wir] arbeiten [...] – wie gesagt das ist jetzt die Konvergenz, dass Motorenentwickler und Brennstoffentwickler besser eng zusammen arbeiten von Day One, von der Konzeption angefangen – sowohl mit DaimlerChrysler als auch VW sehr eng [zusammen]“ (Döhmel, Shell, 2007-03-27).

Zugleich ist in der Regulierung des Raffineriebereichs ein ‚*Widersprüchlichkeitseffekt*‘ angelegt, der aus dem *trade-off* zwischen den Zielen der Luftqualität und der CO₂-Effizienz resultiert. Als eine vorauseilende Antwort auf diesen Effekt lässt sich der interne CO₂-Handel von BP und Shell interpretieren, der vorzeitig die selbst gesteckten Ziele (je -10 Prozent) erreichte und zu internen Effizienzgewinnen geführt hat (Davis 2006d:175).

Die an die IOCs im Raffineriebereich gerichteten (d) Erwartungsstrukturen laufen auf *Legitimationseffekte* der Raffinerieaktivitäten über eine ständige Verbesserung der Produkte hinaus. Dieser Handlungsanreiz wird von den Mineralölkonzernen im Wettbewerb untereinander wahrgenommen und für die Positionierung im Markt genutzt (vgl. Mineralölbranche 3 Mitarbeiter 1, 2007-02-27):

„(R)ichtigerweise haben die [Volkswagen; JCS] die Dynamik der Mineralölindustrie verstanden, denn wenn einer losmarschiert, sind die anderen in drei Monaten auch dabei. Und genau so ist es gewesen. Wir haben Schwefel rausgenommen - ruckzuck, drei Monate später war die ganze Industrie schwefelfrei bzw. unter 10 ppm“ (Döhmel, Shell, 2007-03-27).

Die potenziellen *Delegitimierungseffekte* infolge von Auseinandersetzungen mit der Automobilindustrie um das technologisch und ökonomisch Machbare dagegen werden durch die oben schon genannten Entwicklungspartnerschaften adressiert – also durch die Kooperation mit und die Kenntnis der Position der Automobilseite im Vorfeld regulativer Maßnahmen.

4.4 Der Vertrieb über die Tankstelle

Die Tankstelle bildet das letzte Glied in der Wertschöpfungskette der Mineralölindustrie und dient als Hauptvertriebsweg der im Raffineriebereich hergestellten Kraftstoffe.³⁸ So wurden im hier zu untersuchenden deutschen Markt im Jahre 2004 50 Prozent des Diesels und 95 Prozent des Benzins über die Tankstellen abgesetzt (*„Business-to-Consumer“*). Der Rest wurde direkt (*„Business-to-Business“*) an Speditionen, den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) und ähnliche Unternehmen geliefert (Drüner & Schweiker 2006:21; EID 2007-05-05:6).

4.4.1 Tankstellentechnologie und -infrastruktur

Die Tankstellentechnologie ist weniger komplex als die der vorhergehenden Schritte und besteht im Wesentlichen aus unterirdischen Tanks und den mit dem Tanksystem der Automobile kompatiblen Zapfsäulen. Über diese Infrastruktur werden Diesel und die drei unverbleiten Benzinsorten Normal, Super und Super Plus in gleich bleibender Qualität als Sommer- und Winterware vertrieben. Dabei werden die Kraftstoffe von der nächstgelegenen Raffinerie bezogen und gegebenenfalls vor der Distribution mit den entsprechenden Additiven des jeweiligen Unternehmens versehen. Diese Tankstelleninfrastruktur wurde bis 1969/70 im Einklang mit der Entwicklung der deutschen Pkw-Flotte ausgebaut und ist seitdem aufgrund ökonomischer Entwicklungen stark geschrumpft (s. Abbildung 11).

Die wichtigsten technologischen Entwicklungen sind vor allem Umweltschutzmaßnahmen geschuldet wie zum Beispiel doppelwandige Tanks mit Leckwarnanzeige, Gasrückführsysteme in den Zapfsäulen und flüssigkeitsdichte Fahrbahnen. Inklusiv dieser umwelttechnischen Maßnahmen kostet eine durchschnittliche Tankstelle neu und ohne Grundstück 1,7 Millionen Euro (HB 1998-06-24; MWV 2003a:32f, 2006b:23; Luyken 2004:7; Strobel & Roedenbeck 2006:11f; Schult-Bornemann, ExxonMobil, 2007-05-07).

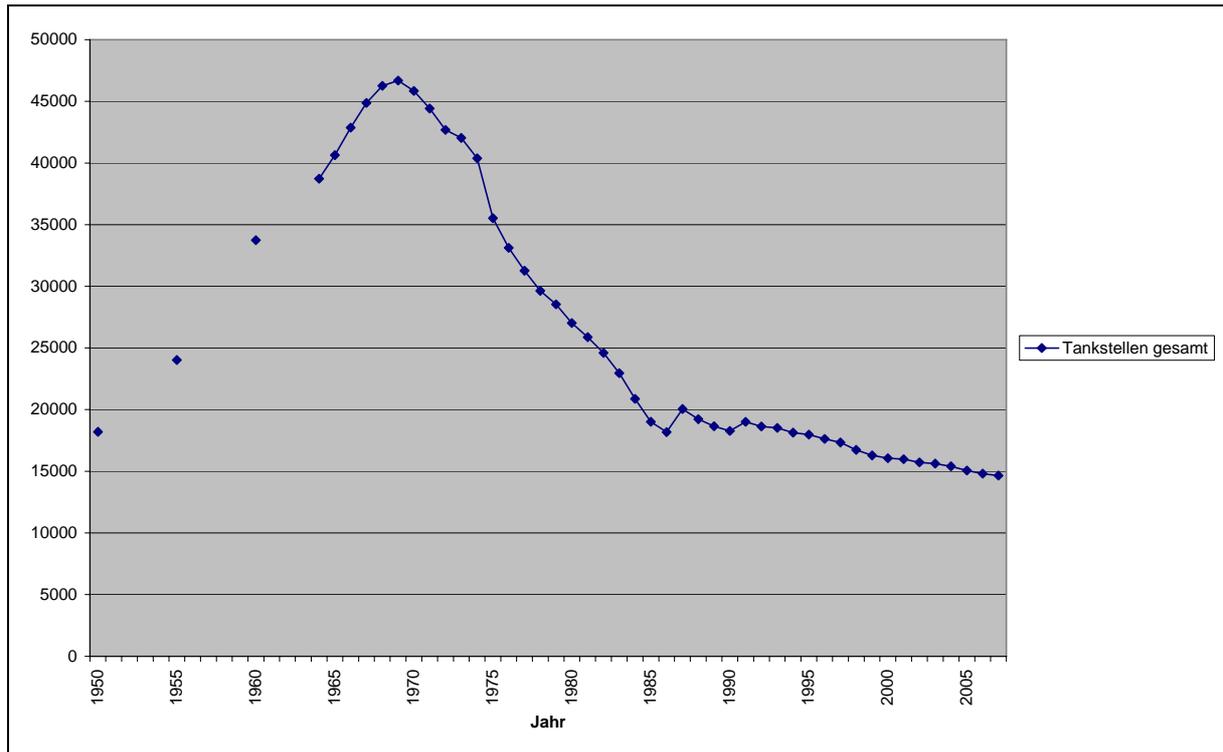
Dieses Investitionsvolumen stellt insbesondere für KMU-Tankstellenbetreiber eine Marktaustrittsbarriere dar, so dass für diese von *sunk costs-Effekten* gesprochen werden kann (vgl. MWV 2006b:39). Im Vergleich zu den Investitionen für die E&P-Anlagen und die Raffinerien gilt dies allerdings weniger für die Mineralölkonzerne. Wichtiger erscheint dagegen, dass über die Tankstelleninfrastruktur das Angebot mit der Nachfrage nach Benzin und Diesel mengenmäßig und räumlich abgestimmt wird. Sie ist dadurch Teil von *direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekten*, die die Tankstellenebene und die individuelle Pkw-basierte Mobilität umfasst – Farrell et al. (2003) bezeichnen diesen Fall gar als ‚extremes‘ Beispiel für solche Effekte (vgl. Cowan & Hultén 1996:68f; Zundel et al. 2005:27f):

³⁸ Als hier vernachlässigter Zwischenschritt erfolgt der Transport von der Raffinerie zur Tankstelle, die entweder direkt per Tanklastwagen oder indirekt über Tanklager beliefert wird (MWV 2006b:21).

„Network effects arise in markets for composite goods or services [...] The extreme case is personal vehicles due to the reliance of consumers on a ubiquitous refueling infrastructure that allows them to travel and refuel at will“ (Farrell et al. 2003:1361).

Hinzu kommt die dafür notwendige technologische Abstimmung der Form der Kraftstoffabgabe und des Tanksystems des Automobils. Das heißt, es kommt als zweiter Handlungsanreiz ein technologischer *Komplementaritätseffekt* hinzu, der ebenfalls zwei Ebenen umfasst.

Abbildung 11: Entwicklung des deutschen Tankstellenbestandes



Quellen: MWV 2006b:6; EID 2007:68ff; eigene Darstellung.

4.4.2 Der Tankstellenmarkt als Käufermarkt

Der derzeitige Tankstellenmarkt in Deutschland ist ein Käufermarkt mit einem starken, regional gegliederten Preiswettbewerb der Tankstellen untereinander. Eine erste Ursache des Käufermarktes liegt in den im Raffinerieabschnitt schon angesprochenen stagnierenden Diesel- und rückläufigen Benzinabsätzen begründet (vgl. 4.3.2). Die Verkleinerung des Marktes führt zu einer Intensivierung des Wettbewerbsdrucks. Trotz dieser Absatzentwicklung ist Deutschland in Europa der Größe nach weiterhin ein ‚Leadmarket‘ – wozu die wiederholt vorzeitige Einführung von Kraftstoffstandards ebenso beiträgt wie die Heimatumgebung wichtiger Automobilkonzerne und deren Technologievorsprung und schließlich auch das europäische Gewicht der deutschen Politik (s.u.; Drüner & Schweicker 2006:31; Mineralölbranche 2 Mitarbeiter, 2006-12-29; Mineralölbranche 3 Mitarbeiter 1, 2007-02-27; Döhmel, Shell, 2007-03-27; Elfert, EID, 2007-05-07).

Eine zweite Ursache für die Entwicklung zu einem Käufermarkt war der Markteintritt zahlreicher neuer Anbieter bis 1969 (vgl. Abbildung 11), die mit niedrigeren Preisen um Marktanteile warben und dadurch zu einem langfristigen Preiswettbewerb beitrugen (MWV 2006b:7ff). Hinter diesem Phänomen steht dabei ein besonderes Charakteristikum des deutschen Marktes: Die traditionell starke Zersplitterung des Marktes mit einem hohen Anteil von Klein- und Mittelständischen Tankstellenunternehmen (KMUs). Auf diese entfallen knapp 40 Prozent der Tankstellen und ein Viertel des Umsatzes, während die Tankstellen der internationalen Mineralölkonzerne³⁹, die sogenannten ‚Farbentankstellen‘, 60 Prozent der Tankstellen und Dreiviertel des Umsatzes halten. Die KMUs stellen dabei über die Nutzung von Importmöglichkeiten und aufgrund niedrigerer Verwaltungskosten ein Wettbewerbskorrektiv im Tankstellenbereich dar (HB 2004-02-12; MWV 2006b:9ff, 25ff, 39; EID 2006-07-31, 2007:72; Homann, IG Mittelstand, 2007-01-31; Mineralölbranche 3 Mitarbeiter 1, 2007-02-27; Elfert, EID, 2007-05-07). Eine erste Folge dieser Wettbewerbsintensität sind niedrige über den Kraftstoffverkauf erzielbare Margen: So beträgt der Gewinn für die Muttergesellschaften der Farbentankstellen pro verkauftem Liter einen halben bis einen Cent vor Steuern. Der Deckungsbeitrag der Tankstellen, unter dem hier der Verkaufspreis weniger der Einkaufskosten und der Steuern verstanden wird, schwankt seit 1997 zwischen sechs und neun Cent pro Liter. Ähnlich verhält sich die Nettomarge für die Tankstellenbetreiber. Um trotz dieser niedrigen Gewinne pro verkauftem Liter ihre Renditeerwartungen zu erfüllen, sind die bundesweit tätigen Mineralölkonzerne auf einen höheren Durchsatz pro Tankstelle und einen Marktanteil von möglichst 10 Prozent angewiesen – allerdings liegen praktisch alle Marktteilnehmer außer den Marktführern Aral/BP und Shell um oder unterhalb dieser Marke (MWV 2006b:34f, 55; Drüner & Schweiker 2006:24, 47; Homann, IG Mittelstand, 2007-01-31; EID 2007-02-05a:6; Elfert, EID, 2007-05-07). Eine zweite Folge der Entwicklung zu einem Käufermarkt ist die Schrumpfung des Tankstellenbestandes von seinem Höchststand 1969 von über 46.000 auf heute 15.000 – das sogenannte ‚Tankstellensterben‘ (vgl. Abbildung 11). Dabei stellen wie erwähnt die notwendigen Investitionen in neue Umwelttechnologien für kleinere Tankstellenbetreiber Marktaustrittsbarrieren dar, was sich in einem geringeren Rückgang der KMU-Tankstellen im Vergleich zu den Farbentankstellen zwischen 1990 und 2007 äußert: So sank die Zahl der Farbentankstellen um 23,5 Prozent, während die der KMUs um 13,1 Prozent zurückging (MWV 2006b:39; EID 2007:70ff).⁴⁰ Infolge der sin-

³⁹ In Deutschland sind die internationalen Mineralölkonzerne vertreten über die Marken Aral (BP), Esso (Exxon-Mobil), Shell, TOTAL und Jet (Conoco/Philips). Hinzu kommen die Markentankstellen der mittleren Mineralölkonzerne Agip, OMV und PKN Orlen. Die Farbentankstellen werden in der Regel von Pächtern und zum Teil auch von Franchisern, in den seltensten Fällen aber von direkt Angestellten des jeweiligen Konzerns geführt (Drüner & Schweiker 2006:21ff; EID 2007:72; MWV 2006b:42).

⁴⁰ Für diese Berechnung wurden die Marken der heutigen MWV-Mitglieder sowie die der Mitglieder im Jahre 1990 herangezogen. Allerdings sind in dieser Entwicklung Einmaleffekte enthalten, die sich aus den Fusionen von BP mit dem Marktführer Aral und von Shell mit DEA ergaben, bei denen diese Unternehmen aus kartellrechtlichen Gründen Tankstellen abgeben mussten, die teilweise von KMU-Tankstellen übernommen wurden (HB 2004-02-12; EID 2007:70ff).

kenden Anzahl von Tankstellen besitzt Deutschland die niedrigste Tankstellendichte pro Kraftfahrzeuge in Europa. Entsprechend hoch ist die Effizienz des gesamten Tankstellennetzes in der flächendeckenden und mengenmäßigen Koordination des Kraftstoffangebots mit der Nachfrage (HB 1988-08-11; FTD 2007-02-02; MWV 2006b:39; Drüner & Schweicker 2006:27; EID 2007:68ff):

„In Deutschland hat der Konkurrenzdruck zu ständigen Kostensenkungen und Effizienzverbesserungen geführt, so dass das deutsche Tankstellennetz wohl das effizienteste in Europa ist. Darum kann man auch mit einer Bruttomarge von 6 bis 7 Cent/l leben, die in anderen Ländern viel höher ist“ (Elfert, EID, 2007-05-07).

Diese Entwicklung des Tankstellenmarktes legt damit zwei Handlungsanreize für die Mineralölkonzerne nahe: Zunächst scheint auch hier der schon auf der Raffinerieebene angesprochene *Marktsättigungseffekt* gegeben zu sein. Dies gilt umso mehr als auf der Raffinerieebene die rückläufige Nachfrage über den Export ausgeglichen wird, auf der Tankstellenebene dagegen nicht (vgl. 4.3.2). Anreize zu Skaleneffekten (*economies of scale*) scheinen dagegen trotz der Betonung des notwendigen zehnpromtigen Marktanteils erstmalig nicht vorzuliegen, da zum Beispiel der Marktanteil von TOTAL Deutschland Anfang 2007 bei 8,5 Prozent lag und zugleich ein ‚Wachstum um jeden Preis‘ abgelehnt wurde (vgl. Porter 1992:335f; Grant & Nippa 2006:325ff; EID 2007-02-05a:6, 2007-02-05b:10; Elfert, EID, 2007-05-07). Dagegen kann aufgrund der Bedeutung des deutschen Marktes von Anreizen zu *sunk costs-Effekten* ausgegangen werden, die über rein ökonomische Aspekte hinausgehen (vgl. Porter 1992:329ff).

4.4.3 Regulierung – Verbrauchssenkung durch Besteuerung?

Hinsichtlich der Regulierung des Tankstellenbereichs sind drei Aspekte von Bedeutung: Die Regulierung durch Umweltauflagen, die Vorgabe anzubietender Kraftstoffe und die Besteuerung der Kraftstoffe. Die umwelt- und sicherheitstechnischen Auflagen der Tankstellen wurden im Zeitverlauf verschärft. Beispiele dafür sind die oben schon erwähnten flüssigkeitssicheren Fahrbahnen, doppelwandige Tanks, Ölabscheider und der Saugrüssel an der Zapfpistole zur Gasrückführung. Diese Umweltstandards ziehen Investitionen in neue Tanktechnologien nach sich, die die Kapitalintensität der Tankstellen steigern (MWV 2006b:23; Döhmel, Shell, 2007-03-27). Zweitens bedeutet die Einführung neuer Kraftstoffstandards für den Tankstellenbereich, dass für neu anzubietende Kraftstoffe, wie zum Beispiel für entschwefelte Kraftstoffe, kostensteigernd neue Zapfsäulen und Tanksysteme installiert werden müssen. Das Verbot von Kraftstoffen wiederum, wie zum Beispiel von verbleitem Benzin, führt zu freien Zapfsäulen (Bockey, UFOP, 2007-01-03; Born, DBV, 2007-01-13). Drittens beeinflusst schließlich die Regulierung die Kraftstoffpreise über die Besteuerung der Kraftstoffe. Diese erfolgt insbesondere in Form der Mineralölsteuer – seit 2006 ‚Energiesteuer‘ –, der ‚Ökosteuer‘ und der Mehrwertsteuer, die auf den Warenwert wie auch die beiden Verbrauchssteuern erhoben wird. Größter Kostenfaktor

tor unter diesen Steuern ist die Mineralölsteuer, die zugleich die größte reine Bundessteuer ist. Seit der Wiedervereinigung wurde die Mineralölsteuer in zwei Schüben direkt nach der Wende und mit der Ökosteuer ab 1999 angehoben (Rudzio 1996:350ff; Kolke et al. 2003:22; MWV 2006b:15ff; Bundestagsfraktion 1 Mitarbeiter 2, 2007-01-31). Diese Steuern erhöhen den Kraftstoffpreis – je nach aktuellem Warenwert – beträchtlich. Zum Beispiel betrug im April 2007 die Differenz des Preises für Eurosuper ohne und mit Steuern über 280 Prozent und bei Diesel über 230 Prozent (EID 2007-05-07a:6). Spätestens seit der Ökosteuer dient die Kraftstoffverteuerung dabei auch explizit der Lenkung des Verbraucherverhaltens in Richtung einer sparsameren Energieanwendung, das heißt, die Kraftstoffbesteuerung dient nicht nur einem reinen Einnahmezweck (Drüner & Schweicker 2006:45f; Däke 2007). Die Wirkung dieser Lenkungsfunktion ist jedoch dadurch beschränkt, dass die Verbraucher kurzfristig relativ unelastisch auf Preiserhöhungen reagieren und dass mittelfristig Gewöhnungseffekte und Kaufkraftsteigerungen eintreten (WELT 2001-04-30; Hautzinger et al. 2004:192ff; Kritzingen 2007). Hinzu kommt – Stichwort: ‚Tanktourismus‘ – das Ausweichen der Verbraucher in grenznahen Regionen (Drüner & Schweicker 2006:45; Homann, IG Mittelstand, 2007-01-31). Erfolgreicher stellt sich dagegen die Spreizung zwischen der Besteuerung unterschiedlicher Kraftstoffe dar, wie sie zum Beispiel zwischen Benzin und Diesel mit einem Steuerunterschied von 18,4 Cent pro Liter seit 1994 praktiziert wird und wesentlich zum Erfolg des Dieselmotors im deutschen Markt und zum steigenden Absatz von Dieselkraftstoff beigetragen hat (Cowan et al. 2003:187ff; Jürgens & Meißner 2005:136; MWV 2006b:16; Strobel & Roedenbeck 2006:17f). Eine Spreizung in der Kraftstoffbesteuerung bedeutet aber auch, dass die Tankstellenbetreiber bei den geringer besteuerten Kraftstoffen einen größeren Margenspielraum haben: So erzielte zum Beispiel Diesel im Jahre 2005 bei höheren Produktkosten und einer niedrigeren Mineralölsteuer einen prozentual höheren Deckungsbeitrag (7,9 Prozent) als der teuerste Ottokraftstoff Eurosuper (6,3 Prozent) (MWV 2006b:10).

Zusammengenommen ergeben sich durch die Regulierung der Tankstellenebene die schon im Technologieabschnitt (4.4.1) angesprochenen Marktaustrittsbarrieren in Form von *sunk costs*-Effekten für die KMU-Tankstellen. Hinzu kommt eine prinzipielle Verstärkung des Marktsättigungseffektes für alle Anbieter durch die Kraftstoffbesteuerung. Außerdem resultieren aus der gesetzlich vorgeschriebenen Einführung neuer Kraftstoffe sowie aus der Spreizung der Steuersätze für Benzin und Diesel regulative Möglichkeitsfenster für die Marktteilnehmer, die als pfaddiversifizierende *Heterogenitätseffekte* verstanden werden können.

4.4.4 Stakeholder und ihre Erwartungen im Tankstellenbereich

Im Tankstellenbereich lassen sich vier Stakeholdergruppen identifizieren, deren Erwartungen die Legitimität der Tankstellenaktivitäten der internationalen Mineralölkonzerne beeinflussen: Die Verbraucher, die Automobilindustrie, politische Akteure und NGOs.

Die erste Akteursgruppe, die Verbraucher, erwarten von den Mineralölkonzernen letztlich verfügbare und kostengünstige Kraftstoffe für ihre Automobile, da sie ihre Mobilität als Besitzstand und Recht betrachten. Dies drückt sich einerseits in ihrer Sensibilität gegenüber Preiserhöhungen aus, die mit einer hohen Wechselbereitschaft zwischen den Anbietern einhergeht. Andererseits aber weisen die Verbraucher wie oben schon angesprochen eine unelastische Nachfrage auf und schränken ihren Verbrauch nur um ein Drittel der entsprechenden Preissteigerungen ein. Hinzu kommt, dass auch ihre Wechselbereitschaft zu sparsameren Automobilmodellen begrenzt ist (Siems et al. 2000; Europäische Kommission 2001:7; Hautzinger et al. 2004:176ff; Drüner & Schweicker 2006:40). Mit der Preissensibilität und unelastischen Nachfrage geht – frei nach dem Motto „I loved to hate the oil industry“ (Diamond 2006:442) – eine negative Attitüde der Verbraucher gegenüber der Mineralölindustrie einher, die medial verstärkt wird (vgl. FAZ 2007-05-23):

„Der Öffentlichkeit ist es schwer zu vermitteln, dass die Mineralölindustrie auf der Upstreamseite viel Geld verdient und an den Tankstellen wenig. Wenn die Mineralölindustrie ihr Tankstellengeschäft mit den Upstreamgewinnen subventionieren würde, würde der Mineralölmittelstand, der nicht upstream tätig ist, Pleite gehen“ (Elfert, EID, 2007-05-07).

Die Legitimität der Mineralölkonzerne wird also seitens der Verbraucher tendenziell in Frage gestellt. Wie das obige Zitat zeigt, erfolgt die Delegitimierung dabei aus der Perspektive des Kunden an der Zapfsäule, bezieht sich aber auf die Mineralölindustrie als solche, also auch auf die Aktivitäten auf den vorhergehenden Stufen der Wertschöpfungskette.

Die zweite wichtige Akteursgruppe sind – wie schon auf der Raffinerieebene – die Automobilkonzerne. Während ihre Erwartungen hinsichtlich der Raffinerieaktivitäten die Produktqualität betrafen, bestehen sie in Bezug auf den Tankstellenbereich in einer gleichmäßigen Versorgung ihrer verkauften Automobile mit dem entsprechenden Kraftstoff. Andernfalls entsteht auf dieser Ebene zwischen der Automobil- und der Mineralölindustrie ein Koordinations- bzw. ein ‚Henne-Ei-Problem‘ (Guderjahn, CropEnergies, 2007-01-22; Döhmel, Shell, 2007-03-27). Das heißt: Ohne die richtigen Kraftstoffe an den Tankstellen bieten die Automobilkonzerne ihre entsprechenden Fahrzeuge nicht an und ohne die entsprechenden Fahrzeuge im Markt lohnt sich für die Tankstelle die Bereitstellung des spezifischen Kraftstoffes nicht. Hinzu kommt, dass die Automobilindustrie möglichst wenig unterschiedliche Kraftstoffe im Markt haben möchte, um im Motorenbau Skaleneffekte erzielen zu können:

„It is not really our desire to have a whole range of different engine specifications. In fact it is the opposite, it is no secret. It is much more economical to make lots of engines the same rather than lots of engines that are all different. So from that point of view we would much prefer to deal with mainstream fuels [...]“ (Automobilhersteller 4 Mitarbeiter, 2007-08-01).

Die dritte Akteursgruppe, die politischen Akteure, betrachtet die Tankstellenaktivitäten als wichtige Einkommensquelle für den Bundeshaushalt. Vor allem aber sind sich die politischen Akteure der Preissensibilität der Verbraucher bewusst und nutzen diese, um sich auf Kosten der Steuersätze und der Mineralölindustrie zu profilieren (Siems et al. 2000; WELT 2004-05-08; Bundestagsfraktion 1 Mitarbeiter 2, 2007-01-31; Homann, IG Mittelstand, 2007-01-31):

„Ernst Hinsken (CSU), der Tourismusbeauftragte der Bundesregierung [...] forderte [...], steuerliche Entlastungen für Autofahrer zu erwägen. ‚Autofahren muss auch für den Normalverdiener erschwinglich bleiben. Ich verstehe die Wut der Autofahrer.‘ [...] FDP-Vize Rainer Brüderle [...] fügte hinzu: ‚Es ist schwer vermittelbar, dass die Benzinpreise immer vor Feiertagen und langen Wochenenden deutlich steigen.‘ [...] Schleswig-Holsteins Wirtschaftsminister Dietrich Austermann (CDU) sagte [...], die ‚großen Konzerne sollten dringend überprüfen, ob ihre Preispolitik der Marktlage entspricht‘. Er fügte hinzu: ‚Ich gehe davon aus, dass die Benzinpreise um etwa zehn Cent zu hoch sind“ (FAZ 2007-05-23).

Die politischen Akteure bestärken also tendenziell die negative Attitüde der Verbraucher gegenüber den Mineralölunternehmen und stellen die Legitimität der Unternehmen in Frage.

Die NGOs als vierte Akteursgruppe auf der Tankstellenebene stellen ebenfalls die Legitimität der Mineralölkonzerne in Frage. Dabei kann zwischen Verbraucherorganisationen und Umweltorganisationen unterschieden werden: Die Verbraucherorganisationen wie zum Beispiel der ADAC erwarten für ihre Klientel günstige Kraftstoffpreise und rufen zuweilen zum Boykott der Farbentankstellen wegen Preissteigerungen auf (WELT 2001-04-30; EID 2007-05-07b:12). Die Umweltorganisationen wie Greenpeace machen sich die Sichtbarkeit der Mineralölunternehmen auf der Tankstellenebene zu nutze, um ihrer Kritik an Unternehmensaktivitäten zum Beispiel im E&P-Bereich mit Verbraucherkampagnen Nachdruck zu verleihen. Herausragendes Beispiel ist der Boykott der Shell-Tankstellen während der Brent Spar-Auseinandersetzung:

„(W)ir (haben) ein bisschen Erfahrung gemacht [...] über soziale Akzeptanz und das hat uns bei Brent Spar ganz kalt erwischt. [...] Mit Fakten hatte Brent Spar nichts zu tun. Greenpeace hat sich nachher auch entschuldigt. Aber sie können gegen eine solch emotionale Kampagne nicht gewinnen“ (Döhmel, Shell, 2007-03-27).

Praktisch alle Akteursgruppen erwarten somit von den Mineralölkonzernen allseits verfügbare, günstige Kraftstoffe: Die Verbraucher, weil sie ihr Mobilitätsbedürfnis günstig befriedigen können und sich nicht umorientieren müssen; die Automobilindustrie, weil eine kostengünstige Pkw-basierte Mobilität die Attraktivität ihrer Produkte erhält; die Verbraucher-NGOs im Interesse ihrer Klienten; die politischen Akteure, weil Preiserhöhungen das Augenmerk auf die lukrative Mineralölsteuer lenken. Ein weiteres wichtiges Moment in den Erwartungen der Akteure ist jedoch ihre tendenziell kritische Grundhaltung gegenüber den Mineralölkonzernen, die deren Legitimität in Frage stellt. Diese negative Haltung, in der sie sich gegenseitig bestärken, bildet zusammen mit der Sichtbarkeit der Unternehmen im Tankstellenbereich die Grundlage für Profilierungsmöglichkeiten

der politischen Akteure und der Verbraucher-NGOs sowie für die Kampagnen der Umwelt-NGOs gegen einzelne Aktivitäten der Mineralölkonzerne auch in anderen Bereichen. Insgesamt gesehen finden sich somit in den Erwartungsstrukturen auf der Tankstellenebene ausgeprägte *Delegitimierungseffekte*.⁴¹

4.4.5 Die strukturellen Handlungsanreize im Tankstellenbereich

Die Strukturen des Tankstellenbereichs legen den IOCs folgende Handlungsanreize nahe (s. Tabelle 9): In den (a) technologischen Strukturen finden sich zwei positive Rückkopplungsanreize, die jeweils über die Tankstellenebene hinausgehen: So beinhaltet die Interaktion zwischen der Form der Kraftstoffabgabe und des Tanksystems des Automobils *Komplementaritätseffekte*, während die räumliche und mengenmäßige Koordination von Kraftstoffangebot einerseits und der Nachfrage der Autofahrer andererseits *direkte Netzwerk-* bzw. *Koordinationsseffekte* mit sich bringt. Beide Effekte entfalten ihre Wirkung insbesondere als Hindernis für die Etablierung neuer Kraftstoffe im Markt, für die sich im Falle einer fehlenden Kompatibilität mit dem bestehenden System das sogenannte Henne-Ei-Problem zwischen dem Aufbau einer Angebotsinfrastruktur und der entsprechenden Nachfrage stellt (vgl. Zundel et al. 2005:27f; Mineralölbranche 1 Mitarbeiter, 2007-02-06; Döhmel, Shell, 2007-03-27). Beide ebenenübergreifenden Effekte werden somit weniger am Verhalten der Mineralölkonzerne deutlich denn an der Frage, ob und wie alternative Kraftstoffe eingeführt werden (vgl. Kapitel 5.2 und 5.3). Schließlich legen die für die Tankstelleninfrastruktur notwendigen Investitionen für KMU-Tankstellenbetreiber, weniger aber für die IOCs *sunk costs-Effekte* in Form von Marktaustrittsbarrieren nahe.

Tabelle 9: Die strukturellen Handlungsanreize im Tankstellenbereich

	<i>Allokative Strukturen</i>		<i>Autoritative Strukturen</i>	<i>Legitimationsstrukturen</i>
	<i>Technologie</i>	<i>Markt</i>	<i>Regulierung</i>	<i>Erwartung</i>
<i>Positive Rückkopplungsanreize</i>	- Direkte Netzwerk- bzw. Koordinationsseffekte - Komplementaritätseffekte	- Sunk costs-Effekte	- keine	- keine
<i>Veränderungsanreize</i>	- keine	- Marktsättigungseffekte	- Heterogenitätseffekte	- Delegitimierungseffekte

Die (b) Marktstrukturen des Tankstellenbereichs beinhalten für die IOCs *sunk costs-Effekte* aufgrund der Bedeutung des deutschen Marktes. Ein Indikator für das Befolgen dieses Handlungsanreizes könnte der Verleib von ExxonMobil im deutschen Markt sein,

⁴¹ Es sei darauf hingewiesen, dass die kritische Haltung der Verbraucher in Kombination mit ihrer unelastischen, keine Konsequenzen ziehenden Nachfrage auf einen *Lock-in* im Arthurschen (1989:122) Sinne des folgenlosen ‚regrets‘ erfüllt.

obwohl ihr Anteil im Tankstellenbereich seit 2005 kurz unterhalb der 10 Prozent-Schwelle liegt und tendenziell leicht sinkt (vgl. ExxonMobil 2006b; EID 2007-02-05a:6).

„Dass internationale Mineralölgesellschaften wie z.B. Esso weiterhin im deutschen Tankstellenmarkt tätig sind, hängt auch damit zusammen, dass der deutsche Markt der größte in Europa ist, und den verlässt man nicht so einfach“ (Elfert, EID, 2007-05-07).

Ebenfalls in der Marktstruktur angelegt sind durch die rückläufige Nachfrage verursachte *Marktsättigungseffekte*. Auf diese reagieren die Mineralölkonzerne auf differenzierte Art und Weise: Durch die Ausdünnung und Effizienzsteigerung des Tankstellennetzes, durch die Erschließung von zusätzlichen Einkommensquellen wie dem Shopgeschäft sowie durch klassische Differenzierungsbemühungen über Service und ‚Qualitätskraftstoffe‘ aufgrund besonderer Additive. Letzterem setzen die KMUs die ebenfalls klassische Preisführerschaftsstrategie gegenüber (Porter 1992:334ff; Grant & Nippa 2006:310ff; Drüner & Schweicker 2006:17ff; Homann, IG Mittelstand, 2007-01-31):

„Das ist die überwiegende Differenzierung, die man heute hat. Beide den konventionellen Kraftstoffen sich zu differenzieren über hochwertige Additivtechnologie und das funktioniert sehr gut“ (Mineralölbranche 2 Mitarbeiter, 2006-12-29).

Die (c) Regulierungsstrukturen verstärken den Marktsättigungseffekt der Marktstrukturen über die steuerliche Belastung der Kraftstoffe. Hinzu kommen *Heterogenitätseffekte*, die in der Spreizung der Steuersätze angelegt sind. Diese befolgte zum Beispiel Aral, die frühzeitig einen hochwertigen Dieselmotorkraftstoff einführte, um am Wachstum des Dieselmotorkraftstoffmarkts zu partizipieren:

„1987 [...] [hat] Aral Superdiesel eingeführt [...], wo alle sagten ‚Jetzt ticken die gar nicht mehr. Für die paar Traktoren und Lastwagen jetzt auch noch etwas für den Diesel machen?‘ – [...] Aral hat schlagartig 45 Prozent Anteile dazu gewonnen. Das ist eine Welt, ein Universum ist das auf dem Dieselsektor. Und wenn sie mal so ein bisschen die Historie der Dieseleentwicklung zurückschauen werden sie merken, dass das ein goldener Griff war, denn von da an ging es stetig mit der Dieseleentwicklung bergauf [...]“ (Mineralölbranche 2 Mitarbeiter, 2006-12-29).

Bei den (d) Erwartungsstrukturen finden sich *Delegitimierungseffekte* seitens aller Akteursgruppen. Auf diese bzw. den Vorwurf zu hoher Preise reagieren die Mineralölkonzerne mit einer ‚Schwarzer-Peter‘-Strategie, indem sie bzw. ihr Verband wiederholt auf die Besteuerung und damit auf die Verantwortung der Politik für die deutschen Kraftstoffpreise hinweisen (vgl. MWV 2006b:9ff; Picard 2007).

4.5 Endverbrauch – Innovationsdynamiken im Automobilbereich

Wie schon in der Diskussion des Raffinerie- und des Tankstellenbereichs deutlich wurde, besitzt der Endverbrauch von Benzin und Diesel einen direkten Einfluss auf die vorhergehenden Glieder der Wertschöpfungskette in Form der nachgefragten Kraftstoffart, der Kraftstoffmenge und der Kraftstoffqualität. Zugleich liegt der Verbrauch jenseits des Geschäftsbereichs der Mineralölkonzerne, so dass sie nur einen indirekten Einfluss auf seine Entwicklung nehmen können. Stattdessen sind auf dieser Stufe die Aktivitäten der Automobilkonzerne ausschlaggebend, die wie bereits bei der Operationalisierung erwähnt ins-

besondere im Rahmen des deutschen Marktes und seiner europäischen Einbettung analysiert werden.⁴²

4.5.1 Technologieentwicklung im Automobilbereich – Verbrauch und Emissionen

Für die Art und Weise, wie Benzin und Diesel im Automobil zur Anwendung kommen, sind technologisch gesehen die Entwicklung des Verbrennungsmotors und der Abgasnachbehandlung ausschlaggebend. Ein weiteres Technologiethema ist die Frage der Energieeffizienz des Automobils. Diese Entwicklungen sind oben insbesondere im Rahmen des Raffineriebereichs schon angesprochen worden (vgl. 4.3.2).

Der Verbrennungsmotor stellt seit dem Erfolg des Ottomotors über Dampf- und Elektromotoren das ‚Herzstück‘ des heutigen Automobils dar (Pelkmans et al. 2003a:12; Canzler & Schmidt 2003:10). Zugleich bildet der Verbrennungsmotor die Grundlage für die Entwicklung von Benzin und Diesel zu den Hauptprodukten der Mineralölindustrie (Yergin 2003). Dabei dominiert im Pkw-Bereich bis heute der Ottomotor, obwohl sich seit den Siebziger Jahren in Deutschland und Europa auch der Dieselmotor im Markt durchsetzte (Pelkmans et al. 2003a:13; Cowan et al. 2003). Der Ottomotor basiert auf der Injektion eines Benzin-Luftgemisches in den Zylinder, die dortige Verdichtung und anschließende Zündung durch eine Zündkerze. Dieses bis heute angewendete Prinzip wurde vor allem seit den Siebzigern hinsichtlich der verursachten Emissionen (CO, HC, NO_x) sowie des Kraftstoffverbrauchs verbessert. Zentrale Schritte waren dabei die stärkere Verdichtung des Benzin-Luftgemisches (Turbolader) und die elektronische Steuerung des Verbrennungsprozesses, die das Luft-Kraftstoffverhältnis und den Zündzeitpunkt optimiert. Wichtiger Bestandteil ist dabei die Messung des Kraftstoffgehaltes in den Abgasen durch die Lambdasonde. Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoff und Stickoxide werden schließlich mit Hilfe des Drei-Wege-Katalysators aus dem Abgas gefiltert (Pelkmans et al. 2003a:14ff, 29f; Petersen 2003:79). Der Dieselmotor dagegen basiert auf dem Prinzip, dass der Kraftstoff direkt in die Brennkammer eingespritzt wird und dort zusammen mit verdichteter und deshalb heißer Luft von alleine zündet (Selbstzünder). Auch der Diesel wurde in den letzten Jahrzehnten erheblich verbessert hinsichtlich seiner Emissionen (CO, HC, NO_x, PM) und seines Verbrauchs wie auch hinsichtlich seiner Geräusentwicklung und seines Fahrverhaltens (Beschleunigung). Zentral dafür waren die Entwicklung der Direkteinspritzung unter hohem Druck sowie die Einführung von Oxidationskatalysatoren zur Reduktion von CO und HC sowie von Filtern zum Auffangen der Rußpartikel.⁴³ Diese Filter

⁴² Obwohl diese derzeit an einer Vielzahl alternativer Antriebskonzepte arbeiten, die vom Benzin- und Dieselpfad abweichen, geht es an dieser Stelle allein darum, die Entwicklungen der technologischen, ökonomischen, regulatorischen und Erwartungsstrukturen im letzten Glied der bisherigen Wertschöpfungskette von Benzin und Diesel darzustellen. Die Entwicklung der alternativen Antriebe wird dagegen in Kapitel 5.2 erörtert.

⁴³ Im Gegensatz zum Ottomotor braucht der Diesel aus drei Gründen einen Rußpartikelfilter: Erstens produziert der Diesel aufgrund der größeren Schwere von Dieselmotorkraftstoff und einer nicht-homogenen Verbrennung grundsätzlich mehr Rußpartikel als der Ottomotor. Zweitens besteht beim Verbrennungsvorgang ein trade-off zwischen der Menge der NO_x und der Rußpartikel, da NO_x bei einer heißen und Rußpartikel bei kälterer und sauer-

werden in Intervallen gereinigt durch die Erhitzung der Abgase mit Hilfe einer Kraftstoffnacheinspritzung (Pelkmans et al. 2003a:22ff; Jürgens & Meißner 2005:128ff; Automobilhersteller 2 Mitarbeiter 1, 2006-12-14). Derzeit findet eine Weiterentwicklung in der Dieselnachbehandlung durch SCR-Systeme (*Selective Catalytic Reduction*) statt, die zum Beispiel unter der Bezeichnung ‚BLUETEC‘ im Lkw-Bereich bereits eingesetzt wird und die Abgase bereits auf das Niveau der EURO 5-Norm für Lkws senkt. Bei dieser *end-of-pipe*-Lösung wird der *trade-off* im Verbrennungsprozess zwischen Partikeln und Stickoxiden auf minimale Partikelwerte ausgelegt und die Stickoxide mit Hilfe von Harnstoff im SCR-System katalytisch reduziert. Eine Kraftstoffnacheinspritzung wie beim Partikelfilter ist für das SCR-System nicht notwendig – allerdings erreicht es auch nicht dieselben Partikelwerte wie die Nachbehandlung mit Partikelfilter (Pelkmans et al. 2003a:33; auto-schweiz 2006:18; VDA 2007a:187).

Wie im Raffinerieabschnitt angesprochen bedeutete die Entwicklung der Verbrennungsmotoren und ihrer Nachbehandlung, dass diese Automobile auf qualitativ höherwertige Kraftstoffe angewiesen sind: Beim Benzin war aufgrund des empfindlichen Katalysators die Einführung von blei- und schwefelfreiem Ottokraftstoff sowie eines niedrigeren Aromatengehalts zur Absenkung der Emissionen von Benzol, Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid notwendig. Beim Dieseldieselkraftstoff musste vor allem der Schwefelgehalt gesenkt werden, da Schwefel zum einen die Produktion von Rußpartikeln steigert und zum anderen die Funktion der Katalysatoren und der Partikelfilter beeinträchtigt. Außerdem wurde zur Sicherstellung der Zündwilligkeit des Dieseldieselkraftstoffes eine Cetanzahl von 52 als Minimum festgelegt (Hitzler & Bargende 2000:4f, 11; MWV 2001:15; Hultén & Pelkmans 2003:152ff; Pelkmans et al. 2003a:14; Automobilhersteller 2 Mitarbeiter 1, 2006-12-14; EurActiv 2007-06-29; VW 2007a:5).

Hinsichtlich der Energieeffizienz des Automobils bedeuteten die Weiterentwicklungen in der Motorentechnologie nicht nur Fortschritte bei den Abgasen, sondern auch für den Durchschnittsverbrauch, so dass dieser seit den Siebzigern erheblich gesunken ist. Diese Entwicklung wurde allerdings partiell kompensiert durch die Leistungssteigerung der Automobile, durch die gewichtsfördernde und Kraftstoff erfordernende Entwicklung der Nachbehandlung, durch ebenfalls gewichtsfördernde Sicherheitsmaßnahmen sowie durch Kraftstoff konsumierende Ausstattungen wie zum Beispiel Klimaanlage. Weitere technologische Effizienzsteigerungen sind durch Leichtlaufreifen, Veränderungen im Karosseriebau und in der Getriebetechnik möglich (Pelkmans & Christidis 2003:1f; MWV 2006b:38; VDA 2007a:124f; NGO Mitarbeiter 2, 2007-03-28).

stoffärmerer Verbrennung entstehen. Das heißt, dass der Ausstoß des einen nur zu Lasten des anderen minimiert werden kann. Da der Diesel drittens als Magermotor – das heißt, das gezündete Kraftstoff-Luft-Gemisch enthält mehr Luft als zum Verbrennen des Kraftstoffes notwendig ist – Sauerstoff in seinem Abgas produziert, kann der NOx-reduzierende und Sauerstoffsensible Drei-Wege-Katalysator nicht verwendet und die Verbrennung damit nicht zu Lasten der NOx-Produktion optimiert werden (Pelkmans et al. 2003a:29ff; VW 2007e).

Zusammengenommen lässt sich hinsichtlich der Antriebs- und Abgasnachbehandlungstechnologie eine schrittweise Verbesserung der Abgaswerte erkennen, die eine koevolutorische Verbesserung der Kraftstoffe benötigte. Die Weiterentwicklung in der Abgastechnologie macht weiter steigende Anforderungen an die Kraftstoffe wahrscheinlich, wie zum Beispiel einen niedrigeren Aromatengehalt. Auf Seiten der Energieeffizienz wurden beträchtliche Fortschritte erzielt, die allerdings stets einem *trade-off* mit dem Leistungsprofil der Automobile ausgesetzt sind. Damit findet sich in der auf Benzin und Diesel bezogenen Technologieentwicklung des Automobilbereichs der schon auf der Raffinerieebene (4.3.3) angesprochene technologische Komplementaritätseffekt infolge der Interdependenz von Kraftstoff und Antriebstechnologie inklusive der Abgasnachbehandlung wieder. Hinzu kommt der im Raffinerie- und im Tankstellenbereich (4.3.2 und 4.4.2) angesprochene Marktsättigungseffekt infolge eines sinkenden Durchschnittsverbrauchs.

4.5.2 Ökonomie – Globale Märkte und regionale Trends

Der Automobilmarkt ist ein globaler Markt. Zugleich aber untergliedert sich der Markt regional infolge unterschiedlicher Verbrauchervünsche, Wachstumstrends und Regulierungen. Die wichtigsten Märkte bilden dabei die Triade USA, Europa und Japan, wobei in den letzten Jahren mit Russland und China wichtige Wachstumsmärkte hinzugekommen sind. Der deutsche Markt stand zwischen 1996 und 2006 für jährlich rund 3,5 Millionen Neuzulassungen. Mit einem Marktwachstum von 3,8 Prozent im Jahre 2006 ist der deutsche Markt damit als ein zwar weitgehend gesättigter aber zugleich zentraler europäischer Volumenmarkt anzusehen (Jürgens & Meißner 2005:127ff; VDA 2007a:40, 48, 54ff). Zugleich ist der deutsche Markt als Heimatmarkt zahlreicher namhafter Hersteller mit technologischer Vorreiterrolle von besonderer Bedeutung:

„Wenn Sie sich mal den Stand der Technik im Automobilbereich anschauen, ist unsere Einschätzung, dass die deutsche Automobilindustrie mindestens drei, wenn nicht fünf Jahre technologisch allen anderen voraus ist“ (Döhmel, Shell, 2007-03-27).

Dieser Automobilmarkt ist durch vier Entwicklungen gekennzeichnet: Erster Trend ist die ‚Dieselisierung‘ des deutschen wie auch anderer europäischer Märkte (Frankreich, Österreich), wobei mittlerweile 44,5 Prozent der Neuzulassungen in Deutschland und 50,8 Prozent in Europa Dieselfahrzeuge sind. Diese wurde von europäischen Herstellern (Renault, Daimler, Volkswagen, Fiat) vorangetrieben und steht im klaren Gegensatz zur Bevorzugung von Benzinern (und Hybriden) im US-amerikanischen und japanischen Markt (Cowan et al. 2003:186f; Jürgens & Meißner 2005:128ff; VDA 2007a:49; Kirchberger 2008:T3). Der Absatz von Fahrzeugen mit den im zweiten Empirieteil (vgl. 5.2) näher erörterten alternativen Antrieben und Kraftstoffen hält sich dagegen in engen Grenzen und ist damit für die OEMs (‚*Original Equipment Manufacturer*‘) aufgrund niedrigerer Stückzahlen ökonomisch weniger attraktiv (vgl. Tabelle 10):

Tabelle 10: Deutscher Pkw-Bestand 2008 und 2007 nach Kraftstoffarten⁴⁴

Kraftstoffart	01.01.2008		01.01.2007	
	Anzahl	Anteil in %	Anzahl	Anteil in %
Benzin	30 905 204 (sic!)	75	35 594 333 (sic!)	76,4
Diesel	10 045 903	24,4	10 819 760	23,2
LPG (einschl. bivalent)	162 041	0,4	98 370	0,2
CNG (einschl. bivalent)	50 614	0,1	42 759	0,1
Hybrid	17 307	0,0	11 275	0,0
Elektro	1 436	0,0	1 790	0,0
Sonstige (z.B. FFVs)	1 089	0,0	1 370	0,0
Insgesamt	41 183 594	100	46 569 657	100

Quelle: KBA 2008:20; eigene Darstellung.

In ihren Prognosen sagen die Automobilhersteller eine stärkere Verschiebung in diesen Marktanteilen voraus. So prognostizierte zum Beispiel Volkswagen für Westeuropa im Jahre 2015 einen Dieselanteil von 51 Prozent und einen Ottoanteil von nur noch 41 Prozent. Die verbleibenden acht Prozent verteilen sich nach dieser Prognose auf Erdgas (CNG) und Autogasfahrzeuge (LPG) (fünf Prozent), auf Hybridfahrzeuge (zwei Prozent) und auf mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzellenfahrzeuge oder Benziner (ein Prozent). Für das Jahr 2025 werden die Werte von 49 Prozent Marktanteil für Dieselfahrzeuge prognostiziert sowie 38 Prozent für Benziner, sieben Prozent für CNG- und LPG-Pkw sowie je drei Prozent für Hybrid- und Wasserstofffahrzeuge (Lehold 2006a:5). Auch wenn diese Prognose nur eine veränderliche Momentaufnahme war, deuten auch andere Szenarioanalysen für Westeuropa auf einen weiteren Dieseltrend und auf ein begrenztes Wachstum alternativer Antriebe zu Lasten von Ottofahrzeugen hin:

„The main conclusion from the scenario analysis is that although alternative technologies are promising from the technical point of view, their market potential is questionable if no measures to support them are taken. Most scenarios describe a situation of the market being dominated by conventional internal combustion engines at least until 2010. The gradual shift from gasoline to diesel is expected to continue in the meanwhile and, under certain conditions, an evolution from conventional ICEs [Internal Combustion Engine; JCS] to hybrid vehicles (probably ICE-electric) can be expected afterwards. Electric vehicles can be expected to capture a limited market only, while the share of fuel cells can become significant in the longer term“ (Christidis et al. 2003:6).

Der zweite Trend bestand in der langjährigen Tendenz zu größeren, schwereren und komfortableren Automobilen, die die technologischen Effizienzgewinne beim Kraftstoffverbrauch partiell wieder aufbrauchen wie zum Beispiel die Nachfrage nach Klimaanlage

⁴⁴ Nur angemeldete Fahrzeuge ohne vorübergehende Stilllegungen/Außerbetriebsetzungen.

und anderen Zusatzausstattungen oder nach *Sport Utility Vehicles* (Hultén 2003:204f; NGO Mitarbeiter 2, 2007-03-28; VDA 2007a:54f, 123ff; Kirchberger 2008:T3):

„Consumers tend to upgrade cars; they often sell or scrap their old car in order to buy a larger, faster or more expensive one“ (Christidis 2003:177).

Ein dritter Trend, der ebenfalls die Effizienzsteigerungen beim Kraftstoffverbrauch kompensiert, ist auf der Anwendungsseite die steigende Fahrleistung. So wuchs zwischen 1970 und 1999 die Zahl der pro Jahr mit dem Pkw zurückgelegten Kilometer in den 15 EU-Mitgliedsstaaten kontinuierlich von über 1.500 auf über 3.500 Milliarden Kilometer (Europäische Kommission 2001:22; Lehold 2006b:3; VDA 2007a:131).

Eine vierte Entwicklung schließlich besteht in einer Zunahme des Durchschnittsalters deutscher Pkws von 1995 bis 2007 von 6,75 Jahren auf acht Jahre. Auch dabei macht sich die Dieselisierung bemerkbar, da das Durchschnittsalter der Dieselfahrzeuge im Jahre 2007 nur 5,4, das der Benziner aber neun Jahre betrug (Christidis 2003:182; VDA 2007a:220). Das bedeutet, dass sich die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte nur mittel- bis langfristig ändert, dass die heute verkauften Fahrzeuge eine wahrscheinlich lange Verweildauer im Markt haben werden und dass die Benzinerflotte überalterter ist als die Dieselflotte.

Die dargelegten Entwicklungen bedeuten, dass sich erstens die deutsche und europäische Kraftstoffnachfrage im Gegensatz zum US- und japanischen Markt zugunsten von Diesel verschiebt, was den im Raffinerieabschnitt (4.3.2) angesprochenen negativen Nachfrageeffekt beinhaltet. Zweitens sinkt infolge des Trends zu komfortableren Fahrzeugen und steigenden Fahrleistungen die Kraftstoffnachfrage nicht in dem Maße, wie sie auf Basis der Effizienzgewinne beim Kraftstoffverbrauch könnte. Diese Entwicklung in der Marktstruktur des Automobilbereichs beinhaltet somit einen in der Nachhaltigkeitsliteratur bekannten und den Marktsättigungseffekt bremsenden ‚*Rebound-Effekt*‘, der als positiver Rückkopplungsanreiz betrachtet werden muss (vgl. Huber 2001:377). Ein weiterer in der Marktstruktur angelegter positiver Rückkopplungsanreiz ist ein *Verzögerungseffekt*. Dieser resultiert aus der Größe und der langsamen Verjüngung der deutschen Pkw-Flotte und den damit einhergehenden verzögerten Auswirkungen von neuen Antriebstechnologien auf die Kraftstoffnachfrage.

4.5.3 Regulierungen im Pkw-Bereich

Die Regulierung des Automobilbereichs stellt eine der wichtigsten Innovationskräfte hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs und der Emissionen dar (vgl. Pelkmans et al. 2003a:17; Jürgens & Meißner 2005:128; Jacob et al. 2005:116ff). Die regulativen Maßnahmen bestehen vor allem in Grenzwerten für die Abgase und den Kraftstoffverbrauch sowie in der Besteuerung der Pkws.

Zentrale regulative Maßnahme war die schon im Abschnitt zum Raffineriebereich geschilderte Entwicklung europäischer Abgasstandards für Otto- und Diesel-Pkw zur Verbesse-

rung der Luftqualität seit 1970 (Hultén & Pelkmans 2003:154; Taminiau 2006:255; EU 2007a). Die Meilensteine dieser Entwicklung sind die EURO-Normen (EURO 1 seit 1992; EURO 2 seit 1996; EURO 3 seit 2000; EURO 4 seit 2005; EURO 5 ab 2009; EURO 6 ab 2014), in denen die erlaubten Emission von Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffoxid (NO_x), Kohlenwasserstoff (HC) und Partikeln (PM) schrittweise abgesenkt wurden (Europäische Kommission 2000; Friedrich et al. 2000; Jürgens & Meißner 2005:132f; Aigle & Marz 2007:47). Die Verschärfung der Abgasstandards ist nicht auf den europäischen Markt beschränkt, sondern erfolgt mit anderen regulatorischen Maßnahmen und Grenzwerten auch in den USA und Japan (Hultén & Pelkmans 2003:160ff; Jürgens & Meißner 2005:132f; Taminiau 2006:254). Wichtig ist dabei, dass die europäischen Abgasstandards und dafür verwendete Testzyklen weltweit öfter durch Drittländer adaptiert werden als die der USA oder Japans. Damit steigt für Hersteller, die an den europäischen Standards orientiert sind, die Möglichkeit, Skaleneffekte zu erzielen (Hultén & Pelkmans 2003:153). Hinzu kommt, dass die europäischen Abgasstandards andere Anforderungen an Diesel- als an Otto-Pkw stellen. Mit dieser Spreizung ermöglichte die europäische Regulierung den Erfolg des Diesels, der sich erst in den Neunzigern in seiner Abgasleistung erheblich verbesserte. Bisher letzter Schritt war die durch die EURO 4-Norm wie auch durch die europäische Luftrahmenrichtlinie von 1996 notwendig gewordene Einführung von Rußpartikelfiltern, die den Kraftstoffverbrauch über die erforderliche Nacheinspritzung zur Filterreinigung erhöht (Europäischer Rat 1996; Hultén & Pelkmans 2003:155; Cowan et al. 2003:193ff; Roth-Behrendt & Nowak 2004:309ff; EU 2007c; EurActiv 2007-03-16).⁴⁵

Ein zweiter auf europäischer Ebene regulierter Aspekt betrifft den Kraftstoffverbrauch bzw. die CO₂-Emissionen des Pkw-Verkehrs. Virulent wurden diese infolge des Kyoto-Protokolls von 1997 und der 1998 beschlossenen EU-internen CO₂-Reduktion sowie durch die Tatsache, dass die Emissionen im Verkehrsbereich – die rund 20 Prozent der CO₂-Gesamtemission ausmachen – als einzige zunehmen (Europäische Kommission 2001:10f; 2007a:2; Böhler & Bongardt 2007). Die verkehrsbedingten CO₂-Emissionen wurden erstmals formal geregelt durch die 1998er Selbstverpflichtung der europäischen Organisation der Automobilhersteller (ACEA) gegenüber der Europäischen Kommission, bis 2008 für die neu zugelassenen Wagen eine durchschnittliche CO₂-Emission von 140 g/km zu erreichen.⁴⁶ Zudem verpflichteten sich die Hersteller im Jahr 2003 zu prüfen, ob eine durchschnittliche CO₂-Emission von 120 g/km der Neuwagen bis 2012 möglich ist. Da aber im Jahre 2004 absehbar wurde, dass die europäischen Automobilhersteller ihre Ver-

⁴⁵ Die europäische Luftrahmenrichtlinie 96/62/EG von 1996 adressiert zusammen mit mehreren Tochtrichtlinien die Grenzwerte der allgemeinen Luftqualität unter anderem auch von Staubpartikeln (Europa 2007c; Roth-Behrendt & Nowak 2004:309ff).

⁴⁶ Die japanischen (JAMA) und koreanischen (KAMA) Automobilhersteller verpflichteten sich, die 140 g CO₂ pro km im Jahre 2009 zu erreichen. Der Marktanteil dieser Hersteller bei den Neuzulassungen liegt bei zehn und fünf Prozent (EU 2007d).

pflichtung nicht werden einhalten können, wurden durch die EU verbindliche Flottenziele von 130 g/km bis 2012 festgelegt. Die restlichen 10 g/km sollen in Form eines von den OEMs propagierten integrierten Ansatzes durch den Einsatz von Biokraftstoffen erreicht werden (Hultén & Pelkmans 2003:159; Jacob et al. 2005:117; Automobilhersteller 2 Mitarbeiter 1, 2006-12-14; Europäische Kommission 2007a:9; EU 2007d; Böhler & Bongardt 2007; VDA 2007a:141; EurActiv 2007-05-16).

Der dritte Regulierungsaspekt, die Besteuerung, ist auf der nationalstaatlichen Ebene verankert. Diese besteht in Deutschland in erster Linie aus der Besteuerung des Pkw-Besitzes über die Kraftfahrzeugsteuer, die sich am Hubraum anhand des Pkws und seiner Emissionsklasse (EURO-Norm) bemisst. Interessanterweise gelten dabei höhere Steuersätze für den Hubraum bei Dieselfahrzeugen als bei Benzinern, so dass die Kfz-Steuer den Diesel benachteiligt und damit die Bevorteilung bei der Mineralölsteuer partiell wieder kompensiert – wobei wiederum Dieselfahrzeugen mit Rußpartikelfilter steuerlich bevorzugt werden.⁴⁷ Außerdem werden Fahrzeuge mit Elektroantrieb durch eine fünfjährige Befreiung von der Kfz-Steuer gefördert, während Fahrzeuge, die alternative Kraftstoffe wie CNG, Biodiesel oder E85 verwenden nach den Steuersätzen für Benzinern und Diesel besteuert werden (vgl. VDA 2007a:32ff). Gegenwärtig in der Diskussion ist die Umstellung der deutschen Kfz-Steuer von der Hubraumbemessung auf eine CO₂-Basis, die ab 2009 aufkommensneutral in Kraft treten soll. In diesem Falle wäre der Diesel aufgrund seines niedrigeren Verbrauchs nicht mehr benachteiligt. Allerdings erschweren Zielkonflikte zwischen Aufkommensneutralität, Gleichbelastung der Pkw-Besitzer und Anreize zum Erwerb CO₂-effizienter Pkws sowie die Tatsache, dass die Kfz-Steuer eine der größeren Ländersteuern ist und somit den Regeln der deutschen ‚Politikverflechtungsfalle‘ unterliegt, die Umsetzung (Scharpf et al. 1976; Rudzio 1996:350ff; Gottschalk 2007:3; Bundesregierung 2007:32; Sievers 2008). Weitere den automobilen Endverbrauch betreffende steuerliche Regelungen sind die Pendlerpauschale, die 2005 abgeschaffte und zu längeren Arbeitswegen führende Eigenheimzulage, sowie die Dienstwagenregelung, die den Erwerb größerer Fahrzeuge fördert. Diese Regelungen wirken sich somit negativ auf den Kraftstoffverbrauch aus (Kolke et al. 2003:24; Böhler & Bongardt 2007).

Die den Kraftstoffverbrauch betreffende Regulierung des Automobilbereichs weist somit zunächst hinsichtlich der Abgasregulierung eine Ko-Evolution mit den steigenden regulativen Anforderungen an die Kraftstoffqualität auf. Die Verbesserung der Abgaswerte geht allerdings teilweise zu Lasten des Kraftstoffverbrauchs durch zum Beispiel steigende Fahrzeuggewichte und die Verwendung von Kraftstoff zur Reinigung der Partikelfilter (vgl. VDA 2007a:124f). Zugleich setzt die Regulierung den Automobilbereich über die Flottenverbrauchswerte sowie die eventuelle CO₂-basierte Umstellung der Kfz-Steuer einem di-

⁴⁷ Dies gilt insbesondere für selten bewegte Diesel, nicht aber für ‚Vielfahrer‘, da die höhere Kfz-Steuer durch die Ersparnis bei der Mineralölsteuer pro gefahrenem Kilometer ausgeglichen wird.

rekten und einem indirekten Druck in Richtung weiterer Effizienzsteigerungen aus. Dieser wird zugleich durch die Anrechnung von Biokraftstoffen auf die CO₂-Emissionen des Verkehrs abgemildert. Sonstige steuerliche Regelungen wie die Pendlerpauschale und die Dienstwagenregelung dagegen fördern bzw. förderten den Kraftstoffverbrauch. Insgesamt gesehen unterstützen die Regulierungsstrukturen somit einerseits die Marktsättigungseffekte durch steigende Effizienzanforderungen und die Unterstützung von Biokraftstoffen. Andererseits aber enthalten die Regulierungsstrukturen auch positive Rückkopplungsanreize, dadurch dass sie die Interdependenz zwischen Kraftstoff und Verbrennungsmotor verstärken, also technologische Komplementaritätseffekte (vgl. 4.3.3). Zudem resultieren die Regulierungsstrukturen in weiteren *Rebound-Effekten*, unter anderem indem sie den Abgasnachbehandlungsaufwand erhöhen sowie den Verbrauchern verbrauchsintensive Entscheidungen nahe legen.

4.5.4 Erwartungen an die Automobilindustrie

Da sich die Stakeholdererwartungen im Automobilbereich nicht an die Mineralölkonzerne, sondern an die Automobilindustrie richten, wird die Erörterung hier auf die Erwartungen der Verbraucher beschränkt. Die Erwartungen der Verbraucher an die Automobilindustrie sind insofern zentral für die weitere Entwicklung des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘, als diese Erwartungen einen wesentlichen Einfluss darauf haben, welche Art, Menge und Qualität von Kraftstoffen nachgefragt wird. Hinsichtlich der Erwartungen der Verbraucher sind drei Aspekte zu erwähnen: Erstens stehen die Verbraucher den Abgasen und CO₂-Emissionen des Verkehrs kritisch gegenüber, setzen dieses aber in kein eigenes Handeln um wie zum Beispiel in die Nutzung anderer Verkehrsformen oder sparsamerer und sauberer Autos. Das Bewusstsein und das Handeln der Verbraucher fällt also auseinander, so dass sie die Lösung dieser Fragen den anderen Akteuren überlassen, insbesondere der Automobilindustrie und dem Staat (Strümpel 1990:76ff; Euro-Barometer 2008:22). Stattdessen, und das ist der zweite erwähnenswerte Aspekt, entwickeln die Verbraucher wie oben schon erwähnt steigende Erwartungen an ihre Mobilität, wie die zurückgelegten Pkw-Kilometer (vgl. 4.5.2) und der Verweis des deutschen Automobilverbandes VDA (2007a) auf die gestiegenen Ansprüche an den Fahrkomfort, die die effizienzsteigernden Maßnahmen kompensieren, deutlich machen (vgl. Kemp et al. 1998:178; Christidis 2003:177):

„The expectations placed on vehicles' function have shifted considerably since 1990, as seen for example in the demand for station wagons and new space concepts, both of which presuppose added weight. Convenience features such as air conditioning, electronic seats, etc. that are a matter of course today presuppose additional weight“ (VDA 2007a:124f).

Die Erwartungen der Verbraucher an das Produkt ‚Automobil‘ illustriert auch der Erfolg des Diesels, der insbesondere die Abneigung des Verbrauchers gegenüber Verzicht in unterschiedlichster Form deutlich macht: So setzte die Marktdurchdringung des Diesels erst ab dem Zeitpunkt ein, ab dem zu den finanziellen Einsparmöglichkeiten ein dem Ot-

tomotor vergleichbares Fahrverhalten (Beschleunigung, Geräuschentwicklung) trat, so dass sich die ‚Freude am Sparen‘ und die ‚Freude am Fahren‘ miteinander verbinden ließen (HB 1996-12-06, 1997-06-26; Cowan et al. 2003:189f).

Der dritte Aspekt ist, dass viele Verbraucher mit der Wahl ihres Wohnsitzes ‚im Grünen‘ ihren Lebensstil auf die Verfügbarkeit Pkw-basierter Mobilität ausrichten, so dass das Wohnen untrennbar mit der Pkw-Mobilität verbunden wird. Mit dieser Verbindung von Wohnort und Mobilität geht eine quantitative Steigerung der Pkw-Mobilität einher wie auch eine qualitative Bedeutungssteigerung der Pkw-Mobilität als ‚gutes Recht‘, das auch an der Wahlurne verteidigt wird (Steger 2003:158ff; Mönninger 2003:251ff):

„Die Mobilität der Personen, die von 17 Kilometer pro Tag im Jahr 1970 auf 35 Kilometer im Jahr 1998 gestiegen ist, wird als Besitzstand angesehen und sogar als Recht beansprucht“ (Europäische Kommission 2001:7).

Die Erwartungsstruktur der Verbraucher deutet auf eine Fortsetzung und Verfestigung des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ hin – entgegen ihrem Bewusstsein der negativen Externalitäten des automobilen Verkehrs und ihrer oben angesprochenen Sensibilität gegenüber den Kraftstoffpreisen (vgl. 4.4.4). Letztlich verdeutlichen diese Erwartungen der Verbraucher noch einmal die Ursachen für die oben schon angesprochenen *Rebound-Effekte* (vgl. 4.5.2) und deuten auf einen *Lock-in* der Verbraucher auf eine Pkw-basierte Mobilität hin.

4.5.5 Strukturelle Handlungsanreize beim Endverbrauch von Benzin und Diesel

In den Strukturen des Endverbrauchs von Benzin und Diesel im Automobilbereich finden sich aufgrund der Interaktion der Stufen der Wertschöpfungskette viele der oben bereits angesprochenen Handlungsanreize für die Mineralölkonzerne wieder, während sich zugleich nur zwei neue positive Rückkopplungsanreize finden (s. Tabelle 11).

So beinhaltet die (a) technologische Struktur im Automobilbereich den bereits angesprochenen Komplementaritätseffekt zwischen dem Kraftstoff einerseits und der Antriebs- und Abgasnachbehandlungstechnologie andererseits, der durch die ko-evolutionäre Entwicklung weiter verstärkt wird. Als ein pfadverändernder Handlungsanreiz findet sich zudem der im Raffinerie- und Tankstellenbereich angesprochene Marktsättigungseffekt infolge technologischer Effizienzfortschritte.

Tabelle 11: Zusätzliche Handlungsanreize aus dem Automobilbereich

	<i>Allokative Strukturen</i>		<i>Autoritative Strukturen</i>	<i>Legitimationsstrukturen</i>
	<i>Technologie</i>	<i>Markt</i>	<i>Regulierung</i>	<i>Erwartung</i>
<i>Positive Rückkopplungsanreize</i>	- keine	- Rebound-Effekte - Verzögerungseffekte	- Rebound-Effekte	- keine
<i>Veränderungsanreize</i>	- keine	- keine	- keine	- Delegitimierungseffekte

Die (b) Marktstrukturen beinhalten den ebenfalls schon angesprochenen negativen Nachfrageeffekt in Form der Dieselisierung der Fahrzeugflotte, die sich auf der Raffinerieebene zuungunsten der Ausbeutestruktur entwickelt. Als neue positive Rückkopplungsanreize für die Wertschöpfungskette von Benzin und Diesel fanden sich hier aber auch ‚*Rebound-Effekte*‘ infolge des zu komfortableren Fahrzeugen und steigenden Fahrleistungen tendierenden Verbraucherverhaltens sowie *Verzögerungseffekte* hinsichtlich von Marktveränderungen durch die Größe der deutschen Fahrzeugflotte sowie durch ihr steigendes Durchschnittsalter.

Die (c) Regulierungsstrukturen sind widersprüchlich angelegt und verstärken einerseits durch Effizianzorderungen den Marktsättigungseffekt. Andererseits resultieren steigende Anforderungen an die Abgasnachbehandlung sowie zum Beispiel die Dienstwagenregelung in Rebound-Effekten und einer Verstärkung der Interdependenz zwischen Kraftstoff und Motor (technologische Komplementaritätseffekte).

Zu guter Letzt verdeutlichten die (d) Verbrauchererwartungen die aus ihrem Verhalten resultierenden Rebound-Effekte.

4.6 Fazit: Fossile Kraftstoffe als pfadabhängiges technologisches System

Ziel dieses Abschnittes war es, die Pfadabhängigkeit des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ nachzuweisen. Dafür wurden über die einzelnen Stufen der Wertschöpfungskette dieses Systems die in den technologischen, ökonomischen, regulativen und Erwartungsstrukturen angelegten Handlungsanreize zugunsten positiver Rückkopplungen wie auch zugunsten von Veränderungen herausgearbeitet. Dabei ergab sich ein ausdifferenziertes Bild unterschiedlichster Handlungsanreize, das nicht nur zahlreiche positive Rückkopplungen, sondern auch Veränderungsanreize beinhaltet (Tabelle 12). Das Handeln der internationalen Mineralölkonzerne angesichts dieser heterogenen Anreize weist jedoch darauf hin, dass die Handlungsanreize zusammen genommen auf eine Nutzung und Weiterentwicklung des bestehenden Pfades hinwirken.

Dies gilt insbesondere auf der ersten Stufe der Wertschöpfungskette, dem (1) Explorations- & Produktionsbereich: In diesem Bereich sprechen seine ökonomische Attraktivität (Opportunitätskosteneffekte), das dort getätigte langfristige Investment (*sunk costs*-Effekte), die Ausrichtung des Geschäftsmodells der IOCs auf die erzielbaren Skaleneffekte sowie die Erwartungen des Finanzmarktes an die E&P-Performanz der Mineralölunternehmen (Legitimationseffekte) für eine Pfadfortsetzung.

Tabelle 12: Handlungsanreize für die IOCs

	Allokative Strukturen		Autoritative Strukturen	Legitimationsstrukturen
	<i>Technologie</i>	<i>Markt</i>	<i>Regulierung</i>	<i>Erwartung</i>
E&P	Positive Rückkopplungsanreize	- Skaleneffekte - <i>Sunk costs</i> -Effekte	- Opportunitätskosteneffekte	- keine - Legitimationseffekte
	Veränderungsanreize	- keine	- keine	- Gegenmachteffekte - Delegitimierungseffekte
Raffinerie	Positive Rückkopplungsanreize	- Skaleneffekte - <i>Sunk costs</i> -Effekte - Synergieeffekte	- keine	- Komplementaritätseffekte - Legitimationseffekte
	Veränderungsanreize	- keine	- negative Nachfrageeffekte - Marktsättigungseffekte	- Widersprüchlichkeitseffekte - Delegitimierungseffekte
Tankstelle	Positive Rückkopplungsanreize	- Direkte Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte - Komplementaritätseffekte	- <i>Sunk costs</i> -Effekte	- keine - keine
	Veränderungsanreize	- keine	- Marktsättigungseffekte	- Heterogenitätseffekte - Delegitimierungseffekte
Automobil	Positive Rückkopplungsanreize	- keine zusätzlichen	- Rebound-Effekte - Verzögerungseffekte	- Rebound-Effekte - keine
	Veränderungsanreize	- keine	- keine	- keine - Delegitimierungseffekte

Den als Veränderungsanreize wirkenden Gegenmachteffekten begegnen die IOCs dagegen durch Szenarienplanung, dem Ausweichen in sicherere Förderregionen und auf Erdgas und Ölsande sowie durch Merger untereinander. Den Delegitimierungseffekten seitens der Erwartungen der NGOs und der Importländer schließlich versuchen sie insbesondere durch eine verbesserte Kommunikation entgegen zu treten, was unter anderem die Anerkennung des Klimawandels durch die meisten IOCs und teilweise (BP, Shell) auch die Einführung interner CO₂-Handelssysteme beinhaltet.

Auf der (2) Raffinerieebene ist das Geschäftsmodell der IOCs ebenfalls auf die Generierung von Skaleneffekten ausgerichtet, wofür eine hohe Auslastung der Anlagen notwendig ist. Zugleich führen die technologischen Raffineriestrukturen zu Synergieeffekten infolge der Kuppelproduktion von Benzin und Diesel und der Interaktion der Verfahrensschritte. Aufgrund der hohen Kosten der Raffinerieanlagen finden sich zudem *sunk costs*-Effekte, die neben den Synergieeffekten ein Grund für die Investitionszurückhaltung bei

neuen Konversionsanlagen (Hydrocracker) zu sein scheinen. Ein wichtiger, Ebenen übergreifender positiver Rückkopplungsanreiz resultiert zudem aus der regulativ weiter verstärkten Interdependenz zwischen Kraftstoff und Verbrennungsmotor bzw. Abgasnachbehandlungssystem in Form von technologischen Komplementaritätseffekten. Auf Seiten der Veränderungsanreize finden sich Marktsättigungseffekte infolge der stagnierenden bis rückläufigen Nachfrage im deutschen Markt, die ebenfalls Investitionen in neue Konversionstechnologien wenig attraktiv macht, sowie negative Nachfrageeffekte durch die Dieselisierung der Pkw-Flotte. Letztere werden durch die Möglichkeit von Ex- und Importen aufgefangen, so dass Investitionen in neue Konversionsanlagen vermieden werden können. Als weitere Veränderungsanreize finden sich in den regulativen Strukturen Widersprüchlichkeitseffekte infolge der Verknüpfung der Themen ‚Luftqualität‘ und ‚CO₂-Effizienz‘ sowie Delegitimierungseffekte, die in den Erwartungsstrukturen infolge Ansprüche der Automobilindustrie an die Kraftstoffe angelegt sind und zu Auseinandersetzungen in Regulierungsfragen führen können. Diese beiden Veränderungsanreize werden von den Mineralölkonzernen durch Entwicklungspartnerschaften mit den Automobilherstellern berücksichtigt und zudem zur Marktpositionierung genutzt, die über die Einführung neuer Kraftstoffe erfolgt. Über diese ständige Verbesserung der Produkte entsprechen die IOCs zugleich dem Anreiz zu Legitimationseffekten über die Produktqualität. Die Legitimationseffekte und die Delegitimierungseffekte im Raffineriebereich sind somit keine unvereinbaren Antagonisten, da sie dank ihrer Fokussierung auf die Produktqualität nicht das Produkt ‚fossile Kraftstoffe‘ an sich in Frage stellen und ihnen so innerhalb des bestehenden technologischen Systems entsprochen werden kann. Schließlich ist noch anzumerken, dass die Frage der CO₂-Effizienz von BP und Shell durch ihre internen CO₂-Handelsprogramme aufgegriffen wird, die vor allem auf Legitimationseffekte, aber auch auf interne Effizienzsteigerung zielen.

Auf der Ebene der (3) Tankstellen finden sich ebenfalls positive Rückkopplungsanreize: Dabei sind an erster Stelle die Komplementaritätseffekte zwischen der Kraftstoffabgabe und dem Tanksystem des Automobils zu nennen sowie vor allem die direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte, die aus der räumlichen und mengenmäßigen Koordination von Kraftstoffangebot und -nachfrage resultieren und sich der Etablierung neuer, inkompatibler Kraftstoffe als sogenanntes ‚Henne-Ei-Problem‘ entgegen stellen. Außerdem scheint die Bedeutung des deutschen Marktes *sunk costs*-Effekte nahe zu legen, wie der trotz zu geringer Marktanteile bisher nicht erfolgte Marktaustritt von Esso zeigt. Diesen positiven Rückkopplungsanreizen stehen Veränderungsanreize gegenüber wie die aus der sinkenden Nachfrage resultierenden Marktsättigungseffekte, die seitens der IOCs unter anderem über Differenzierungsstrategien adressiert werden, sowie regulative Heterogenitätseffekte durch die Spreizung in der Kraftstoffsteuer, die ebenfalls zur Profilierung genutzt wird. Schließlich adressieren die IOCs und ihr Branchenverband MWV die in den Erwartungsstrukturen angelegten Delegitimierungseffekte, die der Kritik der Verbraucher, der

Politik, der Automobilindustrie wie auch der Verbraucher-NGOs an den Kraftstoffpreisen entspringen, durch eine ‚Schwarzer-Peter‘-Strategie, die die Verantwortung für die Kraftstoffpreise der Politik zuweist.

Auf der Ebene des Verbrauchs der Kraftstoffe im (4) Automobil finden sich aufgrund der Interaktion der Stufen der Wertschöpfungskette viele der oben genannten Handlungsanreize wieder. Auf Seiten der Veränderungsanreize sind dies die Marktsättigungseffekte infolge effizienterer Motoren und der dazugehörigen Regulierung des Flotten-Durchschnittsverbrauchs sowie die negativen Nachfrageeffekte infolge der Dieselisierung. Auf Seiten der positiven Rückkopplungen finden sich die technologischen Komplementaritätseffekte zwischen Kraftstoff und Motor und die direkten Netzwerk- bzw. Koordinatoneffekte zwischen Kraftstoffangebot und -nachfrage wieder. Hinzu kommen als neue positive Rückkopplungsanreize *Rebound*-Effekte infolge des Verbraucherverhaltens und regulativer Auflagen sowie Verzögerungseffekte durch die langsame Durchdringung der deutschen Pkw-Flotte durch neue Antriebe.

Es sei darauf hingewiesen, dass von den genannten Handlungsanreizen die *Rebound*-Effekte, die Verzögerungseffekte sowie die Opportunitätskosteneffekte nicht aus der Pfadliteratur, sondern aus der Empirie heraus als weitere positive Rückkopplungen identifiziert wurden. Auf Seiten der Veränderungsanreize wurden zudem Marktsättigungseffekte sowie ‚negative Nachfrageeffekte‘, die aus einer Schrumpfung der Nachfrage respektive aus Verschiebungen in der Nachfragestruktur resultieren, identifiziert.

Zusammengenommen zeigt sich also, dass für die IOCs vielfältige Handlungsanreize dahingehend bestehen, das technologische System ‚fossile Kraftstoffe‘ weiter zu entwickeln bzw. im Sinne der March’schen (1991) Exploitation-Explorations-Frage zu ‚exploitieren‘. Da sie diesen Anreizen – insbesondere im Bereich der Exploration⁴⁸ und Produktion von Erdöl – Folge leisten, kann von einer Pfadabhängigkeit des technologischen Systems infolge positiver Rückkopplungen gesprochen werden – also von einem Kraftstoffpfad. Dieser besteht der Giddenschen rekursiven Dualität folgend aus den Strukturen des technologischen Systems und den Exploitationshandlungen der internationalen Mineralölkonzerne. Dabei fällt auf, dass diese Exploitationshandlungen die identifizierten Veränderungsanreize in einer den Kraftstoffpfad modifizierenden Weise aufgreifen – und diesen damit teilweise weiter verstärken: So führen die Veränderungsanreize im Explorations- und Produktionsbereich zu einer Verschärfung des Wettbewerbs um die verbliebenen Erdölressourcen, im Raffineriebereich zu einer Zurückhaltung gegenüber Neuinvestitionen und im Tankstellenbereich zu einer Steigerung der Effizienz und zu Differenzierungsbemü-

⁴⁸ Die theoretische und die empirische Terminologie verwenden die Begriffe ‚Exploitation‘ und ‚Exploration‘ mit unterschiedlichen Bedeutungsgehalten: Während in der Empirie diese Begriff auf Erdöl bezogen sind, werden sie in der Theorie für das Innovationsverhalten einer Organisation verwendet (vgl. Koza & Lewin 1998:256). Entsprechend ist der Verwendungszusammenhang der Begriffe zu berücksichtigen und wird in der Regel deutlich gemacht.

hungen. Zudem wird den Delegitimierungseffekten infolge der preis- und umweltkritischen Verbraucher und NGOs von Seiten der IOCs durch den Verweis auf die Mineralölsteuer und durch eine verstärkte Kommunikation und Transparenz (Nachhaltigkeitsberichte) begegnet. Der Kraftstoffpfad wird somit aktiv durch die IOCs gestützt und weiter entwickelt.

Darüber hinaus wurde auch deutlich, dass dieser Pfadexploitation durch die IOCs ein *Lock-in* der Erdöl importierenden Staaten, also auch der EU und der Bundesrepublik sowie der deutschen Verbraucher gegenüber steht, die den Kraftstoffpfad in mehrfacher Hinsicht – Importabhängigkeit, Ölpreis, Klimawandel – kritisieren. Diese Beobachtung gilt insbesondere deshalb, da diese Akteure den Kraftstoffpfad bisher nicht erkennbar verlassen haben, zum Beispiel zugunsten des öffentlichen Personennahverkehrs oder alternativer Kraftstoffe (vgl. Hautzinger et al. 2004:196f; Europäische Kommission 2006b:6). Damit sind *andere* Akteure als die IOCs negativ vom Kraftstoffpfad betroffen. Zugleich bemühen sich allerdings die EU und Deutschland um einen Pfadwechsel, was zu neuen Strukturen jenseits der bestehenden Pfadstrukturen und zu *Explorationsanreizen* führt, die Inhalt des nächsten Abschnittes sind.

5 Strukturelle Anreize zur Exploration alternativer Kraftstoffe

Nachdem im vorhergehenden Teil die Strukturen und Handlungsanreize des Kraftstoffpfades sowie die Exploitationsaktivitäten der internationalen Mineralölkonzerne herausgearbeitet worden sind, widmet sich dieser zweite empirische Teil den deutschen und europäischen Strukturen, die Handlungsanreize zur Exploration alternativer Kraftstoffe enthalten. Dabei handelt es sich teilweise um Strukturen, die bereits im ersten Empirieteil angesprochen und dort auf den Kraftstoffpfad bezogen worden sind, wie etwa die Verwendungspflicht alternativer Kraftstoffe als Verstärkung des Marktsättigungseffektes. In diesem Teil werden diese und andere Strukturen jedoch dahingehend untersucht, inwiefern sie die Akteure entlang des Kerngeschäfts von Shell, also entlang der Kraftstoffwertschöpfungskette (Rohstofflieferanten, Entwickler, Produzenten und Distribuenten), zur Exploration alternativer Kraftstoffe ermuntern – der Bezugspunkt ist somit ein anderer. Außer diesem anderen Bezug unterscheiden sich die hier untersuchten Strukturen von den Pfadstrukturen des vorangegangenen Teils in fünffacher Hinsicht: So zeichnen sich die Explorationsstrukturen erstens durch eine gewisse Unvollständigkeit und Offenheit aus; zweitens sind sie oft eher ‚erwartete‘ oder ‚angestrebte‘ als real existierende Strukturen; drittens sind sie sowohl mit den Pfadstrukturen als auch untereinander eher lose verbunden; viertens stehen sie teilweise in Konkurrenz und Widerspruch zueinander; fünftens schließlich werden diese Strukturen von unterschiedlichen Akteuren aktiv gestaltet, so dass sich auch erste Strategien zur Exploration alternativer Kraftstoffe finden lassen. Um die diversen Strukturen und ihre Explorationsanreize zu erfassen wurde daher – wie im Methodikteil schon angesprochen – ein abweichendes Gliederungsschema gewählt, das die Strukturen ordnet in (a) Regulierungsstrukturen, (b) Antriebsentwicklungen im Automobilbereich sowie (c) die Entwicklung, Produktion und Distribution alternativer Kraftstoffe.

5.1 Regulative Explorationsanreize

Neben den regulativen Strukturen des fossilen Kraftstoffpfades finden sich auch regulative Strukturen, die auf die Exploration von alternativen Kraftstoffen hinauslaufen. Diese werden hier auf der deutschen und der europäischen Ebene betrachtet. Hintergrund dieser regulativen Maßnahmen sind die schon bei der Regulierung des Kraftstoffpfades angesprochene Problematisierung der Importabhängigkeit, das Ziel der Luftverbesserung sowie die Frage des Klimawandels (Primrose, BP, 2006-08-23; Europäische Kommission Mitarbeiter 1, 2007-05-09). Die Entwicklung regulativer Strukturen zur Förderung von alternativen Kraftstoffen dient also grundsätzlich der Zieltrias einer Reduktion der Erdölimporte, der Abgase und der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen – und stellt damit eine Reaktion der EU auf die externen Kosten des Kraftstoffpfades und den eigenen *Lock-in* auf diesen Pfad dar:

„Was den Verkehr betrifft, so ist die Brennstoffdiversifizierung sowohl aus Umweltgründen als auch wegen der Versorgungssicherheit äußerst wichtig. [...] Eine Begrenzung der CO₂ Emissionen von Autos wird auch den Brennstoffverbrauch senken“ (Europäische Kommission 1995:26).

Vor dem Hintergrund dieser Zieltrias qualifizieren sich Kraftstoffe aus erneuerbaren Quellen (Biokraftstoffe; Wasserstoff), aber auch sauberere fossile Kraftstoffe (Erdgas; Wasserstoff⁴⁹) für die europäischen und deutschen Maßnahmen zur Umgestaltung des Kraftstoffbereichs. Diese Maßnahmen bestehen aus ineinandergreifenden (a) politischen Mengenzielen, (b) steuerlichen Anreizen, (c) ordnungsrechtlichen Beimischungsvorgaben und (d) der Entwicklung neuer Kraftstoffstandards. Außerdem finden sich unterstützende Maßnahmen wie (e) die Förderung von FuE-Projekten sowie (d) die Landwirtschaftspolitik der Europäischen Union – letztere spielt aufgrund der Bedeutung von Biomasse für die Entwicklung alternativer Kraftstoffe eine Rolle.

5.1.1 Politische Mengenziele als Explorationssignal

Die Formulierung von politisch angestrebten Mengenzielen für Biokraftstoffe, Erdgas und Wasserstoff ging von der EU-Ebene aus und wurde auf der nationalen Ebene weiter ausgestaltet. So forderte zum Beispiel die Europäische Kommission bereits 1997 in ihrem Weißbuch *„Energie für die Zukunft“* unter Berücksichtigung der Frage der Luftqualität und der Nachhaltigkeit die Förderung von Biokraftstoffen:

„Specific measures are needed in order to help increase the market share for *liquid biofuels* from the current 0.3% to a significantly higher percentage, in collaboration with Member States. The overall environmental effect varies from biofuel to biofuel and depends, amongst others, on the crop cultivated and the crops replaced. Promotion of biofuels has to be coherent with the *AutoOil Programme* and the European policy on fuel quality, and should take account of the full cycle of environmental costs/benefits“ (Europäische Kommission 1997:16; Hervorhebung im Original).

Im Jahre 2000 folgte mit dem Grünbuch *„Security of Energy Supply“* das Ziel, im Jahre 2020 einen Marktanteil der alternativen Kraftstoffe von 20 Prozent zu erreichen. Für Erdgas sah sie bis zum Jahre 2020 einen Marktanteil von 10 Prozent und für Wasserstoff von 5 Prozent vor. Im Jahre 2003 wurden mit der Biokraftstoffdirektive explizite Ziele für Biokraftstoffe aufgestellt, die gemessen am Energiegehalt im Jahre 2005 einen Anteil von 2 Prozent und 2010 von 5,75 Prozent am Benzin- und Dieselmärkte erreichen sollen. Infolge der Rechtsform der Richtlinie bleibt die Umsetzung den Mitgliedsländern überlassen, wobei die nationalen Ziele nicht verbindlich sind (Europäisches Parlament & Europäischer Rat 2003:44f; Bundesregierung 2004:176; IEA 2005d:29f; van Thuijl & Deurwaarder 2006:8; Bockey 2006:11; Europäische Kommission 2001:102, 2007b:5). Das für 2005 angestrebte Zwischenziel von 2 Prozent wurde jedoch außer in Deutschland (3,8 Prozent) und Schweden (2,2 Prozent) nicht erreicht. Gleichwohl stellten diese Zielformulierungen – zusammen mit der unten zu erörternden Richtlinie 2003/96/EG – den zentralen euro-

⁴⁹ Wasserstoff kann als Sekundärenergieträger sowohl aus fossilen wie auch aus regenerativen Quellen stammen.

päischen Meilenstein in der Entwicklung alternativer Biokraftstoffe dar und wurden 2007 sogar noch auf 10 Prozent bis 2020 erhöht – unter der Voraussetzung allerdings, dass die Produktion der Biokraftstoffe nachhaltig erfolgen könne. Das *Biofuels Research Advisory Council* (BIOFRAC) gab als mögliches Ziel 25 Prozent inklusive Importe für das Jahr 2030 vor (Europäische Kommission 2006c:3; 2007b:6, 2007c:16f; Europäische Kommission Mitarbeiter 1, 2007-05-09; EurActiv 2007-07-18; BMU et al. 2007:2f; Biofuels TP 2008:SRA-2). Die deutschen Ziele orientierten sich zunächst an den europäischen. 2007 erfolgte aber mit den Meseberger *„Eckpunkte[n] für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm“* der Bundesregierung (2007a) eine ehrgeizige Erhöhung der Anteilsziele für Biokraftstoffe auf 20 Volumenprozent (17 Prozent energetisch) bis 2020 (ebd. 31; Bundesregierung 2004:176; Ramesohl et al. 2006:134; BMU et al. 2007:3).

Im Zeitverlauf ergab sich somit bei der Formulierung der Kraftstoffziele eine deutliche Verschiebung zugunsten von Biokraftstoffen, so dass seitens der Politik vor allem diese im Fokus stehen, wenn von ‚alternativen‘ Kraftstoffen die Rede ist. Gründe für diese Gewichtsverlagerung waren einerseits die Verschiebung der Realisierung der Wasserstoffvision sowie die Infrastruktur- und Akzeptanzprobleme von Erdgas (CNG) sowie andererseits die technologisch leichtere Einführung von Biokraftstoffen wie Biodiesel (FAME) und Bioethanol (EtOH) in den Verkehrsbereich (Tzimas et al. 2004:3f; Jürgens & Meißner 2005:127; Schäfer 2006:51ff; Primrose, BP, 2006-08-23). Zu diesen technologischen Machbarkeitsargumenten kamen zwei miteinander verbundene weitere Ursachen für die Fokusverschiebung: So bot sich zum einen mit der Entwicklung des Biokraftstoffmarktes eine attraktive Zuverdienstmöglichkeit für die Landwirtschaft, der im Zuge der Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) seit 1990 neue Märkte geöffnet werden sollten (Brand 2005:29f; Bockey 2006:10; Born, DBV, 2007-01-13; Europäische Kommission 2007b:5f):

„Die Verbreitung von Biokraftstoffen wird zur Verringerung der Energieabhängigkeit der Europäischen Union, zum Schutz der Umwelt und auch zur Diversifizierung der Produktion und der Gewerbeausübung im Bereich der Landwirtschaft beitragen. Die Erzeugung der Rohstoffe für Biokraftstoffe kann im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik einen besonders wichtigen Platz bei der Schaffung neuer wirtschaftlicher Ressourcen und der Beschäftigungssicherung im ländlichen Raum einnehmen“ (Europäische Kommission 2001:102).

Zum anderen verschob sich auch die Gewichtung in der Zieltrias von der Frage der Importabhängigkeit zugunsten der Frage des Klimawandels (Petersen 2003:80ff; van Thuijl & Deurwaarder 2006:8).

Die politischen Mengenziele verdeutlichen somit den Willen der europäischen wie auch der deutschen Politik, eine Erhöhung des Marktanteils von alternativen Kraftstoffen anzustreben, der deutlich über dem Niveau von Nischenanwendungen liegt, und im Zweifelsfalle die dafür notwendigen regulativen Schritte zu ergreifen. Für alle Marktteilnehmer entlang der Kraftstoffwertschöpfungskette (Rohstofflieferanten, Entwickler, Produzenten und Distribuenten) sind die Mengenziele somit ein Signal und eine Aufforderung, die

Markteinführung von alternativen Kraftstoffen voranzutreiben – dies gilt insbesondere auch für die Automobilhersteller angesichts des Verzögerungseffektes durch die Lebensdauer der Pkws:

„(T)he old cars of 2020 are being built today. And we [die Europäische Kommission; JCS] want the old cars of 2020 to be capable to run on at least 10 percent ethanol by volume and ten percent biodiesel by volume. But it is nothing that requires or necessarily encourages the car makers to build those cars, but they know that it is a risk in 2020, that they will be criticized for blocking progress towards those fuels [...] So they want to know now what fuels they ought to build their cars for. Of course their preferred answer is the same fuel we have got today but if it is not going to be that answer, they want to know it“ (Europäische Kommission Mitarbeiter 1, 2007-05-09).

Aufgrund der mit dem Signal verbundenen Ankündigung eventueller regulativer Maßnahmen beinhalten die Mengenziele insbesondere für die Entwickler und Produzenten alternativer Kraftstoffe als Explorationsanreiz einen – wenn auch nicht zwingenden – *regulativen push-Effekt* in dem Sinne, dass die Entwicklung entsprechender Technologien und Kraftstoffe nahe gelegt wird. Die Wirkung dieses Anreizes hängt allerdings von den Durchsetzungsmöglichkeiten der Politik und ihrer Glaubwürdigkeit ab. Außerdem profiliert sich die Politik mit diesen Zielen gegenüber den Wählern und setzt sich zugleich selber in Richtung Zielumsetzung unter Druck.

5.1.2 Steuerliche Anreize für alternative Kraftstoffe

Während die Setzung der Mengenziele primär auf der europäischen Ebene erfolgte, sind die steuerlichen Regulierungsanreize auf der nationalstaatlichen Ebene angesiedelt, wobei diese allerdings zu keiner europäischen Wettbewerbsverzerrung führen dürfen. Steuerliche Sonderregelungen für alternative Kraftstoffe finden sich in Deutschland für Auto- bzw. Flüssiggas (*Liquidified Petroleum Gas*, LPG), Erdgas (*Compressed Natural Gas*, CNG), Wasserstoff (H₂), Biodiesel (Fettsäuremethylester, FAME), Pflanzenöl und Ethanol (EtOH). Die Besteuerung des Raffinerienebenprodukts LPG erfolgte bereits seit den Fünfzigern nach dem Regelsteuersatz, also nach demselben Satz wie Benzin. Die Erhöhung der Mineralölsteuer von 1981 galt jedoch nicht für LPG, so dass erstmalig eine Steuerspreizung von 12,05 DM pro 100kg LPG zwischen diesem und Benzin eingeführt wurde, die durch eine Senkung des LPG-Satzes 1995 und die weiteren Steigerungen bei Benzin weiter vergrößert wurde. Für CNG galt ab 1989 explizit dieselbe Steuerbegünstigung wie für LPG. Die ursprünglich unterschiedlichen Förderzeiträume für LPG (bis 2009) und CNG (bis 2020) wurden 2006 im Rahmen des Energiesteuergesetzes auf das Jahr 2018 vereinheitlicht. Auch als Kraftstoff verwendeter Wasserstoff unterliegt der Energiesteuer. Allerdings besteht in Einklang mit der europäischen Richtlinie 2003/96/EG die Möglichkeit, in Demonstrationsprojekten verwendeten Wasserstoff von der Energiesteuer zu befreien (Trittin 2003:1; Bundesregierung 2004:179f; Homann, IG Mittelstand, 2007-02-26; erdgas mobil Mitarbeiter, 2007-07-13; Bundesgesetzblatt 2006a:1536; Schwab 2006:46f; VES 2007:88ff; EID 2007:56).

Biodiesel (FAME) als Reinkraftstoff (B100) sowie Pflanzenöl waren in Deutschland seit Anfang der Neunziger ‚informell‘ steuerbefreit, da diese Kraftstoffe nicht vom Mineralölsteuergesetz erfasst wurden (Bockey 2002:2, 2006:10). Diese Steuerbefreiung wie auch die Staffelung der Mineralölsteuersätze wurde durch die Richtlinie 2003/96/EG des Europäischen Rates (2003) zur ‚Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom‘ legitimiert und auf die zuvor nicht mögliche Steuerbefreiung von Beimischungen ausgedehnt. Der – verlängerbare – Förderzeitraum der Steuerermäßigung oder -befreiung gilt dabei höchstens sechs Jahre. Auf Basis dieser Richtlinie wurde in Deutschland ab Anfang 2004 die Steuerbefreiung auf die den konventionellen Kraftstoffen bis zu 5 Prozent beigemischten Biokraftstoffe ausgedehnt (Europäischer Rat 2003:56f; Brand 2005:33f; van Thuijl & Deurwaarder 2006:15). Dieser steuerliche Rahmen wurde im Jahre 2006 mit dem Energiesteuergesetz (Bundesgesetzblatt 2006a) und dem Biokraftstoffquotengesetz (Bundesgesetzblatt 2006b) jedoch erneut umgestaltet. Ursachen dafür waren die von der EU Kommission geforderte jährliche Überkompensationsprüfung⁵⁰ sowie die hohen Steuermindereinnahmen aus der Mineralölsteuer von bis zu zwei Milliarden für den Bundeshaushalt infolge des steigenden Marktanteils beigemischter und reiner Biokraftstoffe (Bockey 2007a:6; Bundestagsfraktion 1 Mitarbeiter 1, 2007-07-11; BMF 2007b). Dabei wurde die Steuerbefreiung der Biokraftstoffe auf Basis der vom Bundesfinanzministerium vorgenommenen Überkompensationsprüfung aufgehoben, so dass für beigemischte Biokraftstoffe seit Januar 2007 der volle Mineralölsteuersatz gilt. Reinkraftstoffe dagegen werden unterschiedlich besteuert: Bei B100 (FAME) und Pflanzenöl tritt an die Stelle der Steuerbefreiung bis 2009 eine bis Ende 2011 zurückgefahrne degressive Steuerbegünstigung (s. Tabelle 13). Die seit Anfang der Neunziger Jahre geltende Steuerspreizung zum fossilen Diesel wird dadurch aufgehoben.

Tabelle 13: Steuersätze in Cent pro Liter für B100, Pflanzenöl und Diesel⁵¹

Jahr	1.8.2006	1.1.2007	1.1.2008	1.1.2009	1.1.2010	1.1.2011	1.1.2012
Diesel	47,04	47,04	47,04	47,04	47,04	47,04	47,04
B 100	9,00	7,10	13,40	19,70	26,00	32,30	44,90
Pflanzenöl	0	0	8,15	16,55	24,95	32,30	44,90

Quellen: Bundesgesetzblatt 2006a:1536, 2006b:3181; UFOP 2006:6; Remmele 2007:42; VDB 2007.

⁵⁰ Aufgabe der Kompensationsprüfung ist die Vermeidung von Wettbewerbsverzerrungen zugunsten des steuerlich geförderten Kraftstoffes (vgl. Bockey 2006:11).

⁵¹ Die angegebenen Steuersätze entsprechen der im Rahmen des Biokraftstoffquotengesetzes vorgenommenen leichten Modifikation der Sätze (vgl. Bundesgesetzblatt 2006a:1549f und Bundesgesetzblatt 2006b:3181). Die Absenkung des Steuersatzes für B100 zum 1.1.2007 resultiert daraus, dass zu demselben Zeitpunkt die Verwendungspflicht (vgl. 5.1.3) eingeführt wurde. Da die zur Erfüllung der Verwendungspflicht verwendeten Biokraftstoffe dem vollen Dieselsteuersatz von 47,04 Cent/Liter unterliegen, wurde zur Vermeidung einer Erhöhung des ‚durchschnittlichen‘ Steuersatzes für Biodiesel der Steuersatz für B100 entsprechend reduziert (vgl. UFOP 2006:4).

In Nischenanwendungen wie in der Land- und Forstwirtschaft sind B100 und reines Pflanzenöl dagegen weiterhin von der Mineralölsteuer ausgenommen. Im Gegensatz dazu sind Bioethanol als ‚Reinkraftstoff‘ E85 sowie synthetische Kraftstoffe aus Biomasse (BtL) auch als Pkw-Kraftstoff bis 2015 steuerbefreit (Bundesgesetzblatt 2006a:1549f, 2006b:3181; Lahl & Knobloch 2006:10; Remmele 2007:41f; VDB 2007). Diese steuerlichen Regelungen gelten vorbehaltlich einer jährlich vorzunehmenden Überkompensationsprüfung. Aufgabe dieser Überkompensationsprüfung ist es sicherzustellen, dass die steuerliche Begünstigung zugunsten des jeweiligen Biokraftstoffes nicht die Kostendifferenz zwischen der Herstellung und der Verwendung der Biokraftstoffe und des entsprechenden fossilen Kraftstoffes übersteigt. Die Überkompensationsprüfung im Jahre 2007 stellte aber keinen Bedarf fest, die Degression der Steuerbegünstigung bei B100 und Pflanzenöl auszusetzen (Europäischer Rat 2003:57; Bundesgesetzblatt 2006a:1550; BMF 2007a).

Insgesamt lässt sich somit feststellen, dass die steuerliche Anreizstruktur über die Spreizung in den Steuersätzen alternative Kraftstoffe für die Verbraucher⁵² ökonomisch attraktiv macht und damit die Schaffung einer Nachfrage unterstützt. Für die Anbieterseite, also für die Produzenten und den Vertrieb, heißt das nicht nur, dass die Schaffung eines volumenmäßig interessanten Absatzmarktes steuerlich unterstützt wird, sondern auch, dass sie unter der Voraussetzung stärker steigender Produktpreise auf Seiten der fossilen Kraftstoffe Margenspielräume erhalten (vgl. erdgas mobil Mitarbeiter, 2007-07-13):

„Der Preis der Biokraftstoffe bildet sich aus Angebot und Nachfrage und folgt dem Preis fossiler Kraftstoffe [...], wie das Beispiel der Entwicklung der Biodieselnormierungen im Spätsommer 2005 gezeigt hat [...] Der Hurrikan ‚Katrina‘ führte zu Spitzennotierungen bei Biodiesel, obwohl weder Rapsanbau noch Biodieselanlagen vom Hurrikan betroffen waren. [...] Dies ist nichts Verwerfliches, sondern Marktwirtschaft“ (Picard 2006:39).

Entsprechend beinhaltet die Besteuerung *steuerliche push-Effekte* für alle Akteure entlang der Wertschöpfungskette der geförderten alternativen Kraftstoffe (Rohstofflieferanten, Entwickler, Produzenten und Distribuenten) sowie natürlich auch für die Verbraucher. Die Wirkung der steuerlichen *push-Effekte* hängt neben der Steuerdifferenz vom Marktpreis für Benzin bzw. Diesel sowie der Differenz im Energiegehalt und dem damit verbundenen eventuellen Mehrverbrauch ab. Eingeschränkt wird die Wirkung der steuerlichen Explorationsanreize dadurch, dass sie der Gunst und den finanziellen Möglichkeiten der Politik ausgesetzt ist. Dabei zeigt sich zum einen, dass die Gewährung dieser Gunst vom politischen Einfluss der Interessengruppen abhängt, wie das Beispiel LPG und CNG zeigt:

„Es gab eine Regelung der Gleichbehandlung von Flüssiggas und Erdgas: Steuerliche Befreiung im Verkehrsbereich bis 2009. Dann hat in der alten Regierung unter dem Einfluss [...] der Großen in der Gaswirtschaft der Trittin ein Gesetz gemacht, was auch durchging [...] ‚Steuerbefreiung nur für Erdgas bis 2020‘. [...] Flüssiggas wäre weg gewesen. Wir sind Mittelständler, die

⁵² Das gilt insbesondere für das hier nicht berücksichtigte Transportgewerbe.

machen Flüssiggas, die machen kein Erdgas. So und dann haben wir zwei Jahre gekämpft und haben dann die steuerliche Gleichstellung gekriegt [...]" (Homann, IG Mittelstand, 2007-01-31).

Zum anderen wird deutlich, dass die Steuerermäßigungen und -befreiungen nur so lange gewährt werden, so lange sie nicht zu größeren steuerlichen Einnahmeausfällen führen bzw. so lange sie nicht am Markt erfolgreich sind:

„Das Finanzministerium hat sich nicht besonders darum [um die Steuerbefreiung für Biokraftstoffe zum 01.01.2004; JCS] gekümmert, frei nach dem Motto 'Klar: Steuerbefreiung für Null Mengen ist Null Steuerbefreiung – also was interessiert uns das?'" (Bundestagsfraktion 1 Mitarbeiter 1, 2007-07-11).

Insofern handelt es sich im Falle des Markterfolges einer Alternative um einen zeitlich sehr befristeten und unsicheren Explorationsanreiz. Regelungen wie die jährliche Überkompensationsprüfung bei den Biokraftstoffen verstärken diese Unsicherheit weiter, da sie zu relativ kurzfristigen Änderungen in den Steuersätzen führen können.

5.1.3 Ordnungsrechtliche Verwendungspflichten

Zur Kompensation der Zurücknahme der steuerlichen Bevorzugung der Biokraftstoffe – insbesondere von B100 – wurde im Jahre 2006 auf deutscher Ebene ein „Paradigmenwechsel" (VDB 2007) hin zum Ordnungsrecht vollzogen, indem eine Verwendungspflicht von Biokraftstoffen vorgeschrieben wurde. Dieser auf der europäischen Biokraftstoffrichtlinie 2003/30/EG basierende Politikwechsel ist nicht auf Deutschland beschränkt und wird auf der EU-Ebene begrüßt:

„(T)here has been a shift in government policies towards biofuel obligations rather than tax exemptions and Germany is a classic case of that but there are plenty of other examples in Europe as well. [...] We think that is a good shift because it is likely to lead to a more cost-effective policy" (Europäische Kommission Mitarbeiter 1, 2007-05-09).

Motivation für die deutsche Politik waren die durch den Biodieselboom verursachten Steuermindereinnahmen in Höhe von 2 Milliarden Euro, so dass der Politikwechsel auf Druck des Finanzministeriums und des zukünftigen Finanzministers Steinbrück erfolgte. Entsprechend wurde bereits im Koalitionsvertrag von CDU/CSU und SPD (2005) der Beschluss festgehalten, „die Mineralölsteuerbefreiung für Biokraftstoffe durch eine Beimischungspflicht (zu) ersetzen" (ebd. 52; Bundesministerium 1 Mitarbeiter, 2007-05-03; Bundestagsfraktion 1 Mitarbeiter 1, 2007-07-11). Die schließlich mit dem Biokraftstoffquotengesetz (Bundesgesetzblatt 2006b) beschlossene Verwendungspflicht besteht aus drei Säulen: Zum ersten wurden ab dem 01.01.2007 feste Mindestquoten für die Verwendung von Biodiesel (FAME) und Ethanol (EtOH) in Relation zum Absatz von konventionellem Diesel und Benzin vorgegeben, die sich am Energieanteil der konventionellen Kraftstoffe orientieren. Die höhere Quote für Biodiesel sowie die sukzessive Steigerung bis 2010 bei Ethanol zeigen dabei an, dass es im Falle des Biodiesels um die Sicherung eines Absatzmarktes angesichts des Abbaus der Steuervergünstigung ging, während bei Ethanol die Entwicklung eines solchen Marktes im Vordergrund stand, da dieser Markt noch nicht existierte. Die Sanktion für die Nichterfüllung der Mindestquoten beträgt 60

Cent pro Liter bei Diesel und 90 Cent pro Liter bei Benzin.⁵³ Zu diesen spezifischen Quoten kommt zweitens eine ab 2009 geltende und bis 2015 sukzessive steigende Gesamtquote hinzu, die im Jahre 2015 den Gesamteinsatz von Biokraftstoffen gegenüber den Unterquoten um fast das Doppelte erhöht vgl. Tabelle 14; UFOP 2006:3f):

Tabelle 14: Biokraftstoffquoten in Prozent des Energiegehalts 2007-2015

Jahr	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gesamtquote	-	-	6,25	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00
Dieselquote	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40
Benzinquote	1,20	2,00	2,80	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60

Quelle: Bockey 2007b:34; eigene Darstellung.

Die dritte Säule besteht aus der Spezifizierung der für die Quotenerfüllung anrechenbaren Kraftstoffe, die sich an den Normen für FAME (DIN EN 14214) und Bioethanol (DIN EN 15376) sowie an der vorläufigen deutschen Norm für Pflanzenöl (DIN V 51605) orientiert und die Verwendung einheimischen Rapsöls präferiert (Bundesgesetzblatt 2006b:3181; UFOP 2006:4; Bockey 2007b:34f; BMF 2007a:5). Außerdem wurden hydriertes Pflanzenöl, Bioethanol mit weniger als 70 Volumenprozent (E70) und Biogas explizit für die Quotenerfüllung ausgeschlossen (Bundesgesetzblatt 2006b:3186; Bundestagsfraktion 1 Mitarbeiter 1, 2007-07-11; Lahl & Knobloch 2006:10f).

Dieser ordnungsrechtliche Rahmen wurde in den Jahren 2007 und 2008 in dreifacher Hinsicht ergänzt: So ist basierend auf den Meseberger *„Eckpunkte[n] für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm“* der Bundesregierung (2007a) hydriertes Pflanzenöl ab 2010 mit bis zu drei Volumenprozent zur Erfüllung der Verwendungspflicht erlaubt (ebd. 31; Neue Energie 2008-04a:21). Zweitens wurden diese drei Prozent hydriertes Pflanzenöl kombiniert mit einer Erhöhung der Mindestquoten von FAME auf sieben Volumenprozent (B7)⁵⁴, so dass dem Diesel insgesamt 10 Volumenprozent Biokraftstoff beigemischt werden sollen. Für Ethanol wurde die Beimischung auf zehn Volumenprozent (E10) erhöht. Die Verordnung zur Einführung von E10 wurde allerdings Anfang 2008 aufgrund einer zu großen, nicht E10 tauglichen Fahrzeugflotte – also aufgrund einer mangelnden Rückwärtskompatibilität mit der existierenden deutschen Fahrzeugflotte – zurückgezogen (BMU et al. 2007:1f; Bundestagsfraktion 1 Mitarbeiter 1, 2007-07-11; FAZ 2008-04-05). Drittens schließlich streben die Bundesregierung wie auch die Europäische Kommission an, dass die Anrechnung der Biokraftstoffe auf die Verwendungsquoten anhand ihrer Klimarelevanz, also anhand ihres CO₂-Reduzierungspotenzials, erfolgt. Dies zeigt, wie sehr der Aspekt des Klimawandels gegenwärtig die Zieltrias ‚Reduktion der Erdölimporte, der Abgase und der CO₂-Emissionen‘ dominiert. Allerdings wurde die dafür

⁵³ Zum Vergleich: Die Energiesteuersätze liegen derzeit bei 47 Cent pro Liter bei Diesel und 65 Cent bei Benzin (Bockey 2007b:34).

⁵⁴ Aus technischen Gründen wird die Biodieselbeimischung auf sieben Prozent begrenzt (BMU et al. 2007:1f).

vom Bundeskabinett im Dezember 2007 beschlossene Nachhaltigkeitsverordnung, die Mindestanforderungen an die CO₂-Effizienz der Biokraftstoffe von 30 Prozent und ab 2011 von 40 Prozent vorsah, von der EU Kommission gestoppt, da die Zertifizierung europaweit einheitlich erfolgen soll – was wohl nicht vor 2010 der Fall sein wird (Bundesregierung 2007a:31, 2007b:§4 Abs. 1; Honsel 2008; Neue Energie 2008-04b:11).

Die Politik der Verwendungspflichten unterscheidet sich von der auf freiwillig nutzbaren Steuervergünstigungen basierenden Markteinführung in vierfacher Hinsicht: Erstens setzt sie an die Stelle der Freiwilligkeit eine Verpflichtung aller Marktteilnehmer. Zweitens treten die wirtschaftlichen Anreize hinter die Erfüllungspflicht zurück. Drittens senkt sie die Kreativitätsspielräume der Marktteilnehmer über die Festlegung der anrechenbaren Biokraftstoffe, der anzubietenden Menge bestimmter Kraftstoffe und auch den Vertrieb über die Beimischung durch die Benzin- und Dieselquoten. Viertens ist sie auf die Rückwärtskompatibilität der Beimischungen mit der existierenden Fahrzeugflotte angewiesen. Dieser regulative Rahmen erzwingt somit einen mengenmäßig absehbaren Markt für bestimmte Biokraftstoffe (Biodiesel, Bioethanol), die Kanalisierung der Vertriebsform und der Technologieentwicklung, eine technologische Kompatibilität mit dem existierenden System und die Involvierung aller Marktteilnehmer. Der Markt für Biokraftstoffe ist somit ein politischer.

Diese Komplexität beinhaltet, dass sich die in der Verwendungspflicht enthaltenen Explorationsanreize für die Akteure der jeweiligen alternativen Kraftstoffe unterscheiden: Für die Rohstofflieferanten, Entwickler und Produzenten führt die Verwendungspflicht zu zwingenden *regulativen demand-pull-Effekten*, die für die noch nicht etablierte Alternative Ethanol eine limitierte Marktkreation und für Biodiesel eine ebenso limitierte Marktsicherung bedeuten, bei der Marktgröße und Quote letztlich zusammenfallen. Für den Tankstellenvertrieb führt die Verwendungspflicht dagegen zu *regulativen push-Effekten*, da sie diese Akteure zur Verwendung zwingt. Da dabei zudem die Vertriebsform partiell vorgegeben ist, beinhaltet die Verwendungspflicht auch den Gestaltungsspielraum der Anbieter – inklusive der Automobilindustrie – einschränkende *regulative 'technology forcing'-Effekte*. Diese laufen infolge der Wahl der Beimischung auf eine Integration der alternativen Kraftstoffe in das bestehende Kraftstoffsystem hinaus – wodurch dessen direkte Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte mit genutzt werden (vgl. Zundel et al. 2005:27f). Wichtig für die Wirkung der Explorationsanreize ist die Verlässlichkeit der politischen Vorgaben. Diese stellen aber zugleich aufgrund ihrer Bedeutung für die Marktteilnehmer ein primäres Interventionsziel dar:

„Das Problem des Einstiegs in so ein Quotensystem [...] [sind] natürlich die Rahmenbedingungen, was sie vorgeben. Und daran wird gebohrt. [...] das ist das Problem halt bei so einem Quotenregime: Sie müssen den Rahmen setzen, sie müssen die Vorgaben setzen und sie dürfen dann auch nicht abweichen“ (Bundestagsfraktion 1 Mitarbeiter 1, 2007-07-11).

Kreativität, Wirtschaftlichkeit und Freiwilligkeit bleiben erhalten in Form der Gesamtquote, die die Wahl des angebotenen Biokraftstoffes und ihre Vertriebsweise und damit die Wirkung der eben genannten Anreize teilweise offen lässt:

„(D)as BMF-Modell hat ja explizit eine Verwendungspflicht vorgesehen, keine Beimischungspflicht. Also kann es auch andere Akteure geben, die dann einen Anreiz haben, andere Produkte anzubieten, nehmen sie AVIA, die [...] B10 und E10 anbietet [...]. Damit hat dann AVIA in dem Bereich eine Übererfüllung und kann dann diese Gutschrift handeln, verkaufen – und AVIA ist jetzt [...] nicht unbedingt einer der Kleineren. Die können es sich unter Umständen dann leisten, mit Shell oder anderen in Verhandlung zu treten und zu sagen ‚Ihr verkauft ja nur B5, ihr wolltet keine andere Zapfsäule aufmachen. Die Sanktion, die Peunale ist viel zu groß, also ich verkaufe euch hier eine Gutschrift, damit ihr eure Pflicht dann auch erfüllt‘“ (Bundestagsfraktion 1 Mitarbeiter 1, 2007-07-11).

Dafür bieten sich insbesondere Biokraftstoffe an, die für die Verwendungspflicht anerkannt werden, aber weiterhin steuerbefreit sind, wie E85 und die Biokraftstoffe der zweiten Generation – also Kraftstoffe, die noch nicht zur Verfügung stehen.⁵⁵

5.1.4 Kraftstoffstandards: Normen und EU-Richtlinien

Die Entwicklung der Normen für alternative Kraftstoffe erfolgt sowohl auf europäischer Ebene wie auch in den EU-Mitgliedsländern und dient der Sicherung der technologischen Kompatibilität mit dem Automobil, der Kontrolle der Kraftstoffqualität sowie der Vermeidung negativer Externalitäten. Die Kraftstoffnormung wird in Deutschland insbesondere vom Fachausschuss für Mineralöl- und Brennstoff-Normung (FAM) des Deutschen Instituts für Normung (DIN) sowie vom *Technical Committee 19* des *Comité Européen de Normalisation* (CEN TC 19) auf der europäischen Ebenen wahrgenommen. In diesen regierungsunabhängigen akkreditierten Institutionen erfolgt die Standardsetzung in der Regel durch Industrieexperten. Die Anregung zur Normierung eines Kraftstoffes erfolgt entweder aus der Industrie oder von Seiten der Politik. Zugleich erfolgt die Entwicklung neuer Kraftstoffnormen sowohl *top-down* wie auch *bottom-up*, da einerseits das CEN bereits vorliegende nationale Standards in seine Normierung integriert und andererseits die CEN-Standards nationale Standards ersetzen (Prankl & Wörgetter 2000:1; Blind 2002:1; Werle & Iversen 2006:21ff; Rutz & Janssen 2006:4; Woldendorp, CEN, 2007-07-13). Hinzu kommen EU-Richtlinien, die einzelne Kraftstoffparameter festlegen, wie zum Beispiel die Kraftstoffqualitätsrichtlinie 98/70/EG, die in die Kraftstoffstandards als Grenzwerte integriert werden (Europäisches Parlament & Europäischer Rat 1998; Woldendorp, CEN, 2007-07-13). Die Entwicklung von Normen für alternative Kraftstoffe erfolgte in Deutschland und Europa vor allem für die Biokraftstoffe. Dabei zeigt der Verlauf der Normierung eine Schwerpunktsetzung zugunsten von Biodiesel und Pflanzenöl als Reinkraftstoffe auf der deutschen Ebene und von Biodiesel wie auch von Ethanol als Beimischungskomponenten auf der europäischen Ebene:

⁵⁵ Die Markteinführung der fossilen Kraftstoffe CNG und LPG beruht dagegen weiter allein auf der Steuerbefreiung.

Auf der deutschen Ebene erfolgte 1994 eine erste Vornorm (DIN V 51606) für Biodiesel als Reinkraftstoff (B100), die sich an der seit 1991 existierenden österreichischen Norm für Rapsmethylester (RME) orientierte, aber bereits ein breiteres Pflanzenölspektrum umfasste. 1997 folgte eine überarbeitete, ebenfalls am österreichischen Vorbild orientierte Biodieselnorm (DIN E 51606) für Fettsäuremethylester (FAME), wodurch die Kraftstoffeigenschaften im Vordergrund stehen und nicht die Herkunft des Biodiesels aus Raps, Soja, Palmöl, Sonnenblumenöl, Altfetten usw. (Austrian Biofuels Institute 2002:5, 26f; Bockey 2002:1f). Diese Norm wurde 2003 durch den europäischen FAME-Standard für B100 und B5 (DIN EN 14214) ersetzt (Rutz & Janssen 2006:11). An diesem wird derzeit wiederum auf deutscher Ebene in Richtung der oben angesprochenen siebenprozentigen FAME-Beimischung (B7) gearbeitet. Reines Pflanzenöl verfügt über eine eigene Norm (DIN V 51605) (ebd. 13f; Bockey 2006:12, 2007b:34). Hinsichtlich Ethanol soll ebenfalls zur Ermöglichung der oben angesprochenen, ordnungsrechtlich angestrebten zehnpromzentigen Beimischung von Ethanol zu Benzin (E10) eine nationale Norm für E10 noch vor der europäischen Norm entwickelt werden (BMU et al. 2007:2). Schließlich gibt es in Deutschland auch eine Klassifikation von Erdgas als Kraftstoffstandard, die nicht vom FAM, sondern von der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. vorgenommen wurde. Diese unterscheidet allein nach dem Methangehalt zwischen Erdgas der Gruppe H (87-99,1 Prozent Methangehalt) und der Gruppe L (ab 79,8 Prozent). Aufgrund der chemischen Übereinstimmung von Erdgas und aufbereitetem Biogas kann dieser Standard auch auf Biogas angewendet werden (Rutz & Janssen 2006:14f).⁵⁶

Auf der europäischen Ebene wurde Ethanol früher berücksichtigt als Biodiesel, allerdings nur in der Kraftstoffqualitätsrichtlinie, die Bioethanol als bis zu 5 Volumenprozent beimischbare Sauerstoffkomponente unter Bezugnahme auf die bestehende Benzinnorm (EN 228) behandelte (Europäisches Parlament & Europäischer Rat 1998:65; Woldendorp 2007:12; Automobilhersteller 4 Mitarbeiter, 2007-08-01). Eine Spezifizierung der Ethanolqualität erfolgte dadurch jedoch nicht. Diese wurde erst 2007 mit einer eigenen E5-Norm (EN 15376) festgelegt. Aufgrund der europäischen Pläne, die Ethanolbeimischung von 5 auf 10 Prozent zu erhöhen, wird eine modifizierte E10-Version von EN 15376 entwickelt werden, die die E5-Norm ersetzen soll (Rutz & Janssen 2006:6; Homann, IG Mittelstand, 2007-01-31; Woldendorp 2007:13f; Woldendorp, CEN, 2007-07-13; EurActiv 2007-06-29). Ein dritter Ethanolstandard betrifft die Mischung von 85 Prozent Ethanol mit 15 Prozent Benzin (E85). Für diesen Kraftstoff liegt derzeit nur ein ‚*Workshop Agreement*‘ vor, das von interessierten Marktteilnehmern (vgl. 5.2.1 und 5.3.2) beim CEN in Auftrag gegeben wurde und deshalb nicht denselben Status wie eine Norm besitzt und

⁵⁶ Für Biogas als Kraftstoff existiert innerhalb der EU nur in Schweden ein Standard (SS 155438) (Rutz & Janssen 2006:14).

entsprechende Zulassungs- und Garantieprobleme nach sich zieht (Rutz & Janssen 2006:6, 16; Woldendorp, CEN, 2007-07-13):

„Das ist ja das Dumme: Unsere Autos [Flexi-Fuel-Vehicles, FFVs; JCS] sind zurzeit nicht homologierbar auf Ethanol, weil wir keinen DIN-Kraftstoff haben. [...]. [Sie; JCS] sind [...] halt homologiert auf den ganz normalen Benzinbetrieb und wir können dann nachweisen, dass alle anderen Betriebsarten besser sind. [...] Die nächste Sache sind Tankstellen, die Genehmigung von Tankstellen: Ein deutscher Beamter guckt rein und sagt ‚Ethanol – gar nicht zugelassener Kraftstoff [...] Die technischen Vorgaben sind nicht da, das kann ich nicht hinnehmen‘ [...]“ (Automobilhersteller 3 Mitarbeiter, 2007-07-06).

Seit Mai 2007 arbeitet das CEN TC 19 an einer E85-Norm, wobei es sich sowohl auf das Workshop Agreement wie auch auf nationale E85-Standards wie z.B. französische und schwedische E85-Aktivitäten stützt. Ziel ist eine eigenständige Norm für E85, die nicht in die Benzinnorm EN 228 integriert wird, sondern die E85 als neuartiges Produkt betrachtet. Ob es möglich ist, unabhängig vom Mischungsverhältnis (0 bis 85%) *eine* EN 15376-Norm für Ethanol zu entwickeln, wird derzeit vom CEN geprüft (Rutz & Janssen 2006:6; Woldendorp 2007:13; Woldendorp, CEN, 2007-07-13).

Während sich die Normierung von Ethanol auf der europäischen Ebene von der ungenormten Beimischungs-komponente zum eigenständigen Kraftstoff entwickelt, verläuft die Entwicklung beim Biodiesel umgekehrt – und folgt damit dem Muster auf der deutschen Ebene: So erfolgte bereits 1997 der erste Auftrag seitens der EU Kommission an das CEN, eine Biodieselnorm zu entwickeln, so dass dieser als Reinkraftstoff (B100), wie auch als fünfprozentige Beimischung (B5) innerhalb der Dieselnorm EN 590 verwendet werden kann. Die daraus resultierende vorläufige CEN Norm von 2001 trat 2003 als EN 14214 in Kraft.⁵⁷ Diese Norm gilt somit eigenständig für Biodiesel als Reinkraftstoff (B100) und ist zugleich als Grundlage für die Bemischung von bis zu 7 Prozent FAME (B7) in die Dieselnorm EN 590 inkorporiert (Prankl & Wörgetter 2000:3; Austrian Biofuels Institute 2002:27f; Rutz & Janssen 2006:3; Woldendorp 2007:12; Woldendorp, CEN, 2007-07-13; Automobilhersteller 4 Mitarbeiter, 2007-08-01). Wie beim Ethanol strebt die Europäische Union für Biodiesel eine mögliche Beimischung von bis zu zehn Prozent (B10) an. Eine entsprechende Entwicklung der FAME-Norm (EN 14214) wie auch der Dieselnorm (EN 590) hat die Europäische Kommission bereits Ende 2006 dem CEN in Auftrag gegeben (Woldendorp 2007:13; Automobilhersteller 4 Mitarbeiter, 2007-08-01). Die Beimischungsvorgabe von B7 in Deutschland – wie auch im ‚B7-Ursprungsland‘ Frankreich – wird somit bisher nicht durch europäische Normungsbemühungen begleitet, obwohl dies von deutscher Seite durchaus gewünscht ist (BMU et al. 2007:2; Woldendorp, CEN, 2007-07-13).

⁵⁷ Dabei existiert nicht nur in Deutschland bereits ein Biodieselstandard, sondern auch in den EU Mitgliedsländern Österreich, Frankreich, Schweden, Italien und Tschechien (Prankl & Wörgetter 2000:2).

Weitere Aktivitäten des CEN betreffen die ebenfalls von der EU Kommission beauftragte Normierung von FAEE, also von Fettsäuren ethyl ester, der mit Hilfe von Ethanol statt mit Methanol hergestellt wird (Woldendorp 2007:13):

„[Y]ou are still allowed to use a chemical methanol to make FAME. If you are using ethanol to make FAEE based on bio-ethanol then you have a 100 percent bio-product. So we have to develop a standard for that. The problem is there is no fuel available in the market to develop the standard. So basically it is now done in France because very strongly it is driven by France and we just wait for the study done in France and then these studies will serve as a good basis for the CEN process. Because as long as there is no fuel in the market we can't work on it. We have to test it, we have to check the standards, the test methods and so“ (Woldendorp, CEN, 2007-07-13).

Außerdem vergleicht das CEN TC 19 derzeit im Auftrag der EU und gemeinsam mit brasilianischen und US-amerikanischen Arbeitsgruppen die Biodiesel- und Bioethanolstandards der drei Regionen bzw. Länder hinsichtlich der Möglichkeit, zu globalen Normen zu kommen – ein gleichwohl sehr schwieriges Unterfangen (Woldendorp, CEN, 2007-07-13). Mittelfristig erwarten Teilnehmer des CEN die Entwicklung einer Norm für BtL, für das ebenso wie für GtL bereits ein *Workshop Agreement* vorliegt, sowie weitere Biokraftstoffe der ‚2. Generation‘ (Woldendorp 2007:13; CEN 2008).

Insgesamt gesehen lässt sich festhalten, dass die Normierung für die alternativen Kraftstoffe einen wichtigen qualitativen Schritt auf dem Weg zu ihrer breiteren Markteinführung darstellt und für die Umsetzung der oben erörterten Verwendungspflichten unerlässlich ist, da sie die Funktion der interdependenten Systeme Kraftstoff-Motor/Abgasnachbehandlung sicher stellt. Mithin ermöglicht eine erfolgreiche Standardisierung die ebenenübergreifenden technologischen Komplementaritätseffekte zwischen Kraftstoff und Motor (vgl. David 1992:137ff). Im Umkehrschluss bedeutet das, dass eine Nicht-Normung für die Entwicklung der alternativen Kraftstoffe ein wesentliches Hindernis darstellt. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass die Normung der alternativen Kraftstoffe als Beimischkomponente (B5, B10, E5, E10) dazu führt, dass auch eine technologische Kompatibilität zum bestehenden Kraftstoffsystem Benzin und Diesel hergestellt wird – wobei dies für B5 und E5 explizit auch hinsichtlich ihrer Verwendung in älteren Fahrzeugen gilt, also auch eine Rückwärtskompatibilität gegeben ist (vgl. Zundel et al. 2005:27f).

Diese wichtige unterstützende Funktion der Normierung erfährt aber Einschränkungen in vierfacher Weise: Erstens laufen die deutsche und die europäische Normierung auf eine große Normenvielfalt hinaus, die aus der mehrfachen Normung von Ethanol (E5, E10 und E85), der Vielzahl alternativer Kraftstoffe sowie aus der zeitlichen und inhaltlichen Divergenz zwischen der europäischen Standardsetzung und der der Mitgliedsländer resultiert (s. B7 in Deutschland, B30 in Frankreich, Biogas in Schweden). Zweitens erfolgt die Standardisierung eher nachholend denn vorwegnehmend wie die Beispiele E5 und E10 zeigen. Drittens stellt die Normung infolge der Vielzahl zu normender alternativer Kraft-

stoffe auch einen ‚*bottleneck*‘ dar. Viertens besitzt die Politik keinen direkten Einfluss auf den Normungsprozess, so dass dieser zwischen den im Ausschuss vertretenen Experten ausgehandelt werden muss. Diese vier Einschränkungen können die Marktteilnehmer jedoch durch ‚*CEN-Workshop Agreements*‘ sowie durch eine Kennzeichnung des ungenormten Kraftstoffes an der Tankstelle ausgleichen. Letztlich bleibt die Normung ein Zeichen dafür, dass ein Kraftstoff im Markt angekommen ist.

5.1.5 FuE-Förderung – Mittelbereitstellung und Erwartungskoordination

Neben den politischen Mengenzielen, der Besteuerung, dem Ordnungsrecht und der Standardsetzung umfassen die deutschen und die europäischen regulativen Explorationsstrukturen auch die Förderung der Erforschung und Entwicklung alternativer Kraftstoffe – wobei sich ein klarer Trend zur Förderung der zweiten Biokraftstoffgeneration erkennen lässt:

„Dabei darf man allerdings nicht außer acht lassen, dass die Forschungsförderung von staatlicher Seite nicht immer das aktuelle Marktgeschehen widerspiegelt. Zum einen deshalb nicht, weil ab einem bestimmten Zeitpunkt die Marktbeteiligten bei Produkten / Verfahren, die Stand der Technik sind, weitere Entwicklungen auf diesem Gebiet selbst betreiben bzw. betreiben müssen und zum Anderen, weil staatliche Forschungsförderung auch, z. T. zumindest, Vorsorgeforschung ist, d.h. dass es hier seitens der Industrie häufig noch keine FuE betrieben wird“ (Daebeiler, FNR, 2007-02-22).

Die vielfältigen Fördermaßnahmen zeichnen sich dabei neben der finanziellen Unterstützung insbesondere durch das Zusammenbringen der Marktteilnehmer aus. Beispiele für die finanzielle FuE-Förderung sind das deutsche mit 500 Millionen Euro geförderte ‚*Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzelle*‘ und – bereits stärker auf die Markteinführung ausgerichtet – die Förderung über Bürgschaften, die die Kosten der Fremdkapitalfinanzierung senken, sowie Strukturbeihilfen (BMVBS et al. 2006:12; DWV Mitarbeiter, 2007-06-06):

„Ich würde erwarten, dass der Staat zwei Sachen [zur Finanzierung der BtL-Sigmaanlage; JCS] macht: Erstens, dass er die gesetzlichen Fördermittel einsetzt, die ja je nach Quelle erheblich sind. Zweitens wäre es gut, wenn er anerkennt, dass die Technologie noch immer in einem Reifestadium ist und deshalb eine Bund-Land-Bürgschaft zum Abfangen des Risikos bezüglich der Fremdkapitalgeber braucht“ (Blades, CHOREN, 2007-01-22)

Ein Beispiel für das Zusammenbringen der Marktteilnehmer ist das von mehreren Industriepartnern unter Führung von Volkswagen getragene RENEW-Projekt innerhalb des 6. EU-Forschungsrahmenprogramms (Sturm 2004:295ff; Europäische Kommission Mitarbeiter 2, 2007-07-26; VW 2007b). Eine weitere wichtige Koordinationsfunktion kommt den europäischen Technologieplattformen wie der ‚*Biofuels Technology Platform*‘ und der ‚*Hydrogen and Fuel Cells Technology Platform*‘ zu. In diesen Plattformen formulieren die Marktteilnehmer und Forschungsinstitute gemeinsam – aber nicht notwendigerweise immer im Konsens – strategische Forschungsagenden, die auch den politischen Rahmen adressieren (vgl. Biofuels TP 2006:1; Automobilhersteller 1 Mitarbeiter 2, 2007-04-24;

Automobilhersteller 5 Mitarbeiter, 2007-06-26; Europäische Kommission Mitarbeiter 2, 2007-07-26):

„The primary objective of the SRA [Strategic Research Agenda; JCS] is to identify the key Research, Development and Demonstration (R&D&D) activities that are required in order to reach a successful EU biofuels industry that contributes to the BIOFRAC vision goal with biofuels providing up to 25% of road transport energy needs in the year 2030 covered in a cost-competitive, economically viable and sustainable way. The SRA is a tool that will facilitate all EU stakeholders to co-ordinate and plan coherent R&D&D activities. The SRA is a statement of R&D&D priorities. It includes time lines for the development of both improved and new feedstock and conversion technologies and identification of the necessary steps, with recommendations for implementation in both public and private programmes“ (Biofuels TP 2008:SRA-2).

Ein Koordinationsforum in Deutschland ist die 1998 gegründete und vor allem auf Wasserstoff fokussierte ‚Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie‘ (VES), die sich aus Vertretern der Automobil- und Energieindustrie und des BMVBS zusammensetzt (VES 2007:8; Bundesministerium 1 Mitarbeiter, 2006-05-23).⁵⁸ Ebenfalls der Koordination dient die Unterstützung von Machbarkeitsstudien wie der BtL-Realisierungsstudie unter Federführung der Deutschen Energieagentur (dena 2006). Der Inhalt dieser Studie, insbesondere die Frage der Wirtschaftlichkeit, ist bei den Akteuren jedoch höchst umstritten und wird als ‚politisch motiviert‘ angesehen (Homann, IG Mittelstand, 2007-01-31; Bundestagsfraktion 1 Mitarbeiter 1, 2007-07-11).

Die staatliche Unterstützung der FuE-Aktivitäten läuft somit auf eine finanzielle Erleichterung der Exploration alternativer Kraftstoffe hinaus, so dass von einem finanziellen *Förderungseffekt* für die Entwickler alternativer Kraftstoffe gesprochen werden kann (vgl. Foxon et al. 2004:101). Vor allem aber ermöglichen es die FuE-Foren den Akteuren, sich untereinander auszutauschen und damit sowohl ihr Wissen weiter zu entwickeln als auch ihre Erwartungen und Handlungen zu koordinieren. Allerdings setzt sich in diesen Foren die Auseinandersetzung zwischen den Protagonisten unterschiedlicher Alternativen fort. Wie das Beispiel der umstrittenen BtL-Realisierungsstudie zeigt, steht dabei die Festlegung der zu fördernden Technologien und die Deutung bestimmter Informationen im Zentrum der Auseinandersetzungen (vgl. Homann, IG Mittelstand, 2007-01-31).

5.1.6 Landwirtschaftspolitik

Da ein Großteil der derzeitigen und für die Zukunft angestrebten alternativen Kraftstoffe aus Biomasse hergestellt wird, setzt die Landwirtschaftspolitik, die gewissermaßen den ‚Upstreambereich‘ der alternativen Kraftstoffe aus Biomasse reguliert, wichtige Rahmenbedingungen für die Entwicklung alternativer Kraftstoffe. Diese vor allem auf der europäi-

⁵⁸ Der Runde Tisch ‚Biokraftstoffe‘ von BMU und BMELV dagegen beschäftigte sich nicht mit FuE-Fragen, sondern mit einer konkreten Kompromissfindung zwischen Automobilindustrie, Mineralölindustrie, mittelständische Mineralölwirtschaft und Landwirtschaft zur den mittelfristigen Fördermaßnahmen für Biokraftstoffe (BMU et al. 2007:1).

schen Ebene angesiedelte Politik drückt seit den Reformen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) ab 1992 Biomasse in den Kraftstoffmarkt:

„[...] in den 90er Jahren war absehbar: Diese EU-Agrarpolitik stößt an die Grenzen. Sie hatte ein hohes internes Schutzniveau, gleichzeitig zog die Produktion an, man konnte nicht so ohne weiteres exportieren, das war sehr teuer [...] also fing man an [...] Flächen wirklich aus der Produktion raus zu nehmen. Und in dem Maße, wie diese Branche-Diskussion kam, war die Suche nach Alternativen [...] sowohl bei den Landwirten wie auch bei vielen Nicht-Landwirten da. Und diese indirekte Anschubwirkung [...], die haben wir damals genutzt und gesagt ‚Wir müssen eine Alternative finden‘. Und die Übersetzung [...], die war dann immer so: ‚Naja, nur Nahrungsmittel hat die Landwirtschaft nur in den letzten 100 Jahren wenn überhaupt [...] gefahren [...] – vorher war alles beim Hafermotor und braucht man auf der Fläche eben 1/3 für Transport‘ [...] Das war dann sehr einleuchtend zu sagen ‚Dieses Drittel, das können wir langsam wieder nutzbar machen für die Kraftstoffe“ (Born, DBV, 2007-01-13).

Dabei wurden zum einen über subventionierte Stilllegungsflächen, die mit Energiepflanzen bebaut werden dürfen, Raps und Mais für den Energiebereich – also für Biodiesel und Biogas – verfügbar. Zum anderen suchte die Landwirtschaft für Roggen und Zuckerrüben nach neuen Absatzmöglichkeiten infolge der Öffnung dieser Bereiche für den Weltmarkt, wofür auch die Ethanolproduktion in Frage kommt (Urff 2004:209ff; Tzimas et al. 2004:9; Born, DBV, 2007-01-13; Guderjahn, CropEnergies, 2007-01-22). Diese Suche nach neuen Märkten für landwirtschaftliche Produkte wirkte sich wiederum auf die übrigen regulativen Maßnahmen aus (vgl. Brand 2005:33):

„What is important to realize is that there are three drivers around bio-fuels: It certainly is climate change, it certainly is energy security, but arguably the key driver is agricultural support“ (Primrose, BP, 2006-08-23).

Sowohl von der Weltmarktöffnung wie auch von den europäischen Stilllegungsflächen wurde landwirtschaftliches Produktionspotenzial zur Herstellung von Biokraftstoffen freigesetzt – sie wirkten also, unterstützt vom politischen Einfluss der Landwirtschaftsverbände, als *Ressourcen-push-Effekte* in die Kraftstoffproduktion und als *Ressourcen-pull-Effekte* für die Rohstofflieferanten. Diese Effekte verlieren allerdings durch die steigende Nachfrage nach landwirtschaftlichen Produkten aus Asien und die diskutierte Freigabe der europäischen Flächenstilllegungen für die Nahrungsmittelproduktion an Bedeutung. Hinzu kommen eine steigende Nachfrage durch die Biogasproduktion im Rahmen des EEG sowie die Importmöglichkeit günstigerer Biokraftstoffe zum Beispiel durch die Ausweitung der Ethanolproduktion in Brasilien (Zeddies 2006:17f; Oehrlein 2007; BMU 2007; EurActiv 2007-08-02, 2008-05-07; Fischer Boel 2008).

5.1.7 Fazit: Explorationsanreize der Regulierungsstrukturen

Die Analyse der regulativen Strukturen zeigt, dass die Rohstofflieferanten, Entwickler, Produzenten und Distribuenten entlang der Wertschöpfungsketten der verschiedenen alternativen Kraftstoffe in Deutschland und Europa durch ein ganzes Bündel von Explorationsanreizen angeregt werden – dies gilt infolge der Betonung des Klimawandels und

damit der Verknüpfung des Themas mit der Frage der CO₂-Emissionen im Verkehrsbe-
reich für Biokraftstoffe (s. Tabelle 15).

So beinhalten die (a) europäischen und deutschen politischen Mengenziele für alternative
Kraftstoffe dank des Signals, alternative Kraftstoffe zu entwickeln und in den Markt zu
bringen, für die Anbieterseite *regulative push-Effekte* – die jedoch letztlich von der
Glaubwürdigkeit und dem Durchsetzungswillen der Politik abhängen. Die (b) Besteuerung
legt *steuerliche push-Effekte* nahe, die in der Unterstützung der Nachfrage bestehen so-
wie in den Margenspielräumen, die die Steuerspreizung den Anbietern eröffnet. Die Um-
setzung dieses Explorationsanreizes ist freiwillig und hängt vom Kosten-Nutzen-
Verhältnis im Vergleich zu Benzin respektive Diesel ab. Zudem sind die steuerlichen
push-Effekte aus haushalterischen Gründen auf die erste Marktentwicklungsphase be-
grenzt.

Tabelle 15: Regulative Explorationsanreize zur Entwicklung von Alternativen

	Regulierungsstrukturen					
	<i>Mengen- ziele</i>	<i>Besteue- rung</i>	<i>Verwen- dungs- pflichten</i>	<i>Normie- rung</i>	<i>FuE- Förderung</i>	<i>Landwirt- schaftspo- litik</i>
Roh- stofflie- feranten	- keine	- Steuerli- che <i>push-</i> Effekte	- Regulati- ve <i>de-</i> <i>mand-</i> <i>pull-</i> Effekte	- keine	- keine	- Ressour- cen- <i>pull-</i> Effekte
Kraft- stoffent- wick- lung	- Regulati- ve <i>push-</i> Effekte	- Steuerli- che <i>push-</i> Effekte	- Regulati- ve <i>de-</i> <i>mand-</i> <i>pull-</i> Effekte	- keine	- Finanziel- le Förde- rungsef- fekte	- keine
Kraft- stoff- produk- tion	- Regulati- ve <i>push-</i> Effekte	- Steuerli- che <i>push-</i> Effekte	- Regulati- ve <i>de-</i> <i>mand-</i> <i>pull-</i> Effekte	- keine	- keine	- Ressour- cen- <i>push-</i> Effekte
Kraft- stoff- distribu- tion	- keine	- Steuerli- che <i>push-</i> Effekte	- Regulati- ve <i>push-</i> Effekte - Regulati- ve <i>,tech-</i> <i>nology</i> <i>forcing'-</i> Effekte	- keine	- keine	- keine

Die (c) Verwendungspflichten beinhalten für die Produzenten alternativer Kraftstoffe *re-*
gulative demand-pull-Effekte, die ihnen einerseits einen Absatzmarkt öffnen bzw. si-
chern, die diesen aber andererseits durch das Zusammenfallen von Quote und Marktgrö-
ße aber auch limitieren. Für Tankstellenbetreiber dagegen führt die Verwendungspflicht
zu *regulativen push-Effekten*, da sie zum Angebot der Alternative gezwungen werden.
Außerdem bedeutet die Wahl der Beimischung den Gestaltungsspielraum der Anbieter –

und der Automobilhersteller – einschränkende *regulative ,technology forcing'-Effekte*. Durch die Integration der Alternativen Biodiesel und Ethanol in das bestehende Kraftstoffsystem nutzen sie zugleich dessen direkte Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte. Die Verwendungspflicht und insbesondere die Quoten sind ein primäres Interventionsziel aller Marktteilnehmer.

Zur Umsetzung der Verwendungspflichten und für die Marktetablierung alternativer Kraftstoffe leistet die (d) Normierung einen zentralen Beitrag, indem sie die Funktion der interdependenten Systeme Kraftstoff-Motor/Abgasnachbehandlung absichert. Mithin führt eine erfolgreiche Standardisierung zu den ebenenübergreifenden technologischen Komplementaritätseffekten zwischen Kraftstoff und Motor. Dadurch, dass Biodiesel und Ethanol als Beimischkomponenten genormt werden, gilt diese Sicherung der Interdependenz auch für die bestehende Pkw-Flotte, sie ermöglicht also auch eine Rückwärtskompatibilität.

Die staatliche (e) FuE-Förderung beinhaltet *finanzielle Förderungseffekte* für die Entwickler alternativer Kraftstoffe und ermöglicht über die Bereitstellung von Foren die Koordination zwischen den Marktteilnehmern. Die (f) Landwirtschaftspolitik schließlich ruft für die Produzenten von Biokraftstoffen *Ressourcen-push-Effekte* und für die Rohstofflieferanten *Ressourcen-pull-Effekte* hervor, indem sie die Erzeugung von Energiepflanzen auf Stilllegungsflächen finanziell unterstützt. Dieser Explorationsanreiz schwächt sich gegenwärtig jedoch ab.

Wichtige Rahmenbedingungen für die Stärke dieser Explorationsanreize sind ähnliche Politiken in den übrigen EU-Mitgliedsstaaten sowie vor allem auch in den USA, da dadurch der politische Markt für die alternativen Kraftstoffe vergrößert wird. Dies wird allerdings durch die Unterschiedlichkeit der dabei gewählten Maßnahmen und Standards beeinträchtigt, da diese den Handel mit alternativen Kraftstoffen erschweren (vgl. Brand 2005; Woldendorp, CEN, 2007-07-13; Nylund et al. 2008:32ff). Weitere Verstärkungen resultieren aus der Verbindung der Entwicklung alternativer Kraftstoffe mit der im ersten Empirieteil angesprochenen Regulierung des Kraftstoffpfades wie etwa durch die Anrechnung von Biokraftstoffen auf die CO₂-Emissionen der Pkw-Flotten der Automobilhersteller und in der eventuell auch für die Raffinerien eingeführten Dekarbonisierungsstrategie (vgl. 4.3.3 und 4.5.3). Schwächend wirken sich dagegen die stete Gefahr von politischen Zielverschiebungen aus sowie unvorhergesehene Effekte, wie etwa die im Rahmen der Nachhaltigkeitsverordnung angestrebte, schwierige Zertifizierung von Biokraftstoffen und die Diskussion über den Beitrag der Biokraftstoffe zur Steigerung der Nahrungsmittelpreise verdeutlichen (Europäische Kommission Mitarbeiter 1, 2007-05-09; Honsel 2008; Fischer Boel 2008).

Es sei auch angemerkt, dass die derartige Gestaltung der regulativen Explorationsstrukturen durch die Politik nicht nur einen eher klassischen *,technology-push'-Ansatz* erkennen lässt, sondern bei der Verwendungspflicht und der damit einhergehenden Normung

eine Integrationsstrategie. Diese übernimmt mittels einer Rückwärtskompatibilität zum bestehenden System erstens dessen Komplementaritätseffekte zwischen Kraftstoff und Motor und nutzt zweitens auch dessen direkte Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte (vgl. Kemp et al. 1998:177, 186; Zundel et al. 2005:27f).

5.2 Explorationsanreize durch Antriebsentwicklungen im Automobilbereich

Als letztes Glied in jeglicher Kraftstoffwertschöpfungskette besitzen der Automobilbereich und seine Technologieentwicklung eine zentrale Nachfragefunktion für die Entwicklung alternativer Kraftstoffe. Ein wesentliches Motiv bei der Technologieentwicklung ist der schon im ersten Empirieteil deutlich gewordene regulative Druck auf die Automobilindustrie, nicht nur ihre Abgaswerte zu verbessern, sondern auch die verkehrsbedingten CO₂-Emissionen zu senken. Dem ist hinzuzufügen, dass dieser Druck nicht nur in Deutschland und Europa besteht, sondern vor allem auch im wichtigen US-Markt Kalifornien dank sich stetig verschärfender Standards bis hin zu *Zero Emission Vehicles* (ZEV) und steigender Anforderungen an den Durchschnittsflottenverbrauch (vgl. Hultén & Pelkmans 2003:163ff; Jürgens & Meißner 2005:132; VDA 2007a:140ff). Zugleich finden die Entwicklungen im Wettbewerb untereinander statt, so dass sie ‚Technologiewetten‘ auf zukünftige Marktentwicklungen darstellen:

„(W)e are in a competitive world. We are [...] all trying to make profits and we are trying to do this in a way that is better than our competitors. So, when Volkswagen thinks that they can develop a technology which the customer will appreciate [...] – that is the market place, this is how it works. And they are perfectly free to develop those technologies because they believe in their own way as engineers and as strategists they think that is a good thing to do. And we do what we think is right and then the customer decides“ (Automobilhersteller 4 Mitarbeiter, 2007-08-01).

Bei dieser Entwicklung verfolgen die Automobilhersteller (OEMs; ‚*Original Equipment Manufacturer*‘) zwei motorentechnische Ansätze, die auf den Einsatz alternativer Kraftstoffe hinauslaufen:⁵⁹ Auf der einen Seite ein ‚*engines for fuels*‘-Ansatz, der auf die Anpassung der bestehenden Antriebssysteme an bzw. ihre Zulassung für alternative Kraftstoffe setzt, die eine Reduktion der Abgaswerte und / oder der CO₂-Emissionen ermöglichen. Auf der anderen Seite ein ‚*fuels for engines*‘-Ansatz, der auf die Entwicklung neuer Kraftstoffe für neue oder modifizierte Antriebssysteme hinausläuft (vgl. Automobilhersteller 4 Mitarbeiter, 2007-08-01). Der erste Ansatz lässt sich somit als ‚Kraftstofforientierung‘ und der zweite als ‚Antriebsorientierung‘ bezeichnen.

5.2.1 ‚*Engines for fuels*‘ – Otto- und Dieselmotoren für alternative Kraftstoffe

Die Kraftstofforientierung bedeutet eine nachträgliche Anpassung von Otto- und Dieselfahrzeugen an in der Regel im Markt befindliche alternative Kraftstoffe, wobei zwischen

⁵⁹ Damit werden Kraftstoff einsparende Aspekte wie Leichtbau usw. hier nicht weiter betrachtet. Außerdem werden Entwicklungen in der Abgasnachbehandlung vernachlässigt, sofern sie nicht den Einsatz alternativer Kraftstoffe beeinflussen.

der Auslegung für Beimischungen und für Reinkraftstoffe unterschieden werden kann. Diese beiden Anpassungsarten führen insbesondere zu je unterschiedlichen Lösungen für die schon aus dem ersten Empirieteil bekannten Fragen der Komplementarität von Kraftstoff und Motor und der örtlichen und mengenmäßigen Koordination von Kraftstoffangebot und Kraftstoffnachfrage.

Die Auslegung der Fahrzeuge für mit fünfprozentigen Beimischungen versehene Otto- und Dieselmotoren wird von allen Anbietern bereits durch die Zulassung ihrer Fahrzeuge auf die Benzin- und Dieselnorm (DIN EN 228 und 590) beschränkt, was wie erwähnt die regulative Verwendungspflicht automobiltechnisch absichert. Auf diese Weise ist die Frage der Komplementarität gelöst, während die Frage der Koordination von Angebot und Nachfrage durch die Integration in das bestehende Kraftstoffsystem bewältigt ist. Die Zulassung für Beimischungen im Rahmen der gegenwärtigen Normungen ist somit der ‚niedrigschwelligste‘ Einstieg in die Verwendung alternativer Kraftstoffe im Automobilbereich. Höhere Beimischungen sind seitens der heutigen Fahrzeugtechnik zwar kein Problem, allerdings ergeben sich Probleme hinsichtlich der Rückwärtskompatibilität wie die Diskussion um die zurückgezogene E10-Beimischung zeigt: Für diese hätten nicht alle im Markt befindlichen Fahrzeuge zugelassen werden können, so dass für diese weiterhin ein Kraftstoff (Super Plus) mit einer nur fünfprozentigen Ethanolbeimischung hätte bereitgestellt werden müssen (BMU et al. 2007:2; FAZ 2008-04-05). Das heißt, dass die technologischen Grenzen der Altfahrzeuge der beschränkende Faktor für höhere Beimischungszulassungen sind. Deshalb tendieren höhere Beimischungen zu denselben Problemen und Lösungen wie Reinkraftstoffe.

Die Zulassung für Reinkraftstoffe ist in mehrerer Hinsicht aufwändiger als die Zulassung für genormte Beimischungen: Hinsichtlich der Komplementarität müssen in der Regel spezielle, auf den alternativen Kraftstoff ausgerichtete Fahrzeuge angeboten werden. So muss zum Beispiel im Falle des flüssigen Benzinsubstitutes E85 ein Sensor im Tanksystem installiert sein, der den Ethanolgehalt misst und den Verbrennungsprozess entsprechend justiert – also ähnlich wie die Lambdasonde beim Abgassystem (Pelkmans et al. 2003a:50ff). Für die gasförmigen, bereits im Markt auffindbaren Alternativen LPG und CNG wie auch für Wasserstoff muss dagegen ein Gastank installiert werden, in dem der Kraftstoff unter unterschiedlichen Drücken (LPG, CNG, Wasserstoff) oder gekühlt (Wasserstoff) gelagert werden kann (Pehnt 2001:61f; Pelkmans et al. 2003a:42ff). Die Ausnahme von der Regel technologisch notwendiger Modifikationen stellte reiner Biodiesel (B100) dar, für den – abgesehen von Fragen der Dichtungen – keine technologischen Anpassungen notwendig waren. Diese Situation hat sich aber vor allem durch die Verwendung von Rußpartikelfiltern geändert, da sich Biodiesel infolge seines niedrigeren Heizwertes weniger für die Reinigung dieser Filter über eine Kraftstoffnacheinspritzung eignet. Die Weiterentwicklung der Abgastechnologie zur Erfüllung der EURO-Abgasnormen hat somit zu einer Schließung des technologischen Möglichkeitsfensters zur

Verwendung von reinem Biodiesel geführt (vgl. Pelkmans et al. 2003a:54ff; Automobilhersteller 2 Mitarbeiter 1, 2006-12-14).

Die Lösung der Komplementaritätsfrage über das Angebot spezifischer Fahrzeuge für spezifische alternative Kraftstoffe bedeutet aber auch, dass für den Vertrieb der Kraftstoffe eine eigene Infrastruktur aufgebaut und somit insbesondere die räumliche Koordination von Kraftstoffangebot und -nachfrage gelöst werden muss. Zur Lösung dieses Henne-Ei-Problems werden drei Wege beschrrieben, die nur partiell fahrzeugtechnischen Charakters sind: Die erste Lösung besteht in der ‚Flexible Fuel‘-Eigenschaft von Fahrzeugen wie FFVs für E85 und Benzin oder wie für B100 zugelassene Fahrzeuge. Diese Fahrzeuge können auf der Basis eines einzigen Tanks und Motors abwechselnd mit konventionellen und alternativen Kraftstoffen betrieben werden. Die zweite, bei den Gasfahrzeugen (CNG, LPG, Wasserstoff) gewählte Variante besteht im Angebot bivalenter Fahrzeuge, die neben dem Gas- auch über einen Benzintank verfügen und die Kraftstoffversorgung bei Bedarf umstellen. Dieser Zusatztank ist insofern notwendig, da monovalente Gasfahrzeuge über eine geringere Reichweite verfügen als mit Ottokraftstoff betankte Benziner. Die dritte Lösung der Koordinationsfrage besteht in der Beschränkung des Einsatzes monovalenter Fahrzeuge auf Insellösungen, wie zum Beispiel städtische Taxifloten (Pelkmans et al. 2003a:43, 50, 54; Primrose, BP, 2006-08-23).

Da das Angebot von Fahrzeugen für Reinkraftstoffe freiwillig ist und zusätzlich zu den Otto- und Dieselfahrzeugen erfolgt, finden in diesem Bereich unterschiedliche Engagements der OEMs und somit verschiedene Technologiewetten statt. Von diesen seien hier vier zentrale angeführt: Das erste Reinkraftstoffengagement bezieht sich auf Biodiesel, für den zuerst Volkswagen und später auch Daimler, BMW und im Lkw-Bereich MAN ab 1996 Freigaben für ihre Dieselfahrzeuge erteilten – diese aber infolge der Entwicklung der Abgasnachbehandlungstechnologien im Pkw-Bereich nicht mehr erteilen (Austrian Biofuels Institute 2002:3ff; Bockey, UFOP, 2007-01-03). Das zweite Reinkraftstoffengagement besteht in dem Angebot von bivalenten CNG-Fahrzeugen, welches in Deutschland zunächst vor allem von Opel, Daimler und Volvo für den Taximarkt (TUT-Projekt Berlin) erfolgte. Mittlerweile tragen auch andere Hersteller wie Volkswagen und Ford CNG-Modelle bei, wobei Volkswagen mit Passat, Touran und Caddy Marktführer ist (erdgas mobil Mitarbeiter, 2007-07-13). Das dritte Engagement betrifft FFVs für E85, für das im deutschen Automobilmarkt insbesondere Ford und die GM-Tochter Saab stehen, die auch das oben schon erwähnte ‚CEN Workshop Agreement‘ mitgetragen haben (vgl. 5.1.4). Namhafte deutsche Hersteller wie Volkswagen halten sich trotz ihres Angebots von FFVs in Brasilien auf dem deutschen Markt zurück (Guderjahn, CropEnergies, 2007-01-22; Automobilhersteller 3 Mitarbeiter, 2007-07-06; Woldendorp, CEN, 2007-07-13; VDA 2007a:146). Ein viertes ‚engines for fuels‘-Engagement verfolgt BMW mit der Entwicklung eines bivalenten Wasserstofffahrzeugs auf Ottomotorbasis. Der wasserstoffbetriebene Einsatz dieser Fahrzeuge ist jedoch sehr begrenzt, da die Stückzahlen niedrig und die

Wasserstoffinfrastruktur auf wenige Tankstellen begrenzt ist (Die Welt 2002-05-30; Pelkmans et al. 2003a:47f). Schließlich finden sich fünftens noch LPG-Fahrzeuge, die allerdings kein besonderes Engagement seitens der OEMs erfordern. Ursache dafür ist, dass der erforderliche Zusatztank problemlos von Nachrüstern installiert werden kann. Allerdings müssen die Nachrüster angesichts der Entwicklung elektronischer Steuerungssysteme des Verbrennungsvorganges zunehmend mit den Automobilherstellern kooperieren (Pelkmans et al. 2003a:43; Automobilhersteller 1 Mitarbeiter 1, 2007-04-20; E.ON Avacon 2008).

Die ‚engines for fuels‘-Entwicklung verläuft somit mehrgleisig und stellt sich unter Berücksichtigung der Marktanteile und des Marktwachstums der einzelnen Ansätze wie folgt dar (vgl. Tabelle 16):

Tabelle 16: ‚Engines for Fuels‘-Ansätze

Aspekt Automobil für	<i>Komplementarität</i>	<i>Koordination</i>	<i>Anbieter</i>	<i>Marktanteil 2008</i> (Wachstum 2007-2008)
Beimischung (B5 und E5)	Normung	Integration in die Infrastruktur	Alle inklusive Altbestand	100% (0%)
Höhere Beimischungen (z.B. E10)	Normung	Eigene Infrastruktur	Alle Neufahrzeuge	- (ca. 8,5%)
Biodiesel (B100)	Normung / Zulassung	Flexible Betankung	Ehem. VW, Daimler	Bis EURO 4
E85 (FFV)	Kraftstoffsensoren	Flexible Betankung	Ford, Saab	0,0%
CNG	Neuer Tank	Bivalent oder Insellösung	V.a. Opel, Daimler	0,1% (18,4%)
LPG	Neuer Tank	Bivalent oder Insellösung	(Alle)	0,4% (64,7%)
Wasserstoff	Neuer Tank	Bivalent oder Insellösung	BMW	0,0%

Quelle: KBA 2008:20; Eigene Darstellung.

Grundsätzlich bedeuten alle diese Technologiewetten der OEMs für die Rohstofflieferanten, Produzenten und Distribuenten des jeweiligen alternativen Kraftstoffes, dass eine potenzielle Nachfrage geschaffen wird, also dass sich positive Nachfrage- bzw. technologische *demand-pull-Effekte* einstellen können. Zudem sind in der Frage, wie der Kraftstoff zum Einsatz kommt, also als Beimischung oder als Reinkraftstoff, für die Vertriebs-ebene *technology forcing Effekte* enthalten. Über die Beimischung kann zudem wie schon oben angesprochenen die Alternative in das bestehende Kraftstoffsystem integriert werden und dadurch auf der Vertriebs-ebene dessen direkte Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte genutzt werden. Wichtig ist zudem, dass damit dem alternativen Kraftstoff der Kernmarkt geöffnet wird und – sofern die Rückwärtskompatibilität gesichert ist – die ge-

samte Pkw-Flotte beliefert werden kann. Die Wahl des Reinkraftstoffansatzes läuft dagegen auf den Aufbau einer eigenen Angebotsinfrastruktur hinaus, so dass sich das Gegenteil der direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte einstellt: Das Henne-Ei-Problem zwischen der Entwicklung des Angebots und der Nachfrage. Dieses Problem wird durch die Bivalenz oder ‚Flexible Fuel‘-Kapazität der Fahrzeuge technologisch abgemildert.

5.2.2 ‚Fuels for engines‘

Der Ansatz, Antriebssysteme zu entwickeln und an diese angepasste Kraftstoffe zu fordern, entspricht dem klassischen Vorgehen der Automobilindustrie und stellt ein stärker zukunftsorientiertes Vorgehen dar als die nachträgliche Anpassung der Antriebssysteme an alternative Kraftstoffe. Dadurch entfällt für die Automobilseite die Komplementaritätsfrage (vgl. ACEA et al. 2006; Automobilhersteller 4 Mitarbeiter, 2007-08-01). Dabei besitzen die verfolgten alternativen Antriebe einen hohen Stellenwert für die OEMs, da sie als Substitute für den Otto- und den Dieselmotor auf den Kernmarkt zielen, so dass es zu einem „Innovationswettbewerb bei den Antriebssystemen“ (Jürgens & Meißner 2005:127) kommt. Als Stoßrichtungen lassen sich die inkrementelle Weiterentwicklung der bestehenden Diesel- und Ottomotoren, die Verbindung konventioneller Verbrennungsmotoren mit einem elektrischen Antriebssystem und die radikale Innovation rein elektrischer Antriebssysteme, die ihre Energie aus einer Batterie oder einer Brennstoffzelle beziehen, identifizieren (ebd.; Pelkmans & Azkarate 2003:27ff; Aigle & Marz 2007:32).⁶⁰

Die inkrementelle Verbesserung der Otto- und der Dieselantriebssysteme zielt auf eine weitere Reduzierung der Abgase und des Kraftstoffverbrauchs über eine möglichst homogene Verbrennung. Diese Entwicklung läuft unter dem Oberbegriff der ‚Homogenous Charge Compression Ignition‘ (HCCI) auf eine Annäherung von Otto- und Dieselmotor hinaus: Auf der Ottoseite erfolgen motorentechische Veränderungen durch die Einführung der Direkteinspritzung in Kombination mit einem Turbolader für die Luftzuführung. Diese verbessern insbesondere den Betrieb unter Teillast – dem Schwachpunkt des traditionellen Ottomotors – und damit den Kraftstoffverbrauch (Pehnt 2001:101f; Pelkmans et al. 2003a:19; Jürgens & Meißner 2005:140f; Schrader 2005:22ff; auto-schweiz 2006:18; Automobilhersteller 2 Mitarbeiter 2, 2007-09-18). Auf der Dieselseite dient die homogene Verbrennung vor allem der Stickoxidreduktion, indem durch die gleichmäßig im Zylinder verteilte Verbrennung zu heiße und zu kalte Verbrennungsbereiche und dadurch die entsprechenden Emissionen (Stickoxide respektive Partikel) vermieden werden (Pehnt 2001:103; Schrader 2005:27; Jürgens & Meißner 2005:129f; VW 2007e). Die Dieselseite braucht, um eine homogene Verteilung des Luft-Kraftstoffgemisches in der Brennkammer

⁶⁰ Weitere, hier nicht berücksichtigte Alternativen sind Gasturbinen, der Stirling- und der Wankelmotor sowie Solarantriebe (vgl. Jürgens & Meißner 2005:127).

mit der weiterhin vorgesehenen Selbstzündung zu verbinden, einen Kraftstoff, den eine niedrige Siedekennlinie zwecks schnellerer Verdampfung sowie eine im Vergleich zum Diesel abgesenkte Cetanzahl zwecks späterer Zündung auszeichnen. Von den Raffinerieprodukten käme dafür am ehesten eine Mischung aus Benzin (leichtere Verdampfung) und Diesel (Zündwilligkeit) oder eine Destillationsfraktion zwischen diesen wie Kerosin (Petroleum) in Frage. Hauptvertreter der homogenen Verbrennung sind von den deutschen OEMs Daimler, Volkswagen, Audi und Bosch (MWV 2001, 2003:22; Pelkmans & Azkarate 2003:28; Schrader 2005:27; Automobilhersteller 2 Mitarbeiter 1, 2006-12-14; VW 2007e; Automobilhersteller 1 Mitarbeiter 1, 2007-04-20; Automobilhersteller 1 Mitarbeiter 2, 2007-04-24; Automobilhersteller 2 Mitarbeiter 2, 2007-09-18; Handelsblatt 2006-12-15). Da die HCCI-Entwicklung somit – zumindest partiell – auf die Entwicklung eines spezifischen Kraftstoffes hinausläuft, müsste dieser zur Lösung der Koordinationsfrage parallel in den Kernmarkt eingeführt werden.

Eine Hybridisierung des Antriebssystems erfolgt durch den Einbau eines elektrischen Antriebs und einer entsprechenden Batterie zusätzlich zu einem konventionellen Verbrennungsmotor – in der Regel Ottomotoren aufgrund ihrer Probleme im Teillastbereich. Diese Entwicklung wird gerne als ‚Brückentechnologie‘ auf dem Weg zum Batterie- oder Brennstoffzellenbetriebenen Elektroauto verstanden (Herbst 2006; Aigle & Marz 2007:60ff). Eine Variante sind Parallelhybride, bei denen sowohl ein Verbrennungsmotor wie auch ein mit Bremsenergie gespeister Elektromotor das Fahrzeug antreiben. Bei sogenannten ‚series hybrid vehicles‘ sind wiederum Verbrennungsmotor und Elektromotor hintereinander geschaltet und der Verbrennungsmotor speist die Batterie des Elektromotors. ‚Milde‘ Hybride schließlich verwenden einen Integrierten Starter-Generator, der den Antrieb durch den Verbrennungsmotor unterstützen kann. Trotz ihres insbesondere durch die Batterie verursachten zusätzlichen Gewichts bringen diese Varianten eine Kraftstoffersparnis im brems- und anfahrreichen Stadtverkehr zwischen 15 (*mild hybrid*) und 25 Prozent (Parallelhybrid) (Jürgens & Meißner 2005:110, 143f; Schrader 2005:25). Hinsichtlich ihrer Energieversorgung stellen die Hybridfahrzeuge somit bisher allein ein Kraftstoffeinsparpotenzial – insbesondere für Ottokraftstoff – dar. Allerdings besteht mit der Entwicklung von Plug-in Hybriden die Möglichkeit, das konventionelle Tanksystem um Strom aus dem Netz als alternativen Kraftstoff zu ergänzen. Somit beantwortet in beiden Fällen die Hybridalternative die Koordinationsfrage durch ein ‚bivalentes‘ System (vgl. Lindström 2007; Heise 2008). Prominentester Vertreter der Parallel-Hybridtechnologie ist der Toyota Prius, der auch serienmäßig als Plug-in Hybrid auf den Markt kommen soll. Aufgrund des (Markt- und) Imageerfolges von Toyota mit der Hybridtechnologie ziehen inzwischen praktisch alle OEMs in der Hybridtechnologie nach, vor allem für den Einsatz in SUVs (Jürgens & Meißner 2005:142ff; Schrader 2005; WBCSD 2005; Lindström 2007; VDA 2007b; Heise 2008).

Die radikalste Antriebsinnovation zielt auf die Verwendung eines reinen Elektroantriebes anstelle eines Verbrennungsmotors, der seine Energie entweder aus einer Brennstoffzelle oder aus einer Batterie bezieht und somit das gesamte „etablierte Antriebs- und Kraftstoffsystem“ (Metzner & Waschke 2003:67) in Frage stellt (vgl. Jürgens & Meißner 2005:152). Das Elektroauto ist seit den Anfängen des Automobils der ‚ewige‘ Herausforderer des dominanten Designs des Verbrennungsmotors. Größte Probleme des Elektroautos sind die Reichweite und die Ladedauer der Batterie, die auch die Anstrengungen in den Siebziger Jahren nicht beseitigen konnten. Die heutige Entwicklung des Elektroautos profitiert neben der Komponentenentwicklung in Hybridfahrzeugen auch von den Batterieentwicklungen im Bereich der *Consumer Electronics* (Cowan & Hultén 1996:62; Pelkmans et al. 2003a:60ff; Jürgens & Meißner 2005:144; Automobilhersteller 1 Mitarbeiter 2, 2007-04-24). Protagonisten der Entwicklung des Elektroautos sind insbesondere japanische OEMs wie zum Beispiel Mitsubishi, die auf die Hybridstrategie aufsetzen und von der im Rahmen der *Consumer Electronics* aufgebauten japanischen Batteriekompetenz profitieren. In Europa besitzen die französischen OEMs Elektroautokompetenzen noch aus den französischen Anstrengungen in den Siebzigern. Unter den deutschen OEMs hat sich bisher insbesondere Volkswagen für das Elektroauto stark gemacht. Hinzu kommen zahlreiche US-amerikanische und europäische Start-ups, die sich dem Elektroantrieb widmen (Cowan & Hultén 1996:73; Pelkmans et al. 2003a:60ff; Schäfer 2006:57; Stieler 2008; Automobilhersteller 1 Mitarbeiter 2, 2007-04-24). Die Frage der Koordination von ‚Kraftstoffangebot‘ und –nachfrage ist – beeinträchtigt durch die lange Ladedauer der Batterien und ihrer geringen Reichweite – durch das bestehende, ubiquitär genormten Strom bereitstellende Stromnetz gelöst. Alternativ wird der Aufbau einer Infrastruktur zum Batteriewechseln diskutiert (Franken 2008:48ff).

In Konkurrenz zum batteriebetriebenen Elektroauto steht der über eine Brennstoffzelle mit Strom versorgte Elektroantrieb. Für den Betrieb von Brennstoffzellen können als Energieträger Wasserstoff, Methanol, Ethanol, Erdgas oder Benzin verwendet werden. Von diesen ist Wasserstoff aufgrund seiner Nicht-Toxizität und der potenziellen Verwendung erneuerbarer Energien als Wasserstoffquelle der Energieträger der Wahl. Die Serienreife einer auf Methanol basierenden Brennstoffzellentechnologie wurde von Daimler für das Jahr 2004 angekündigt. Allerdings konnten die Erwartungen auf Seiten der Brennstoffzelle aus Kostengründen (Platin als Katalysator) sowie der Speicherprobleme im Automobil und der damit verbundenen Reichweitenprobleme bisher nicht erfüllt werden. Außerdem ist die Koordinationsfrage bisher nicht gelöst, da die Markteinführung von Brennstoffzellenfahrzeugen einen adäquaten Aufbau einer entsprechenden Tankstelleninfrastruktur erfordert, die in Deutschland rund 1.500 Tankstellen umfassen würde (Pelkmans & Azkárata 2003:38ff; Pelkmans et al. 2003b:121ff; Jürgens & Meißner 2005:147ff; Schäfer 2006:54ff; Schmidtchen 2007:4ff). Aufgrund dieser Realisierungs-

probleme ist die Brennstoffzellentechnologie bisher eine kontinuierlich verschobene Zukunftsvision (Primrose, BP, 2006-08-23; Döhmel, Shell, 2007-03-27).

Bisher wird die Brennstoffzellentechnologie daher weiterhin in zahlreichen Demonstrationsprojekten – z.B. in der *Clean Energy Partnership* (CEP) in Berlin, in den CUTE- und ECTOS-Projekten in der EU sowie im Rahmen der *California Fuel Cell Partnership* – durchgeführt und auf ihre Alltagstauglichkeit hin erprobt. Protagonisten der Brennstoffzellentechnologie sind in Deutschland vor allem der selbsternannte zukünftige Marktführer Daimler und zum Beispiel die GM-Tochter Opel (Metzner & Waschke 2003:70f; Weider et al. 2004:25ff, 42; Jürgens & Meißner 2005:147; Schäfer 2006:52ff; DWV Mitarbeiter, 2007-06-26).

Zusammengenommen zeigt sich, dass die verfolgten *„fuels for engines“*-Ansätze – mit Ausnahme der Hybridtechnologie – Technologiewetten auf die Zukunft und keine kurz vor der Markteinführung stehenden Alternativen sind (vgl. Christidis et al. 2003). Entsprechend *„potenziell“* sind die Strukturen dieser Technologien. Da sie aber zugleich für den Kernmarkt entwickelt werden, kommt ihnen eine große Bedeutung für die potenzielle zukünftige Kraftstoffentwicklung zu. Das bedeutet zugleich auch, dass für alle derzeitigen Marktteilnehmer ein starker Anreiz entsteht, sich mit diesen möglichen Entwicklungen zur Absicherung ihres eigenen Geschäftsfeldes zu beschäftigen, so dass von einem *Zukunftssicherungseffekt* gesprochen werden kann: So könnte zum Beispiel ein an der heimischen Steckdose aufgetanktes Elektrofahrzeug die gegenwärtige Kraftstoffwertschöpfungskette überflüssig machen. Außer ihren Folgen für die gegenwärtigen Strukturen wird die Stärke des Zukunftssicherungseffekts durch die mittel- bis langfristigen Realisierungszeiträume der Alternativen sowie durch die Erwartungen der Akteure an das Realisierungspotenzial der Technologie beeinflusst (vgl. Emirbayer & Mische 1998:971). Vor allem für die Entwickler und Produzenten, aber auch für die Distribuenten der jeweiligen alternativen Kraftstoffe bestehen zudem in die Zukunft projizierte technologische *demand-pull-Effekte*, die aufgrund der Erwartungen der OEMs an eine bestimmte Bereitstellung des Kraftstoffes mit *technology forcing Effekten* für die Distribuenten einhergehen. Dabei tritt wiederum das Henne-Ei-Problem auf. Das gilt für die Brennstoffzelle, die eine neue Wasserstoffinfrastruktur erfordert, sowie für die HCCI-Motoren, sofern sie auf einen neuen Kraftstoff ausgerichtet sind.

5.2.3 Fazit: Explorationsanreize infolge neuer Antriebstechnologien

Die Antriebsentwicklungen im Automobilbereich beinhalten somit auf Seiten des (a) *„engines for fuels“*-Ansatzes für die Produzenten und Distribuenten alternativer Kraftstoffe die Möglichkeit von *demand-pull-Effekten* (vgl. Tabelle 17). Für die Distribuenten sind zudem in der Wahl der Beimischung oder des Reinkraftstoffes *technology forcing Effekte* enthalten. Der Vorteil der Beimischung ist, dass sie den Kernmarkt für die Alternativen öffnet und auf der Vertriebssebene die Nutzung von dessen direkten Netzwerk- bzw. Ko-

ordinationseffekten ermöglicht. Die Reinkraftstoffstrategie ist dagegen infolge des notwendigen Aufbaus einer eigenen Angebotsinfrastruktur bei der Entwicklung von Angebot und Nachfrage mit dem ‚Henne-Ei-Problem‘ konfrontiert, welches teilweise durch die Bivalenz- und ‚Flexible Fuel‘-Kapazität der Fahrzeuge abgemildert wird.

Auf Seiten des (b) ‚fuels for engines‘-Ansatzes finden sich insbesondere *Zukunftssicherungseffekte* in dem Sinne, als dass sich alle derzeitigen Marktteilnehmer mit den Technologiewetten der OEMs zur Absicherung ihres eigenen Geschäftsfeldes beschäftigen müssen. Für den Fall, dass die Akteure der Kraftstoffseite die Realisierung der Antriebsalternativen für wahrscheinlich halten, beinhalten die Entwicklung, Produktion und Distribution der entsprechenden Kraftstoffe auch erwartete *demand-pull-Effekte*. Vor allem für die Distribuenten gehen diese mit *technology forcing Effekten* einher, da über die Frage der Bereitstellungsform der Kraftstoffe entschieden werden muss. Im Falle der mit Wasserstoff betriebenen Brennstoffzelle sowie der auf neue Kraftstoffe ausgerichteten HCCI-Motoren stellt sich dabei das Henne-Ei-Problem.

Tabelle 17: Explorationsanreize infolge von Antriebsentwicklungen

	Antriebsentwicklungen	
	<i>‚Engines for fuels‘</i>	<i>‚Fuels for engines‘</i>
Rohstofflieferanten	- <i>Demand-pull-Effekte</i>	- keine
Kraftstoffentwicklung	- keine	- <i>Zukunftssicherungseffekte</i> - <i>Demand-pull-Effekte</i>
Kraftstoffproduktion	- <i>Demand-pull-Effekte</i>	- <i>Zukunftssicherungseffekte</i> - <i>Demand-pull-Effekte</i>
Kraftstoffdistribution	- <i>Demand-pull-Effekte</i> - <i>Technology-forcing-Effekte</i>	- <i>Zukunftssicherungseffekte</i> - <i>Demand-pull-Effekte</i> - <i>Technology-forcing-Effekte</i>

Wie schon beim Regulierungsabschnitt (5.1) weist die Gestaltung der Antriebstechnologien durch die OEMs auch strategische Bezugnahmen zum bestehenden Kraftstoffpfad auf: Da ist zunächst die schon angesprochene, mit der Beimischung verfolgte Integrationsstrategie (vgl. 5.1.7), die zu einer Einfügung der Alternativen in die Komplementaritätseffekte und direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte des Kraftstoffpfades führt. Daneben findet sich mit der Anpassung der Fahrzeuge an die alternativen Kraftstoffe – wie zum Beispiel B100 – eine Komplementarisierungsstrategie, die auf eine Neuausrichtung der Interdependenz zwischen Kraftstoff und Motor ausgerichtet ist und so auf neue Komplementaritätseffekte abzielt. Schließlich ist auf die ‚Hybridisierungsstrategie‘ hinzuweisen, die mit bivalenten und ‚Flexible Fuel‘-Fahrzeugen auf die Nutzung der direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte des Kraftstoffpfades zielt, obwohl der alternative Kraftstoff eine eigene Infrastruktur benötigt. Bei der ‚Hybridisierungsstrategie‘ geht es mithin um die Abmilderung des Henne-Ei-Problems. Von diesen dreien nutzt somit die Integrationsstrategie sowohl die Komplementaritätseffekte als auch die direkten Netz-

werk- bzw. Koordinationseffekte des Kraftstoffpfades, während die anderen beiden Strategien auf je einen dieser beiden positiven Rückkopplungsanreize abzielen.

5.3 Entwicklung, Produktion und Distribution alternativer Kraftstoffe

Die eben geschilderten Technologieentwicklungen im Automobilbereich werden durch die Entwicklung, Produktion und Distribution alternativer Kraftstoffe ergänzt. Damit gehen auch Veränderungen in den Akteursstrukturen einher, die auf der Ebene der Kraftstoffproduktion durch Marktneulinge und auf der Distributionsebene durch produktfokussierte Akteurskoalitionen geprägt sind.

5.3.1 Marktneulinge als Entwickler und Produzenten alternativer Kraftstoffe

Auf der Ebene der Produktion alternativer Kraftstoffe finden sich eine Vielzahl von Marktneulingen und von diesen ins Spiel gebrachte Technologien, die hier in ihrem Zusammenspiel kurz charakterisiert werden.⁶¹ Das Faszinosum der Marktneulinge ist ihr heterogener Hintergrund und die damit variierende Distanz ihres bisherigen Geschäftsfokus zum Kraftstoffmarkt (vgl. Tabelle 18).

Die dem Kraftstoffmarkt und der Mineralölindustrie aufgrund deren eigener Gastöchter am nächsten stehenden Marktneulinge sind Energieversorger wie zum Beispiel E.ON Ruhrgas, die auf den alternativen Kraftstoff CNG setzen. Ebenfalls der Mineralölindustrie nahe stehend sind die Akteure aus der Chemiebranche wie Bayer, BASF und DuPont. Diese sind nicht nur Abnehmer von Raffinerieprodukten und verfügen wie BASF mit Wintershall über eigene E&P-Töchter. Vielmehr besitzen sie auch Know-how im Bereich der Kohlevergasung und synthetischer Kraftstoffe sowie in der Entwicklung von Additiven und Kraftstoffkomponenten. Entsprechend beobachten diese Unternehmen die Entwicklung des Kraftstoffmarktes und eventuelle Geschäftsmöglichkeiten (Stokes 1994, 2004; Taminiau 2006; Primrose, BP, 2006-08-23). Ebenfalls an der Entwicklung des Kraftstoffmarktes interessiert sind die Stromversorger, die sich wie zum Beispiel Vattenfall und RWE an der Verkehrswirtschaftlichen Energiestrategie beteiligen (Bundesministerium 1 Mitarbeiter, 2006-05-23; VES 2007; DWV Mitarbeiter, 2007-06-26). Weitere Marktneulinge sind etablierte Unternehmen aus dem landwirtschaftlichen Bereich. Beispiele dafür sind die Südzuckertochter CropEnergies, die Ethanol produziert, und der US-Biodieselproduzent Archer Daniels Midland (ADM). Hinzu kommen vor allem im Bereich Biodiesel Innovatoren und Start-ups wie das inzwischen zu ADM gehörende Pionierunternehmen Ölmühle Connemann. Auch diese Unternehmen sind aufgrund ihrer engen Produktionsverflechtung dem landwirtschaftlichen Bereich zuzurechnen und dort zum Beispiel im Bundesverband

⁶¹ Eine ausführliche Diskussion einzelner Technologien erfolgt im dritten Empirieteil hinsichtlich der von Shell verfolgten Alternativen GtL, BtL, Ethanol aus Lignozellulose und Wasserstoff.

BioEnergie e.V. (BBE) auch organisiert (Anlagenbauer 2 Mitarbeiter, 2006-11-08; Bockey, UFOP, 2007-01-03; Born, DBV, 2007-01-13).

Tabelle 18: Marktneulinge im Bereich der Kraftstoffproduktion

	Protagonisten (Branchen)	Technologie	Status	Anfangs- investition (200.000 Tonnen p.a.) ¹	Feed- stock
LPG	Raffinerien (Mineralölbranche)	Raffinerie	Markt	Keine ²	Mineralöl
CNG	E.ON (Energieversorger)	-	Markt	Keine ²	Erdgas
Pflanzenöl	(Landwirtschaft)	Kaltpressung	Markt	< 40 Mio. EUR (2006)	Raps u.a.
Hydriertes Pflanzenöl	Neste Oil, OMV (Mineralölbranche)	Raffination / Hydrocracker	Entwick- lung	100 Mio. EUR (2006) ³	Pflan- zenöl
Biodiesel	Connemann/ADM (Landwirtschaft)	Umesterung	Markt	< 80 Mio. EUR (2008)	Pflan- zenöl
Ethanol	Südzucker/CropEnergies (Landwirtschaft)	Fermentation	Markt	100-150 Mio. EUR (2008)	Getreide u.a.
Zellulose- ethanol	Iogen (Biochemie)	Zelluloseauf- spaltung & Fermentation	Entwick- lung	235 Mio. EUR (2007?) ⁴	Holz, Stroh
BtL	CHOREN, Lurgi (Anlagenbau)	Gasifizierung & Katalyse	Entwick- lung	450 bis 800 Mio. EUR (2007/2008)	Holz, Stroh
GtL	ChevronSasol, Shell (Mineralölbranche)	Gasreinigung & Katalyse	Markt/ Entwick- lung	5 Mrd. US Dollar (2004) ⁵	Erdgas
CtL	ChevronSasol, Shell; Lurgi (Mineralölbranche; Anlagenbau)	Gasifizierung & Katalyse	Markt (Südafrika)	> GtL	Kohle
Strom	RWE, Vattenfall (Energieversorger)	-	Entwick- lung	Keine	Strom
Wasser- stoff	RWE, Linde (Energiever- sorger, Anlagenbau)	Reformation (od. Elektro- lyse)	Entwick- lung	Keine ⁶	Erdgas (od. Strom)

¹ Die Vergleichbarkeit der Angaben ist eingeschränkt, da die Infrastrukturkosten („grüne Wiese“ oder bestehende Anlage) variieren und die Angaben aus verschiedenen Jahren stammen und nicht inflationsbereinigt sind.

² Die Kosten fallen auf der Tankstellenebene an.

³ Für eine Jahreskapazität von 170.000 Tonnen pro Jahr (Neste Oil o.J.:2).

⁴ Für eine Jahreskapazität von 150.000 Tonnen pro Jahr mit Getreidestroh als Feedstock (Evans 2007:92f).

⁵ Die Angabe aus dem Jahre 2004 bezieht sich auf die gesamte integrierte GtL-Anlage inklusive der Förderung. Die angestrebte Jahreskapazität beträgt rund 4,9 Mio. Tonnen pro Jahr (vgl. Fabricius 2004:1; VW 2007c).

⁶ Es fallen beträchtliche Kosten bei der Erdgasreformation oder der Elektrolyse auf der Tankstellenebene an (vgl. Pulletz & Böhme 2003:21).

Ähnlich – wenn auch noch nicht im Markt vertreten – verhält es sich mit denjenigen Unternehmen, die an der Entwicklung von Biokraftstoffen der sogenannten ‚zweiten Generation‘ forschen wie das sächsische Unternehmen CHOREN an synthetischem Diesel aus Biomasse (BtL) und die kanadische Firma Iogen an Ethanol aus Lignozellulose: Auch diese weisen über die verwendeten Rohstoffe (Holz, Stroh) und damit über ihre Wertschöpfungskette eine enge Verbindung mit der Landwirtschaft auf – die im Falle von CHOREN auch über die Mitgliedschaft im BBE zum Ausdruck kommt (Blades, CHOREN, 2007-01-22; Biokraftstoffbranche Mitarbeiter, 2007-04-10). Schließlich finden sich auch noch die Anlagenbauer wie Lurgi, Air Liquide, Linde und Siemens unter den Entwicklern neuer

Kraftstofftechnologien wieder. Deren Interesse liegt in der Know-how-Entwicklung und proprietären Technologien, die sie als Dienstleister grundsätzlich allen in die Kraftstoffproduktion involvierten Akteuren zur Verfügung stellen. Dabei setzt Linde vor allem auf die Marktentwicklung von Wasserstoff, während die anderen Anbieter das gesamte Spektrum von Produktionsanlagen für alternative Kraftstoffe im Blick haben (Anlagenbauer 2 Mitarbeiter, 2006-11-08; Anlagenbauer 1 Mitarbeiter, 2007-03-16). Der Vollständigkeit der Alternativen halber sei hier noch darauf hingewiesen, dass auch aus der Mineralölindustrie heraus Alternativen ins Spiel gebracht werden und zwar das Raffinerienebenprodukt LPG, in der Raffinerie hydriertes Pflanzenöl unter anderem durch Neste Oil, BP und die OMV sowie die synthetischen Kraftstoffe aus Erdgas (GtL) und Kohle (CtL) durch Chevron und Sasol sowie Shell (MWV 2000:33; Larivé, CONCAWE, 2007-07-25; Böhme 2007; Neste Oil o.J.:2).

Die von den Akteuren verfolgten Technologien zur Produktion alternativer Kraftstoffe variieren in ihrer Ausgereiftheit, den notwendigen Anfangsinvestitionen und den erforderlichen Kompetenzen: Prominente, noch unausgereifte Technologien sind die Produktion von synthetischem Diesel über die Vergasung von Biomasse und die anschließende Umwandlung des Synthesegases in den Flüssigkraftstoff (BtL) sowie die Herstellung von Ethanol über die Umwandlung von Lignozellulose in Zucker und die anschließende bekannte Fermentation (vgl. BMF 2007a:23f; Fischer Boel 2008:28). Alle übrigen Wege zur Herstellung alternativer Kraftstoffe sind dagegen heute bereits etablierte Technologien wie zum Beispiel die Kaltpressung und anschließende Reinigung von Ölfrüchten (Pflanzenöl), die Umesterung von Pflanzenöl (Biodiesel), die Fermentation von stärkehaltigen Früchten (Bioethanol) sowie die Reformation von Erdgas (Wasserstoff)⁶². Der von den Gasversorgern verfolgte Alternativkraftstoff CNG braucht keine Produktionsanlage, da seine Bereitstellung direkt per Erdgasnetz erfolgt. Die im Falle einer zehnpromzentigen Beimischung von Biogas erforderliche Vergärung von Biomasse (Pflanzen, Gülle, Abfälle), die Aufbereitung und Einspeisung ins Erdgasnetz sind ebenfalls bereits erprobt (Pelkmans et al. 2003a:39ff; Ramesohl et al. 2006:32ff; Europäische Kommission 2006c:13). Von den Alternativen der Mineralölindustrie ist LPG als Raffinerienebenprodukt technologisch ausgereift und im Markt; eine erste Anlage zur Hydrierung von Pflanzenöl sollte 2007 in Finnland den Betrieb aufnehmen; CtL ist in Südafrika seit den Jahren der Apartheid im Markt und Stand der Technik; GtL-Anlagen sind derzeit mehrere im Bau (vgl. 6.2.1; Pelkmans et al. 2003a:57ff; Neste Oil o.J.:2).

Die Anfangsinvestitionen sind insofern wichtig, als dass sie eine Markteintrittsbarriere für die jeweiligen Akteure und Technologien darstellen (Porter 1992:424). Dabei lässt sich hinsichtlich der im Markt vertretenen und marktnahen Technologien eine klare Rangfolge

⁶² Dies gilt für die Erdgasreformierung, die als wirtschaftlichste Wasserstoffquelle gegenwärtig das etablierteste Verfahren ist (vgl. Pelkmans et al. 2003a:47; Ramesohl et al. 2006:34ff; Schäfer 2006:52).

festhalten: Hinsichtlich der erforderlichen Anfangsinvestitionen auf der Kraftstoffproduktionsebene schneiden LPG und CNG am besten ab, da sie keiner neuen Anlagen bedürfen und Anfangsinvestitionen somit nur auf der Tankstellenebene anfallen. Dasselbe gilt hinsichtlich von Wasserstoff, der erst an der Tankstelle aus der Reformation von Erdgas oder per Elektrolyse gewonnen wird. Die auf der Tankstellenebene anfallenden Kosten sind dafür für CNG und vor allem Wasserstoff deutlich höher als für die anderen Kraftstoffalternativen (vgl. Pelkmans et al. 2003a:41f; Pulletz & Böhme 2003:21; Altmann et al. 2004:1-4; Schmidtchen 2007:5; erdgas mobil Mitarbeiter, 2007-07-13). Die übrigen von den Marktneulingen verfolgten Alternativen erfordern dagegen – je nach Größe der Anlage – erhebliche Investitionen: Am günstigsten ist eine Ölmühle zur Produktion von Pflanzenöl, die 2006 für eine Kapazität von 200.000 Tonnen – diese Größe entspricht dem Trend im Biokraftstoffbereich – bis zu 40 Millionen Euro kostete. Für eine Biodieselanlage derselben Größe und inklusive Ölmühle waren 2008 Investitionen von rund 80 Millionen Euro notwendig. Eine 200.000 Tonnen Bioethanolanlage ohne Biogasanlage zur Verwertung der Rückstände kostete 2008 100 bis 150 Millionen Euro. Eine Bioethanolanlage, die auch Lignozellulose verarbeitet, ist noch nicht mit einer Kapazität von 200.000 Tonnen gebaut worden. Da jedoch bei dem in der bisherigen Ethanolproduktion verwendeten Fermentationsprozess eine Aufbereitung der Zellulose über Enzyme erfolgt, wird eine entsprechende Anlage zur Zelluloseaufbereitung sowie die Beschaffung der entsprechenden Enzyme notwendig. Für eine Getreidestroh verwendende Anlage mit 150.000 Tonnen Jahreskapazität wurden Kosten von 235 Millionen Euro geschätzt (Evans 2007:92f). Eine 200.000 Tonnenanlage für BtL ist ebenfalls noch nicht gebaut worden. CHOREN ging im Jahre 2007 von Kosten oberhalb von 450 Millionen Euro aus; im Jahre 2008 finden sich auch Angaben bis 800 Millionen Euro (Anlagenbauer 2 Mitarbeiter, 2006-11-08; Guderjahn, CropEnergies, 2007-01-22; Blades, CHOREN, 2007-01-22; Bankhaus Sarasin Mitarbeiter, 2007-05-23; Neue Energie 2008-01:23). Laut Firmenangaben von Neste Oil (o.J.), die wahrscheinlich aus dem Jahre 2006 stammen, kostete eine 170.000 Tonnenanlage zur Hydrierung von Pflanzenöl 100 Millionen Euro (ebd. 2). Shells Planungen zufolge sollte im Jahre 2004 eine 7 Millionen Tonnen GtL-Anlage, die neben GtL auch Naphtha und andere Nebenprodukte produziert, inklusive der Erdgasförderanlagen 5 Milliarden US Dollar kosten (Fabricius 2004:1). Die Kosten für eine CtL-Anlage liegen bei einer vergleichbaren Größe aufgrund zusätzlicher Anlagen wie zum Beispiel der Gasifizierungsanlage deutlich oberhalb der Kosten einer GtL-Anlage (Gielen & Unander 2005:14).

Die erforderlichen Kompetenzen stellen neben den Anfangsinvestitionen eine weitere wichtige Markteintrittsvoraussetzung für die Marktneulinge dar. Dabei lassen sich die Kompetenzen unterscheiden in Know-how hinsichtlich der Produktionsanlagen und der Beschaffung der einzusetzenden Rohstoffe: Die Anbieter von CNG greifen dabei als etablierte Gasunternehmen auf ihre bestehende, netzgebundene Einkaufs- und Vertriebsinfrastruktur zurück, LPG-Anbieter wiederum auf ihre etablierten Raffineriestrukturen. Die

Vertreter der Wasserstoffalternative wiederum brauchen Know-how entweder in der Erdgasbeschaffung und -reformation oder in der Stromproduktion und der Elektrolyse. Die Hersteller von Biokraftstoffen dagegen benötigen bei der Beschaffung vor allem Know-how hinsichtlich der landwirtschaftlichen Rohstoffe (Raps, Soja; Getreide, Zuckerrüben; Holz, Stroh) – es sei denn, es wird direkt Pflanzenöl zur Weiterverarbeitung zu Biodiesel oder hydriertem Pflanzenöl eingekauft. Bei dieser Beschaffung greifen die landwirtschaftlichen Akteure der ersten Biokraftstoffgeneration (Pflanzenöl, Biodiesel, Ethanol) auf ihr bestehendes Wissen zurück:

„Es [der Eintritt in die Ethanolproduktion; JCS] ist im Wesentlichen eine Entscheidung gewesen, die durch die Nähe zum Kerngeschäft der Südzucker AG getragen wurde. Die Kernkompetenz – und so versteht sich Südzucker ja auch heute – ist die Veredelung von landwirtschaftlichen Rohstoffen. Dieses Konzept wenden wir praktisch in allen Bereich an – z.B. Zucker, Flüssigzucker, Fruchtzucker oder Stärke, Stärkederivate. Die Vorwärtsintegration landwirtschaftlicher Rohstoffe [...] können sie auch auf die Bioethanolproduktion anwenden. Auch hier gehen wir von einem landwirtschaftlichen Rohstoff aus und veredeln ihn. Das, was wirklich neu ist, ist der Markt gewesen“ (Guderjahn, CropEnergies, 2007-01-22).

Anders sieht es hingegen bei den Entwicklern und potenziellen Produzenten der Biokraftstoffe der zweiten Generation wie CHOREN und Iogen aus, die sich als Technologieunternehmen zunächst noch Kompetenzen im Bereich der Landwirtschaft erarbeiten müssen. Hinzu kommt, dass sich ihre Einsatzstoffe Stroh und Holz von den bisherigen Agrarrohstoffen unterscheiden: So stellt Stroh aufgrund seiner geringen Energiedichte einen logistisch schwierigen Rohstoff dar, der einen großen direkten Einzugsbereich erfordert (Biokraftstoffbranche Mitarbeiter, 2007-04-10; Anlagenbauer 2 Mitarbeiter, 2006-11-08). Für Holz aus Kurzumtriebsplantagen (Pappeln, Weiden) wiederum sind mehrjährige feste Lieferverträge mit den Landwirten notwendig – was nicht unbedingt der Tradition dieser Branche entspricht (vgl. Blades, CHOREN, 2007-01-22):

„The challenge – particularly around second generation bio-fuels where you are using different crops or even waste materials – is how that fits into the agricultural business model. From what I understand typically the farmer produces a crop that has a number of different markets. It is unusual to produce a crop that has only one dedicated market, that they are exposing themselves to one market“ (Primrose, BP, 2006-08-23).

Die Kompetenzen zur Herstellung der verschiedenen Biokraftstoffe können anhand der unterschiedlichen Prozesstechnologien unterschieden werden: Für hydriertes Pflanzenöl und BtL ist die Kenntnis thermochemischer Prozesse notwendig, während Ethanol und Ethanol aus Lignozellulose ein Verständnis biochemischer Prozesse erfordern:

„BTL is a very desirable process producing a very good diesel fuel. The process is well known and understood. The main problem is process engineering or how to make the process reliable and reasonably economic at industrial scale. GTL, which starts from the simplest hydrocarbon molecule, is complex and expensive. BTL is lot more difficult and could be even more difficult than CTL because of specific issues related to biomass gasification diversity of feedstocks etc. Lignocellulosic ethanol will be a lot simpler from a process engineering point of view. It does not involve high temperature pressure although there is likely to be some acid involved. The main issue is to find an efficient way of releasing the (hemi)cellulose and breaking it down at a high enough rate to make into an industrial process“ (Larivé, CONCAWE, 2007-07-25).

Für die Produktion von GtL und CtL ist Wissen im Bau und Betrieb thermochemischer Anlagen erforderlich sowie in der Beschaffung von Erdgas bzw. von Kohle.

Für alle Marktneulinge gilt, dass sie sich ihre Kompetenzen in ihrem neuen Absatzmarkt erst erwerben müssen – oder entsprechende Partnerschaften mit den etablierten Unternehmen des Kraftstoffmarktes eingehen (Primrose, BP, 2006-08-23):

„Look, you got to understand the difference between a company like Iogen and a company like Shell: Iogen comes from the biotechnology business and one side of its business, the ethanol side, is a totally new industry. So they too have to learn about this thing. And they just can't decide to create a new part of the company [...] and recruit the right people. They need to form partnerships with a company that is already in these industries“ (Biokraftstoffbranche Mitarbeiter, 2007-04-10).

Im Bereich der Entwicklung und Produktion alternativer Kraftstoffe findet sich somit eine ausgeprägte Wettbewerbs- und Innovationsdynamik, die durch eine Vielzahl von Technologien und Kompetenzen sowie von marktfremden Akteuren geprägt ist, die um Marktanteile, Investitionen und Rohstoffe – insbesondere im Biomassebereich – konkurrieren (vgl. Leblebici et al. 1991; Hoffman 1999; Bundesministerium 2 Mitarbeiter 2, 2007-02-26; Neue Energie 2008-01:23). Entsprechend ist davon auszugehen, dass für die Rohstofflieferanten *Ressourcen-pull-Effekte* bestehen, während für die Entwickler und Produzenten alternativer Kraftstoffe ausgeprägte *Technologie-push-Effekte* vorliegen, die aus der Suche nach einem Markt für die entwickelten Technologien resultieren. Dabei ist zu beachten, dass die Markteintrittsbarrieren (Anfangsinvestitionen und Kompetenzen) für die unterschiedlichen Alternativen variieren, wobei die großtechnischen Anlagen im Nachteil sind gegenüber günstigeren und bereits im Markt befindlichen Alternativen:

„BtL auf ein Kapazitätsniveau zu bringen, wie wir es heute bei Biodiesel haben, wird in seinen finanziellen Ausmaßen in der dena-Studie [d.h. der BtL-Realisierungsstudie; JCS] nicht berücksichtigt. [...] Von einer Strategie kann da meines Erachtens keine Rede sein [...]“ (Bockey, UFOP, 2007-01-03).

Für die Distribuenten alternativer Kraftstoffe wiederum ist infolge der bereits im Markt befindlichen Alternativen von *Angebots-push-Effekten* auszugehen. Für alle Marktteilnehmer bedeutet diese Dynamik, dass eine entsprechende Beschäftigung mit diesen Technologien notwendig ist, um die weitere Entwicklung des Kraftstoffsystems einschätzen zu können (*Zukunftssicherungseffekte*).

5.3.2 Distribution: Infrastruktur und Reinkraftstoff-Produktkoalitionen

Die Distributionsebene ist die entscheidende Ebene, auf der es um die Zusammenführung der Entwicklungen im Produktions- und im Automobilbereich geht, und stellt damit ein Nadelöhr für den Erfolg alternativer Kraftstoffe in Deutschland dar. Die entscheidenden Fragen auf dieser Ebene sind die der Komplementarität von Kraftstoff und Motor sowie vor allem der Koordination von Angebot und Nachfrage. Dabei finden sich für diese Fragen nicht nur rein technische Lösungen, sondern eben auch Produktkoalitionen.

Hinsichtlich der technischen Lösungen stehen, wie bei der Schilderung der Antriebsentwicklung im Automobilbereich (5.2) deutlich wurde, vier Vertriebsmöglichkeiten zur Verfügung, die sich danach unterscheiden, ob der alternative Kraftstoff beigemischt oder als Reinkraftstoff verwendet – also die Distributionsform – und ob er lokal oder flächendeckend angeboten wird. Dabei ist für die gasförmigen Alternativen LPG, CNG und Wasserstoff eine Einschränkung dahingehend vorzunehmen, als dass sie aufgrund ihrer technischen Eigenschaften nur als Reinkraftstoff vertrieben werden können. Nach dieser Differenzierung finden sich in Deutschland derzeit folgende Vertriebsformen (vgl. Tabelle 19):

Tabelle 19: Distributionsansätze für alternative Kraftstoffe

	<i>Lokales Angebot</i> (Beispiele)	<i>Flächendeckendes Angebot</i> (Beispiele)
Reinkraftstoff (flüssige & gasförmige)	Insellösung (Wasserstoff)	Parallele Infrastruktur (LPG, CNG; B100, E85)
Beimischung (nur flüssige)	Parallele Infrastruktur	Kernmarkt (B5, E5; B7)

Von diesen vier Ansätzen laufen die Insellösungen sowie parallele Infrastruktur für Reinkraftstoffe oder erhöhte Beimischungen eher auf Nischenmärkte hinaus. Dies ist aber wie die Diskussion um E5 und E10 zeigt nicht notwendigerweise der Fall, so dass eher von einer graduellen Abstufung bzw. fließenden Übergängen zwischen Nischenmärkten und dem Kernmarkt ausgegangen werden muss (vgl. BMU et al. 2007:2).

Hinsichtlich der Durchführbarkeit stellt sich dabei die Beimischung und Distribution von Flüssigkraftstoffen im Hauptmarkt am leichtesten und der Aufbau einer flächendeckenden parallelen Infrastruktur für einen Reinkraftstoff am schwierigsten dar. Dazwischen changieren die Insellösungen, die in eine Flächendeckung überführt werden können – was je nach Energiegehalt und daraus resultierender Reichweite des Automobils zwischen 1.000 und 1.500 Tankstellen entspricht (vgl. Jeken 2005:7; Schmidtchen 2007:5). Eine Ursache für den variierenden Schwierigkeitsgrad sind die jeweils mit ihnen verbundenen Kosten: Diese resultieren zum einen aus dem Umfang der Angebotsinfrastruktur, der natürlich bei einer Insellösung bedeutend geringer ist als bei einem flächendeckenden Ausbau. Zum anderen hängen die Kosten von der Kraftstoffart ab, da für die gasförmigen Alternativen (LPG, CNG, Wasserstoff) eine neue Infrastruktur aufgebaut werden muss, während für die flüssigen Kraftstoffe (Beimischungen; E85, B100) im Zweifelsfalle die bestehenden Zapfsäulen und Tanks umgewidmet werden können. So ist eine Umrüstung konventioneller Zapfsäulen auf E85 wesentlich günstiger als die Installation einer LPG-Zapfsäule, welche wiederum preislich besser abschneidet als eine CNG-Zapfsäule:

„The cost of retrofitting an existing refuelling station's or retail outlet's gasoline/tank for ethanol (E85) ranges from \$5,000 to \$30,000. For a new underground tank and pump, the price ranges from \$50,000 to \$70,000. For LPG, the installation cost of a new outlet is \$25,000 to \$40,000. For CNG, the installation cost of an initial outlet is \$250,000 to \$500,000“ (Pelkmans et al. 2003a:41f).

Die Gesamtkosten für den Aufbau einer flächendeckenden CNG-Infrastruktur in Form von 1.000 Zapfsäulen bezifferte erdgas mobil, Generalunternehmer für den Bau von Erdgas-tankstellen, 2005 mit 250 Millionen Euro (Jeken 2005:5; erdgas mobil Mitarbeiter, 2007-06-26). Für eine Wasserstofftankstelle lägen die Kosten – egal ob Erdgasreformierung oder Elektrolyse und unabhängig von der Wahl einer zentralen oder dezentralen Versor-gung – deutlich über den Kosten der CNG-Infrastruktur (vgl. Pulletz & Böhme 2003:21; VES 2007:127; Wietschel et al. 2006:1293ff). Einer Studie im Auftrag des europäischen *Joint Research Centre* (JRC) von 2004 zufolge liegt das Investitionsvolumen für eine Wasserstofftankstelle bei rund 1,3 Millionen Euro und somit für eine Marktabdeckung mit 1.500 Tankstellen bei 1,95 Milliarden Euro:

„The build-up of a basic hydrogen refueling [sic!] infrastructure is an essential challenge for the short to mid-term as it has to be in place at the beginning of the commercial introduction of hy-drogen fuel cell vehicles. [...] In the European Union including the new accession states (EU-25) some 100,000 refueling stations supply fuels to road transport. About 20% of these, or 20,000 stations, should be equipped with hydrogen dispensers before fuel cell vehicles are brought to the mass market. Assuming investment costs of 1.3 million Euro per station sums up to 26 bil-lion Euro for a basic refueling infrastructure. For the case of Germany as an example, this would require an initial investment of some 3.12 billion Euro for some 2,400 refueling stations“ (Altmann et al. 2004:1-4).

Eine zweite Ursache des unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades der vier Distributionan-sätze ist, dass das Koordinations- bzw. ‚Henne-Ei-Problem‘ zwischen dem Aufbau von Angebot und Nachfrage beim Beimischungsansatz – egal ob für den Hauptmarkt oder als Insellösung – wie auch bei der Insellösung für einen Reinkraftstoff relativ gering ist. Da-gegen stellt sich das Koordinationsproblem in vollem Umfange bei einem flächendeckend angebotenen Nischenkraftstoff (Guderjahn, CropEnergies, 2007-01-22; erdgas mobil Mit-arbeiter, 2007-06-26).

Eine Reaktion der Akteure auf das Koordinationsproblem bei den Reinkraftstoffen ist die Bildung von Interessen- bzw. Produktkoalitionen, die die Etablierung flächendeckender Nischenangebote ermöglichen sollen. Entsprechend umfassen diese Produktkoalitionen sowohl Kraftstoffproduzenten und Distribuenten wie auch OEMs. In Deutschland finden bzw. fanden sich solche Koalitionen für die oben angesprochenen Pkw-Reinkraftstoffe B100, LPG, CNG, E85 und Wasserstoff (vgl. Tabelle 20).

Die B100-Koalition bestand aus Biodieselproduzenten – wozu auch dank ihrer aktiven Vermittlungsrolle ihre Verbände (UFOP, DBV) zu zählen sind –, OEMs vor allem in Gestalt von Volkswagen sowie KMU-Tankstellen. Die Koordination fand dabei sehr intensiv zwi-schen den Landwirtschaftsverbänden und den OEMs um die Freigaben statt, während es bei den KMU-Tankstellen zu einem beständigen „Rein und Raus“ (Bockey, UFOP, 2007-01-03) in das B100-Angebot kam. Die seit 1996 erfolgreiche Marktetablierung dieser Produktkoalition wurde durch die Nicht-Zulassung von EURO-4 Pkw für Biodiesel beendet (Austrian Biofuels Institute 2002:33; Bockey, UFOP, 2007-01-03). Im Gegensatz zu die-ser Produzenten-OEM-Koalition besteht die LPG-Produktkoalition aus KMU-Tankstellen

und Nachrüstern. Sie basiert auf einer nicht weiter koordinierten Nutzung der niedrigen Einstiegshürden in Form der günstigen Umrüstung von Automobil und Tankstelle sowie der Steuervergünstigung. Entsprechend lose ist auch die Beziehung zu den Lieferanten, den Raffinerien, die ihr Nebenprodukt LPG an die KMUs abgeben (vgl. Homann, IG Mittelstand, 2007-01-31; Automobilhersteller 1 Mitarbeiter 1, 2007-04-20).

Tabelle 20: Reinkraftstoff Produktkoalitionen

	Kraftstoffproduzenten (inklusive ihrer Verbände)	Distribuenten	OEMs
B100	- Ölmühle Connemann/ADM u.a. - DBV, UFOP	- Genossenschaften (BayWa) - KMU-Tankstellen	- Volkswagen, Daimler - Bosch
LPG	- Raffinerien	- KMU-Tankstellen	- Nachrüster
CNG	- E.on, RWE - Erdgas mobil	- BP/Aral, Esso, TOTAL	- Opel, Daimler, Volkswagen
E85	- CropEnergies - DBV, LAB	- KMU-Tankstellen (OIL!, AVIA)	- Ford, Saab
Wasserstoff	- Linde, Vattenfall, RWE, Hydro	- TOTAL, BP/Aral	- Daimler, BMW, GM/Opel

Die CNG-Produktkoalition wiederum ist stärker auf die großen Gasversorger und die IOCs fokussiert. Sie kam 2001 zu Stande, nachdem BP und Aral sowie Total zur breiten Kooperation mit den Gasversorgern beim Ausbau der CNG-Infrastruktur bereit waren. Seit der Zeit wurden ganz überwiegend Erdgasbetankungsanlagen in öffentlichen Mineralöltankstellen integriert. Diese Vorleistung für die Diffusion von CNG-Pkws ist insbesondere aufgrund der vergleichsweise geringeren Reichweite reiner CNG-Fahrzeuge ein zentraler Aspekt (vgl. Mineralölbranche 1 Mitarbeiter, 2007-02-06; erdgas mobil Mitarbeiter, 2007-07-13). Die E85-Produktkoalition ist seit dem Jahre 2005 aktiv und umfasst Produzenten (CropEnergies), KMU-Distribuenten (OIL!, AVIA) und OEMs (Ford, Saab) gleichgewichtiger und auch die Koordination von Pkw-Angebot und Infrastrukturaufbau scheint stärker zwischen diesen Akteuren abgestimmt zu sein (Homann, IG Mittelstand, 2007-01-31; Automobilhersteller 3 Mitarbeiter, 2007-07-06):

„Wir haben uns damals relativ eng mit Ford abgestimmt – Stichwort E85 Tankstellen – die haben wir gemeinsam mit Oil gemacht und sie bewusst so ausgewählt, dass sie in der Nähe der Ford-Werke lagen. Ganz bewusst, weil wir eben gehofft haben, dass Mitarbeiterprogramme lanciert werden, die für den schnelleren Aufbau einer Fahrzeugpopulation mit sorgen würden, weil Mitarbeiter schon nach 9 Monaten sich ein neues Fahrzeug auswählen dürfen, so dass ein deutlich schnellerer Populationsaufbau möglich wäre. Insofern sind wir da mit Ford seit Jahren schon in der Diskussion“ (Guderjahn, CropEnergies, 2007-01-22).

Die Wasserstoff-Produktkoalition besteht dagegen stärker aus größeren Unternehmen aus der Energieproduktion und -distribution, die mit den OEM-Protagonisten der Wasserstoffalternative zu gemeinsamen Test- und Demonstrationsprojekten wie der *Clean Energy Partnership* (CEP) in Berlin zusammengefunden haben. Wie das Beispiel CEP zeigt, ist die Beteiligung von Produzenten (Linde, Vattenfall, Hydro), Distribuenten (TOTAL, BP/Aral) und OEMs (BMW, Daimler, GM/Opel) dabei durchaus ausgewogen. Ziel der Be-

teiligten ist zunächst weniger die Markteinführung als die gemeinsame Erprobung und Demonstration von Wasserstoff als Kraftstoff (VES 2007:133f; Mineralölbranche 1 Mitarbeiter, 2007-02-06).

Es zeigt sich also, dass die Produktkoalitionen in ihrem Formalisierungsgrad und Beteiligungsprofil stark variieren. Hinsichtlich der in diesem Kapitel im Vordergrund stehenden Distribution fällt insbesondere auf, dass sich die KMU-Tankstellen im Vergleich zu den IOC-Tankstellen eher der Distribution von Produkten widmen, die niedrigere Umrüstkosten aufweisen, die näher an der Marktetablierung sind und deren Marktpotenzial eher begrenzt ist. Die Frage von IOC- oder KMU-Tankstellen führt zudem dazu, dass der Reinkraftstoff nicht nur in einem Nischenmarkt, sondern jeweils auch einem bestimmten Kundensegment angeboten wird:

„Biodiesel [...] sind gerade zwei Prozent des Kraftstoffabsatzes – nicht einmal – das ist nicht ‚tragisch‘. Es sind die Leute, die wahrscheinlich auch früher bei den Freien Tankstellen getankt haben. Dadurch haben die Markentankstellen nach meiner Abschätzung keinen wirklichen Absatz- und Kundenverlust erlitten“ (Mineralölbranche 3 Mitarbeiter 1, 2007-02-27).

Zusammengenommen greifen die technischen Lösungen und die Reinkraftstoff-Produktkoalitionen auf der Distributionsebene die oben genannten Explorationsanreize auf und verstärken sie weiter. Dies gilt zunächst für die Vertriebslösungen für die Alternativen, die sowohl bei der Beimischung wie auch beim Reinkraftstoff die ‚*technology forcing*‘-Effekte aus dem Automobilbereich, der Kraftstoffproduktion und der Regulierung (5.1, 5.2 und 5.3.1) befolgen. Dabei kompensieren die Reinkraftstoff-Produktkoalitionen die schwächere Integration der jeweiligen Alternative in das bestehende Distributionsnetz, also die durch das Henne-Ei-Problem bedingten fehlenden direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte. Außerdem kommen auf der Distributionsebene die Angebots-*push*-Effekte der Kraftstoffproduktion (5.3.1) und die *demand-pull*-Effekte des ‚*engines-for-fuels*‘-Ansatzes (5.2.1) zusammen. Dies findet dabei durchaus im Wettbewerb untereinander statt, wobei die KMU-Tankstellen eine große Bereitschaft aufweisen, neue Kraftstoffe in den Markt zu bringen. Vor diesem Hintergrund finden sich auch hier Anreize für die Kraftstoffproduzenten und -distribuenten, die Entwicklung im Distributionsbereich zu verfolgen und die Entwicklung alternativer Kraftstoffe zur eigenen Zukunftssicherung zu erwägen (*Zukunftssicherungseffekte*).

Die Dynamik dieser Entwicklung auf der Distributionsebene wird jedoch auf dreifache Weise begrenzt: Da sind an erster Stelle die mit dem Aufbau einer Reinkraftstoffinfrastruktur verbundenen Kosten zu nennen, die für die Distribuenten zu Markteintrittsbarrieren in bestimmte alternative Kraftstoffe führen. Eine zweite Einschränkung besteht in der Beschränkung der Reinkraftstoffe auf Nischenmärkte und den Erwartungen der Akteure an das Potenzial dieser Märkte. Drittens schließlich öffnen die KMU-Tankstellen den Alternativen nur ein bestimmtes und begrenztes Kundensegment.

5.3.3 Fazit: Explorationsanreize durch die Entwicklung von Alternativen

Die Entwicklungen in den Bereichen der Entwicklung und der Produktion sowie der Distribution alternativer Kraftstoffe steuern somit folgende Explorationsanreize bei (s. Tabelle 21): Im Bereich der (a) Entwicklung und Produktion findet sich eine ausgeprägte Wettbewerbs- und Innovationsdynamik, die aufgrund der Suche nach einem Markt für die neuen Technologien ausgeprägte – wenn auch durch Markteintrittsbarrieren beschränkte – *Technologie-push-Effekte* beinhaltet. Von den bereits in der Produktion begriffenen Alternativen gehen wiederum *Angebots-push-Effekte* für die Distribuenten aus, während für die Rohstofflieferanten *Ressourcen-pull-Effekte* vorliegen. Für alle Marktteilnehmer resultiert aus der Dynamik des Entwicklungs- und Produktionsbereich die Notwendigkeit, sich entsprechend mit den neuen Technologien zu beschäftigen und somit der Anreiz zur Generierung von *Zukunftssicherungseffekten*.

Tabelle 21: Explorationsanreize infolge der Entwicklung von Alternativen

	Entwicklung alternativer Kraftstoffe	
	<i>Entwicklung und Produktion</i>	<i>Distribution</i>
Rohstofflieferanten	- Ressourcen- <i>pull</i> -Effekte	- keine
Kraftstoffentwicklung	- Zukunftssicherungseffekte - <i>Technologie-push</i> -Effekte	- keine
Kraftstoffproduktion	- Zukunftssicherungseffekte - <i>Technologie-push</i> -Effekte - <i>Angebots-push</i> -Effekte	- Zukunftssicherungseffekte
Kraftstoffdistribution	- <i>Technologie-push</i> -Effekte - <i>Angebots-push</i> -Effekte	- Zukunftssicherungseffekte

Der Bereich der (b) Distribution alternativer Kraftstoffe zeichnet sich vor allem durch ein Aufgreifen der Explorationsanreize aus den anderen Bereichen aus: So berücksichtigt die Wahl der Vertriebsform als Beimischung oder Reinkraftstoff die *„technology forcing“*-Effekte aus dem Automobilbereich, der Kraftstoffproduktion und der Regulierung. Außerdem verbinden sich in diesem Bereich die *Angebots-push*-Effekte der Kraftstoffproduktion und die *demand-pull*-Effekte des *„engines-for-fuels“*-Ansatzes. Dadurch, dass dieses Aufgreifen in einem dynamischen Wettbewerbsumfeld stattfindet, besteht auch hier für alle Marktteilnehmer die Notwendigkeit, die Entwicklung im Distributionsbereich zu verfolgen, und dadurch *Zukunftssicherungseffekte* zu erzielen

Hinsichtlich der Aktivitäten in den Bereichen der Entwicklung, Produktion und Distribution alternativer Kraftstoffe ist hervorzuheben, dass sich hier nicht nur die bereits bekannte *Integrationsstrategie* wiederfindet, die die Nutzung der technologischen Komplementaritätseffekte und der direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte ermöglicht. Vielmehr muss vor allem auf die strategischen Partnerschaften der Reinkraftstoff-Produktkoalitionen hingewiesen werden, die darauf abzielen, die schwächere Integration der jeweiligen Alternative in das bestehende Distributionsnetz zu kompensieren, also die durch das Henne-Ei-Problem bedingten fehlenden direkten Netzwerk- bzw. Koordinati-

onseffekte. Dabei kann zwischen der Vorleistungsstrategie der CNG-Koalition und der Inselstrategie der Wasserstoff-Vertreter und der an den Ford-Werken orientierten E85-Protagonisten unterschieden werden. Dies legt nahe, dass die bei der Antriebsentwicklung verfolgte Komplementarisierungsstrategie von Kraftstoff und Motor sowie die ‚Hybridisierungsstrategie‘ durch bivalente und ‚Flexible Fuel‘-Fahrzeuge allein nicht zur Kompensation des Henne-Ei-Problems ausreichen.

5.4 Fazit: Strukturelle Anreize zur Exploration alternativer Kraftstoffe

In diesem zweiten Empirieteil wurden eine Reihe von Explorationsanreizen identifiziert, die aus Neuentwicklungen in der Regulierung, der Antriebs- und der Kraftstofftechnologie sowie aus neuen Akteurskoalitionen resultieren (s. Tabelle 22).

Tabelle 22: Explorationsanreize zugunsten alternativer Kraftstoffe

	Regulierungsstrukturen	Antriebsentwicklungen	Entwicklung alternativer Kraftstoffe
Rohstofflieferanten	<ul style="list-style-type: none"> - Steuerliche <i>push</i>-Effekte - Regulative <i>demand-pull</i>-Effekte - Ressourcen-<i>pull</i>-Effekte 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Demand-pull</i>-Effekte 	<ul style="list-style-type: none"> - Ressourcen-<i>pull</i>-Effekte
Kraftstoffentwicklung	<ul style="list-style-type: none"> - Regulative <i>push</i>-Effekte - Steuerliche <i>push</i>-Effekte - Finanzielle Förderungseffekte 	<ul style="list-style-type: none"> - Zukunftssicherungseffekte 	<ul style="list-style-type: none"> - Zukunftssicherungseffekte
Kraftstoffproduktion	<ul style="list-style-type: none"> - Regulative <i>push</i>-Effekte - Steuerliche <i>push</i>-Effekte - Regulative <i>demand-pull</i>-Effekte - Ressourcen-<i>push</i>-Effekte 	<ul style="list-style-type: none"> - Zukunftssicherungseffekte - <i>Demand-pull</i>-Effekte 	<ul style="list-style-type: none"> - Zukunftssicherungseffekte - <i>Technologie-push</i>-Effekte - Angebots-<i>push</i>-Effekte
Kraftstoffdistribution	<ul style="list-style-type: none"> - Steuerliche <i>push</i>-Effekte - Regulative <i>push</i>-Effekte - Regulative ‚<i>technology forcing</i>‘-Effekte 	<ul style="list-style-type: none"> - Zukunftssicherungseffekte - <i>Demand-pull</i>-Effekte - <i>Technology-forcing</i>-Effekte 	<ul style="list-style-type: none"> - Zukunftssicherungseffekte - <i>Technologie-push</i>-Effekte - Angebots-<i>push</i>-Effekte

Hinsichtlich der Entwicklung der neuen (1) Regulierungsstrukturen ist zunächst festzuhalten, dass diese eine Reaktion der Importländer auf ihren *Lock-in* auf den Kraftstoffpfad und seine als negativ bewerteten externen Kosten (Importabhängigkeit, Klimawandel und Luftverschmutzung) sind. Hinzu kommen Ressourcen-*push*-Effekte aus dem landwirtschaftlichen Bereich, die insbesondere die Exploration von Biokraftstoffen nahe legen. Dies spiegelt sich in der Entwicklung der politischen Maßnahmen wider, indem sich die politischen Mengenziele zunehmend zugunsten von Biokraftstoffen verschoben und für diese auf Freiwilligkeit basierende regulative *push*-Effekte verursacht haben. Ferner wandelte sich die Regulierung mit dem – nicht vollständigen – Übergang von Steueranreizen hin zu Verwendungspflichten im Jahre 2006. Dies veränderte die durchaus erfolgreichen steuerlichen *push*-Effekte für alle Marktteilnehmer durch ein komplexeres Bild regulativer

push-Effekte für die Distributionsebene sowie regulativer *pull*-Effekte für die Produzenten. Letzteren werden durch die regulativen *pull*-Effekte je nach dem Etablierungsgrad ihrer Alternative Märkte eröffnet oder gesichert – aber auch auf den Umfang der Quote begrenzt. Der Biokraftstoffmarkt ist damit in erster Linie ein politischer Markt. Hinzu kommt, dass die Beimischung ‚*technology forcing*‘-Effekte sowohl für die Distribuenten wie auch für die Automobilindustrie beinhaltet. Entsprechend notwendig ist die Absicherung der Verwendungspflichten durch die Normierung der Kraftstoffe, die die Interdependenz der Systeme Kraftstoff-Motor/Abgasnachbehandlung und damit deren technologische Komplementaritätseffekte sowie im Falle der fünfprozentigen Beimischung auch eine Rückwärtskompatibilität mit der bestehenden Pkw-Flotte sicher stellt. Die Gesamtentwicklung wird durch die FuE-Maßnahmen unterstützt, die finanzielle Förderungseffekte für die Entwicklung alternativer Kraftstoffe beinhalten und den beteiligten Marktteilnehmern einen Austausch über die weitere Entwicklung ermöglicht.

Die (2) Antriebsentwicklungen im Automobilbereich werden durch die im ersten Empirieteil angesprochenen regulativen Effizienzvorgaben sowie durch Technologiewetten zwischen den OEMs getrieben. Deren Antriebsentwicklungen führen sowohl zu *demand-pull*-Effekten für die Produzenten und Distribuenten alternativer Kraftstoffe, wie auch zu *technology forcing* Effekten, da die Kraftstoffe und die Motoren aufeinander abgestimmt sein müssen. Für alle Marktteilnehmer resultieren aus der Dynamik in der Antriebsentwicklung Zukunftssicherungseffekte.

Auch die (3) Entwicklung, Produktion und Distribution alternativer Kraftstoffe ist wettbewerbsgetrieben, wobei eine Vielzahl von Marktneulingen und Alternativtechnologien sowie auch Reinkraftstoff-Produktkoalitionen in der Distribution auftreten. Entsprechend wichtig ist für alle Marktteilnehmer die Beschäftigung mit dieser Entwicklung, so dass auch hier Zukunftssicherungseffekte nahe liegen. Die Entwicklung alternativer Kraftstofftechnologien beinhaltet zudem aufgrund der Suche nach einem Markt für diese Technologie-*push*-Effekte, während die bereits in der Produktion begriffenen Alternativen Angebots-*push*-Effekte für die Distribuenten implizieren. Diese Angebots-*push*-Effekte der Kraftstoffproduktion verbindet die Distribution mit den *demand-pull*-Effekten der Antriebsentwicklung, was insbesondere anhand der Reinkraftstoff-Produktkoalition deutlich wird. Ferner greift die Distribution die Explorationsanreize der anderen Bereiche auf wie die ‚*technology forcing*‘-Effekte von Beimischung und Reinkraftstoff.

Aufschlussreich sind zudem die von der Politik, den Automobilherstellern sowie den Entwicklern, Herstellern und Distribuenten alternativer Kraftstoffe verfolgten Strategien, die sich in den Explorationsstrukturen niederschlagen: Da ist an erster Stelle die Integrationsstrategie zu nennen, die von Akteuren aus allen Bereichen verwendet wird. Diese bindet die Alternativen in Form der Beimischung in den Kraftstoffpfad ein und ermöglicht diesen damit – unter anderem mittels Normung – die Nutzung der technologischen Komplementaritätseffekte zwischen Kraftstoff und Motor sowie der direkten Netzwerk- bzw.

Koordinations-effekte zwischen Angebot und Nachfrage. Eine zweite Strategie ist die Komplementarisierungsstrategie, die – ebenfalls mittels Normung – die Interdependenz zwischen Kraftstoff und Motor durch eine Anpassung der Fahrzeuge an die alternativen Kraftstoffe ermöglicht. Die ‚Hybridisierungsstrategie‘ wiederum zielt auf die Nutzung der direkten Netzwerk- bzw. Koordinations-effekte des Kraftstoffpfades, indem Fahrzeuge für alternative Kraftstoffe mittels Bivalenz oder ‚Flexible Fuel‘-Eigenschaft auch konventionellen Kraftstoff nutzen können. Zu guter Letzt finden sich zur Kompensation der fehlenden direkten Netzwerk- bzw. Koordinations-effekte bei alternativen Reinkraftstoffen noch die entsprechenden Produktkoalitionen zwischen Produzenten, Distribuenten und Automobilherstellern, die mittels einer Vorleistungsstrategie oder einer Inselstrategie die Lösung des Henne-Ei-Problems anstreben. Diese Strategien sind somit alle darauf ausgelegt, positive Rückkopplungseffekte zu generieren, die in der Interaktion der bestehenden technologischen Systeme Kraftstoff und Automobil gegeben sind, bei den Alternativen aber fehlen wie die Sicherung der technologischen Komplementarität und die direkten Netzwerk- bzw. Koordinations-effekte.

Zusammengenommen zeichnet sich die Entwicklung der zur Exploration alternativer Kraftstoffe anreizenden Strukturen somit durch eine hohe Wettbewerbsdynamik zwischen den Marktteilnehmern und eine ausgeprägte Mitgestaltung durch die Regulierung aus, die die Marktentwicklung anreizt und erzwingt, aber auch mengenmäßig begrenzt. Entsprechend wichtig sind für die Marktteilnehmer die weitere Entwicklung der regulativen, technologischen und Wettbewerbsstrukturen. Das bedeutet zugleich, dass die traditionellen Marktteilnehmer nicht nur den positiven Rückkopplungs- und Veränderungsanreizen des Kraftstoffpfades, sondern auch vielfältigen Explorationsanreizen ausgesetzt sind. Wie Shell als Pfadincumbent zwischen diesen Anreizen agierend die Möglichkeiten alternativer Kraftstoffe exploriert, ist Inhalt des nächsten, des dritten Empireteils.

6 Shells Exploration alternativer Kraftstoffe

Dieser dritte Empirieteil baut auf den in den vorhergehenden Empirieteilen herausgearbeiteten Strukturen und Handlungsanreizen auf und zielt auf die Beantwortung der Frage, wie der Pfadincumbent Shell vor diesem Handlungshintergrund die Exploration alternativer Kraftstoffe verfolgt und welche Bedeutung dies für die zuvor dargestellten Strukturen hat. Dafür wird wie folgt vorgegangen: Zunächst (6.1) werden das Unternehmen Royal Dutch Shell und die endogenisierten Strukturen Shells in Form ihrer⁶³ organisationalen Kompetenzen und Signifikationsstrukturen vorgestellt. Anschließend erfolgt jeweils in einem eigenen Abschnitt die Analyse von Shells Aktivitäten zur Exploration von (6.2) *Gas-to-Liquids*, (6.3) *Biomass-to-Liquids*, (6.4) Ethanol aus Lignozellulose und (6.5) Wasserstoff. Bei der Analyse der Alternativen wird es darum gehen, die Technologien und Shells Beitrag zu ihrer Entwicklung darzustellen, die Beziehung zum bestehenden Pfad und den Explorationsstrukturen zu klären und darauf basierend die zum Tragen kommenden Handlungsanreize und Shells Beeinflussung der Strukturen zu identifizieren. Im abschließenden Teil (6.6) werden die vier Alternativen verglichen und auf Shells generelle Explorationsstrategie hin ausgewertet.

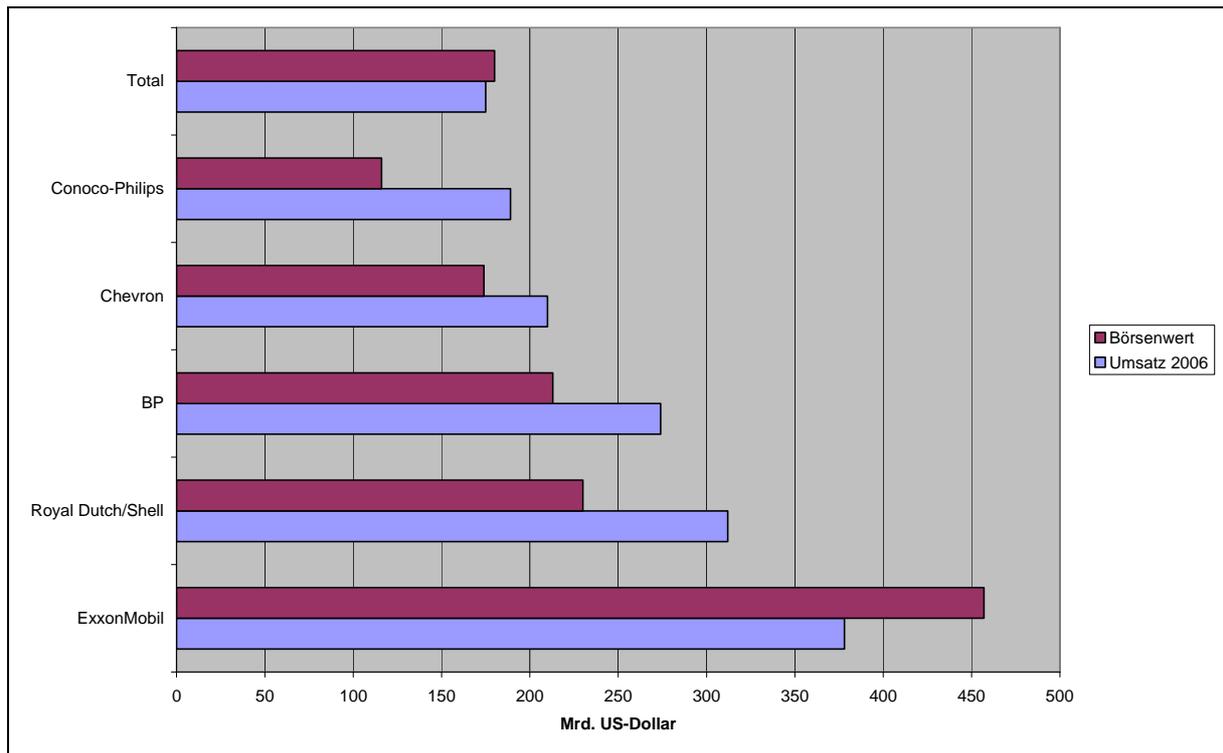
6.1 Royal Dutch Shell – ‚More Upstream, Profitable Downstream‘

Zum besseren Verständnis von Royal Dutch Shells Aktivitäten im Bereich alternative Kraftstoffe gilt es zunächst, das Unternehmen näher vorzustellen. Zu diesem Zwecke werden (a) die Entwicklung von Shells Wettbewerbsposition, (b) ihre Unternehmens- und Kraftstoffstrategie sowie (c) ihre Sichtweise (Signifikation) und (d) Kompetenzen erörtert.

Royal Dutch Shell gehört zu den ehemals sieben Schwestern neben ExxonMobil – der Nachfolgerin von Rockefellers Standard Oil – und BP und ist somit eines der traditionellsten und etabliertesten Mineralölunternehmen und eine der größten Firmen weltweit. Unter diesen dreien ist Exxon seit der Fusion mit Mobil 1998 das Unternehmen mit der größten Marktkapitalisierung, dem größten Umsatz wie auch der höchsten Kapitalrendite, die im Jahre 2006 17,6 Prozent (Shell: 11,1 Prozent, BP: 13,6 Prozent) betrug. Da BP mit Amoco (1998) und ARCO (1999) fusionierte, konkurrieren BP und Shell international um Rang zwei nach ExxonMobil und in Europa um Rang eins (vgl. Abbildung 12; Levy & Kolk 2002:284; Yergin 2003; Pettigrew & Whittington 2003:177f; Davis 2006b:3; Chang & Yong 2007:5467; Friese 2007:23):

⁶³ Mit der Verwendung der weiblichen Form folgt diese Arbeit dem in der Praxis verwendeten Genus für Shell wie auch für die anderen Mineralölgesellschaften.

Abbildung 12: Die sechs größten IOCs im Jahr 2006



Quelle: Friese 2007:23; eigene Darstellung.

Auf dem deutschen Markt konkurrieren Shell und BP um die Marktführerschaft, seit sie im Jahre 2001 die deutschen Tankstellenmarken Aral (BP) und DEA (Shell) erworben haben. BP, die ihre Kraftstoffe unter der Marke Aral vertreibt, lag dabei im letzten Jahr mit 22,5 bis 23 Prozent Marktanteil knapp vor Shell mit 22,5 Prozent und JET mit 10 Prozent. Hinsichtlich der deutschen Raffineriekapazitäten im alleinigen Unternehmensbesitz liegt Shell mit vier Raffinerien und 22,9 Prozent der deutschen Gesamtkapazität klar vor BP (eine Raffinerie, 3,5 Prozent der Kapazität), unter Berücksichtigung von Raffineriebeteiligungen (Shell: zwei; BP: vier) ist der Abstand weniger groß (Shell: 45,1 Prozent, BP: 38 Prozent) (HB 2001-07-17; EID 2006-11-27, 2007b:6; Döhmel 2006a:4; www.wer-zu-wem.de 2008).⁶⁴

Die Entwicklung von Shells aktueller Unternehmensstrategie kann insbesondere auch als Reaktion auf ihre relative Wettbewerbsposition und die Strategien der Wettbewerber verstanden werden: So punktet ExxonMobil durch ihre oben schon angesprochene Effizienz, während sich BP seit ihrem Austritt aus der gegen Kyoto gerichteten *Global Climate Coalition* (GCC) im Jahre 1997 als ökologischer *first mover* profiliert, was unter anderem die frühe Einführung eines internen CO₂-Handels sowie die Umbenennung in ‚*Beyond Petroleum*‘ im Jahre 2000 beinhaltete (Browne 1997; Skjærseth & Skodvin 2001; Levy & Kolk 2002:285ff; Voß 2007:108; EID 2006-02-06; Victor & House 2006; Friese 2007:23; Chang & Yong 2007:5467f). Beiden Wettbewerbern gegenüber befand sich Shell in einer

⁶⁴ Beide Unternehmen sind an der Raffinerie in Karlsruhe (12,9 Prozent der deutschen Gesamtkapazität) beteiligt (www.wer-zu-wem.de 2008).

schwächeren Position: Erstens wurde das Ansehen Shells durch die Auseinandersetzung mit Greenpeace um die Versenkung der Brent Spar im Jahre 1995 geschwächt; zweitens beteiligte sich Shell nicht an der Branchenkonsolidierung zwischen 1998 und 2002; drittens verlor Shell im Jahre 2004 infolge der 20-prozentigen Abwertung ihrer ‚bewiesenen Reserven‘ das Vertrauen des Finanzmarktes (vgl. Skjærseth & Skodvin 2001:52; Pettigrew & Whittington 2003:179; Handelsblatt 2004-01-12; Friese 2007:23; Backer 2008:6f). Auf diese Wettbewerbsherausforderung reagierte Shell zweigleisig: Auf der einen Seite folgte Shell als *second mover* BP in der Anerkennung des Klimawandels und der Bedeutung von Umwelt- und Sozialfragen, etablierte 1997 als fünftes Kerngeschäft ‚Shell Renewables‘ und installierte im Jahre 2000 ein vergleichbares internes CO₂-Handelssystem – ohne jedoch damit ähnlich offensiv in die Öffentlichkeit zu gehen wie BP (van der Veer 1997; Skjærseth & Skodvin 2001:50; Levy & Kolk 2002:288; Backer 2008:7). Die Anerkennung des Klimawandels und der sozialen Verantwortung fanden ihren deutlichen Ausdruck in der 2001er Formulierung einer ‚*licence to grow*‘ durch den zukünftigen CEO Jeroen van der Veer (2001):

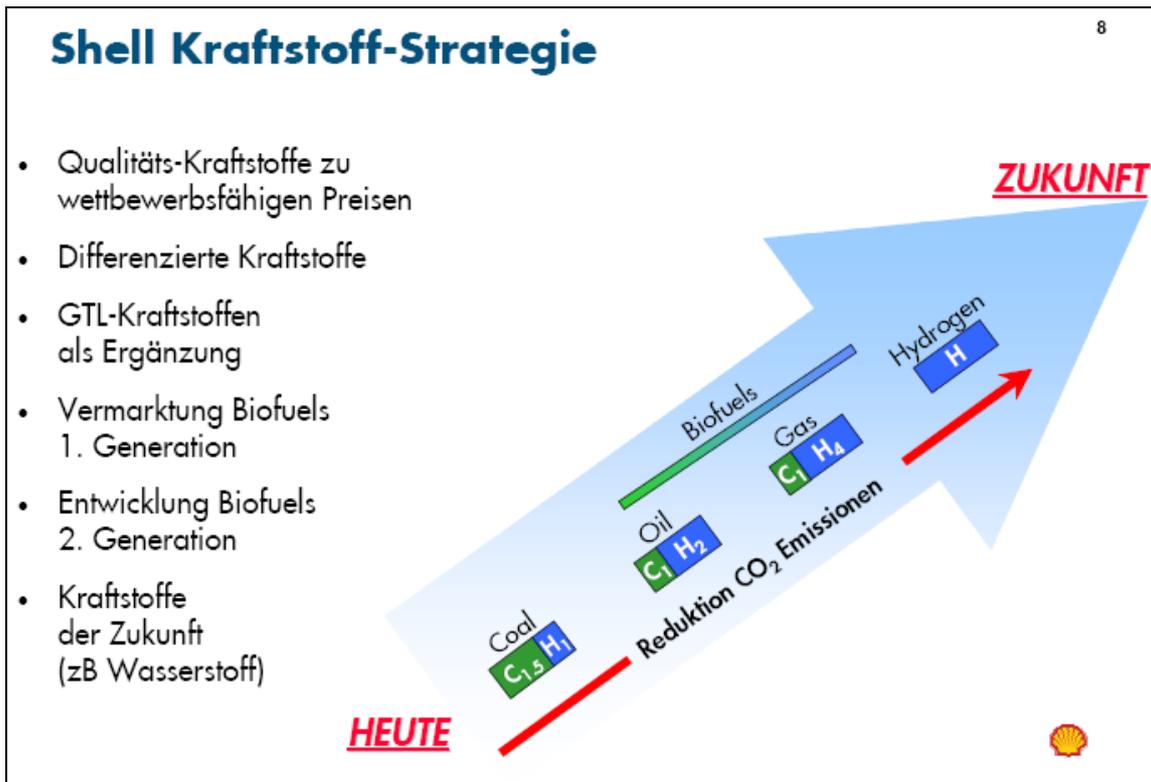
„In the long-term, this industry will need to do more to adjust to new economic, environmental and political challenges. [...] Technical advance, government and stakeholder pressure at least in the developed world, and the emergence of new cleaner alternatives will inevitably lead to fundamental changes in the energy mix in the 21st century. This means that successful energy companies will need to pay more attention to what I have termed the 'licence to grow'“ (ebd. 1).

Die zweite Antwort bestand 2004 in der Entwicklung einer neuen Unternehmensstrategie durch den neuen Vorstand Jeroen van der Veer, die insbesondere eine Stärkung des Upstreambereichs, also der Förderung und Exploration von Erdöl und Erdgas wie auch unkonventioneller Erdölvorkommen wie Ölsanden vorsah, und die heute noch unter dem Schlagwort ‚*More Upstream, Profitable Downstream*‘ gültig ist (van der Veer 2005a:1, 2007:4; Chang & Yong 2007:5476):

„The Exploration & Production (E&P) portfolio today generates significant cash flow from core producing areas. Though the overall resource base remains significant, proved reserve life is relatively low and it is essential to convert existing resources into proved reserves and production. E&P will invest \$10 billion a year (including exploration) in sustaining profitable core areas, in growing integrated gas positions and large-scale oil projects, and in maturing additional unconventional oil production. New investment and business development will target areas with growth potential and exposure to price upside“ (Shell 2004a).

Diese beiden Strategien korrespondieren miteinander in Shells Kraftstoffstrategie, die auf einen langfristigen „Trend zu immer kohlenstoffärmeren Kraft- und Brennstoffen“ (Döhmel 2006a:5) zielt (vgl. Abbildung 13).

Abbildung 13: Shells Kraftstoffstrategie



Quelle: Döhmel 2006b:8.

Diese Strategieentwicklung spiegelt sich auch in Shells Signifikationsstrukturen wider, die mit der ‚licence to grow‘ die Bedeutung des ‚Stakeholder Value‘ und der gesellschaftlichen Verantwortung Shells, unter anderem hinsichtlich des Klimawandels umfassen:

„Wir sind uns als Unternehmen bewusst, dass die CO₂-Problematik ganz andere Dimensionen annehmen wird. Da sind wir jetzt in der embryonalen Phase. Wir gucken uns unseren CO₂-Footprint an, den wir als Konzern haben und wissen ganz genau, dass wir hier so nicht weiter machen können. Und aus diesen Überlegungen heraus [...] [haben wir] Shell Erneuerbare Energien als Geschäftszweig gegründet. [...] Es sind die Anforderungen aus der Gesellschaft die CO₂-Problematik in den Griff zu bekommen. Denn Sie kennen die IEA-Vorhersagen, Sie kennen wahrscheinlich auch unsere Energieszenarien: Wir müssen davon ausgehen, dass der Energiebedarf bis 2050 um 50 Prozent wächst, was bedeutet, dass wir in der OECD Minus, Minus, Minus machen müssen, um das Wachstum in den anderen Ländern befriedigen zu können. [...] Wenn Sie es ernst nehmen, dann müssen Sie in anderen Dimensionen denken und das ist genau das, was da passiert“ (Döhmel, Shell, 2007-03-27).

Zwar betont Shell die Sicht und den Willen, mindestens einen Erneuerbare Energien-Bereich als künftigen Hauptgeschäftsbereich zu entwickeln (Döhmel, Shell, 2007-03-27; Chang & Yong 2007:5476).

Auf der anderen Seite sieht Shell weiterhin mittel- bis langfristige gute Wachstumsmöglichkeiten für fossile Energieträger – auch wenn neue Projekte anstelle von ‚einfachem‘ Erdöl zunehmend ‚unkonventionelles‘ fördern werden –, so dass Erneuerbare Energien nicht das Kerngeschäft substituieren, sondern dieses angesichts eines steigenden Energiebedarfs sinnvoll ergänzen und zudem erst zeitlich versetzt an Bedeutung gewinnen (vgl. Martin 1996:82; van der Veer 2006; Shell 2007a:20; Backer 2008:6f). In der Kon-

sequenz betont Shell im Vergleich gegenwärtig stärker die Notwendigkeit, die Umweltwirkungen fossiler Energieträger durch die *Carbon Capture and Sequestration-Technologie* (CCS) einzuschränken, als das Wachstumspotenzial Erneuerbarer Energien – dies gilt selbst für den für Erneuerbare, Wasserstoff und CO₂ zuständigen *Executive Vice President* Graeme Sweeney (2007:2f):

„As global demand for energy continues to grow, oil companies are going to need to develop more and bigger projects. These projects are also increasingly going to present significant technical, social and environmental challenges and the oil company of the future will need to be able to execute several of these projects at once. [...] Within the overall context of rising energy demand, it is clear that fossil fuels will remain a growth industry. There are significant oil and gas resources still available but what we need to do now is focus on ways of reducing their impact and reach for the prize of clean, green fossil fuels“ (van der Veer 2005b:1).

Die im Vergleich zu den Erneuerbaren stärkere Betonung der Wachstumsmöglichkeiten der Ölindustrie korrespondiert mit dem in der oben bereits angesprochenen allgemeinen Unternehmensstrategie zum Ausdruck kommenden *Shareholder Value* (Grant & Cibin 1996:174):

„Our success will be measured by competitive returns, cash generation and total shareholder return underpinned by top quartile operational performance and project management“ (Shell 2004a).

Das bedeutet, dass Shell den Erneuerbaren Energien zwar durchaus Entwicklungsmöglichkeiten einräumt und ein breites Portfolio verfolgt, aber auch, dass die Erneuerbaren sich letztendlich an ihrer Profitabilität messen lassen müssen und dabei mittelfristig weniger wirtschaftlich sein werden als fossile Energieträger (vgl. Döhmel, Shell, 2007-03-37; Sweeney 2007:3). Deshalb weist Shell den Erneuerbaren Energien wie auch der CCS-Technologie eine Kompensationsfunktion für die CO₂-Probleme der fossilen Energieträger zu:

„So, there is a significant amount of hydrocarbon resource available to us over the next number of decades. We have made the point of course that if we are to continue to do that and to meet the responsible energy challenge, we also have to look at responsibly managing the CO₂ associated with it, so let us have a look at our approach to the CO₂ management. There [...] is a wide range of technologies and application. Geo sequestration is clearly an opportunity which we all need pursue [...]. But it is also clear that we need to pursue efficiency that is the first thing that we do, we should avoid emitting in the first place. [...] The third thing we need to do is to generate significant renewable capacity for what I call offset, this is the process by which we add low carbon options to the integrated plants and finally we can trade the certificates through things such as the clean development mechanism or the European trading system“ (ebd. 5).

Die organisationalen Kompetenzen Shells sind eng mit dieser Sicht der Dinge verbunden. Dazu zählt Shells Technologieaffinität, die in der Betonung technischer Lösungen für die CO₂-Problematik deutlich wird und die unter dem Motto *„we think that technology is a differentiator“* (Shell 2006a:15) für alle Unternehmensbereiche gilt (Davis 2006b:7; Chang & Yong 2007:5473ff; Backer 2008:6). Bei der Technologieentwicklung zeichnet sich Shell zudem durch die Fähigkeit zur Kooperation mit den unterschiedlichsten Partnern aus, wozu auch OEMs und von diesen insbesondere Volkswagen als traditioneller

Partner in der Kraftstoffentwicklung gehören (van der Veer 2003:5; Döhmel, Shell, 2007-03-27; Automobilhersteller 1 Mitarbeiter 2, 2007-04-24):

„In many [...] projects, Shell works with partners – governments, universities, research institutes and other companies. We know from experience that good ideas often bear fruit through collaboration with organisations whose strengths differ from our own. In turn, our partners benefit from our technology and our ability to apply it on a large scale“ (Shell 2007a:v).

Eine dritte besondere Kompetenz Shells ist ihre strategische Planung, die sich seit den Achtzigern von der Planung und Vorhersage zu einer Szenarienentwicklung gewandelt hat und sich durch die Entwicklung multipler Szenarien auszeichnet (ebd.; Grant & Cibin 1996:181; Cornelius et al. 2005:92ff):

„Rather than looking for better forecast techniques or hiring more or better forecasters, Shell developed scenario planning. [...] Scenario planning differs fundamentally from forecasting in that it accepts uncertainty, tries to understand it, and makes it part of the reasoning. Scenarios help prepare for a range of alternative and different futures. Scenarios are [...] coherent and credible stories, describing different paths that lead to alternative futures [...]“ (Cornelius et al. 2005:94f).

Die weiteren Kompetenzen Shells entsprechen den allgemeinen Fähigkeiten internationaler Mineralölkonzerne und bestehen in der Finanzierung und dem Management langfristiger und kapitalintensiver Großprojekte „in an atmosphere of uncertainty“ (Brinded 2005; Antill & Arnott 2002:50; Shell 2005a:2). Hinsichtlich der durchgeführten Projekte unterscheidet sich Shell von den anderen Mineralölgesellschaften durch ein seit den Achtzigern ausgeprägtes Gasportfolio (Datamonitor 2005:5; Cornelius 2005:100).

Es zeigt sich, dass Royal Dutch Shell weiterhin stark auf den fossilen Kraftstoffpfad ausgerichtet ist: So trägt sie mit ihrer Wettbewerbsstrategie deutlich den Erwartungen des Finanzmarktes nach mehr Engagement im profitablen Explorations- und Produktionsbereich Rechnung. Damit entspricht sie dem im ersten Empirieteil (4.2.4) herausgearbeiteten Legitimationseffekten. Zugleich tritt die in Shells kognitiven Signifikationsstrukturen vorhandene Notwendigkeit zur Abmilderung der Klimawirkung fossiler Kraftstoffe hinter die Frage der Wirtschaftlichkeit und der Wachstumsmöglichkeiten im fossilen Bereich zurück. Somit steht zu vermuten, dass sich die Opportunitätskosteneffekte des ökonomisch attraktiven E&P-Bereichs (vgl. 4.2.2) in *Benchmarkeffekten* widerspiegeln, die in Shells kognitiven Strukturen angelegt sind. Die Benchmarkeffekte umfassen dabei nicht nur die Frage der Wirtschaftlichkeit, sondern auch die Verwendung der Maßstäbe des Kraftstoffpfades zur Beurteilung von Alternativen, wie zum Beispiel der Skaleneffektelogik (vgl. Dosi 1982; Holtmann 2008). Dies zeigt zum Beispiel die Kritik an erneuerbaren Energien, nicht im großen Stil wirtschaftlich zu sein:

„the renewable energy base can be both convenient and clean but again typically, not always but typically, at least at large scale, it tends to struggle to be cost effective“ (Sweeney 2007:3).

Bemerkenswert ist auch, dass sich angesichts des Investitionswillens in den E&P-Bereich kein negativer Erwartungseffekt findet, wie er aus der Verbindung der dortigen *sunk*

costs-Effekte mit der politischen Unsicherheit und der Ölpreisvolatilität hätte resultieren können (vgl. 4.2.1, 4.2.2 und 4.2.3; Kochhar et al. 2005:3; Fattouh 2007:20).

Shells Kompetenzen – Technologie, Planung, Finanzierung und Management von Großprojekten – sind ebenfalls auf den fossilen Kraftstoffpfad ausgerichtet und werden dies angesichts der Investitionen in die Tiefseeförderung und der Nutzung von Ölsanden weiterhin bleiben, so dass von einem *Spezialisierungseffekt* gesprochen werden kann (vgl. Helfat 1994:1726ff):

„Size and scale have always been key characteristics of our industry. But, as we respond to huge increases in demand for energy, size and scale are going to be even more of a feature in the future“ (van der Veer 2005b:1).

Nachdem in diesem Kapitel die endogenisierten Strukturen Shells und die positiven Rückkopplungsanreize zur Exploitation des Kraftstoffpfades benannt worden sind, wird in den nächsten vier Kapiteln untersucht, wie Shell alternative Kraftstoffe exploriert.

6.2 Shells *Gas-to-Liquids*-Aktivitäten

Die Analyse von Shells Exploration von *Gas-to-Liquids*-Diesel (GtL) gliedert sich ebenso wie die Analyse der anderen drei alternativen Kraftstoffe in fünf Abschnitte: Der erste Abschnitt widmet sich einer grundlegenden Einführung in die Technologie der GtL-Alternative (6.2.1). Im zweiten Abschnitt (6.2.2) wird Shells Beitrag zur Entwicklung der Alternative diskutiert, wofür auf die Gestaltung der Wertschöpfungskette und der Rahmenbedingungen der Technologie eingegangen wird. In den anschließenden beiden Abschnitten geht es darum zu ermitteln, welche Handlungsanreize in Shells GtL-Aktivitäten zum Tragen kommen und welche Rückwirkungen Shells Aktivitäten auf die Strukturen haben könn(t)en: Dafür wird im Abschnitt 6.2.3 die Beziehung zwischen der GtL-Alternative und dem Kraftstoffpfad hinsichtlich möglicher Konkurrenzen und Synergien erörtert, während im vierten Abschnitt (6.2.4) die in Shells Aktivitäten zum Tragen kommenden Explorationsanreize analysiert werden. Im fünften Abschnitt (6.2.5) schließlich werden die Ergebnisse daraufhin ausgewertet, wie Shell die GtL-Exploration organisiert und welcher Strategie dies entspricht.

6.2.1 Die *Gas-to-Liquids*-Alternative

GtL gehört wie auch die Alternativen *Coal-to-Liquids* (CtL) und *Biomass-to-Liquids* (BtL) zu den sogenannten ‚synthetischen Kraftstoffen‘, deren Wurzeln zurück ins Jahr 1925 zur Patentanmeldung von Franz Fischer und Hans Tropsch reichen. Diese hatten ein Verfahren zur Herstellung flüssiger Kohlenwasserstoffe aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff über Metallkatalysatoren entwickelt, die sogenannte Fischer-Tropsch-Synthese (FT-Synthese). Verbunden mit einer vorgeschalteten ‚Gasifizierung‘ von Kohle in Synthesegas wurde diese Technologie im Dritten Reich sowie im Südafrika der Apartheid zur indirekten Kohleverflüssigung (*Coal-to-Liquids*, CtL) angewandt. Auch heute noch betreibt Sasol in

Südafrika CtL-Anlagen mit einer Kapazität von 45 Millionen Tonnen Kohle pro Jahr. Bereits nach dem Zweiten Weltkrieg sowie nach der Ölkrise wurde CtL vor allem auch in den USA als Kraftstoffalternative verfolgt. Allerdings wurde diese Technologie wegen der günstigen Importe aus dem Nahen Osten in den Fünfzigern und wegen des einbrechenden Ölpreises 1985 nicht wirtschaftlich (Carpenter 1974; Weitzman et al. 1981; HB 1999-09-29; Yergin 2003:428f; Innovationsreport 2005; Evans 2007:63). Entsprechend dieser langen Forschungstradition ist der Bereich der Fischer-Tropsch-Synthese – sowohl von CtL wie auch von GtL – in erheblichem Maße durch Patente abgedeckt, wobei sich die IOCs besonders hervortun:

„Wir [ExxonMobil; JCS] haben auch bei den Kraftstoffen alles Mögliche, also zum Beispiel die Umwandlung von Erdgas in flüssigen – das, was jetzt hier als GtL bekannt ist; das beherrschen eine ganze Reihe von Firmen seit 30 Jahren technisch. Es ist im Grunde genommen das alte Fischer-Tropsch-Verfahren [...] Nur: Keiner hat es bis jetzt geschafft, dieses wirtschaftlich, sprich zu konkurrenzfähigen Kosten zum normalen Diesel herzustellen. Wir haben seit dem Zusammenschluss mit Mobil vor 5, 6 Jahren glaube ich 350 Patente auf diesem Gebiet nur der Herstellung, nur der Umwandlung von Gas in dieses gut transportierbare Produkt. Shell hat 200, BP hat 150, Chevron hat glaube ich auch 200. Das heißt, an diesen Zahlen sehen Sie, da wurde überspitzt gesagt jede Schraube, jeder Rohrbogen patentiert, nur um zu verhindern, dass jemand anders ein wirtschaftliches Verfahren entwickelt“ (Schult-Bornemann, ExxonMobil, 2007-05-07).

Intensivster Wettbewerber Shells in diesem Bereich ist ein GtL-Joint Venture von Sasol und Chevron, das in Katar seit 2006 eine 34.000 Barrel/Tag-Anlage betreibt, die bis 2010 auf 100.000 Barrel/Tag ausgebaut werden soll. Ähnliche Anlagen plant Sasol Chevron auch in anderen Regionen:

„Insgesamt planen wir [Sasol Chevron; JCS] zusammen mit unseren Partnern, innerhalb der nächsten zehn Jahre in jeder der genannten Regionen [Mittlerer Osten, Westafrika, Australien-Asien, Karibik] eine GTL-Anlage in der Größenordnung von der in Katar in Betrieb zu nehmen, so dass wir auf eine Gesamtkapazität von etwa 500 000 bpd kommen werden. Nun kann ich zwar nicht für unsere Mitbewerber sprechen, aber nach unseren Analysen sowie nach Einschätzung externer Quellen kann man von einem Anstieg des Gesamtvolumens auf zirka eine Million Barrel pro Tag innerhalb eines Jahrzehnts ausgehen“ (Couvaras 2006a).

Insgesamt lagen 2004 Ankündigungen für den Bau von neun GtL-Anlagen vor, allerdings wurde ein Teil dieser Projekte, so zum Beispiel das von Exxon in Katar, infolge steigender Kosten vorläufig eingestellt (HB 1999-09-29; Chevron 1999, 2000; Innovationsreport 2005; IEA 2006a:38, 53; Couvaras 2006a; Schult-Bornemann, ExxonMobil, 2007-05-07). Shells Wettbewerber sorgen somit dafür, dass die verfügbare Menge von GtL im Markt in den nächsten Jahren signifikant steigen wird, so denn die Investitionspläne umgesetzt werden. Ein brancheninterner Wettbewerbsdruck ist somit gegeben.

Shells Aktivitäten zur Entwicklung von GtL begannen in den Siebziger Jahren; 1983 wurde eine erste Laboranlage in Amsterdam, 1993 eine erste in kommerziellen Dimensionen arbeitende Demonstrationsanlage in Bintulu, Malaysia, gebaut. Während letztere über eine Tagskapazität von 15.000 Barrel verfügt, plant Shell wie Sasol-Chevron seit 2001 für 5 Milliarden US Dollar eine Anlage in Katar mit einer Tageskapazität von zunächst 70.000 und später 140.000 Barrel, rund 4,9 Millionen Tonnen pro Jahr. Dieses sogenann-

te Pearl-Projekt sollte ursprünglich 2009 den Betrieb aufnehmen, wird aber infolge steigender Kosten erst 2011 die Produktion aufnehmen (Fabricius 2004; Shell 2004c; Shell 2006a:6, 2007a:18; IEA 2006a:53; VW 2007c). Dabei greift Shell auf ihren eigenen, patentierten FT-Katalysator zurück, der das in ein Synthesegas aufbereitete Erdgas in Kohlenwasserstoffketten umwandelt, die anschließend – unter anderem per Hydrocracker – raffiniert werden:

„GTL products are manufactured in three steps. First, natural gas is partially oxidized at high temperature and pressure to convert it to synthesis gas, a mixture of hydrogen and carbon monoxide which will more readily react with catalysts. The synthesis gas is then chemically converted into a liquid. This liquid is refined into a range of products, such as GTL Fuel, naphtha, kerosene and base oils for lubricants“ (Shell 2007a:18).

Ab dem Synthesegas ist der FT-Prozess für GtL, CtL und BtL identisch. Als Produkte können bei einer Prozesstemperatur oberhalb von 330°C Rohbenzin und Naphta hergestellt werden, während unterhalb von 250°C bis zu 80 Prozent der Produkte aus Dieseldieselkraftstoff bestehen. Die letztere Variante verfolgt Shell in Bintulu und Katar. Der gewonnene Dieseldieselkraftstoff ist nicht nur aromaten- und schwefelfrei, sondern zeichnet sich im Vergleich zum konventionellen Diesel auch durch eine höhere Cetanzahl (80 statt 53) – also durch eine höhere Zündwilligkeit – aus und kann in seiner Zusammensetzung auf bestimmte Motorenkonzepte abgestimmt werden. Allerdings weist GtL eine geringere Dichte als konventioneller Diesel auf und ist somit leichter (Gielen & Unander 2005:13; Shell 2006a:5; Automobilhersteller 2 Mitarbeiter 1, 2006-12-14; Ramesohl et al. 2006:31; Sweeney 2007:4; VW 2007c, 2007d; Blades, CHOREN, 2007-01-22). Als Motivation zur GtL-Entwicklung gibt Shell die Entwicklung in den regulativen Kraftstoffanforderungen auf der Nachfrageseite und dem Ende des Zugangs zum ‚easy oil‘ auf der Angebotsseite an:

„The situation is such that we are, society as a whole, in need of two things. First, the demand for fuel is getting more stringent in terms of their quality and their environmental friendliness. So we’re producing fuels now for example that have a hundred times less sulphur than fuels that were produced just a few years ago. At the same time, the supply is varying and it’s changing, the easy oil is getting to be more difficult to find and more expensive, so we tend to go towards more difficult, less amenable materials [...] A challenge. The only way you bridge that gap is with technology“ (Shell 2006a:4)

6.2.2 Shells Gestaltung der GtL-Wertschöpfungskette

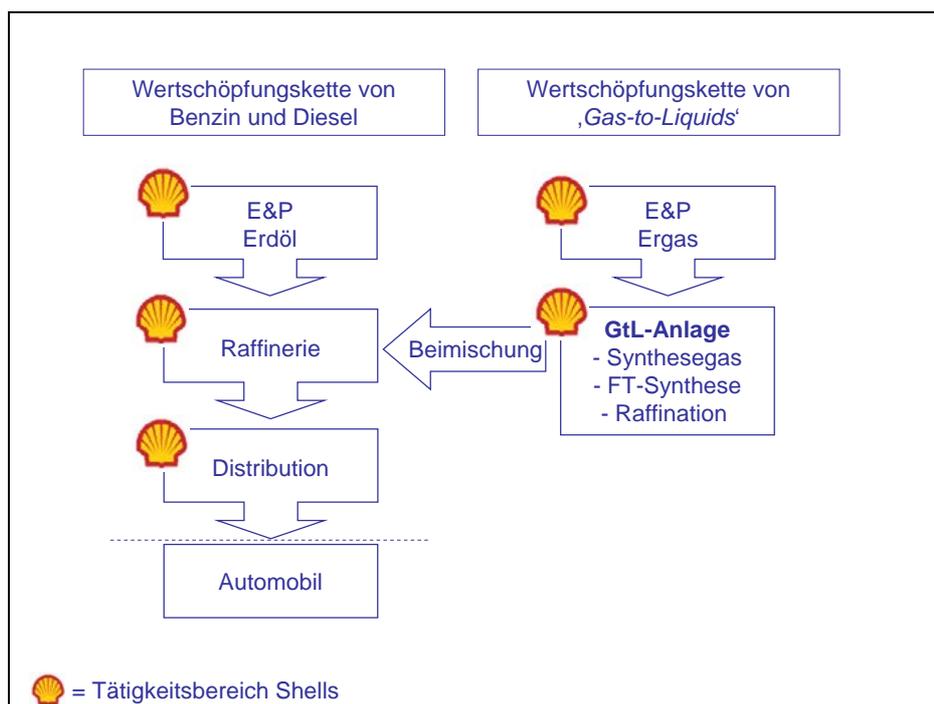
Shells Organisation der GtL-Wertschöpfungskette (vgl. Abbildung 14) ist in erster Linie durch starke vertikale Integration gekennzeichnet, die in einer örtlich-technischen Verzahnung der Förderung des Erdgases und der GtL-Produktion sowie in einer engen Abstimmung von Produktion und Vermarktung besteht:

„It is a fully integrated upstream-downstream project that covers all aspects of the value chain which runs from the reservoir to the marketing of the products to consumers“ (Fabricius 2004:1).

Entsprechend reichen die erforderlichen Kompetenzen von der Technologieentwicklung über die Durchführung großtechnologischer, langfristiger Projekte im E&P- wie auch im Verarbeitungsbereich bis hin zum Marketing:

„I will now turn to the competences and skills required for a successful implementation of an integrated world scale GTL plant. These range from upstream skills, to basic GTL R&D and technological capabilities, and a variety of skills in project implementation disciplines, as well as a broad spectrum of commercial expertise. Responding successfully to this unique GTL challenge will need a closely coordinated, integrated approach to the resourcing and management of the total enterprise, presenting an organisational challenge“ (Fabricius 2004:5)

Abbildung 14: Shells Gestaltung der GtL-Wertschöpfungskette



Dem Marketing kommt in Shells Explorationsaktivitäten insofern eine wichtige Rolle zu, als dass es das umfangreiche GtL-Investment – allein die 2004 geplanten Installationskosten der Pearl-Anlage betragen wie erwähnt 5 Milliarden US Dollar – durch eine erfolgreiche Gestaltung der Distribution absichern muss:

„Sie müssen da unterscheiden: Bereitstellung des GtLs und das anschließende Vermarkten. Wir haben gesagt mit der Anlage in Bintulu müssen wir jetzt schon anfangen GtL in den Markt zu bringen und zu etablieren. Das können Sie nicht machen, indem man einen grünen Knopf drückt und da kommt GtL raus. Dann wird das [...] verschleudert. Dann schaffen Sie keine added value-Strategie“ (Döhmel, Shell, 2007-03-27).

Die dafür gewählte Vermarktungsstrategie verwendet das produzierte GtL als bis zu fünfprozentige Komponente von Shells Premiumkraftstoff V-Power Diesel. Technologisch bedeutet diese Vertriebsstrategie, dass das GtL in der Raffinerie konventionellem Diesel beigemischt und anschließend über das bestehende System mit einer eigenen Zapfsäule vertrieben wird. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit ermöglicht diese Vertriebsstrategie, dass GtL mit einem entsprechenden Aufpreis in den Markt gebracht werden kann wie etwa in Deutschland seit dem Jahr 2004 (vgl. Waltl 2005):

„(H)eute kostet ein Liter V-Power, der angeblich fünf Prozent GtL enthält, zehn Cent zusätzlich. Wenn der einzige Unterschied zwischen V-Power-Diesel und normalem Diesel der GtL wäre, dann würde das bedeuten, dass der GtL für 3 Euro per Liter verkauft wird. Das sind also 20 mal zehn Cent plus ein Euro Basispreis – das ist schon heftig“ (Blades, CHOREN, 2007-01-22).

Als Verkaufsargument werden dabei die Kraftstoffeigenschaften (schwefel- und aromatenfrei; hohe Cetanzahl) von GtL bzw. V-Power Diesel angeführt, denen eine deutliche Qualitätsverbesserung des Verbrennungsprozesses im Automobil zugeschrieben und die über die Verwendung im Sieger-Audi des 24-Stunden-Rennens von LeMans beworben wird (Shell 2006b, 2007e):

„Shell V-Power Diesel besteht aus drei Stoffen: normalem Diesel, einem Additivpaket und zu fünf Prozent aus synthetisch hergestelltem "Gas to liquid"-Diesel (GTL). Shell sieht seine neuen (sic!) Diesel-Sorte als ersten Schritt hin zu völlig synthetischen Kraftstoffen, die ohne Rohöl auskommen. Der V-Power Diesel verbrennt nach Angaben von Shell sauberer, der Ausstoß an Ruß und Schadstoffen sei deutlich niedriger als bei herkömmlichem schwefelfreiem Diesel. Mittels der zusätzlichen Additive reinige der Kraftstoff schon nach dreimaligem Tanken verkokte Einspritzdüsen moderner Dieselmotoren und Sorge für ein messbares Leistungsplus zwischen drei und sechs Prozent, die Autos beschleunigen also zum Beispiel besser“ (Spiegel Online 2004-06-04).

Hinsichtlich der letzten Stufe in der Wertschöpfungskette, der Verwendung im Automobil, legt Shell zudem Wert darauf, dass GtL nicht nur gegenwärtig Vorteile hinsichtlich der Schadstoffemissionen ermöglicht, sondern auch der geeignete Kraftstoff für die in der Entwicklung befindlichen HCCI-Motoren wäre und somit die Entwicklung neuer Motorenkonzepte auf der ‚*Fuels for Engines*‘-Seite ermöglicht. Dies ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass Shell ihre GtL-Exploration automobilseitig durch eine enge Kooperation mit Volkswagen wie auch mit Daimler, also zwei Protagonisten der Dieselseite und der HCCI-Entwicklung, absichert (vgl. Shell 2003a, 2003b; van der Veer 2005a:4; Automobilhersteller 2 Mitarbeiter 1, 2006-12-14; VW 2007c):

„Jetzt gucken Sie sich mal die deutsche Automobilindustrie an: Die deutsche Automobilindustrie setzt auf den Diesel [...], weil der Dieselmotor eben thermodynamisch dem Ottomotor erheblich überlegen ist. Es gibt aber den nächsten Schritt, [...] das ist der HCCI-Motor [...], den [...] können Sie nur mit synthetischen Kraftstoffen betreiben“ (Döhmel, Shell, 2007-03-27).

Die Kooperation von Shell mit Volkswagen und Daimler geht jedoch über die Kopplung von Kraftstoff- und Motorenentwicklung hinaus und zielt auch auf die politischen Rahmenbedingungen von GtL: So setzen sich Shell, Volkswagen und Daimler zusammen mit Sasol Chevron und Renault über die im März 2006 gegründete ‚*Alliance for Synthetic Fuels in Europe*‘ (ASFE) gegenüber der Politik für alle synthetischen FT-Kraftstoffe ein, also GtL, BtL und CtL. Hinsichtlich von GtL besteht die Zielsetzung der ASFE darin, diesen unter anderem über die Verbindung mit dem unten zu erörternden Biokraftstoff BtL in der Kraftstoffstrategie der Europäischen Union zu verankern – ohne dies bisher jedoch durchsetzen zu können (VW 2006; Bundestagsfraktion 1 Mitarbeiter 1, 2007-07-11):

„ASFE members seek political & fiscal support from EU and national policy makers for the introduction and increased penetration of all synthetic fuels, and more specifically to:

- Include GTL fuel, in addition to BTL fuel, as an alternative fuel that can help EU reach its 2020 alternative fuel targets
- Put in place mechanisms to help achieve alternative fuels targets in a cost effective manner

- *Recognise GTL will pave the way for BTL commercialisation*
- Increase support, including R&D, for BTL production pathways
- Increase R&D support for advanced engines optimised around synthetic fuels
- Recognise advanced fuel and engine technologies could provide European industry with new business opportunities
- Acknowledge BTL production could provide Europe with a new and sustainable business in the agricultural sector" (ASFE 2006:7; Hervorhebung JCS).

Außerdem muss erwähnt werden, dass Shell seit November 2007 die GtL-Entwicklung auch über die Beteiligung an einem CEN Workshop Agreement für alle synthetischen Kraftstoffe auf der Basis von GtL verfolgt (Woldendorp, CEN, 2007-07-13; VW 2007c; CEN 2008).

6.2.3 GtL und der Kraftstoffpfad: Synergien und Konkurrenzen

Der Vergleich der GtL-Wertschöpfungskette mit dem Kraftstoffpfad zeigt, dass zwischen diesen beiden Synergien sowohl im Explorations- und Produktionsbereich wie auch im Distributions- und Automobilbereich bestehen und dass im Raffineriebereich eine partielle Konkurrenz eintritt:

Auf der Explorations- & Produktionsebene (vgl. 4.2) führt die Entwicklung der GtL-Alternative nach Ansicht Shells nicht zu einer Substitution der Erdölproduktion, sondern zu ihrer Ergänzung angesichts der steigenden weltweiten Energienachfrage – nach IEA-Schätzungen zwischen 2005 und 2030 um bis zu 55 Prozent (vgl. Nylund et al. 2008:21). Dazu trägt auch bei, dass durch die GtL-Technologie Erdgas in die auf Flüssigkeiten ausgerichtete Downstreaminfrastruktur von Erdöl integriert werden kann. Dadurch können Erdgasvorkommen genutzt werden, für die es keine lokalen Märkte gibt und die nicht an eine Transportinfrastruktur (Pipelines) angebunden sind. Ein spezieller Fall ist dabei sogenanntes ‚*stranded gas*‘, das als Nebenprodukt der Erdölförderung oft vor Ort abgefackelt wird – eine Praxis, die abzuschaffen sich Shell selber verpflichtet hat (HB 1999-09-29; Campbell et al. 2003:64; Gielen & Unander 2005:13; van der Veer 2006; Döhmel, Shell, 2007-03-27). Grundsätzlich bietet sich Shell durch die GtL-Technologie die Möglichkeit, auf neue E&P-Reserven zuzugreifen und damit auch den Erwartungen des Finanzmarktes zu entsprechen (*Legitimationseffekt*).⁶⁵ Zugleich kann Shell im GtL-Upstreambereich mit der Exploration und Produktion von Erdgas auf ihre bewährten Technologien und Kompetenzen wie auch auf ihre Signifikationsstrukturen zurückgreifen. Damit werden die dortigen positiven Rückkopplungsanreize wie die üblichen *Skaleneffekte* sowie Shells unternehmensinterne *Spezialisierungseffekte* und *Benchmarkeffekte* erfüllt. GtL stellt jedoch aufgrund seines fossilen Ursprungs keine Antwort dar auf die *Dele-*

⁶⁵ Dazu ist anzumerken, dass diese Erdgasvorkommen auch über Verflüssigung per Kühlung auf -162°C (‚Liquified Natural Gas‘, LNG) und den anschließenden Transport per LNG-Tanker erschlossen werden. In dem Fall wird das Erdgas im Bestimmungsland aber wieder in seinen Gaszustand umgewandelt. In diesem Bereich ist Shell in unterschiedlicher Form an Projekten beteiligt, die rund 40 Prozent der LNG-Produktion abdecken (vgl. Shell 2007a:7).

gitimierungseffekte, die aus der Kritik an der Importabhängigkeit, der Ölpreisentwicklung und dem Klimawandel resultieren. Stattdessen werden die Delegitimierungseffekte über den Verweis auf die CCS-Technologie kompensiert (vgl. van der Veer 2005b:1; Sweeney 2007:2). Hinzu kommt, dass GtL auch den durch die OPEC verursachten *Gegenmachtseffekten* ausgesetzt ist, da die Erdgasvorkommen global ungleich verteilt sind und die größten Vorkommen in den GUS-Staaten und im Mittleren Osten liegen (vgl. Rempel et al. 2006:17f).

Auf der Raffinerieebene (vgl. 4.3) bedeutet die Entwicklung von GtL-Anlagen auf der einen Seite eine Entlastung, da GtL den durch die Dieselisierung und die Kraftstoffanforderungen verursachten Investitionsdruck auf die Raffinerien in Richtung von Hydrocrackern und Entschwefelungsanlagen mildert: Erstens erleichtert die Beimischung von GtL als praktisch schwefelfreie Dieselmotorkraftstoffkomponente das Einhalten der Schwefelobergrenzen (≤ 10 ppm) und der notwendigen Cetanzahlen. Zweitens entlastet GtL über die Befriedigung der steigenden Nachfrage nach Dieselmotorkraftstoff die auf Ottomotorkraftstoffe ausgerichtete Raffinerieproduktion. Auf der anderen Seite gefährdet die GtL-Produktion dadurch auch die Rentabilität eines Um- und Ausbaus der Raffineriekapazitäten:

„Refiners in Europe appear to be wary of investing against [...] the threat from additional gas-to-liquids (GTL) projects. [...] GTL has the potential to supply large quantities of sulphur-free, high cetane distillate to European markets, in competition with refinery expansion plans which are focused on additional hydrocracking capacity“ (IEA 2006a:53).

Somit erscheint sich eine mittelfristige Investitionskonkurrenz zwischen den Raffinerien und GtL-Anlagen zu ergeben:

„Ja, da [zur Herstellung eines HCCI-tauglichen Kraftstoffs in der Raffinerie; JCS] müssen wir aber in der Raffinerie einiges umbauen und da ist wie gesagt die Frage: Gehen Sie den Weg? Denn um Ihnen mal eine Zahl zu geben: Der Mineralölwirtschaftsverband rechnet damit, dass der Kraftstoffabsatz in Deutschland – und da können Sie auch Nordwesteuropa nehmen – in den nächsten 15 Jahren um 25 Prozent abnehmen wird. Wenn das der Fall ist, was bedeutet das für Investitionen in Raffinerien oder ganz andere Wege? Der Shell-Weg ist da so ein bisschen vorgezeichnet, denn sonst würden wir Pearl nicht bauen. Da sehen wir den Weg hin zu reinen synthetischen Kraftstoffen“ (Döhmel, Shell, 2007-03-37).

Die GtL-Entwicklung entspricht somit auf der Raffinerieebene einer Reaktion auf den durch die Dieselisierung der Pkw-Flotte verursachten *negativen Nachfrageeffekt*. Außerdem fügt sich GtL aufgrund seiner Produkteigenschaften in den regulativ verstärkten technologischen *Komplementaritätseffekt* zwischen Kraftstoff und Motor ein und erfüllt die damit zusammenhängenden Erwartungen der OEMs wie auch der staatlichen Akteure (*Legitimitätseffekte*). Gleichzeitig folgt Shell mit der GtL-Entwicklung auch hier auf der Raffinerieebene den üblichen *Skaleneffekten* und den eigenen Erwartungen an eine Kraftstoffproduktion (*Benchmarkteffekt*). Außerdem kommen ihre Projektmanagementkompetenzen wie auch ihre spezifische Technologiekompetenz zum Zuge (*Spezialisierungseffekt*). Hinsichtlich der Handlungsanreize der Raffinerieebene ist aber auch anzumerken, dass sich die GtL-Entwicklung durch die Konkurrenz um Investitionen negativ auf die

Weiterentwicklung der Raffinerien auswirkt. Entsprechend negativ verhält sich GtL zu den *Skaleneffekten* der Raffinerie und ihren *Synergieeffekten* der Kuppelproduktion, die weitere Investitionen erfordern, und damit letztlich auch zu den *sunk costs-Effekten* des Raffineriebereichs. Infolge der *Marktsättigungseffekte* in Europa und der globalen Angebotsentwicklung kann dies jedoch – wie das eben angeführte Zitat des Shell-Mitarbeiters nahe legt – auch als generelle Zurückhaltung gegenüber hiesigen Neuinvestitionen interpretiert werden (vgl. Döhmel, Shell, 2007-03-27):

„Einige Gesellschaften, wie z.B. BP, beurteilen das Raffineriegeschäft langfristig pessimistisch. Das hängt damit zusammen, dass im Nahen Osten und in Asien zusätzliche Raffineriekapazitäten gebaut werden. Man fürchtet, dass es wie in den 80er und 90er Jahren wieder zu weltweiten Überkapazitäten kommen wird“ (Elfert, EID, 2007-05-07).

Auf der Distributionsebene (vgl. 4.4) fügt sich GtL insofern positiv ein, als es Shell eine gute Möglichkeit zur Differenzierung von den Produkten der Wettbewerber bietet – etwas, was bei dem einfachen Bedarfsgut ‚Kraftstoff‘ schwierig ist:

„(L)et me look at our strategy of offering differentiated fuels with better qualities – power, cleanliness and economy – for which our customers are prepared to pay more. This rejects the common assumption that fuels are inevitably commodities. We produce these fuels in three ways:

- bespoke refining, which requires a highly efficient supply chain to deliver base fuel from our own refineries rather than relying on swaps with other refiners,
- proprietary additives, and
- by including synthetic components made from gas“ (van der Veer 2005a:4).

Damit liefert GtL in der von Shell gewählten Vermarktungsstrategie eine Antwort auf die *Marktsättigungseffekte* im deutschen Tankstellenmarkt – eine Antwort auf die *Delegitimierungseffekte* infolge der Kritik an zu hohen Kraftstoffpreisen ist dies allerdings nicht. Wichtig ist ferner, dass über die fünfprozentige Beimischung GtLs in V-Power Diesel die *direkten Netzwerk-* bzw. *Koordinationseffekte* genutzt werden. Dabei kommt es infolge der Verwendung als konventioneller Dieselmotorkraftstoff – also der bei der Raffinerieebene schon erwähnten Sicherstellung der technologischen *Komplementaritätseffekte* zwischen Kraftstoff und Automobil – trotz des Aufbaus einer eigenen Angebotsinfrastruktur für V-Power Diesel nicht zu einem Henne-Ei-Problem. Außerdem nutzt Shell zu Test- und Marketingzwecken die Kooperation mit den OEMs Volkswagen und Daimler sowie den Motorsport (vgl. Shell 2003b, 2006b; Spiegel Online 2004-06-04; VW 2007d).

Auf der Ebene des Automobilbereichs (vgl. 4.5) fügt sich GtL nicht nur in die soeben auf den vorhergehenden Ebenen angesprochenen Handlungsanreize ein, sondern beantwortet dank der Rückwärtskompatibilität mit der bestehenden Pkw-Flotte auch die aus ihrer Größe und nur langsamen Verjüngung resultierenden *Verzögerungseffekte* positiv.

6.2.4 GtL und die Explorationsanreize: Strukturierung statt Reaktion

In Bezug auf die Explorationsanreize ergibt sich bei GtL weniger ein Bild der Reaktion denn das einer aktiven Gestaltung: Dies gilt insbesondere für den Umgang mit den regulativen Explorationsstrukturen (vgl. 5.1), die aufgrund ihrer Fokussierung auf Wasserstoff, Erdgas und vor allem Biokraftstoffe die GtL-Alternative nicht umfassen (vgl. Bundesregierung 2004:176). Vor diesem Hintergrund ist Shells im Rahmen der ASFE gemeinsam mit Volkswagen und Daimler vorgetragene Forderung nach einer Berücksichtigung GtLs in den EU-Mengenzielen zu verstehen (ASFE 2006:7). Dies würde GtL aufwerten und in den Genuss der – nicht zwingenden – *regulativen push-Effekte* kommen lassen. Eine zweite regulative Struktur, die von Shell aktiv angegangen wird, ist die Normung, die ja die technologische Interdependenz von Kraftstoff und Motor/Abgasnachbehandlung und damit deren *Komplementaritätseffekte* sicher stellt.

Hinsichtlich der Antriebsentwicklungen (vgl. 5.2) im Automobilbereich ergibt sich insofern ein anderes Bild, als dass Shell den Explorationsanreizen entspricht. So folgt die GtL-Entwicklung den durch die potenzielle Entwicklung des HCCI-Motors hervorgerufenen *Zukunftssicherungs-* und *demand-pull-Effekten*. Durch die enge Kooperation mit Volkswagen und Daimler bei der Erprobung und Entwicklung von GtL kann Shell zudem die Entwicklung des HCCI-Motors nicht nur beobachten, sondern auch teilnehmend gestalten. Dabei bindet Shell die als Ko-Evolution dargestellte Entwicklung von GtL und HCCI in die Dekarbonisierungsperspektive ihrer Kraftstoffstrategie ein (vgl. Döhmel 2006b:8):

„Volkswagen and Shell announced a joint programme for the development of new engine and fuel technologies in Brussels today (4th November). [...] The joint programme will build on Volkswagen's optimised drive systems and Shell's GTL fuel technology to further reduce consumption and emissions. Shell and Volkswagen believe that synthetic, liquid fuels form the ideal transition from hydrocarbon to hydrogen. GTL, a synthetic fuel derived from natural gas, offers diversity of energy supply and provides a bridge to future transportation fuels and technologies“ (Shell 2003a; Hervorhebung im Original).

Den in der Entwicklung, Produktion und Distribution alternativer Kraftstoffe angelegten *Zukunftssicherungseffekten* (vgl. 5.3), die aus der Konkurrenz der internationalen Mineralölkonzerne um GtL-Verfahren resultieren, entspricht Shell mit der Entwicklung ihres eigenen GtL-Verfahrens. Dabei beschränkt sich Shell mit der Entwicklung eines laufenden, skalierbaren Produktionsprozesses aber nicht auf das in diesem Bereich übliche ‚Schrauben-Patentieren‘ (vgl. Schult-Bornemann, ExxonMobil, 2007-05-07), sondern nimmt auch hier eine aktivere, die Entwicklung vorantreibende Haltung ein. Außerdem lässt sich GtL auch als Antwort auf den Alternativkraftstoff Erdgas (‚Compressed Natural Gas‘, CNG) verstehen, der als politisches unterstütztes Benzinsubstitut die negativen Nachfrageeffekte der Dieselisierung verstärkt, von der Gaswirtschaft in den Markt getragen wird und zudem eine eigene Infrastruktur erfordert. In diesem Vergleich macht Diesel für Shell – die sich als einzige der vier großen Mineralölgesellschaften in Deutschland erst im Jahr 2007 an der erdgas mobil Initiative beteiligte – mehr Sinn, auch im Vergleich

der Umwelt- und Klimafreundlichkeit (vgl. Trittin 2003; erdgas mobil Mitarbeiter, 2007-07-13):⁶⁶

„[Die Well-to-Wheel CO₂-Bilanz von; JCS] CNG [...] gegenüber Benzin rechnet sich – aber sie können CNG nicht im Dieselmotor verbrennen. Deshalb ist [...] unsere Agenda eine etwas andere, [...] denn GtL kann man dem Diesel beimischen und da kriegen Sie erstmal schon 20 Prozent Wirkungsgradunterschied aufgrund der thermischen Prozesse, WTW [Well-to-Wheel; JCS]“ (Döhmel, Shell, 2007-03-27).

Hinsichtlich der im Aufbau befindlichen eigenen Produktionskapazitäten nimmt Shell deren absehbaren *Angebots-push-Effekt* durch die Integration von GtL als Premiumkomponente in das bestehende Kraftstoffsystem vorweg.

6.2.5 Shells GtL-Explorationsstrategie: Auf dem Weg zum ‚green fossil fuel‘

Im Vergleich zwischen den positiven Rückkopplungs- und Veränderungsanreizen des Kraftstoffpfades einerseits und den Explorationsanreizen andererseits fällt auf, dass Shells GtL-Entwicklung in großem Umfang auf die Handlungsanreize des Kraftstoffpfades reagiert, während die Explorationsanreize im Zuge der Entwicklung mitgestaltet werden. Die Reaktion auf die Exploitationsanreize erfolgt dabei durch die Integration von Erdgas in den Kraftstoffpfad. Dadurch, dass GtL zudem als Premiumkomponente in den Markt gebracht wird, entspricht diese Entwicklung Shells Strategie des ‚*More Upstream, Profitable Downstream*‘. Einziges mittelfristiges Problem ist dabei wie bereits erwähnt die Gefährdung der positiven Rückkopplungsanreize der europäischen Raffinerien. Auf der Seite der Explorationsanreize erscheint das GtL-Engagement insbesondere durch den Alternativenwettbewerb und die OEM-Technologieentwicklung induziert zu sein, während die Explorationsanreize der deutschen und der europäischen Regulierung der GtL-Alternative keine Vorteile verschaffen. Daher überrascht Shells ASFE- und CEN-gestütztes Engagement für einen positiven regulativen Rahmen nicht. Die nicht zu den Explorationsanreize passende Verwendung eines fossilen Feedstocks versucht Shell über den wiederholten Hinweis auf die Entwicklung der ‚*Carbon Capture and Sequestration*‘-Technologie (CCS) auszugleichen:

„So my vision is for ‘green fossil fuels’ with much of their carbon dioxide captured and sequestered underground or in inert materials. In the medium term, this could be cheaper, more convenient and more flexible than alternative energies“ (van der Veer 2006:1).

Zusammengenommen ist Shell somit durch ihre Organisation der GtL-Exploration in der Lage, nicht nur auf die Handlungsanreize zu reagieren, sondern diese auch gezielt zu gestalten. Wichtige Momente sind dabei:

⁶⁶ Es sei angemerkt, dass der Vertrieb von CNG für Shell Sinn macht, sofern die Infrastruktur vorhanden ist und der Kraftstoff staatlich gefördert wird: „Despite the limitations of CNG, Shell is continuing to invest selectively in CNG where the infrastructure is in place and where the country promotes or demands the fuel. [...] We currently sell CNG in Argentina, Brazil, Egypt, Germany and Pakistan“ (Shell 2007d:8).

1. Die *Entscheidung* zur Exploration, die sowohl die regulative Verstärkung der technologischen Komplementaritätseffekte als auch die ökonomische Attraktivität bei gleichzeitig zunehmender Ressourcenknappheit des E&P-Bereichs (Opportunitätskosteneffekte) berücksichtigt.
2. Die *Wahl*, eine Technologie zu explorieren, die auf der Raffinerieebene in dem Sinne als kompetenzerweiternd betrachtet werden kann, als dass die Innovation GtL auf dieser Ebene verankert ist und auf Shells Kompetenzen in diesem Bereich aufbaut (vgl. Tushman & Anderson 1986). Dadurch befolgt die GtL-Alternative die unternehmensinternen strukturellen Handlungsanreize aus den eigenen Kompetenzen (Spezialisierungseffekte) und den Signifikationsstrukturen (Benchmarkeffekte).
3. Die *Integration* der Wertschöpfungskette von GtL in die Wertschöpfungskette des fossilen Kraftstoffpfades, insbesondere im Distributionsbereich, ermöglicht die Nutzung der technologischen Komplementaritätseffekte und der direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte des Kraftstoffpfades und entspricht den in den Erwartungen des Finanzmarktes angelegten Legitimitätseffekten.
4. Das *Marketing* GtLs als Premiumkomponente in einem Premiumkraftstoff zielt sowohl auf die Marktsättigungseffekte, da GtL eine Differenzierung von den Wettbewerbern ermöglicht, als auf die (Über)Kompensation der höheren Produktionskosten (vgl. Waltl 2005). Durch die Beimischung werden zudem die direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte der bestehenden Infrastruktur genutzt.
5. Die *Platzierung* GtLs im deutschen Markt, die dem hiesigen Markttrend zum Diesel (negativer Nachfrageeffekt) sowie den steigenden regulativen Anforderungen an die Kraftstoffqualität (regulative Verschärfung der technologischen Komplementaritätseffekte) entspricht.
6. Die *Kooperation* mit Volkswagen und Daimler bei der Entwicklung des GtL-Kraftstoffes reagiert auf die HCCI-Entwicklung im Antriebsbereich (Zukunftssicherungseffekte) und dient zugleich der Sicherung der technologischen Komplementaritätseffekte zwischen GtL und den Diesel- und HCCI-Motoren.
7. Die *Normung* GtLs, die pro-aktiv auf die Sicherung der technologischen Komplementaritätseffekte zielt und die Beimischungsstrategie absichert.
8. Das *Lobbying* gemeinsam mit Volkswagen et al. zugunsten einer regulativen Besserstellung GtLs.
9. Die *Legitimierung* GtLs über die Vorteile hinsichtlich der Luftqualität sowie durch die mögliche Verbindung mit der – nicht etablierten – *Carbon Capture and Sequestration*-Technologie (CCS).

Die Ausgestaltung der GtL-Exploration zeichnet sich somit durch die Integration in das gegenwärtige technologische System ‚fossile Kraftstoffe‘ aus, zu der eine Darstellung GtLs als Zukunftskraftstoff und seine (Teil-)Legitimierung über eine nicht etablierte *end-of-pipe*-Technologie – also CCS – hinzukommt. Während GtL vielleicht eine Lösung für

die angebots- und nachfrageseitigen Probleme des fossilen Kraftstoffpfades darstellt, trifft dies für dessen Manko der Fossilität, der Importabhängigkeit und der Ölpreisentwicklung⁶⁷ nicht zu. Mit anderen Worten: GtL stellt keine Lösung für den *Lock-in* der Importländer auf den fossilen Kraftstoffpfad dar. Shells Strategie bei der Exploration von GtL läuft damit auf eine Modifikation und Extension des fossilen Kraftstoffpfades um Erdgas als neuen, in Shells Tätigkeitsbereich liegenden Feedstock hinaus. Ob dies auch für den in Deutschland aus Biomasse herstellbaren Schwesterkraftstoff von GtL, *Biomass-to-Liquids* gilt, ist Inhalt des nächsten Abschnitts.

6.3 Shells Exploration der Alternative Biomass-to-Liquids

Auch die Analyse von Shells Exploration der *Biomass-to-Liquids*-Alternative (BtL) gliedert sich in die Vorstellung der Technologie (6.3.1), der Gestaltung der Wertschöpfungskette (6.3.2), der Relation zum Kraftstoffpfad (6.3.3) sowie der Berücksichtigung und Veränderung der Explorationsanreize (6.3.4). Shells Organisation der BtL-Exploration und die dabei verfolgte Strategie werden im Fazit (6.3.5) diskutiert.

6.3.1 Die Biomass-to-Liquids-Alternative

Der synthetische Dieselkraftstoff *Biomass-to-Liquids* (BtL) wird ebenso wie GtL und CtL über die Fischer-Tropsch-Synthese gewonnen. Die Unterschiede zu den anderen beiden synthetischen Dieselkraftstoffen bestehen im Wesentlichen in der Verwendung von Biomasse als erneuerbarem *Feedstock* sowie eines anderen Gasifizierungsverfahrens zur Gewinnung des Synthesegases. Die anschließende Katalyse, Raffination sowie das Endprodukt BtL-Diesel sind dagegen identisch mit den anderen beiden Varianten, so dass BtL-Diesel in seinen Produkteigenschaften dem oben beschriebenen GtL entspricht – inklusive der zu geringen Dichte (vgl. 6.2.1). Allerdings unterscheidet sich BtL deutlich von GtL und CtL durch seine um bis zu 90 Prozent konventionellem Diesel überlegene CO₂-Bilanz wie auch durch seine höheren Kosten (vgl. Abbildung 15). Trotz der gemeinsamen Wurzeln ist BtL nicht in demselben Maße technologisch ausgereift wie GtL und CtL, da die Forschung an BtL-Anlagen erst nach 1990 einsetzte und vor allem die Frage der Umwandlung der Biomasse in Synthesegas noch nicht gelöst ist (ASFE 2006:4f; Ramesohl et al. 2006:31f; Evans 2007:62ff):

„(D)as muss man immer wieder zum Punkt machen: Die fehlende Technologie in dieser ganzen Kette ist eigentlich nur die Umwandlung der Biomasse in irgendeiner Form in Richtung Synthesegas“ (Anlagenbauer 2 Mitarbeiter, 2006-11-08).

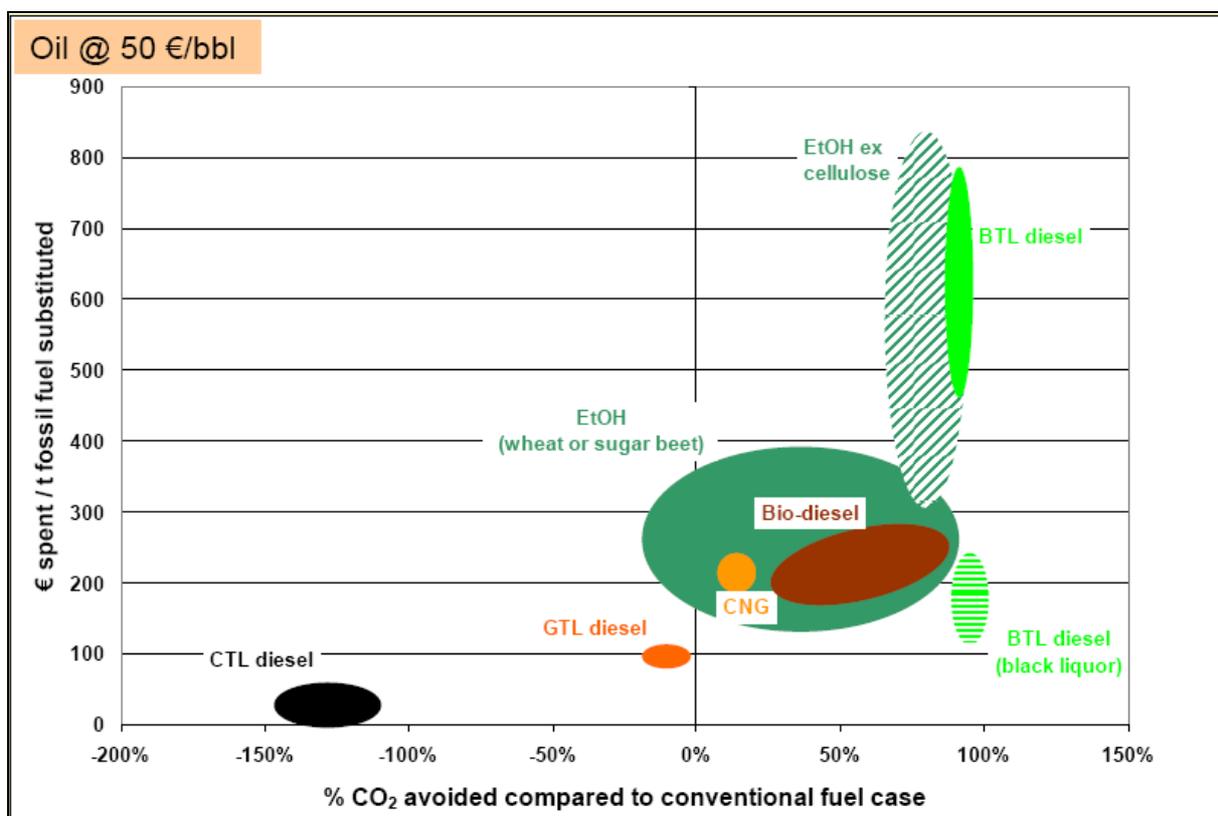
In Deutschland erfolgte die Entwicklung insbesondere im ‚BtL-Cluster‘ Freiberg durch ehemalige Mitarbeiter des Deutschen Brennstoffinstituts, die ihr Know-how der Gasifizie-

⁶⁷ Dies gilt insbesondere auch aufgrund der Koppelung des Gaspreises an den Ölpreis.

rung von Kohle auf Biomasse übertragen.⁶⁸ Der Wettbewerb um Synthesetechnologien zur Biokraftstoffherstellung ist somit durch die Aktivitäten in Deutschland, aber auch durch weitere Aktivitäten in Skandinavien und den USA gegeben (Blades 2005:1; Blades, CHOREN, 2007-01-22; Evans 2007:72ff). Derzeit laufen die Versuche, größere BtL-Anlagen zu entwickeln, die die Umsetzbarkeit von BtL in einem industriellen Maßstab demonstrieren:

„Wir müssen zeigen, dass man die Anlage nach oben skalieren kann und dass diese Skalierungseffekte auch wirtschaftliche Vorteile haben. Denn nur durch die Größe und mehr Erfahrung wird die Technologie wirtschaftlich genug, um [...] konkurrieren zu können“ (Blades, CHOREN, 2007-01-22).

Abbildung 15: Kosten der und Potenzial zur CO₂-Vermeidung



Quelle: Larivé 2007:29.

Am weitesten in der Realisierung industrieller BtL-Anlagen ist derzeit die CHOREN Industries GmbH, die im April 2008 eine 100 Millionen Euro teure Anlage mit einer Kapazität von 15.000 Tonnen pro Jahr einweihte. Diese sogenannte ‚Beta-Anlage‘ dient als Zwischenschritt vom Labor („Alpha-Anlage“) zur großindustriellen Produktion („Sigma-Anlage“) mit einer Kapazität von 200.000 Tonnen BtL pro Jahr. Die Investitionsentscheidung für die bis zu 800 Millionen Euro teure Sigma-Anlage will CHOREN 2009 treffen, vier weitere äquivalente Anlagen sollen folgen. Ebenfalls in 2009 soll eine weitere Anlage, die

⁶⁸ Dies waren der CHOREN-Gründer Bodo Wolf, Professor Dinjus, heute Forschungszentrum Karlsruhe, Professor Müller von der Bergakademie Freiberg sowie die Gründer von Future Energy.

auf den Weg der Methanolsynthese⁶⁹ setzt, durch den Anlagenbauer Lurgi für die Volkswagen Kraftwerk GmbH gebaut werden (dena 2006:4; Blades, CHOREN, 2007-01-22; Evans 2007:72; Neue Energie 2008-01:23, 05/2008-05:25; WiWo 2008-03-10).

Die Fokussierung auf Start-ups, Forschungseinrichtungen und Technologieunternehmen als Entwickler von BtL deutet bereits an, dass Shell diese Technologie nicht *Inhouse* verfolgt – obwohl Shell ebenfalls über Know-how und Patente im Bereich der Gasifizierung von Kohle verfügt und in seinem niederländischen Kohlekraftwerk Buggenum an der Gasifizierung von Biomasse arbeitet. Stattdessen erfolgte der Einstieg in die BtL-Entwicklung erst 2005 mit der Akquirierung einer Minderheitsbeteiligung von unter 25 Prozent an CHOREN. Motivation für CHOREN, mit Shell wie auch BP zu verhandeln, waren die Notwendigkeit, ein Distributionsnetzwerk für BtL zu finden, sowie die Fischer-Tropsch-Patente und das entsprechende Know-how von Shell und BP. Dabei entschied sich CHOREN für Shell aufgrund ihres größeren GtL-Know-hows. Seit 2007 beteiligen sich ebenfalls Volkswagen und Daimler mit je einer Minderheitsbeteiligung unternehmerisch an CHOREN (Blades 2005:3; Shell 2006c:4; Blades, CHOREN, 2007-01-22; Döhmel, Shell, 2007-03-27; Automobilhersteller 1 Mitarbeiter 2, 2007-04-24; Evans 2007:72).

Als Motive für Shells BtL-Engagement können die Fürsprache ihres Kooperationspartners Volkswagen, die Affinität zur GtL-Technologie und der Entwicklungsstand von CHORENs BtL-Verfahren angenommen werden – sowie und vor allem der regulative Druck in Richtung Biokraftstoffe und der Erfolg der ersten Generation (vgl. Blades, CHOREN, 2007-01-22; Döhmel, Shell, 2007-03-27; Automobilhersteller 1 Mitarbeiter 2, 2007-04-24; Larivé, CONCAWE, 2007-07-25):

„Royal Dutch Shell plc arbeitet an der Erfüllung staatlicher Vorgaben für Biokraftstoff und ist mit ihrer Erfahrung, ihrem Know-how und ihren Anlagen zum größten Biokraftstoff-Lieferanten der Welt geworden. Das Unternehmen arbeitet mit Herstellern von Biokraftstoffen zusammen, um eine kosteneffektive Versorgung sicherzustellen und sich für Gewährleistungen im Sozial- und Umweltbereich einzusetzen. Die Verwendung von Energiepflanzen, die mit dem Nahrungsmittelanbau konkurrieren, stellt eine Einschränkung des Potenzials für konventionelle Biokraftstoffe dar. Shell ist führend in der Entwicklung von Biokraftstoffen der nächsten Generation, die nicht zur Lebensmittelproduktion geeignete Biomaterialien, alternative Verfahren und Hochleistungsbrennstoffe verwenden“ (Shell 2008a).

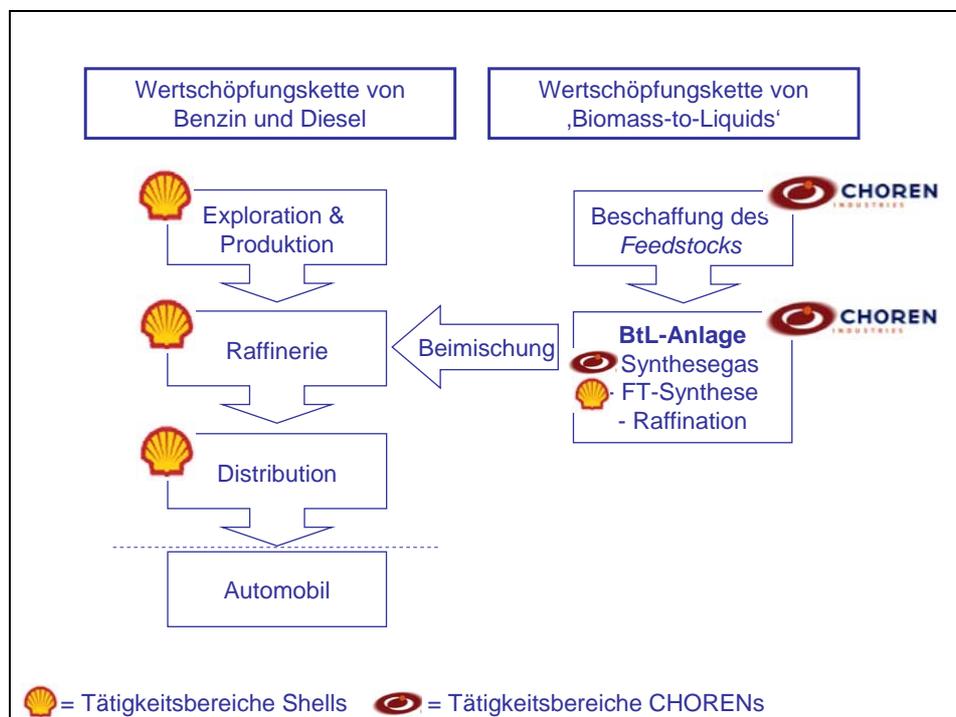
6.3.2 Shells Gestaltung der BtL-Wertschöpfungskette

Die Organisation der Wertschöpfungskette von BtL, wie sie sich anhand der Kooperation mit CHOREN andeutet, ähnelt auf den ersten Blick der von GtL. Sie ist aber im Gegensatz zu dieser durch eine klare Zweiteilung gekennzeichnet, die sich aus der Partnerschaft mit CHOREN und aus der Verwendung des *Feedstocks* Biomasse ergibt (vgl. Abbildung 16). Gemäß dem Partnerschaftsabkommen zwischen den beiden Unternehmen besteht Shells

⁶⁹ Bei der Methanolsynthese erfolgt die Umwandlung des Synthesegas in den synthetischen Kraftstoff über Methanol als Zwischenschritt. Es wird also ein anderes Syntheseverfahren benutzt als beim Fischer-Tropsch-Verfahren (vgl. Gea Group 2005:2).

Beitrag zur Entwicklung von BtL in (a) ihrem auch in Bintulu zur Anwendung kommenden patentierten Fischer-Tropsch-Katalysator und ihrem Engineering-Know-how, (b) der Besteuerung von Kapital und der Beteiligung als Gesellschafter sowie (c) in der Abnahme des Produkts (*Offtake-Agreement*) (Blades, CHOREN, 2007-01-22). Shell konzentriert sich also auf die eigenen Kompetenzbereiche des FT-Katalysators und der Distribution und nimmt bei der BtL-Entwicklung eine weniger zentrale Rolle ein als bei GtL. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass alle Innovationen erfordernden Bereiche von CHOREN übernommen werden, also die Beschaffung der geeigneten Biomasse, das Gasifizierungsverfahren sowie die Abstimmung der einzelnen Verfahrensschritte in der BtL-Anlage wie auch deren Planung, Finanzierung und Betrieb.

Abbildung 16: Die Wertschöpfungskette von BtL



Quelle: Eigene Darstellung; vgl. Blades 2005:3, Müller-Langer et al. 2006:170.

Dabei ist der ‚Upstreambereich‘ bzw. die Beschaffung der Biomasse die zentrale Frage:

„Die Biomasse ist natürlich kriegsentscheidend. Wir brauchen pro Sigma-Anlage 1 Million Tonnen Biomasse. Das ist zwar viel, aber in Analogie zur Zuckerindustrie möglich. [...] Die für uns beste Biomasse ist dicht und damit leicht transportierbar, sie enthält unter sieben Prozent Asche und muss im richtigen Kosten-Nutzen-Verhältnis aufzubringen sein. Danach wählen wir unsere Standorte aus“ (Blades, CHOREN, 2007-01-22).

Als Feedstock für die ersten BtL-Anlagen wird dabei eine Mischung von Holz aus Kurzumtriebsplantagen, Holzabfällen und Stroh erwogen, wodurch eine Konkurrenz mit Holzheizkraftwerken entstünde (Blades, CHOREN, 2007-01-22; Neue Energie 2008-01:23). Die Biomasseverfügbarkeit ist auch insbesondere deshalb eine Kernfrage, da sie die Größe der BtL-Anlagen begrenzt, die zugleich aufgrund ihrer hohen Investitionskosten eine höhere Kapazität erfordern (vgl. Lücke 2005:54):

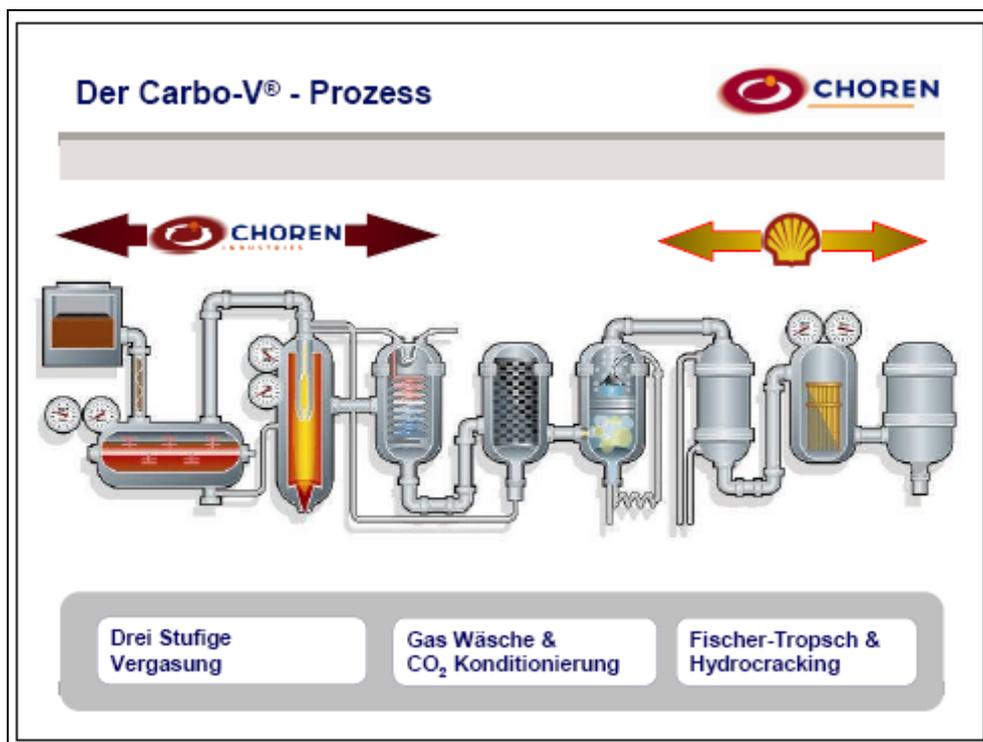
„(T)he BtL route is a very energy- and capital-intensive route. So, that only really works at scale. And therein lies the problem. At scale means producing something like a million tons of BtL diesel a year. That requires a feedstock of five-million tons of biomass and the issues around the collection of that biomass are not totally understood“ (Primrose, BP, 2006-08-23).

Vor diesem Hintergrund sieht CHOREN ihre Zukunft nicht nur in der Lizenzierung der Prozesstechnologie, sondern auch in den Dienstleistungen ‚Anlagenbetrieb‘ und ‚Biomasselogistik‘:

„Wenn die Sigma-Anlage erst einmal läuft, dann liegt die Herausforderung im Betrieb der Anlage, in der Biomasse-Logistikkette und im Absatz des Produktes, wobei letzteres wohl einfach sein wird. Die anderen beiden Komponenten sind die, wo wir uns einbringen. Wir würden die Anlagen betreiben und dafür sorgen, dass da genügend Biomasse ist und dass das Produkt auch einen Markt hat“ (Blades, CHOREN, 2007-01-22).

Hinsichtlich der BtL-Anlage bringt Shell wie bereits erwähnt ihren Fischer-Tropsch-Katalysator und das dazugehörige Know-how ein, der das in CHORENs patentiertem Carbo-V-Vergaser erzeugte Synthesegas in BtL umwandelt, wobei auch ein Hydrocrackschritt gegangen wird. Damit wird die von CHOREN später betriebene BtL-Anlage zur Schnittstelle zwischen den Technologien und Kompetenzen der beiden Unternehmen (vgl. Abbildung 17):

Abbildung 17: CHORENs und Shells Beiträge zur BtL-Anlage



Quelle: Blades 2006:5

Als Standort für die Sigmaanlage ist die Raffinerie Schwedt – an der Shell beteiligt ist – im Gespräch, da eine solche Standortintegration die Investitionen um bis zu 25 Prozent senken könnte und eine steilere Lernkurve inklusive einer Prozessoptimierung und höherer Anlagenverfügbarkeit ermöglichen würde. Hinzu kommen möglicherweise Synergien bei der Nutzung einer Wasserstoffanlage und eines Hydrocrackers (vgl. dena 2006:12;

Neue Energie 2008-01:23). Zur Finanzierung dieses bis zu 800 Millionen Euro teuren Kernstücks der BtL-Entwicklung möchte CHOREN unter anderem eine Bund-Länder-Bürgschaft sowie die entsprechenden Fördermittel für Investitionen in den neuen Bundesländern erhalten. Außerdem denkt CHOREN über ein Fondsmodell zur Finanzierung nach (Blades, CHOREN, 2007-01-22; Homann, IG Mittelstand, 2007-01-31; Neue Energie 2008-01:23).

Infolge des Offtake-Agreements fällt Shell ab der BtL-Anlage die untere Hälfte der Wertschöpfungskette, also die Distribution, zu. Dies war wie bereits erwähnt ein wichtiges Motiv für den Marktneuling CHOREN. Da BtL dieselben Kraftstoffeigenschaften aufweist wie GtL – aromaten- und schwefelfrei, hoher Cetangehalt – liegt für Shell eine ähnliche Vermarktungsstrategie nahe, also eine Beimischung als Premiumkomponente in einem Premiumkraftstoff. Dabei könnte Shell zudem noch auf die ökologischen Vorteile von BtL setzen:

„[Derartige Produkte; JCS] müssen wir natürlich entsprechend im Markt positionieren, genauso wie jetzt den V-Power Diesel“ (Döhmel, Shell, 2007-03-27).

Weitere, die Wirtschaftlichkeit der Sigmaanlage beeinflussende Faktoren sind die Steuerbefreiung BtLs bis 2015 sowie die Frage einer CO₂-bezogenen Energiesteuer (s.u.).

Hinsichtlich des Automobilbereichs gilt wie für GtL, dass BtL ohne fahrzeugseitige Anpassungen deutliche Emissionsvorteile für gegenwärtige Diesel-Pkw ermöglicht, rückwärtskompatibel mit der bestehenden Pkw-Flotte ist und als Grundlage für die HCCI-Entwicklung dienen könnte. Außerdem spricht ihre hohe CO₂-Effizienz aus Sicht der OEMs für die Attraktivität der BtL-Alternative, da sie dadurch weiterhin den Einsatz von Bio-kraftstoffen zur Minderung der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen (und ihrer eigenen Effizienzanstrengungen) verlangen und zugleich auf größere fahrzeugseitige Anpassungen verzichten können. Auch wird damit ein Paradigmenwechsel hin zur Brennstoffzelle weniger dringlich (vgl. VW 2004:9, 2007a:7):

„I think there has been a change versus hydrogen in the last three or four years. If you go back to the start of this decade there was a very great degree of interest in hydrogen and hydrogen fuel cell vehicles. Initial expectations were that the commercialisation of hydrogen fuel cell vehicles would start somewhere in the range of 2010, 2015. So that is the view of some stakeholders five years ago. As we have gone on, that has been pushed further and further out. I think the consensus is that we will not see a commercialisation of hydrogen fuel cell vehicles very much before 2030. I wouldn't be surprised if that gets pushed out even further. [...] People began to realize that certainly with advanced bio-fuels in the category lingo-cellulose ethanol, bio-alcohols or indeed SunFuels® and the thermo-chemical route, you can get well-to-wheel benefits in terms of greenhouse gas emissions that are comparable to renewable hydrogen or carbon-neutral hydrogen. The advantage being with both advanced bio-fuels is that you can use them with existing vehicles, using existing supply infrastructure. So you do not need this paradigm shift in terms of the introduction of the vehicles and a new supply infrastructure. The other important factor to recognise is that you can use these advanced bio-fuels in conjunction with developments in the internal combustion engines hybridization, so you can use the two together. And there has been an appreciation of the fact that you can get a very long way down the road in terms of tackling greenhouse gas emissions with the combination of both sorts of technologies before you go to hydrogen fuel cell vehicles using zero-carbon or low-carbon hy-

drogen. And then the biggest question is, well, if you get 80 percent of the way there for 20 percent of the effort, what is the driver that moves you cost the paradigm shift? The concept of the hydrogen-economy or a hydrogen fuel cell vehicle is not dead, however it remains a longer term aspiration" (Primrose, BP, 2006-08-23).

Auch die BtL-Entwicklung ist durch eine Kooperation mit Volkswagen und Daimler abgesichert, wobei diese allerdings schon vor dem Einstieg von Shell zwischen CHOREN und den OEMs bestand. So hatte DaimlerChrysler bereits im Jahre 2000 das Angebot gemacht, ein Projekt zur Herstellung von Methanol aus Synthesegas für Brennstoffzellen zu unterstützen. Ende 2002 folgte aufgrund der Verschiebung der Brennstoffzellenrealisierung als zweites Projekt die Herstellung von Diesel aus dem Synthesegas nach dem Vorbild von GtL. Diesem Projekt schloss sich VW schnell an (Innovationsreport 2002-04-08, 2002-09-16; Althapp 2003; Handelsblatt 2003-06-18; Rabe 2004:6; Blades, CHOREN, 2007-01-22):

„Herr Vogels [damaliger Chef von MBB und einer der ersten Gesellschafter; JCS] kennt Herrn Schremp und insofern kam der Kontakt dann gleich ‚oben‘ rüber. Herr Vogels kennt auch Herrn Piëch, und Herr Piëch hat dann, als er von dem Engagement von Daimler gehört hat, Herrn Vogels kontaktiert und gesagt ‚Ich will auch mitmachen‘. Heute kennen uns auch Herr Zetsche und Herr Winterkorn und finden das, was wir machen, toll. [...] Wir wären nicht so weit ohne die beiden [Daimler und VW; JCS]. Wir wären tot, ganz einfach. [...] Was sehr viel Eindruck macht, ist, dass VW und Daimler zu ihrer Aussage stehen und am liebsten alle neu produzierten Diesel-Pkws mit SunFuel® betanken würden. Das ist natürlich eine Sache zwischen Daimler, VW und Shell. Wenn das zu Stande käme, wäre das für uns eine tolle Werbung" (Blades, CHOREN, 2007-01-22).

Wie schon bei GtL beschränkt sich die Gestaltung der Wertschöpfungskette nicht auf diese allein, sondern umfasst auch die Beeinflussung der politischen Rahmenbedingungen – wie auch der Erwartungsstrukturen –, was vor allem durch CHOREN und die OEMs erfolgte. Wichtige Ziele in Deutschland waren dabei die Neugestaltung der regulativen Explorationsstrukturen im Jahre 2006. Dazu gehörten die Entwicklung des Energiesteuergesetzes und des Biokraftstoffquotengesetzes, die von der dena (2006) betreute BtL-Realisierungsstudie sowie im Jahre 2007 die Entwicklung der mittelfristigen ‚Roadmap Biokraftstoffe‘ unter der Leitung des BMUs und des BMELVs. Das zentrale Element war die Positionierung von BtL, insbesondere gegenüber Biodiesel, als der bessere Biokraftstoff. Dies erfolgte nicht nur durch den Verweis auf die Produkteigenschaften von BtL und die daraus folgenden Motorenentwicklungspotenziale, sondern auch durch den Hinweis auf das hohe CO₂-Minderungspotenzial von BtL, den theoretisch variierbaren, nicht in die Nahrungsmittelkette eingreifenden *Feedstock* sowie den höheren Ertrag pro Hektar. Dieser Abgrenzung verliehen sie durch die Bezeichnung von BtL als Biokraftstoff der ‚Zweiten Generation‘ Nachdruck (Blades 2005:5; VW 2004:9, 2007a:3; Leohold 2006b:9ff; Daimler 2008:36):

„Strategie Nummer eins der Shell ist nicht in die Lebensmittelkette einzugreifen, weil dies unseres Erachtens aus Sicht sozialer Akzeptanz bedenklich ist. Und mangelnde soziale Akzeptanz hat uns bei Brent Spar mal ganz kalt erwischt. Wir wissen, dass auf der NGO-Seite fertige Kampagnen in den Schubläden sind – zumindest bei zweien – die da sagen: ‚In Deutschland bauen wir

hoch subventioniert Getreide an, machen da Doppelkorn raus, kippen den Doppelkorn ins Benzin, fahren mit 250 km/h über die Autobahn und jede Woche sterben 100.000 Kinder den Hungertod.' [...] Sie können gegen eine solch emotionale Kampagne nicht gewinnen. Insofern haben wir gesagt: Nicht in die Lebensmittelkette. Eine Seite. Die andere Seite ist, dass wir gesagt haben ‚Wenn wir in Regenerative reingehen, dann auch mit der richtigen CO₂-Bilanz‘ (Döhmel, Shell, 2007-03-27).

Damit findet sich hier ein deutliches ‚Framing‘. Dies ist insofern besonders bemerkenswert, als es auf Akteurserwartungen an Biokraftstoffe zielt, die über ein einfaches Bedauern des fossilen Kraftstoffpfades hinausgehen und im Begriff sind, explizite Erwartungen an Biokraftstoffe zu formulieren, zum Beispiel eben hinsichtlich ihrer CO₂-Effizienz, ihrer nachhaltigen Produktion sowie ihrer Neutralität gegenüber der Nahrungsmittelkette. Unterstützt wurden diese Argumente durch die BtL-Realisierungsstudie, die von der Deutschen Energie-Agentur (dena) und Industriepartnern – unter anderem CHOREN, dem VDA und Lurgi – im Jahre 2006 durchgeführt wurde.⁷⁰ Zu diesen Argumenten kamen gute Verbindungen zur Politik infolge der Unterstützung durch die OEMs, wie zum Beispiel das Aufgreifen von BtL als industriepolitische Strategie durch den Bundesumweltminister und ehemaligen niedersächsischen Ministerpräsidenten Sigmar Gabriel nahe legt (Bundestagsfraktion 1 Mitarbeiter 1, 2007-07-11):

„Wir müssen jetzt über die Biokraftstoffen der ersten Generation – die Rapsölmühlen auf einzelnen Bauernhöfen – hinausgehen und eine Strategie zur Umstellung der Mobilität eines Zweiundachtzig-Millionen-Volks auf alternative Kraftstoffe entwickeln. Bisher haben Einzelne mit einer interessanten Technologie eine ökologische Nische genutzt und eine Vorreiterrolle gespielt. Eine insgesamt höhere CO₂-Minderung versprechen die Biokraftstoffe der zweiten Generation, die zudem den Vorteil haben, eine breitere Rohstoffpalette nutzen zu können. Wichtig ist nun, eine Strategie zu entwickeln, wie wir eine automobilen Gesellschaft in der Mitte Europas auf den Einsatz von Biokraftstoffen umstellen. Gefordert ist nun eine industriepolitische Strategie“ (Gabriel 2006:5).

Im Vergleich zum Biodiesel schnitt BtL bei der Neugestaltung der regulativen Strukturen besser ab, ohne dass alle Vorschläge und Forderungen der BtL-Protagonisten erfüllt worden wären. Hinsichtlich des Energiesteuergesetzes wurde BtL wie bereits erwähnt bis 2015 steuerbefreit – was ein sehr enges Zeitfenster zur Amortisierung der noch nicht gebauten Sigma-Anlagen darstellt (vgl. Bundestagsfraktion 1 Mitarbeiter 1, 2007-07-11). Ähnlich verhält es sich mit der im Biokraftstoffquotengesetz beschlossenen Verwendungspflicht, die eine Förderung der Biokraftstoffe unter anderem nach ihrem CO₂-Minderungspotenzial vorsieht, die genauere Ausgestaltung aber der Biomasse Nachhaltigkeitsverordnung überlässt (vgl. Bundesgesetzblatt 2006b:3183; Honsel 2008:85). In der vor der Nachhaltigkeitsverordnung verabschiedeten ‚Roadmap Biokraftstoffe‘, die zwischen den Vertretern der Automobilindustrie (VDA), der Mineralölindustrie (MWV), der mittelständischen Mineralölwirtschaft (IG Mittelstand), dem Bauernverband (DBV) und der Biokraftstoffindustrie (VDB) sowie dem BMU und dem BMELV ausgehandelt und im

⁷⁰ Diese und ähnliche Argumente finden sich zudem in den Aussagen des Umweltbundesamtes gegenüber Biodiesel sowie des Sachverständigenrates Umwelt (vgl. MWV 2000; SRU 2008).

November 2007 vorgestellt worden war, wurde die Anrechnung der Biokraftstoffe auf die Verwendungsquoten nach ihrer CO₂-Effizienz ebenfalls verankert:

„Um zusätzliche Investitionsanreize und eine dauerhafte Perspektive auch für die Zeit nach 2015 zu schaffen, soll daher auf dem Verordnungswege geregelt werden, dass die Biokraftstoffe im Rahmen der Umsetzung der Dekarbonisierungsstrategie nach ihrer Treibhausgasminderung bewertet werden, mit der Folge, dass Biokraftstoffe mit einer guten Treibhausgas-Bilanz im Rahmen der Quotenregelung einen höheren Anrechnungsfaktor erhalten und dadurch gegenüber anderen Biokraftstoffen begünstigt werden“ (BMU et al. 2007:4).

Allerdings zeigte sich im später erfolgenden Entwurf der ‚Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung‘ der Bundesregierung, dass zur Anrechnung von Biokraftstoffen auf die Verwendungspflichten die CO₂-Effizienz nicht in Form eines CO₂-Faktors zum Zuge kommt, sondern allein in Form von Schwellenwerten. So sieht die Verordnung Mindestanforderungen von 30 Prozent und ab 2011 von 40 Prozent an die CO₂-Effizienz der Biokraftstoffe vor. Allerdings ist der Entwurf bereits von der Europäischen Kommission, die an einem eigenen Entwurf arbeitet, abgelehnt worden (Bundesregierung 2007b:§4 Abs.1; Honsel 2008:85; EurActiv 2008-04-28; Neue Energie 2008-04b:11).

Kein Erfolg war zudem dem ähnlich gelagerten Vorschlag beschieden, die Energiesteuer CO₂-basiert zu gestalten, die BtL aufgrund seiner CO₂-Effizienz bevorteilen würde (VW 2007a:3):

„Wir [Volkswagen, Daimler und Shell; JCS] haben einen Vorschlag gemacht, eine Mineralölbesteuerung CO₂-relatiert zu machen. Dass Sie [...] die klassischen Fossilen als 100 Prozent Mineralölsteuer [nehmen] und [...] bei Biokraftstoffen der zweiten Generation, die auf 92 Prozent CO₂-Minderung kommen, dann eben nur acht Prozent Mineralölsteuer zahlen. Dann kriegen Sie die richtigen Anreize für Investitionen rein. Die Politik hat uns daraufhin gesagt ‚Das können wir zum jetzigen Zeitpunkt nicht machen, aber [...] [die] 2. Generation werden wir bis 2015 steuerbefreit stellen“ (Döhmel, Shell, 2007-03-27).

Die Förderung der Biokraftstoffe nach ihrem CO₂-Minderungspotenzial wird auch auf der europäischen Ebene diskutiert, zum Beispiel durch eine höhere Anrechnung CO₂-effizienterer Kraftstoffe auf die verpflichtenden Mengenziele, wobei diese Idee wahrscheinlich auch von Shell als Vertreter der BtL-Koalition vorgebracht worden ist:

„I have heard that idea first [...] at a seminar that we had in 2005 with various industrial representatives to talk about second generation – both where it was up to and what would have to happen in order to make sure that it happened. It was indeed from [...] the fuel supply sector. Having said that I am not sure whether [...] how the timing of that goes with the US energy bill and it may be that the US energy bill which of course implements the same idea already existed. So I am not sure where I first heard the idea from, it was one of those two sources“ (Europäische Kommission Mitarbeiter 1, 2007-05-09).

In diesem Zusammenhang ist auch auf die oben schon genannte ASFE zu verweisen, die auch für BtL auf europäischer Ebene um politische und steuerliche Unterstützung wirbt. Da dieser Gesetzgebungsprozess aber noch nicht abgeschlossen ist, haben sich auch hier noch keine Konsequenzen für die regulativen Strukturen ergeben (ASFE 2006:7; EurActiv 2006-02-27; Europäische Kommission Mitarbeiter 1, 2007-05-09; Europäische Kommission 2007b:14, 2008:9).

Eine zweite Aktivität auf europäischer Ebene ist die oben schon angesprochene Entwicklung eines CEN Workshop Agreements für synthetische Kraftstoffe auf der Basis von GtL (CEN 2008). Diese Normung ist in zweifacher Hinsicht wichtig: Zum einen, um die Interdependenz von Kraftstoff und Motor im Rahmen der alten Dieselnorm (EN 590) zu sichern, und zum anderen, um BtL von GtL unterscheidbar zu machen und damit in den Genuss der staatlichen Förderung kommen lassen zu können:

„Es ist wichtig, eine Reinkraftstoff- und eine Beimischungsnorm, z.B. Blend 20, für CtL, BtL und GtL zu entwickeln, unter anderem weil BtL für EN 590 zu leicht ist. Außerdem müssen auch Methoden festgelegt werden, um zwischen GtL, CtL und BtL zu unterscheiden, so dass der Fiskus die drei unterscheiden kann. Denn es gibt ja eine Steuerbefreiung für BtL, aber keine für CtL und GtL“ (Blades, CHOREN, 2007-01-22).

Ein dritter Aktivitätsbereich ist schließlich die Mitgestaltung der europäischen Biokraftstoff-Forschungsagenda im Rahmen der ‚*European Biofuels Technology Platform*‘ (Biofuels TP) und ihrer Vorgängerorganisation *Biofuels Research Advisory Council* (BIOFRAC), die sich mit der Entwicklung der europäischen Vision von 25 Prozent Biokraftstoffe im Jahr 2030 beschäftigte und deren identifizierte Ziele teilweise an die Vorzüge von BtL erinnern (Europäische Kommission 2006c):

„The BiofuelsTP Working Groups have identified critical areas in which technology development will play a key role towards the successful implementation of sustainable and competitive biofuels in the EU:

Feedstock:

- Managing competition for limited land resources (*food & fodder vs bioenergy*) and for different biomass applications (transportation fuels, heat, power, industrial raw materials).
- Increasing yield per hectare and developing efficient supply logistics both for dedicated crops and residues.

Conversion technologies:

- Developing energy efficient and reliable biomass-to-fuel conversion processes with *feedstock flexibility* and *high quality products*.

End-use technologies:

- *Optimisation of fuel-engine environmental and energetic performance, ensuring compatibility with existing and future infrastructure and vehicles.*

The winning options (combination of land, feedstock, conversion and end product) will be those best addressing strategic and sustainability targets:

- *High level of GHG reduction* with sound management of other key environmental issues (biodiversity, water use, local emissions, etc).
- *Security and diversification of energy supply* for road transport.
- Economic competitiveness and social acceptance“ (Biofuels TP 2008:ii; Hervorhebung JCS).

Die Beteiligung in diesen Gremien ist insofern wichtig, als nicht nur eine Biokraftstoffvision und die dazugehörige Forschungsagenda entwickelt wurden, sondern auch aufgrund der Beteiligung von Akteuren aus allen betroffenen Bereichen und des Austausches über alle Glieder der Wertschöpfungskette (vgl. Biofuels TP 2006:1). Dadurch können alle Teilnehmer ein vertieftes Verständnis der verschiedenen Optionen gewinnen, ihre Erwartungen gegenseitig koordinieren und Einfluss auf die Empfehlungen für die Politik nehmen:

„Es [die Arbeit in der Biofuels TP; JCS] wird zu Kriterien führen, und es wird bestimmte Hinweise und Fingerzeige geben und vielleicht auch Instrumente, um die Hauptrichtung aufzuzeigen [...]“ (Automobilhersteller 5 Mitarbeiter, 2007-06-26).

An den fünf Arbeitsgruppen (Biomasse, Konversion, End Use, Nachhaltigkeit, Marketing) nehmen Shells Kooperationspartner ihre jeweiligen Kompetenzbereiche (CHOREN: Konversion; Daimler und Volkswagen: End Use) wahr, wobei Volkswagen darüber hinaus sich auch noch an den Arbeitsgruppen Nachhaltigkeit und Marketing sowie am ‚*Steering Committee*‘ beteiligt.

Insbesondere vor dem Hintergrund der Biofuels TP fällt die grundsätzliche Zurückhaltung Shells im Vergleich zu den BtL-Innovationspartnern hinsichtlich der Einflussnahme auf die politischen Rahmenbedingungen auf. Dies gilt umso mehr, als sie erst an der Biofuels TP Vorgängerorganisation BIOFRAC teil genommen hat und sich die Konkurrentin Total an gleich vier Arbeitsgruppen (Konversion, End Use, Nachhaltigkeit, Marketing) wie auch an dem ‚*Steering Committee*‘ der Biofuels TP beteiligt (vgl. Biofuels TP 2007a, b):

„Shell ist nicht dabei, BP ist nicht dabei. Sie zeigten zu dem Zeitpunkt ganz einfach kein Interesse. Shell war bei BIOFRAC dabei und auch sehr aktiv in BIOFRAC und lieferte sehr gute Beiträge, aber sie scheinen jetzt etwas zurückhaltender zu sein“ (Automobilhersteller 5 Mitarbeiter, 2007-06-26).

Auch auf der deutschen Ebene überließ Shell die Einflussnahme auf das Energiesteuergesetz, die Verwendungspflichten und die Roadmap dem Mineralölwirtschaftsverband (MWV) und den übrigen BtL-Koalitionären Volkswagen, Daimler und CHOREN (vgl. Bundesministerium 2 Mitarbeiter 1, 2007-08-02):

„Also bei mir geht jetzt nicht an jedem Tag Shell rein und sagt 'A' und dann am nächsten Tag kommt Total oder BP und sagt 'B'. Das habe ich noch nicht erlebt. Also kann ich es nicht einschätzen. Das riskieren die unter Umständen aber auch nicht. [...] Der Picard [Geschäftsführer des MWV; JCS] [...] weiß [...] gerade bezüglich der Gestaltung von politischen Rahmenbedingungen [...], was negativ wäre. Und es wäre halt negativ, wenn er seine Mitglieder nicht unter einen Hut bekommt“ (Bundestagsfraktion 1 Mitarbeiter 1, 2007-07-11).

Shells Zurückhaltung erstreckte sich sogar auf die Erarbeitung zentraler politischer Entscheidungsgrundlagen im Rahmen der BtL-Realisierungsstudie durch die dena (2006) – an der nicht Shell, sondern BP und die deutsche TOTAL teilnahmen (ebd. 2). Über Erklärungen für diese Zurückhaltung kann nur spekuliert werden, allerdings dürften fünf Aspekte eine Rolle gespielt haben: Erstens die Wahrung einer einheitlichen Position der Mineralölindustrie im Gesetzgebungsprozess, zweitens der bessere Zugang der deutschen Innovationspartner zur deutschen Politik, drittens eine eventuelle Arbeitsteilung zwischen den Innovationspartnern und viertens die Bestrebung der Wettbewerber BP und Total, mehr Wissen über die von Shell verfolgte Alternative BtL zu erwerben.

6.3.3 Synergien und Konkurrenzen zwischen BtL und dem Kraftstoffpfad

In dem Entwurf der BtL-Wertschöpfungskette durch die Innovationspartner CHOREN, Shell, Volkswagen und Daimler finden sich über weite Teile dieselben Handlungsanreize des Kraftstoffpfades wieder wie bei GtL. Die Unterschiede liegen in der Beziehung zum

E&P-Bereich des Kraftstoffpfades (vgl. 4.2) begründet: In dieser Hinsicht fällt zunächst auf, dass BtL die *sunk costs-Effekte* der bestehenden E&P-Aktivitäten nicht gefährdet, das Substitutionspotenzial dieser Alternative nach Schätzungen maximal bis zu 13 Prozent des Kraftstoffverbrauchs der EU25 im Jahre 2020 beträgt, während zugleich ein weltweites Wachstum der Energienachfrage um 55 Prozent prognostiziert wird (VES 2007:75; Nylund et al. 2008:21). BtL tritt somit nicht in Konkurrenz zur Explorations- und Produktionsebene des fossilen Kraftstoffpfades, sondern führt zu einer Ergänzung der Ressourcen – wobei die entsprechenden Kapazitäten günstigstenfalls auch erst mittelfristig zur Verfügung stünden. Durch die Verwendung von Biomasse als potenziell einheimischen und CO₂-neutralen *Feedstock* adressiert BtL zugleich die *Delegitimierungseffekte* des fossilen Kraftstoffpfades, die aus der Kritik und dem *Lock-in* der Importländer und der NGOs entstehen. Ihre internen *Benchmarkeffekte* umgeht Shell dadurch, dass sie den BtL-Upstreambereich CHOREN überlässt.

Auf der Verarbeitungsebene (vgl. 4.3) ähnelt die BtL-Alternative stark der GtL-Alternative in ihrer Berücksichtigung der im Dieseltrend angelegten *negativen Nachfrageeffekte* sowie der *technologischen Komplementaritätseffekte*, die aus der Interdependenz zwischen Kraftstoff und Motor und ihrer Verstärkung durch die steigenden regulativen Kraftstoffanforderungen resultieren. Außerdem erfüllt BtL aufgrund seiner Produkteigenschaften die Erwartungen der OEMs an die Kraftstoffe, so dass Shell *Legitimationseffekte* erzielen kann. Diese Erwartungen werden umso mehr erfüllt, als BtL aufgrund seines *Feedstocks* auch den für die OEMs und die staatlichen Akteure wichtigen Aspekt der ‚CO₂-Effizienz‘ adressiert. Dadurch erfüllt BtL nicht nur die Legitimationseffekte, sondern stellt auch eine Lösung für die in der Regulierung des Kraftstoffpfades angelegten *Widersprüchlichkeitseffekte* dar, die aus der Verbindung der Themen ‚Luftqualität‘ und ‚CO₂-Effizienz‘ bei der Regulierung des Raffineriebereichs resultieren. Dies gilt umso mehr angesichts der geplanten Inkorporierung der Sigmaanlage in eine existierende Raffinerie – wodurch zudem auch *Synergieeffekte* entstehen könnten, zum Beispiel bei der Wasserstoffproduktion. Dies und die externe, von CHOREN zu organisierende Finanzierung bedeutet, dass es nicht wie bei der GtL-Alternative zu einem Null-Summen-Spiel um die Investitionen kommt und dass die Rückkopplungsanreize auf der Raffinerieseite (Skaleneffekte, Komplementaritätseffekte, *sunk costs*-Effekte) nicht gefährdet werden:

„(T)he price tag for one unit is a large price tag even for majors [...]. You are talking about a sum of money that is equivalent to building a new refinery, so this is a significant investment. It is difficult to see that sort of investment going for example all into a single refinery in Europe“ (Primrose, BP, 2006-08-23).

Das Partnerschaftsabkommen zwischen Shell und CHOREN sorgt zudem dafür, dass die die BtL-Entwicklung von Shells *Spezialisierungseffekten* profitiert, die auf ihrer internen GtL-Entwicklung beruhen, ohne von Shells Benchmarkeffekten betroffen zu sein, die beispielsweise aus Shells Fokussierung auf Großanlagen resultieren könnten:

„Viele fragen ‚Warum haben die euch nicht gleich ganz aufgekauft?‘. Ich glaube, wenn das der Fall wäre, dann würden wir so wie alle Abteilungen im Konzern etwas langsamer vorankommen. Deswegen die Teilbeteiligung. Dadurch sind wir agil und können selbst und damit schneller entscheiden und umsetzen. Und das findet Shell gut so“ (Blades, CHOREN, 2007-01-22).

Auf der Distributionsebene (vgl. 4.4), die in Shells Aufgabenbereich fällt, liefert BtL als synthetischer Biokraftstoff noch mehr als GtL die Möglichkeit zur Differenzierung von den Wettbewerberprodukten – und fügt sich zugleich problemlos in die bestehende Vertriebsstrategie von Shell ein. Dadurch können wie bei GtL die *Marktsättigungseffekte* im deutschen Tankstellenmarkt adressiert und durch die Beimischung die bestehenden *direkten Netzwerk-* bzw. *Koordinationsseffekte* zwischen Angebot und Nachfrage genutzt werden.

Der Automobilbereich (vgl. 4.5) des Kraftstoffpfades profitiert schließlich von der BtL-Entwicklung, da dieser Kraftstoff zugleich die CO₂- und die Abgaswerte der Pkw-Flotte verbessert und rückwärts kompatibel ist. BtL entspricht damit nicht nur den technologischen Komplementaritätseffekten zwischen Kraftstoff und Motor, sondern auch den *Verzögerungseffekten* der langsamen Flottenverjüngung sowie dem Wunsch der Verbraucher, ihr Mobilitätsverhalten beizubehalten und zugleich die Umwelt zu schonen (*Legitimationseffekte*).

6.3.4 Die *Biomass-to-Liquids*–Alternative und die Explorationsanreize

BtL stellt nicht nur eine Reaktion auf die Handlungsanreize des Kraftstoffpfades dar, sondern in vielfältiger Weise – und damit im Gegensatz zu GtL – auch auf die Explorationsanreize. Es finden sich aber auch wie bei GtL verschiedenste Rückwirkungen auf diese. Die Unterschiede betreffen insbesondere die regulativen Explorationsstrukturen (vgl. 5.1), mit denen die BtL-Entwicklung eine starke Interaktion aufweist: So kann BtL einerseits als Reaktion auf die durch die Landwirtschaftspolitik verursachten *Ressourcen-push-Effekte*, die Biomasse in den Kraftstoffmarkt drücken, verstanden werden, da sie dem Trend zum Biokraftstoff folgt. Zugleich aber ist die BtL-Produktion von diesem sich inzwischen abschwächenden Handlungsanreiz abgekoppelt, da bei der Produktion Restholz, Stroh und Holz aus Kurzumtriebsplantagen verwendet werden anstelle von Früchten von Kulturpflanzen. Es ist allerdings unklar, inwiefern sich für die Biomasse eine Zuliefererstruktur etablieren lässt, zumal da Kurzumtriebsplantagen für Energiehölzer mit der Nahrungsmittelproduktion um Anbauflächen konkurrieren. Dieses ambivalente Verhältnis zum traditionellen Landwirtschaftsbereich ist wie bereits erwähnt einer der Gründe Shells, sich für BtL zu engagieren und dessen Nicht-Eingreifen in die Nahrungsmittelkette hervorzuheben (vgl. 6.3.2). Auch die anderen regulativen Explorationsanreize werden von den BtL-Protagonisten eher aufgegriffen und weiter entwickelt denn befolgt: Dies gilt zunächst für die europäischen und deutschen Mengenziele und ihre – freiwilligen – *regulativen push-Effekte*, bei denen die Europäische Kommission auf die Berücksichtigung der Biokraftstoffe der zweiten Generation drängt:

„Mit verbindlichen Zielen wird in erster Linie der Zweck verfolgt, Investitionssicherheit zu schaffen. Es ist daher nicht angebracht, die Entscheidung über die Verbindlichkeit eines Ziels bis zum Eintritt eines Ereignisses in der Zukunft zu verschieben. In einer Erklärung zum Sitzungsprotokoll der Tagung des Rats vom 15. Februar 2007 ließ die Kommission daher wissen, sie sei nicht der Ansicht, dass die Entscheidung über die Verbindlichkeit des Ziels bis zur kommerziellen Verfügbarkeit von Biokraftstoffen der zweiten Generation vertagt werden sollte“ (Europäische Kommission 2008:15).

Weitere Explorationsanreize, an deren weiterer Ausgestaltung sich die BtL-Koalition beteiligte, sind die im deutschen Energiesteuergesetz angelegten *steuerlichen push-Effekte*, die für BtL im Jahre 2006 durch die Steuerbefreiung bis 2015 realisiert werden konnten. Bei der Ausgestaltung dieser Explorationsanreize war die BtL-Koalition nur begrenzt erfolgreich in dem Sinne, dass eine noch stärkere Bevorzugung durch die Einführung eines CO₂-Faktors in die Energiesteuer nicht realisiert wurde. Dasselbe gilt für die *regulativen pull-Effekte* für die BtL-Produzenten aus der Verwendungspflicht, bei der anstelle eines CO₂-Faktors die Mindestanforderungen zum Zuge kamen. Auch die Frage der Normung zur Sicherung der technologischen Interdependenz von Kraftstoff und Motor sowie der Förderstrukturen wird von der BtL-Koalition aktiv angegangen und deckt sich mit dem Bestreben der Normung von GtL (vgl. CEN 2008). Hinsichtlich der *finanziellen Fördereffekte* schließlich beteiligt sich die BtL-Koalition aktiv an verschiedenen von der EU und der Bundesrepublik geförderten Forschungsprogrammen wie der Biofuels TP, RENEW und der BtL-Realisierungsstudie (vgl. 5.1.5).

In Bezug auf die Antriebsentwicklungen (vgl. 5.2) im Automobilbereich wird BtL wie GtL von den Beteiligten als Reaktion auf die *demand-pull-Effekte* der HCCI-Entwicklung interpretiert– zumal da die Anfänge der BtL-Entwicklung von Daimler und Volkswagen angestoßen und mitgetragen wurden (Blades, CHOREN, 2007-01-22). Durch diese enge Kooperation mit Daimler und Volkswagen können CHOREN und Shell zudem die Entwicklung auf der Antriebsseite besser einschätzen und erzielen so *Zukunftssicherungseffekte*.

Auch bei den Explorationsanreizen aus der Entwicklung, Produktion und Distribution alternativer Kraftstoffe (vgl. 5.3) können vor allem Shells BtL-Aktivitäten eher als Reaktion verstanden werden: So nimmt sie mit ihrem BtL-Engagement bzw. durch die Kooperation mit CHOREN als einem der führenden BtL-Entwickler zukünftige *Technologie-push-Effekte* einer marktreifen BtL-Technologie vorweg:

„Wie wir sie an Bord geholt haben? Wir haben erklärt, was wir als nächstes machen wollen und welche Optionen wir haben. Da Shell gesehen hat, dass es für uns mehr als nur eine Option gibt, hat sie sich bemüht, dass wir das ‚Richtige‘ tun werden. Was letztendlich auch so passiert ist“ (Blades, CHOREN, 2007-01-22).

Zugleich reagiert sie damit auch auf die Notwendigkeit, eine intensivere Kenntnis der Entwicklung in diesem Technologiefeld zu erwerben. Diese *Zukunftssicherungseffekte* erzielen zum Beispiel Total und BP über die Teilnahme an der Biofuels TP und der BtL-Realisierungsstudie (vgl. 6.3.2). Schließlich ist noch anzumerken, dass sich BtL als Ant-

wort auf den Erfolg von Biodiesel (B100, B5) im deutschen Markt interpretieren lässt. Der Wettbewerb dieser beiden Kraftstoffe lässt sich dabei nicht aus ihrem jeweiligen *Feedstock* heraus – Ölfrüchte versus Holz und Stroh – und auch nicht unbedingt aus einer Flächenkonkurrenz heraus erklären (vgl. Neue Energie 2008-01:23). Vielmehr scheint ihr Wettbewerb aus ihren unterschiedlichen Trägergruppen – Landwirtschaft und KMUs einerseits, Technologieunternehmen, OEMs und Mineralölunternehmen andererseits – sowie aus der Konkurrenz um die Unterstützung der Politik zu resultieren:

„Das Problem ist, dass [...] es einfach einen Kampf zwischen 1. und 2. Generation (gab), der einfach hanebüchen ist. [...] Es schließt sich ja beides nicht aus [...] das ist kein Grund, die erste Generation [...] platt zu machen. Das ist, denke ich, da gibt es eigentlich keinen kausalen Zusammenhang, außer wenn man [...] sieht [...], wer die Träger unter Umständen der 2. Generation sind [...]. Das heißt, man kann die 1. Generation nur gegen die 2. ausspielen, wenn man sich die Akteursstruktur anschaut. Und das heißt, die Großen haben gesagt ‚Wir bieten Euch etwas viel besseres an. Macht diesen ökologischen Mist da mal platt etc. und wir können Euch dann einen schönen Kraftstoff, der ideal ist, den man in unterschiedlichen Beimischungsmengen verwenden kann, der eine super Ökobilanz – angeblich – hat usw., den bieten wir Euch dann an“ (Bundestagsfraktion 1 Mitarbeiter 1, 2007-07-11).

Bei dieser nicht nur von Shell allein getragenen Konkurrenz sind zwei Aspekte besonders bemerkenswert: Erstens der Wechsel Volkswagens und DaimlerChryslers als OEM-Vorreiter der B100-Reinkraftstofffreigabe in das ‚BtL-Lager‘. Als Begründung für diese Abwendung von B100 dienten wie bereits erwähnt die mit den EURO-Normen steigenden Abgasanforderungen (vgl. 5.2.1, 5.3.2). Ein weiterer Grund für die OEMs, BtL zu unterstützen ist, dass sie unter dem Druck der anstehenden CO₂-Regulierung des Pkw-Bereichs auf den Beitrag von Biokraftstoffen zur Senkung der CO₂-Emissionen des Verkehrsbereichs nicht verzichten und zugleich keine größeren motorentechnischen Anpassungen für die Biokraftstoffe vornehmen wollen (vgl. VW 2007a:3f). Für die OEMs geht es mithin um eine für sie kostengünstige ökologische Absicherung ihres Produktes. Der zweite bemerkenswerte, die Konkurrenz zum Biodiesel zum Ausdruck bringende Aspekt ist die Legitimierung bzw. das ‚*Framing*‘ BtLs. Dieser wird unter dem Begriff ‚zweite Biokraftstoffgeneration‘ vom Biodiesel abgegrenzt, wobei auf die relativen ökologischen Nachteile von Biodiesel in Punkto ‚Nachhaltigkeit‘, ‚Flächenertrag‘, ‚Nahrungsmittelkonkurrenz‘ und ‚CO₂-Effizienz‘ verwiesen wird – anstatt auf die Vorteile von BtL gegenüber fossilem Diesel (vgl. 6.3.2).

6.3.5 Fazit: BtL als ‚win-win‘-Alternative

Trotz ihrer technologischen Ähnlichkeit unterscheidet sich die Exploration der BtL-Alternative infolge ihres *Feedstocks* ‚Biomasse‘ und ihrer Organisation tiefgreifend von der Exploration GtLs: So wird der E&P-Bereich durch die BtL-Entwicklung zusätzlich legitimiert, da BtL die Probleme der Importabhängigkeit und des Klimawandels abmildert. Außerdem entspricht BtL mehr als GtL den Handlungsanreizen – und von diesen insbesondere den Veränderungsanreizen – des Downstreambereichs ab der Raffinerie. Deshalb

erscheint BtL als eine auf deutsche und europäische Raffinerie- und Distributionsmärkte zugeschnittene Alternative, die dem hiesigen Dieseltrend, den steigenden Kraftstoffanforderungen und der Integration der CO₂-Frage in die Kraftstoffregulierung entspricht.

Wesentlich ausgeprägter als bei GtL ist zudem die Beziehung zu den Explorationsanreizen, und dabei vor allem zu den regulativen Strukturen: Schließlich wurde GtL allein auf Basis von FuE und einer Marketingstrategie in den Markt eingeführt, wogegen die Entwicklung von BtL aufgrund des politischen Charakters des Biokraftstoffmarktes stärker von den regulativen Rahmenbedingungen abhängt. Umso bemühter ist die BtL-Koalition darum, auf die regulativen Explorationsanreize einzuwirken, so dass von einer ‚Koevolution‘ zwischen der Entwicklung der BtL-Alternative und ihres regulativen Rahmens gesprochen werden kann.

Shells Beitrag zu dieser Exploration ist angesichts der Zerteilung der BtL-Wertschöpfungskette und der damit einhergehenden Entwicklung der BtL-Anlage und der Biomasselogistik durch CHOREN auf ihre Fischer-Tropsch-Technologie, die Distribution und das Marketing begrenzt. Hinzu kommt – angesichts der politischen Zurückhaltung Shells – die Unterstützung des deutschen und des europäischen Mineralölverbandes für BtL (vgl. Picard 2006:38). Damit lassen sich folgende zentrale Momente in der Organisation der BtL-Exploration durch Shell benennen:

1. Die *Entscheidung* für ein BtL-Engagement entspricht Shells internen Spezialisierungseffekten aufgrund der Affinität von BtL und GtL, den regulativen push-Effekten, die aus dem regulativen Druck in Richtung Biokraftstoffe resultieren, sowie den Legitimationseffekten, die in den Erwartungen der OEMs Daimler und Volkswagen angelegt sind.
2. Die *Investition* in CHOREN in Form von ‚*corporate venture capital*‘ vermeidet eigene Entwicklungskosten und ermöglicht Shell zugleich, auf die aus der Entwicklung von neuen Biokraftstofftechnologien resultierenden Zukunftssicherungseffekte wie auch auf den möglichen Technologie-*push*-Effekt einer marktreifen BtL-Technologie zu reagieren.
3. Die *Kooperation* mit CHOREN bei der Technologieentwicklung durch die Bereitstellung ihres patentierten Fischer-Tropsch-Verfahrens sowie des dazugehörigen Know-hows nutzt Shells Spezialisierungseffekte im GtL-Bereich.
4. Durch die ‚*lose Kopplung*‘ der Entwicklung vermeidet Shell es nicht nur, neue, pfadferne Kompetenzen in der Biomassebeschaffung entwickeln zu müssen, sondern auch negative Rückwirkungen ihrer eigenen Benchmarkeffekte auf die BtL-Entwicklung.
5. Die wahrscheinliche *Fremdfinanzierung* der Sigmaanlage und die Organisation dieser Finanzierung durch CHOREN vermeidet Opportunitätskosten- für und Benchmarkeffekte auf der Seite von Shell. Damit bleibt aber eine die ‚*final investment decision*‘ in eine eigene Sigmaanlage die ‚Gretchenfrage‘ für Shell.

6. Die (potenzielle) *Integration* BtLs in die GtL-Distribution ermöglicht die Nutzung der direkten Netzwerk- und Koordinationseffekte der bestehenden Infrastruktur, während die dazugehörige Marketingstrategie wie beim GtL für eine Differenzierung im Markt und somit für eine Antwort auf die Marktsättigungseffekte sorgen könnte.
7. Wie beim GtL entspricht die *Platzierung* im deutschen Markt der hiesigen Dieselisierung (negativer Nachfrageeffekt) und den regulativen Anforderungen an die Kraftstoffqualität (regulative Verschärfung der technologischen Komplementaritätseffekte).
8. Die *Kooperation* mit Volkswagen und Daimler bei der Entwicklung von BtL dient der Sicherung der technologischen Komplementaritätseffekte und kann als Reaktion auf die Zukunftssicherungseffekte gesehen werden.
9. Die Unterstützung der *Normung* von BtL zielt auf die Sicherung der technologischen Komplementaritätseffekte zwischen Kraftstoff und Motor und der Beimischungsstrategie.
10. Das *Lobbying* zugunsten von BtL, das Shell aber vor allem ihren Innovationspartnern und Branchenverbänden überlässt, sind vor dem Hintergrund der Marktferne von BtL und des politischen Charakters des Biokraftstoffmarktes von großer Bedeutung. Ziel ist die Ausgestaltung der regulativen push-Effekte der Mengenziele, der steuerlichen push-Effekte sowie der regulativen demand-pull-Effekte der Verwendungspflicht.
11. Die *Legitimierung* BtLs auf Kosten von Biodiesel, die durch den Verweis auf die relativen ökologischen Nachteile von Biodiesel (*„Framing“*) erfolgt und auch aus der Konkurrenz der jeweiligen Produktkoalitionen resultiert. Das Framing deutet dabei auch auf die Bildung differenzierterer Akteurserwartungen für Biokraftstoffe hin, die mehr umfassen als ein einfaches Bedauern des fossilen Kraftstoffpfades und die Betrachtung von Biokraftstoffen als Lösung des Problems.

Shells Organisation der BtL-Exploration ist somit dadurch charakterisiert, dass sie erstens mit Hilfe des Innovationsoutsourcings an der Entwicklung einer Biokraftstoffalternative partizipieren kann, ohne eigene Kompetenzen im Biomassebereich aufbauen zu müssen und ohne die Entwicklung durch unternehmensinterne Benchmarkeffekte zu gefährden. Zweitens kommt die Affinität der BtL-Technologie zu ihrer GtL-Alternative hinzu, so dass Shell nicht nur ihr Know-how und ihre Kompetenzen in den Bereich der Biokraftstoffproduktion ausdehnen kann, sondern vor allem auch eine zusätzliche Legitimierung für GtL erhält, die über eine *end-of-pipe*-Technologie wie CCS hinausgeht. Dies wird durch die angedachte Integration in die GtL-Distributionsstrategie sowie durch die Verbindung der beiden Alternativen in der ASFE deutlich. Drittens zeichnet sich die BtL-Exploration dadurch aus, dass sie – zusätzlich zu der Entwicklung der EURO-Normen – Argumente gegen die Verwendung von Biodiesel liefert. Damit wird eine im deutschen Markt erfolgreiche Alternative delegitimiert, deren Entwicklung die Mineralölkonzerne verpasst haben, da sie Pflanzenöl nicht in die Raffinerien integrierten (vgl. Mineralölbranche 2 Mitarbeiter, 2006-12-29):

„Hydrotreated vegetable oil (HVO) is a good idea. It turns vegetable oil into pure hydrocarbons with structure and properties very similar to BTL, thus avoiding quality issues related to FAME. It is relatively simple but requires a significant source of hydrogen and is more expensive than FAME. The overall GHG footprint of both fuels are quite similar“ (Larivé, CONCAWE, 2007-07-25).

Rechnet man noch die möglichen Synergieeffekte mit den hiesigen Raffinerien hinzu, lässt sich die Exploration von BtL als die Verfolgung einer insbesondere an den deutschen Markt angepassten *win-win*-Alternative interpretieren. BtL wird dabei über den ‚Umweg‘ GtL in den fossilen Kraftstoffpfad integriert und erleichtert so über die Abmilderung des *Lock-ins* auf fossile, importierte Energieträger die Legitimierung GtLs wie auch des fossilen Kraftstoffpfades. Zugleich werden durch das Framing konkurrierende Biokraftstoffalternativen delegitimiert. Damit wird deutlich, dass die in der Entwicklung befindlichen alternativen Kraftstoffe untereinander wie auch innerhalb von Shells Innovationsportfolio miteinander in Beziehung gesetzt werden müssen. Dies gilt auch für die nächste zu betrachtende Alternative.

6.4 Shells Aktivitäten im Bereich Ethanol aus Lignozellulose

Ein weiterer von Shell verfolgter Biokraftstoff ist Ethanol aus Lignozellulose, hier auch verkürzt als Zelluloseethanol bezeichnet. Auch die Analyse dieser Exploration unterteilt sich in die Abschnitte ‚Technologie‘ (6.4.1), ‚Gestaltung der Wertschöpfungskette‘ (6.4.2) ‚Relation zum Kraftstoffpfad‘ (6.4.3) und ‚Relation zu den Explorationsstrukturen‘ (6.4.4), um am Schluss (6.4.5) die Organisation der Exploration und die damit verbundene Strategie zu diskutieren und zu bewerten.

6.4.1 Ethanol aus Lignozellulose

Wie BtL wird auch Ethanol (EtOH) aus Lignozellulose zur 2. Generation der Biokraftstoffe gerechnet, allerdings als Benzinsubstitut. Der Unterschied zum traditionellen und in den USA und Brasilien in großem Umfang produzierten Ethanol der ersten Generation besteht darin, dass als Feedstock nicht stärkehaltige Früchte wie Zuckerrohr, Weizen, Roggen, Mais etc. verwendet werden. Stattdessen werden wie bei BtL Stroh, Holzschnitzel oder Energiepflanzen (Weide, Pappel) verarbeitet. Deren Lignozellulose wird in einer Vorbehandlungsstufe zerkleinert, um die Oberfläche zu vergrößern, und anschließend mit Hilfe von Zellulose verarbeitenden Enzymen in Zucker umgewandelt. An diese Schritte schließt sich die bei bisherigen Ethanolanlagen schon verwendete Zucker-Fermentation und die Destillation an. Die Innovation liegt dabei vor allem in der Beherrschung des enzymatischen Prozesses inklusive der Entwicklung und Herstellung der geeigneten Enzyme. Solcherart produziertes Ethanol kann eine ähnlich hohe CO₂-Effizienz von bis zu 90 Prozent erreichen wie BtL (s.o.; Shell 2006a:23; Schmitz 2006:217; Evans 2007:27ff; Larivé 2007:29).

Die Entwicklung der Zellulose-Ethanolforschung begann bereits in den Siebziger Jahren, wird aufgrund der erforderlichen biochemischen Innovationen von etablierten Biotechnologie-Unternehmen sowie von Start-ups vorangetrieben und konzentriert sich – unter anderem dank eines 385 Millionen US Dollar Zelluloseethanolprogramms des US Department of Energy (DOE) – auf den nordamerikanischen Ottomarkt. Unternehmen in diesem Bereich sind zum Beispiel die kanadischen Unternehmen Iogen und SunOpta sowie die US-amerikanischen Novozymes und Verenum. Es finden sich aber auch, da es letztlich um eine Ergänzung des bekannten Ethanolprozesses um die enzymatische Vorstufe geht, auch Unternehmen, die bereits in der Ethanolproduktion aktiv sind wie die spanische Abengoa (Caraballo 2005:2; Shell 2006d:15, 2007f:2; Evans 2007:33ff, 41f; DOE 2007; WiWo 2008-03-10; Nylund et al. 2008:52).

Shells Involvierung in die Entwicklung von Ethanol aus Lignozellulose erfolgte 2002 nach einem Branchenscreening in Form einer Minderheitsbeteiligung von 22,5 Prozent an Iogens Tochterunternehmen Iogen Energy Corporation mit einem Investitionsvolumen von 46 Millionen kanadischen Dollar (damals 29 Millionen US Dollar). Zuvor hatte sich bereits im Jahre 1997 Petro-Canada an Iogen für 15,8 Millionen Kanadadollar beteiligt, 2006 folgte Goldman Sachs mit 30 Millionen Kanadadollar (HB 2002-11-06; Shell 2002a, 2002b:3, 2006d:15; Iogen 2008). Das Biotechnologieunternehmen Iogen besitzt notwendige Enzympatente und nahm bereits im Jahre 2004 in Ottawa eine erste Demonstrationsanlage in Betrieb. Derzeit arbeitet es im Rahmen des DOE-Zelluloseethanolprogramms an einer ersten kommerziellen Anlage in Idaho. Dagegen hat eine 2006 für Deutschland gemeinsam mit Volkswagen und Shell durchgeführte Machbarkeitsstudie bisher zu keinen weiteren Schritten geführt – obwohl von Seiten Volkswagens eine Beteiligung an Iogen zur Gründung einer Projektgesellschaft erwogen wurde. Im November 2007 gab Shell außerdem bekannt, dass sie auch an dem US-amerikanischen Biotechnologieunternehmen und Enzymhersteller Codexis eine Minderheitsbeteiligung erwerben werde. Im Juli 2008 schließlich gab Shell die Aufstockung ihrer Beteiligung an der Iogen Energy Corporation auf 50 Prozent bekannt (Shell 2006e, 2007d:12; 2007f:2, Shell 2008a; Biokraftstoffbranche Mitarbeiter, 2007-03-30; Automobilhersteller 1 Mitarbeiter 2, 2007-04-24; Evans 2007:34f, 42).

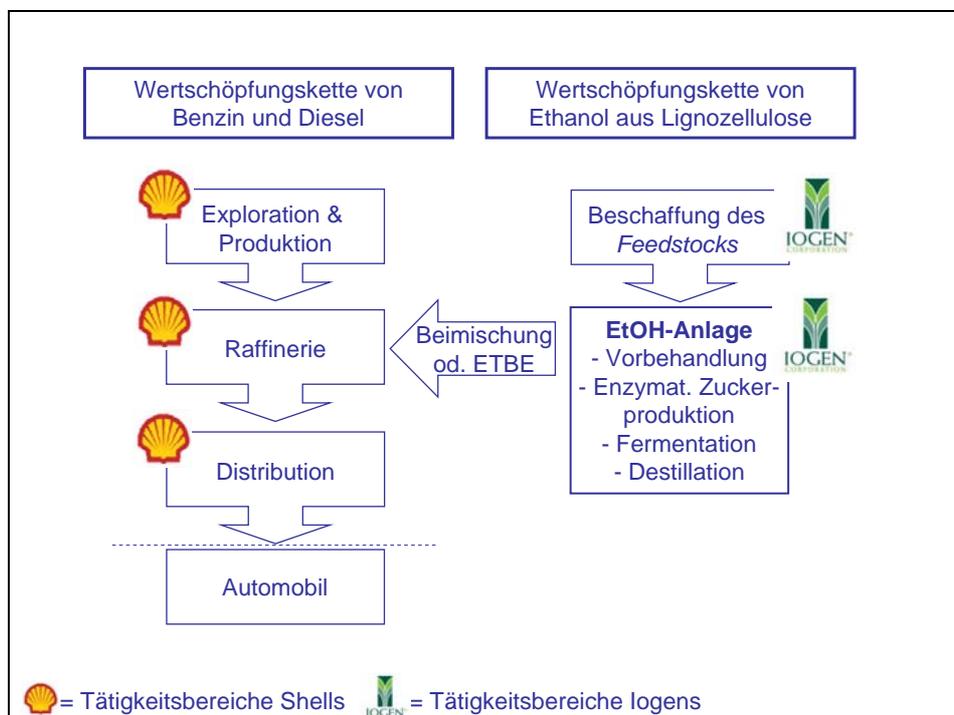
Wie bei BtL begründet Shell ihr Engagement insbesondere auch mit den regulativen Auflagen, die die Verwendung von Ethanol in den USA, aber auch in Deutschland vorschreiben (vgl. 6.3.1; Döhmel, Shell, 2007-03-27; Shell 2008a):

„Governments in a number of countries are encouraging the production of conventional or 'first generation' biofuels through mandates and incentives. Shell, as a fuel supplier, is guided by these mandates and is working to meet obligations and benefit from opportunities. [...] However, outside Brazil and the US, government policy is developing fast and Shell now buys and blends ethanol or FAME for a further 10 countries. *As this global market emerges, Shell is moving to secure cost-effective supply and is working more closely with processors and manufacturers*“ (Shell 2007f:1; Hervorhebung JCS).

6.4.2 Die Gestaltung der Wertschöpfungskette von Ethanol aus Lignozellulose

Obwohl die soeben erwähnte Machbarkeitsstudie einer Zelluloseethanolanlage für den deutschen Markt bisher zu keinen weiteren Schritten geführt hat, finden sich erste Schritte zu ihrer Organisation unter anderem in der Kompetenzverteilung, der Begründung der Machbarkeitsstudie und den sonstigen Aktivitäten der Akteure. Dabei lässt sich eine insgesamt große Ähnlichkeit zur Organisation der BtL-Exploration in Form der Zweiteilung der Wertschöpfungskette erkennen. Allerdings fällt die Unterteilung in zwei Kompetenzbereiche in diesem Falle noch deutlicher aus, da Shell keine eigene Technologie einbringt (vgl. Abbildung 18).

Abbildung 18: Shells Gestaltung der Wertschöpfungskette von Zelluloseethanol



Quelle: Eigene Darstellung; vgl. Evans 2007:27.

Wie bei BtL beginnt die Wertschöpfungskette mit der Beschaffung der notwendigen Biomasse, bei der es sich im Falle von Iogen primär um Stroh handelt, also einem ebenfalls landwirtschaftlichen Nebenprodukt, das aufgrund seiner geringen Energiedichte logistisch schwierig ist. Entsprechend wichtig sind die Beschaffung und die Logistik für die Funktion der Anlage (Biokraftstoffbranche Mitarbeiter, 2007-03-30).

Hinsichtlich der Entwicklung der Prozesstechnologie und des Betriebs der Ethanolanlagen ist Iogen allein verantwortlich, da Shell wie bereits erwähnt keine Technologie in die Partnerschaft einbringt. Allerdings beteiligt sich Shell mit Investitionsanalysen für die erste Großanlage an den Standortplanungen. Ähnlich wie CHOREN sieht sich Iogen dabei als Technologieunternehmen, das die Produktion von Zelluloseethanol zur Marktreife bringt und anschließend die Prozesstechnologie lizenziert (vgl. Shell 2008a):

„(T)he basic strategy is [...] not to build one plant. That is why they have been looking at at least three or four countries for the first few plants [...]. Now, the idea is to behold the first plants to actually learn and get confident about the technology and then come to a technology licensing in the future“ (Biokraftstoffbranche Mitarbeiter, 2007-03-30).

Da die Biomasse die Größe der Ethanolanlage beschränkt, ist die Möglichkeit zur Generierung von Skaleneffekten bei der Produktion von Zelluloseethanol ebenso durch die Frage der Biomasseverfügbarkeit begrenzt wie bei BtL. Allerdings betragen die Fixkosten mit rund 230 Millionen Euro für eine Anlage mit 150.000 Tonnen Jahreskapazität ein Viertel bis ein Drittel der Kosten einer vergleichbaren BtL-Anlage. Zugleich ist der Anteil an variablen Kosten höher, da die Produktion der Enzyme einen wichtigen Kostenfaktor darstellt, der mit der zu verarbeitenden Menge an Biomasse korreliert. Entsprechend geringer ist die Bedeutung von Skaleneffekten bei der Produktion von Zelluloseethanol (vgl. 5.3.1; Bankhaus Sarasin Mitarbeiter, 2007-05-23; Evans 2007:26, 92f):

„Bigger is always better in that sort of thing but scale will be less important for lignocellulosic ethanol than for BTL where it will be essential“ (Larivé, CONCAWE, 2007-07-25).

Für die Finanzierung der Ethanolanlagen plant Iogen in erster Linie die Bildung von strategischen Partnerschaften, wobei unter anderem eine Beteiligung Volkswagens an Iogen zur Finanzierung einer deutschen Projektgesellschaft intensiv diskutiert wurde (Biokraftstoffbranche Mitarbeiter, 2007-03-30; Automobilhersteller 1 Mitarbeiter 2, 2007-04-24). Für die Wahl Deutschlands als Standort spricht dabei neben dem Biomassepotenzial auch die deutsche Regulierung, also die hiesigen Verwendungspflichten und Steuerbefreiungen (Automobilhersteller 1 Mitarbeiter 2, 2007-04-24):

„Iogen has been looking for some time for the first site for the first commercial cellulose ethanol plant and as you can imagine there are several key questions that needed to be answered. The basic one [...] is feedstock because they need a lot of straw. [...] But they also need the right governmental signals that [...] they want a second generation market so that the lender feel confident about investing in such a technology“ (Biokraftstoffbranche Mitarbeiter, 2007-03-30)

Bei der Standortwahl können aufgrund des biochemischen Charakters der Produktion von Zelluloseethanol keine vergleichbaren Kostensenkungen durch die Integration in eine Raffinerie erzielt werden wie bei BtL.

Schließlich würde die Kommerzialisierung und die Distribution von Zelluloseethanol wie bei BtL in den Aufgabenbereich von Shell – oder anderen Mineralölunternehmen – fallen (vgl. Shell 2007f:2):

„(O)il companies will come and knock on their door and say 'Look, I want to sign an off-take contract with you'. Because Iogen is a technology company and not an oil supplier“ (Biokraftstoffbranche Mitarbeiter, 2007-03-30).

Bei der Distribution gilt wie für Ethanol der 1. Generation, dass es beigemischt (E5, E10), als Reinkraftstoff (E85) für FFVs vertrieben oder in die hochoktanige, bis zu 15 Prozent beimischbare Premiumkraftstoffkomponente ETBE umgewandelt werden kann. Shells Wahl dürfte dabei auf die Erfüllung der Biokraftstoffquote über die Beimischung von E5 und die in Deutschland übliche Aufbereitung zu ETBE fallen. Für ETBE spricht, dass der Ethanolgehalt anteilig auf die Verwendungspflicht angerechnet wird, dass es ein wichtiger

Bestandteil in Shells V-Power Benzin, dem ‚Schwesterkraftstoff‘ von V-Power Diesel, ist und dass die Umwandlung in der Raffinerie erfolgt – also dort ein Mehrwert geschaffen wird. Letzteres könnte als ‚grüne Premiumkomponente‘ ähnlich wie BtL marketingtechnisch verwendet werden (vgl. Bundesgesetzblatt 2006b:3181; Mineralölbranche 2 Mitarbeiter, 2006-12-29; Mineralölbranche 1 Mitarbeiter, 2007-02-06; Nylund et al. 2008:110ff). Für die Wahl der Beimischung oder Umwandlung in ETBE spricht zudem, dass Shell in Deutschland nicht zu den Unterstützern der E85-Reinkraftstoffalternative gehört, wie die Bemühungen Fords um die Unterstützung der Farbenkonzerne für FFVs und E85 zeigt:

„Wir haben alle Mineralölkonzerne angesprochen in der Hilfe mit der Infrastruktur. Das war sowieso etwas Neues für uns, weil bisher die Infrastruktur eigentlich automatisch kam, da brauchten wir uns nicht darum kümmern. Jetzt mit dem [FFV-; JCS] Modell brauchten wir also eine Infrastruktur und haben sie alle angesprochen. BP unser strategischer Partner, mit dem wir sehr, sehr viel zusammen machen, hat nicht direkt ‚Nein‘ gesagt, aber auch nicht direkt ‚Ja‘. [...] Shell auch nicht und Exxon auch nicht. Und dann hatten wir hinterher auch noch Total angesprochen. Die waren erst begeistert und ein paar Wochen später kam das ‚Nein‘. Wir [...] (sind) hier in Deutschland auf den Verband der Freien Tankstellen angewiesen, also alles das, was unter ‚Freien‘ läuft, also auch AVIA würde ich als freie Tankstelle nehmen. Das ist im Endeffekt so unser Partner, mit dem wir relativ viel zusammen machen“ (Automobilhersteller 3 Mitarbeiter, 2007-07-06).

Hinsichtlich der Beimischung ist zu erwähnen, dass Shell im brasilianischen und US-amerikanischen Markt eine entsprechende Kompetenz bereits aufgebaut hat:

„As mandates increase, Shell is drawing on its many years’ experience of buying and supplying ethanol for Brazil, in response to government policy there. [...] In recent years the United States government has also encouraged the introduction of ethanol for blending with gasoline. *Shell has further developed expertise in trading, storage, handling, blending and distribution of ethanol. We have invested in dedicated distribution infrastructure to achieve supply and quality control.* Today Shell has five ethanol hubs in the US – facilities where ethanol comes in by train, is stored and loaded onto trucks. 30% of all US ethanol goes through our facilities. [...] With this capability, Shell has become the world’s largest distributor of conventional biofuels“ (Shell 2007f:1; Hervorhebung JCS).

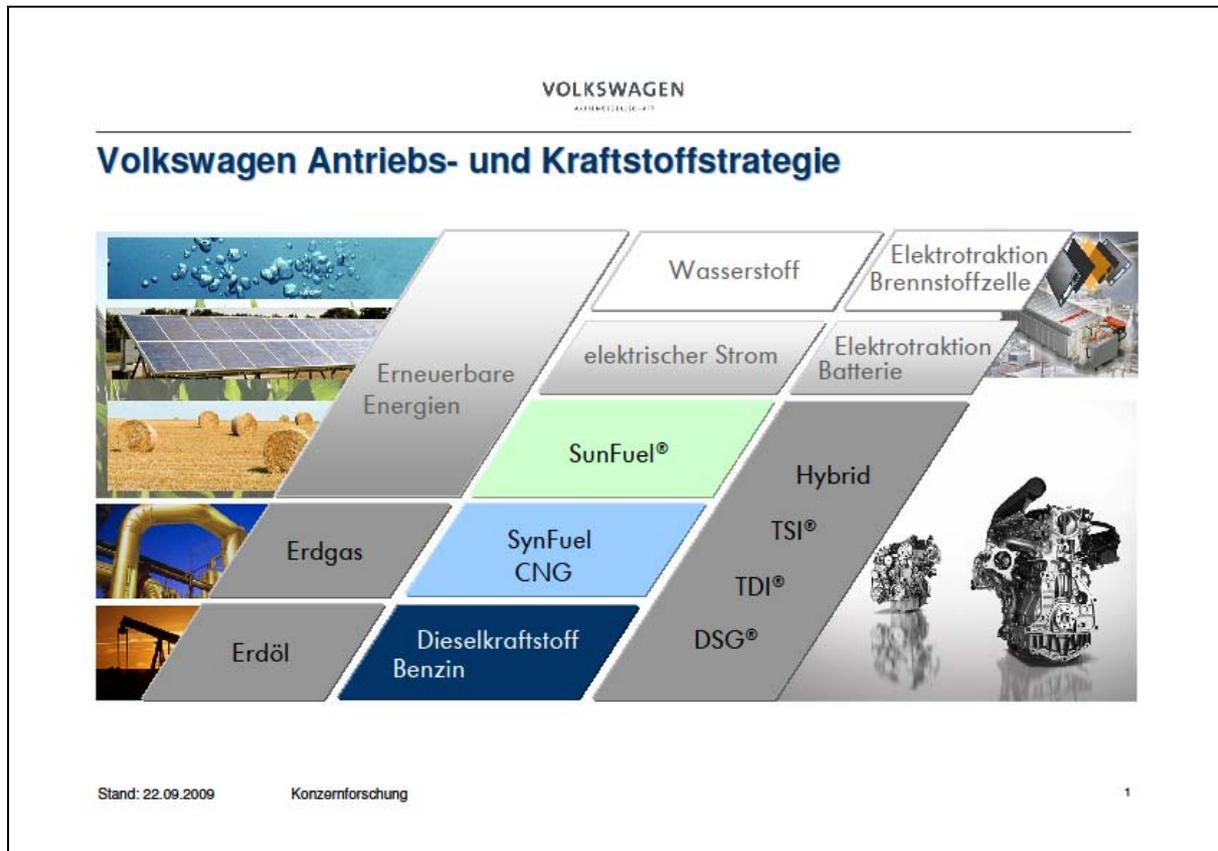
Shells Bevorzugung der Beimischung und der Umwandlung in ETBE deckt sich mit der Haltung des potenziellen Entwicklungspartners aus dem Automobilbereich, Volkswagen. Denn obwohl Volkswagen in Brasilien und den USA E85-taugliche FFVs anbietet, möchte der OEM dies auf dem deutschen Markt vermeiden, um keine weiteren Fahrzeug-Kraftstoffnischen zu etablieren:

„Da jedoch die Biokraftstoffe heute nur beschränkt verfügbar sind, sollten sie in Form von Beimischungen genutzt werden. Sie haben auch nicht das Potenzial flächendeckend als Reinkraftstoffe angeboten zu werden. [...] Auch für die Bioethanole der 2. Generation ist eine Beimischung vielversprechend. Hier ist zunächst eine 10%ige Beimischung (E10), später vielleicht eine 15%ige Beimischung, sinnvoll, um überhaupt eine flächendeckende Verteilung zu ermöglichen. Volkswagen hat bereits heute seine Neuwagen für die E10-Kraftstoffe vorbereitet“ (Leohold 2006b:10).

Trotz der Befürwortung von Zelluloseethanol durch Volkswagen muss darauf hingewiesen werden, dass es keine Grundlage für die HCCI-Motorenentwicklung darstellt und somit im Gegensatz zu BtL allein für die gegenwärtigen Probleme hinsichtlich der CO₂-Effizienz der

Automobile eine Lösung wäre (Automobilhersteller 1 Mitarbeiter 1, 2007-04-20; Automobilhersteller 1 Mitarbeiter 2, 2007-04-24). Diese somit im Vergleich zu BtL weniger zukunftsweisende Rolle von Zelluloseethanol für Volkswagen wird in der auf die Weiterentwicklung der Dieselseite fokussierten Kraftstoffstrategie des OEMs deutlich (vgl. Abbildung 19).

Abbildung 19: Die Kraftstoff- und Antriebsstrategie von Volkswagen⁷¹



Quelle: Volkswagen 2009.

Diese unterschiedliche Bedeutung von BtL und Zelluloseethanol für den deutschen Markt spiegelt sich aber nicht in der Einflussnahme auf die politischen Rahmenbedingungen durch Volkswagen, Iogen und Shell wider. Stattdessen erfolgte die Einflussnahme mit denselben Argumenten wie im Fall von BtL. Das *Framing* umfasste also die Bezeichnung von Zelluloseethanol als ‚zweite Biokraftstoffgeneration‘ und verwies nachdrücklich auf die relativen Vorteile von Zelluloseethanol gegenüber konventionellem Ethanol in Punkto CO₂-Effizienz, Ertrag pro Hektar und Neutralität gegenüber der Nahrungsmittelkette (vgl. Picard 2006:37; VW 2007a:9f):

„Sie haben eine Zwangsbeimischung. Ethanol ist knapp in Europa. [...] Lebensmittelkette ist für uns 'Not on'. CO₂-Performance ist für uns äußerst wichtig. Wenn ich jetzt die Biokraftstoffe der ersten Generation einsetze, dann haben Sie begrenzte Vorteile bei der CO₂-Bilanz und sind im

⁷¹ In nicht mehr nachdruckbaren Versionen der Volkswagen Kraftstoff-und-Antriebsstrategie aus dem Jahre 2006 wird Zelluloseethanol zwar abgebildet, nicht aber in die evolutionäre Entwicklung eingeordnet (vgl. Leohold 2006a).

vollen Wettbewerb mit der Lebensmittelkette. Zwei Dinger, wo wir sagen: ‚In solche Sachen investieren wir nicht‘. Ich meine, wir müssen jetzt ja Ethanol beimischen, ergo kaufen wir das auf dem Markt, 1. Generation, geht nicht anders [...]“ (Döhmel, Shell, 2007-03-27).

Diese Kritik an der ersten Generation – namentlich an der Südzuckertochter CropEnergies – stützte sich im Besonderen auf eine gemeinsame *Well-to-Wheel*-Analyse der Automobil- und Mineralölindustrie mit der Europäischen Kommission, die für Ethanol, das mit Hilfe von Energie aus Braunkohle gewonnen wird, eine negative CO₂-Bilanz feststellt (EUCAR et al. 2004:23; MWV 2006c:3). Die Gestaltung der Wertschöpfungskette für Zelloseethanol geht somit mit einer starken Delegitimierung des Ethanols der ersten Generation einher, die infolge des Ottokraftstoffüberschusses bei der deutschen Mineralölindustrie ohnehin unbeliebt ist. Dies geht auch mit einer klaren Abgrenzung zu der im zweiten Empirieteil erwähnten FFV-E85-Koalition (Ford, CropEnergies, KMU-Tankstellen) einher (vgl. 5.3.2; Mineralölbranche 3 Mitarbeiter 2, 2007-03-29; Bundestagsfraktion 1 Mitarbeiter 1, 2007-07-11).

Neben der Delegitimierung der ersten Ethanolgeneration zielten die Aktivitäten der Zelloseethanol-Koalition wie schon beim BtL auf die Neugestaltung des Energiesteuergesetzes und des Biokraftstoffquotengesetzes im Jahre 2006 sowie auf die mittelfristige ‚Roadmap Biokraftstoffe‘ im Jahre 2007. Dabei waren sie auch hier mit ihren Forderungen nur teilweise erfolgreich: So ist nicht nur das Ethanol der zweiten Generation, sondern auch das der ersten bis 2015 von der Steuer befreit (Bundesgesetzblatt 2006a:1550, 2006b:3180f). Auch dem schon im BtL-Abschnitt erwähnten Vorschlag eines CO₂-Faktors bei der Anrechnung der Verwendungsquoten oder der Mineralölsteuer war mit den in der Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung vorgesehenen Schwellenwerten nur ein begrenzter Erfolg beschieden (vgl. 6.3.2; Bundesregierung 2007b:§4 Abs. 1).

Hinsichtlich der Aktivitäten auf der EU-Ebene fällt eine größere Diskrepanz zu den BtL-Aktivitäten auf: Lediglich im Rahmen der *Biofuels Technology Platform* wurde Zelloseethanol als vielversprechende Alternative verankert. Dabei wird diese Option von Volkswagen sowie durch das spanische Technologieunternehmen Abengoa vertreten, während Shell wie bereits erwähnt an der *Biofuels Technology Platform* nicht teil nimmt – was auch für Iogen als nicht-europäisches Unternehmen gilt (vgl. 6.3.2; Biofuels TP:2007a, 2008:SRA 28). Eine der ASFE vergleichbare Interessengemeinschaft findet sich dagegen nicht, ebenso wenig wie ein Engagement von Volkswagen oder Shell am CEN Workshop Agreement für E85. Letzteres ist allerdings auch wenig überraschend angesichts ihrer Haltung gegenüber E85 und FFVs im deutschen Markt. Wie schon im BtL-Kapitel überlässt Shell somit die politische Einflussnahme weitestgehend den Innovationspartnern sowie den Branchenverbänden (vgl. 6.3.2; vgl. Picard 2006:37; MWV 2006c:3; VW 2007a:9f).

6.4.3 Die Zelluloseethanolalternative und der Kraftstoffpfad

Die Vermutung liegt nahe, dass die Relation zwischen der Zelluloseethanolalternative und dem Kraftstoffpfad sich ähnlich gestaltet wie bei BtL. Dafür sprechen die Verwendung desselben oder zumindest ähnlichen *Feedstocks*, die gemeinsame Bezeichnung als ‚zweite Biokraftstoffgeneration‘ und die ähnliche Organisation der Wertschöpfungsketten:

„CHOREN and Iogen are cousins and they are following the similar path for different sides of the market“ (Biokraftstoffbranche Mitarbeiter, 2007-04-10).

Entgegen dieser Vermutung zeigen sich aber ab der Raffinerieebene erhebliche Unterschiede in der Relation von Zelluloseethanol zum Kraftstoffpfad. Die Ursache dafür ist, dass Zelluloseethanol ein Benzinsubstitut ist und dass es andere technologische Eigenschaften aufweist. Das Verhältnis zum Upstream- bzw. E&P-Bereich des Kraftstoffpfades (vgl. 4.2) entspricht dagegen aufgrund desselben *Feedstocks* und der ähnlichen Organisation noch dem von BtL. So führt erstens biomassebasiertes Zelluloseethanol aufgrund seines geschätzten maximalen Substitutionspotenzials im Jahre 2020 von elf Prozent des Kraftstoffverbrauchs der EU25 angesichts der global bis 2030 um prognostizierte 55 Prozent wachsenden Nachfrage zu einer geringfügigen Ergänzung des fossilen Kraftstoffpfades (vgl. VES 2007:75; Nylund et al. 2008:21). Damit sind die Investitionen im fossilen Kraftstoffpfad (*sunk costs-Effekte*) nicht gefährdet – aber auch die aus der Schließung der OPEC-Förderländer Saudi-Arabien, Kuwait und Mexiko für die IOCs resultierenden Gegenmachteffekte nicht behoben. Allerdings eignet sich Zelluloseethanol aufgrund seines einheimischen, CO₂-neutralen *Feedstocks* zur Beantwortung der *Delegitimierungseffekte*, die infolge der Kritik der NGOs und der Importländer am fossilen Kraftstoffpfad – und ihres *Lock-ins* auf diesen – entstehen. Zweitens bedeutet die Zuständigkeit Iogens für den Upstreambereich von Zelluloseethanol, dass Shell diesen Bereich der Wertschöpfungskette vor seinen Maßstäben schützt (*Benchmarkeffekte*).

Hinsichtlich der im deutschen Markt befindlichen Raffinerieebene (vgl. 4.3) ergeben sich aber große Unterschiede im Vergleich zur BtL-Alternative: So sorgt Zelluloseethanol als Benzinsubstitut für eine Verstärkung der durch den Dieseltrend verursachten negativen Nachfrageeffekte, welche wiederum die Synergieeffekte der unflexiblen Kuppelproduktion unter Druck setzen (vgl. Automobilhersteller 1 Mitarbeiter 2, 2007-04-24). Dieses für den deutschen Raffineriemarkt gravierende Problem, das bereits durch die Produktion und Verwendungspflicht des Ethanol der ersten Generation entsteht (vgl. 6.4.4), wird auch durch das Innovationsoutsourcing dieses Bereichs an Iogen nicht gelöst. Allerdings lässt es sich partiell durch die Umwandlung des Ethanol in ETBE innerhalb der Raffinerien auffangen (vgl. Szklo et al. 2007:5415):

„Das MTBE ist kreierte worden als die Verbleiung der Kraftstoffe aufhörte [...], um in den hochwertigen Superkraftstoffen insbesondere die hohen Oktanzahlen zu erhalten, die moderne Motoren benötigen. [...] Methanol und Isobutylen fällt in Raffinerien in katalytischen Crackanlagen an, daraus wurde dieses Produkt synthetisiert, direkt in der Raffinerie, direkt auch in der Raffi-

nerie eingemischt und es ist möglich, diese Anlagen zu konvertieren in ETBE-Anlagen, dass man also das Methanol gegen Ethanol austauscht. [...] Wenn sie jetzt die MTBE-Anlagen nicht [in ETBE-Anlagen; JCS] konvertiert hätten und müssten die Bioquote erfüllen, dann würden sie durch das Ethanol, das hineingemischt wird, zusätzliche Menge produzieren. Abgesehen davon, müssen sie durch das Ethanol, das sie einmischen, auch noch Komponenten, die konventionell im Benzinpool drin sind, verdrängen, d.h. sie brauchen im Prinzip mehr Komponenten mit einer niedrigen Flüchtigkeit und sie verdrängen die mit der höchsten Flüchtigkeit. Also der erste Schritt der passiert, ist dass sie Butan verdrängen, das man im Benzingemisch drin hat, um bei niedrigen Temperaturen die Flüchtigkeit zu gewährleisten [...] Und die nächsten Schritte sind dann, dass sie, weil sie sehr viel Oktanzahl auch mit dem Ethanol hineinbringen, Leichtbenzin verdrängen, was zusätzlich dann Rohstoff für die chemische Industrie wäre, genau wie Butan [...] Und das [...] wird alles dazu beitragen, immer mehr Ottokraftstoff zu machen“ (Mineralölbranche 1 Mitarbeiter, 2007-02-06).

Durch die über die Umwandlung in ETBE erfolgende Integration in die Raffinerieproduktion kann Zelluloseethanol auch verwendet werden, um den aus der regulativen Verknüpfung der Aspekte ‚Luftqualität‘ und ‚CO₂-Effizienz‘ resultierenden ‚*Widersprüchlichkeitseffekten*‘ zu begegnen. Allerdings ist dieser Weg durch die Begrenzung des ETBE-Anteils auf 15 Prozent limitiert, wobei Ethanol unter 50 Prozent des ETBEs ausmacht und nur dieser Anteil als Biokraftstoff angerechnet wird (Bundesgesetzblatt 2006b:3181; Mineralölbranche 3 Mitarbeiter 1, 2007-02-27). Als ETBE würde Zelluloseethanol zudem als bereits zugelassene Kraftstoffkomponente die technologischen *Komplementaritätseffekte* zwischen Kraftstoff und Motor nicht gefährden.⁷²

Zur Tankstellenebene (vgl. 4.4) und den dort angelegten strukturellen Handlungsanreizen weist in ETBE umgewandeltes Zelluloseethanol wiederum eine positive Beziehung auf, da es ähnlich wie BtL als Premium-Biokomponente im Rahmen von Shells V-Power-Strategie eingefügt werden könnte (vgl. Mineralölbranche 2 Mitarbeiter, 2006-12-29). Entsprechend könnten über die Differenzierung vom Wettbewerber mit Hilfe von Zelluloseethanol die *Marktsättigungseffekte* im deutschen Tankstellenmarkt adressiert werden und die *direkten Netzwerk-* bzw. *Koordinationsseffekte* der Tankstelleninfrastruktur durch die Bemischung genutzt werden. Eine Senkung der Kraftstoffpreise und damit eine Erfüllung der Erwartungen der meisten Kunden wäre dadurch aber nicht möglich (Delegitimierungseffekte).

Der Automobilbereich (vgl. 4.5) des Kraftstoffpfades profitiert – so weit Volkswagen betroffen ist – allein in Form der Absenkung der CO₂-Werte des Verkehrsbereichs. Wie auch BtL reagiert in ETBE umgewandeltes Zelluloseethanol auf die technologischen Komplementaritätseffekte zwischen Kraftstoff und Motor, sowie durch die Rückwärtskompatibilität auf die *Verzögerungseffekte* der Flottenverjüngung und die Umweltansprüche der Verbraucher (*Legitimationseffekte*).

⁷² Es sei an dieser Stelle angeführt, dass die häufig als Problem der Ethanolbeimischung angeführte ‚Dampfdruckanomalie‘ durch die Umwandlung in ETBE oder auch durch eine flächendeckende E5- oder E10-Beimischung gelöst wird (vgl. BP Mitarbeiter, 2006-12-29; Mineralölbranche 1 Mitarbeiter, 2007-02-26).

6.4.4 Zelluloseethanol und die Explorationsanreize

Die substituierende Beziehung der Zelluloseethanolalternative zum Kraftstoffpfad – insbesondere auf der Raffinerieebene – deutete bereits darauf hin, dass diese Alternative im Rahmen des deutschen Marktes eher den Explorationsanreizen geschuldet ist, vor allem denen der regulativen Explorationsstrukturen (vgl. 5.1). Dabei sind an erster Stelle die von der Verwendungspflicht für die Distributionsebene ausgehenden *regulativen push-Effekte* zu nennen, die ein wichtiges Motiv für Shells Engagement darstellen (vgl. Döhmel, Shell, 2007-03-27; Shell 2008a). Wie bei BtL (vgl. 6.3.4) reagiert Shell mit ihrem Engagement nicht nur auf diese Explorationsanreize, sondern ist bestrebt, diese durch die Ausgestaltung der Verwendungspflicht in Richtung einer stärkeren Berücksichtigung der CO₂-Effizienz und die damit verbundene Delegitimierung der ersten Ethanolgeneration in ihrem Sinne zu gestalten. Dasselbe gilt hinsichtlich des Bestrebens, die Steuerbefreiung und damit die *steuerlichen push-Effekte* CO₂-bezogen zu gestalten. Hinter diese zentralen Fragen treten die Mengenziele (freiwillige *push-Effekte*) wie auch die FuE-Förderung (finanzielle Fördereffekte) deutlich zurück – wobei letztere jedoch durch die Beteiligung am DOE-Programm in den USA zum Tragen kommen. Hinsichtlich der sich abschwächenden *Ressourcen-push-Effekte* aus der Landwirtschaftspolitik ist Zelluloseethanol mit BtL vergleichbar, indem es einerseits als Biokraftstoff diesem Trend folgt und sich andererseits durch die Verwendung von landwirtschaftlichen Reststoffen von ihm entkoppelt.

Die Explorationsanreize aus der Antriebsentwicklung (vgl. 5.2) im Automobilbereich finden im Vergleich zu diesem starken Bezug zu den regulativen Explorationsstrukturen keine Beachtung, da Shell nicht an der E85-Koalition teilnimmt und den Aufbau einer deutschen *Flexible Fuel*-Pkw-Flotte nicht unterstützt.

Dagegen scheinen in Shells Exploration von Zelluloseethanol die regulativen Explorationsanreize eng mit den Explorationsanreizen aus der Entwicklung, Produktion und Distribution alternativer Kraftstoffe (vgl. 5.3) zu interagieren. Doch zunächst sei erwähnt, dass Shell durch die Beteiligung an Iogen als einem der Technologieführer im Bereich des Ethanols aus Lignozellulose wie bei CHOREN auf mögliche zukünftige *Technologie-push-Effekte* einer marktreifen Technologie reagiert. Zudem erzielt Shell durch das bessere Verständnis dieses alternativen Kraftstoffs *Zukunftssicherungseffekte*. Vor allem aber – und an dieser Stelle tritt die Verbindung zur Entwicklung der regulativen Explorationsstruktur auf – scheint Shell mit der Exploration der Zelluloseethanalmöglichkeiten in Deutschland im Verbund mit Volkswagen auf die E85-Koalition zu reagieren. Dafür spricht die auch vom MWV vorgenommene Delegitimierung des Ethanols der ersten Generation als teilweise klimaschädlich, die damit wesentlich kritischer ausfällt als die Argumentation BtL-versus-Biodiesel:

„Biokraftstoffe werden gerne öffentlichkeitswirksam als CO₂-frei dargestellt. Diese Darstellung ist zumindest für Biokraftstoffe der ersten Generation falsch, die auf Basis von Getreide- oder Rapskorn hergestellt werden. Für die Erzeugung muss fossile Energie eingesetzt werden – z. B. in Form von Kunstdünger oder Pestiziden. Die weitere Umsetzung z. B. von Getreide zu Ethanol ist ebenso ein energieintensiver Prozess, für den wiederum fossile Energie eingesetzt wird. Richtig ist, dass die Sonnenenergie einen wesentlichen Beitrag bei der Erzeugung der Biomasse leistet. Aber selbst dieser Vorteil kann aufgezehrt werden, wenn für die Prozessenergie z. B. in der Ethanolerzeugung Braunkohle, also ein Energieträger mit der höchsten spezifischen CO₂-Emission eingesetzt wird [...]. Das so produzierte Ethanol kann in einer Gesamtbetrachtung (Well-to-wheel) sogar höhere CO₂-Emissionen aufweisen als Ottokraftstoff [...]. So verständlich die Entscheidung der Ethanolerzeuger auch sein mag, aus Kostengründen Braunkohle einzusetzen, so falsch ist die Behauptung gerade in diesem Fall, Ethanol sei CO₂-frei“ (Picard 2006:37).

Diese scharfe Kritik am Ethanol der ersten Generation lässt sich nur angesichts des Ottokraftstoffüberschusses in der Raffinerie und der Erfolge der E85-Koalition bei der Gestaltung der regulativen Rahmenbedingungen verstehen.

6.4.5 Fazit: Zelluloseethanol als das ‚bessere Übel‘?

Die auf den ersten Blick sehr ähnlichen Explorationsaktivitäten von Zelluloseethanol und BtL stellen sich somit auf den zweiten Blick als grundverschieden in ihrem Bezug zum Kraftstoffpfad und den Explorationsstrukturen dar: So verhält sich Zelluloseethanol als ergänzende, fremd organisierte Ressourcenquelle wie BtL hinsichtlich der Handlungsanreize des globalen E&P-Bereichs. Auf der im deutschen und europäischen Markt eingebetteten Raffinerieebene aber verstärkt Zelluloseethanol die aus der Dieselisierung und der unflexiblen Kuppelproduktion resultierenden Probleme des Kraftstoffpfades – also die Benzinüberschüsse. Die Umwandlung in die Premiumkomponente ETBE kann dabei nur als Schadensbegrenzung verstanden werden und ist mengenmäßig begrenzt. Deshalb erscheint Zelluloseethanol – abgesehen von den CO₂-Vorteilen und der Immunisierung des Biokraftstoffmarktes gegenüber der Kritik, in die Nahrungsmittelkette einzugreifen – ab der Raffinerieebene für die Verwendung im europäischen Dieselmotorenmarkt weniger geeignet als für den US-amerikanischen Ottomotorenmarkt.

Hinsichtlich der Explorationsstrukturen wiederum rücken der regulative Zwang zur Ethanolverwendung und die Kritik an der ersten Ethanolgeneration in den Vordergrund, wobei die problematische Beziehung von Ethanol zum Kraftstoffpfad eine wesentliche Rolle zu spielen scheint. Deshalb lassen sich die Ankündigung, den Bau einer Zelluloseethanolanlage in Deutschland zu prüfen wie auch der Verweis auf die ökologischen Vorteile von Zelluloseethanol in erster Linie als Gegenargumente gegen die regulativ aufgezwungene Verwendung von Ethanol interpretieren.

Obwohl sich die Exploration von Zelluloseethanol im deutschen und europäischen Rahmen somit eher als eine Aktivität darstellt, die eine andere Alternative verhindert, weist ihre Organisation durch Shell bemerkenswerte Ähnlichkeiten zu der Exploration von BtL auf. Auch hier seien die zentralen Momente der Organisation und ihr Bezug zu den Handlungsanreizen dargelegt:

1. Wie bei BtL erscheint die *Entscheidung*, sich an der Exploration dieses alternativen Biokraftstoffes zu beteiligen und sie auch für den deutschen Markt zu prüfen, als eine Reaktion auf die Entwicklung der regulativen Explorationsanreize – in Deutschland auf die mit den Verwendungspflichten einhergehenden regulativen push-Effekte. Eine Fürsprache durch die OEMs fehlt dagegen – während im US-amerikanischen Markt Shell zumindest bereits eine umfassende Ethanolkompetenz aufgebaut hat.
2. Die *Investition* in Iogen wie bei CHOREN in Form von *coporate venture capital*, vermeidet eigene Entwicklungskosten. Allerdings ist durch die Aufstockung der Beteiligung auf 50 Prozent Shell inzwischen signifikant an der Iogen-Tochter Iogen Energy Corporation beteiligt. Wie bei BtL kann diese Beteiligung an einem Technologieführer auch als Reaktion auf die Zukunftssicherungseffekte infolge der Entwicklung neuer Biokraftstofftechnologien und als Vorwegnahme möglicher Technologie-push-Effekte einer marktreifen Technologie für Zelluloseethanol gesehen werden.
3. Die *Beschränkung* des eigenen Beitrags auf bisherige Kompetenzbereiche Planung und Distribution vermeidet den Aufbau neuer Kompetenzen.
4. Die gleichzeitige *lose Kopplung* zur Upstreamentwicklung inklusive der Ethanolanlage kann wie bei BtL als *Innovationsoutsourcing* verstanden werden und vermeidet die Beeinflussung der Entwicklung durch Shells Benchmarkeffekte.
5. Die *Teil-Finanzierung* der ersten kommerziellen Anlage durch das DOE-Programm nimmt finanzielle Fördereffekte in Anspruch. Die im Juli 2008 erfolgte verstärkte finanzielle Beteiligung Shells an der Entwicklung der ersten kommerziellen Zelluloseethanolanlage Iogens kann als positive (Teil-)Antwort auf die *Gretchenfrage* einer *final investment decision* bewertet werden – allerdings im Rahmen des US-Marktes und des DOE-Programms.
6. Die mögliche *Integration* des Zelluloseethanols in den Kraftstoffpfad durch die Umwandlung in ETBE und anschließende Verwendung im V-Power Benzin als Premiumkomponente würde die direkten Netzwerk- und Koordinationseffekte der bestehenden Infrastruktur nutzen und wie BtL der Reaktion auf die Marktsättigungseffekte dienen, also eine Differenzierung im Markt ermöglichen.
7. Die bisher *nicht erfolgte Platzierung* im deutschen Markt entspricht der hiesigen Dieselisierung (negativer Nachfrageeffekt) und den Ottokraftstoffüberschüssen.
8. Die *Kooperation* mit Volkswagen bei der Erkundung möglicher Produktionsstandorte in Deutschland erhöht vor allem auch die Glaubwürdigkeit der Alternative und verbessert den Zugang zur deutschen Politik.
9. Das *Lobbying* zugunsten von Zelluloseethanol zielt anscheinend aufgrund des damit verbundenen *Framings* vor allem auf die Verhinderung weiterer Explorationsanreize zugunsten der ersten Generation.
10. Die *Legitimierung* von Zelluloseethanol geht mit der Delegitimierung des Ethanols der E85-Koalition einher. Wie schon beim BtL weisen die Legitimierungsbemühungen von

Zelluloseethanol auch auf die Bildung differenzierterer Ansprüche an Biokraftstoffe hin, die Biokraftstoffe nicht mehr einfach nur als Lösung der Probleme des fossilen Kraftstoffpfades betrachten.

Die ähnliche Organisation der Exploration von Zelluloseethanol lässt sich mithin nicht nur vor dem Hintergrund des deutschen und des europäischen Marktes, sondern insbesondere auch des US-Marktes verstehen. Dort ist Zelluloseethanol – ähnlich wie BtL in Deutschland – eine auf die US-amerikanischen Raffinerie- und Distributionmärkte zugeschnittene Kraftstoffalternative, die dem dortigen Ottomarkt, steigenden Kraftstoffanforderungen und der Frage der Unabhängigkeit vom Öl aus dem Mittleren Osten entspricht (vgl. Nylund et al. 2008:34ff). Entsprechend gilt für den *dortigen* Markt, dass die Exploration von Zelluloseethanol eine *win-win*-Alternative darstellt, die über das Aufbauen auf Shells vorhandener Ethanolkompetenz in den fossilen Kraftstoffpfad integriert werden kann und diesen durch die reduzierte Importabhängigkeit der USA legitimiert. Im Rahmen des deutschen Marktes erscheint die Exploration von Zelluloseethanol dagegen als ein willkommenes Gegenargument gegen die erste, die Benzinüberschüsse verschärfende Ethanolgeneration – und damit der Absicherung der hiesigen auf der Kuppelproduktion beruhenden Synergieeffekte. Mit anderen Worten: Shells Weiterführung der Exploration im deutschen Rahmen wird wesentlich von der Weiterentwicklung der Explorationsstrukturen – insbesondere der regulativen und der durch die erste Generation begründeten Wettbewerbsstrukturen – abhängen, die eventuell dazu führen, dass Zelluloseethanol für Shell im deutschen Markt zu einem ‚besseren Übel‘ wird.

6.5 Wasserstoff als der ultimative Kraftstoff?

Die Kraftstoffalternative Wasserstoff bildet in Shells Kraftstoffstrategie der ‚Dekarbonisierung‘ den letzten Schritt und damit *‚the ultimate fuel‘* (Döhmel 2006b:8; Shell 2007d:13f):

„Shell believes in hydrogen as the fuel for the future and as a base for Shell’s growth and success in the decades to come“ (van der Veer 2003:1).

Im Gegensatz zu den vorhergehenden Alternativen findet Shells Exploration dieser Alternative - abgesehen von Shells Beteiligung an der Wasserstofforientierten Verkehrswirtschaftlichen Energiestrategie (VES) – praktisch nicht im Rahmen des deutschen Marktes statt. Dennoch ist davon auszugehen, dass die Art und Weise, wie Shell die Wasserstoffalternative verfolgt, auch auf die Bedingungen des deutschen Marktes übertragbar wäre. Dafür spricht, dass diese Alternative vor allem mit der globalen, mittel- bis langfristigen Entwicklung der Motorentechnologie verbunden ist und weniger mit den gegenwärtigen, eher nationalen Anforderungen an Biokraftstoffe. Im Folgenden gilt es daher, wie bei den vorhergehenden Abschnitten zunächst die Wasserstoffalternative (6.5.1) und Shells Gestaltung ihrer Wertschöpfungskette (6.5.2) vorzustellen. Darauf basierend wird die Relation von Wasserstoff in Shells Version zum fossilen Kraftstoffpfad (6.5.3) sowie zu den

Explorationsanreizen (6.5.4) diskutiert und abschließend Shells Organisation und Strategie bei der Wasserstoffexploration bewertet (6.5.5).

6.5.1 Wasserstoff als Paradigmenwechsel

Wasserstoff als alternativer Kraftstoff unterscheidet sich von den im Vorhergehenden behandelten Alternativen insbesondere dadurch, als dass er primär – mit Ausnahme der BMW-Variante (vgl. 5.2.1) – dem ‚*fuel for engines*‘-Ansatz folgt und somit für den Einsatz in Brennstoffzellfahrzeugen entwickelt wird. Diese Kombination wird als ein auf ein neuartiges Antriebs- und Kraftstoffsystem hinauslaufender ‚Paradigmenwechsel‘ bzw. als ‚disruptive und komplexe Innovation‘ gehandelt (Metzner & Waschke 2003:65ff; Jürgens & Meißner 2005:147ff; Primrose, BP, 2006-08-23; Automobilhersteller 4 Mitarbeiter, 2007-08-01). Die Vorteile des Sekundärenergieträgers Wasserstoff als in der Brennstoffzelle verwendeter Kraftstoff bestehen in der Bandbreite möglicher Wasserstoffquellen, auch regenerativer Quellen, der Bildung von Wasserdampf als einzigem ‚Abgas‘ sowie der höheren Effizienz des mit dem in der Brennstoffzelle gewonnenen Strom betriebenen Elektromotors. Damit beinhaltet die Wasserstoffvision das Versprechen einer umweltfreundlichen und zugleich einer die heutigen Mobilitätsansprüche beinahe gleichwertig erfüllenden Alternative – sofern das Speicherproblem im Pkw und damit das Reichweitenproblem gelöst wird. Zur Herstellung des Wasserstoffs stehen derzeit vor allem drei Verfahren zur Verfügung: Die Reformation von Kohlenwasserstoffen in CO₂ und Wasserstoff, die Herstellung von Synthesegas (Gasifizierung) und die Spaltung von Wasser mit Hilfe der Elektrolyse. Als Feedstock für diese Verfahren können erneuerbare (Biomasse, Strom) und fossile (Erdgas, Kohle, Rohöl, Uranerz) Primärenergieträger verwendet werden. Das gängigste und kostengünstigste Verfahren ist dabei die Erdgasreformation (Pehnt 2001:63ff, 112f; Altmann et al. 2004:1-7ff; Jürgens & Meißner 2005:148ff; Ramesohl et al. 2006:34ff; Schäfer 2006:51ff). Diese Verfahren werden bisher aber vor allem zur Herstellung von Wasserstoff als chemischen Rohstoff genutzt, der anschließend industriell verwendet wird. Die kraftstoffseitigen Herausforderungen bei der Exploration von Wasserstoff als alternativem Kraftstoff liegen damit weniger in der Technologieentwicklung an sich als in der kostengünstigen Herstellung des Wasserstoffs, seiner Distribution sowie seiner Speicherung – mithin in der Entwicklung einer neuen Kraftstoffinfrastruktur. Diese Probleme sowie fahrzeugseitig die Kosten für die Brennstoffzelle sind Ursachen dafür, dass der um die Jahrtausendwende unter den Protagonisten von Brennstoffzellenfahrzeugen DaimlerChrysler, Ford, Toyota, Honda und General Motors herrschende Optimismus, bis 2003/2004 die ersten serienmäßigen ‚*Fuel-cell vehicles*‘ (FCVs) auf den Markt zu bringen, verfliegen ist. Entsprechend wird die Wasserstoffvision zunehmend nach hinten verschoben, obwohl sich vielfältige Akteure wie zum Beispiel auch der Industriegasehersteller Linde an der Lösung der Infrastrukturprobleme beteiligen (Metz-

ner & Waschke 2003:70f; Weider et al. 2004:70; Altmann et al. 2004:iif; Jürgens & Meißner 2005:127, 147; Primrose, BP, 2006-08-23; VDA 2007a:145; Linde o.J.).

Shells Engagement im Wasserstoffbereich spiegelt diese Herausforderungen und wechselnden Einschätzungen wider. So wurde die für den Wasserstoffbereich zuständige ‚*Shell Hydrogen*‘ 1999 in der Hochphase des Optimismus der OEMs gegründet, die Realisierung dagegen immer weiter verschoben und mit weiteren Problemen konfrontiert, die auch aus der Weiterentwicklung der bestehenden Antriebe resultierten:

„Wasserstoff zeichnen wir [in unserer Kraftstoffstrategie; JCS] immer ab. Bloß die Durchdringungsphase für Wasserstoff schiebt sich mehr und mehr nach hinten. 1995 hieß es, 2010 wird es bei den Neufahrzeugen schon einen erkennbaren Anteil an Brennstoffzellenfahrzeugen geben. Was wir unterschätzt haben – aber nicht nur wir, da können Sie die OEMs genauso fragen – ist, dass die konventionelle Technologie sich auch weiter entwickelt. Jetzt gucken sie sich mal einen Dieselmotor von 1995 an und einen von 2005: Die Kostenschere zwischen Brennstoffzelle und Diesel divergiert, die konvergiert nicht. [...] [A]lle sagen sie ‚Vor 2030, 2040 vergessen sie es‘. Da sind noch so viele ungeklärte Fragen, zum Beispiel die Finanzierung einer Wasserstoffinfrastruktur. So und sie haben das Phänomen des Eis und des Huhns. Es ist ja nicht so, dass wenn sie jetzt sagen ‚Jetzt haben wir die Brennstoffzelle‘, dass dann 100 Prozent der Autopopulation eine Brennstoffzelle hat. Das ist ein Übergang der dauert 15 bis 17 Jahre. Das heißt, sie fahren zwei Infrastrukturen parallel“ (Döhmel, Shell, 2007-03-27).

Aufgabe der *Shell Hydrogen* ist es, Geschäftsmöglichkeiten im Bereich Wasserstoff und Brennstoffzellen insbesondere hinsichtlich des Vertriebs von Wasserstoff zu entwickeln. Dafür verfolgt Shell sowohl Kooperationen zur Entwicklung einzelner Technologien wie auch Beteiligungen an Demonstrationsprojekten wie zum Beispiel der *California Fuel Cell Partnership* und einzelnen Leuchtturmprojekten in Amsterdam, Reykjavik, Washington DC, Tokyo und Shanghai (Macleod 2006a:4f; Döhmel, Shell, 2007-03-27; Shell 2004b:41, 2007d:13f):

„Our goal is to bring hydrogen into a retail setting [...] To actually be able to market hydrogen within the foreseeable future, Shell is operating along two channels. Firstly, Shell wishes to broaden its expertise, make the public more aware of the application and use of hydrogen by initiating and encouraging hydrogen-based projects. Secondly, Shell is actively supporting technological development essential for rendering hydrogen accessible to a broader market“ (Shell 2007g).

Wie sich diese Einführung von Wasserstoff in den Vertrieb aus der Sicht von Shell näher gestaltet ist Inhalt des nächsten Abschnittes.

6.5.2 Shells evolutorische Gestaltung der Wasserstoff-Wertschöpfungskette

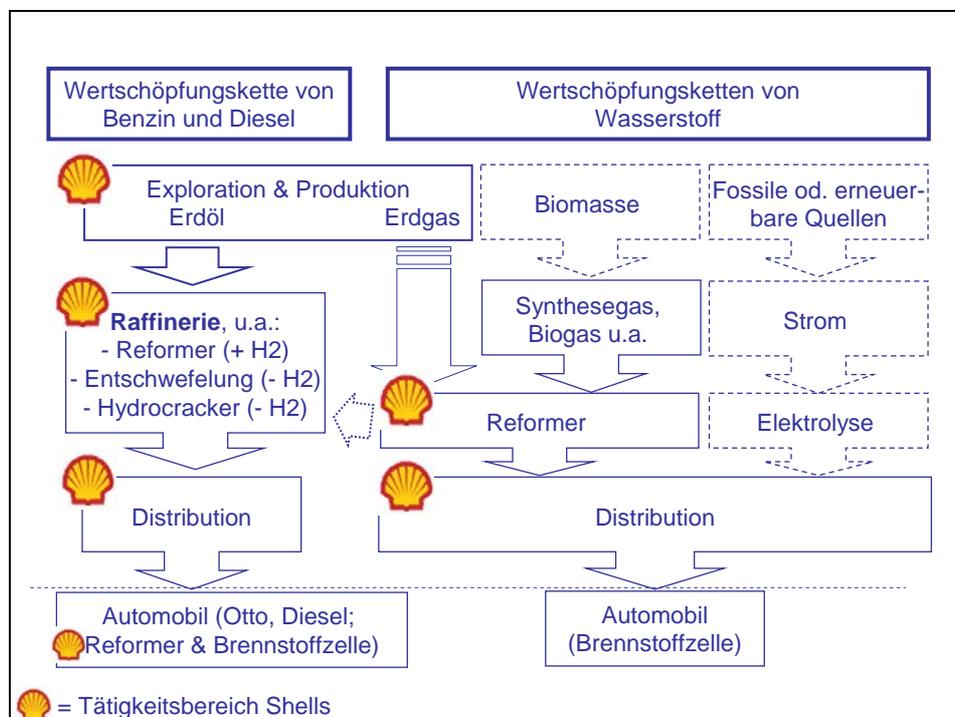
Shells Gestaltung der Wertschöpfungskette von Wasserstoff wird durch zwei Merkmale geprägt: Erstens die weiterhin bestehende Offenheit hinsichtlich des Designs, was zur Exploration einer großen Bandbreite von Wasserstofftechnologien und möglichen Wertschöpfungsketten führt – die es im Folgenden zu behandeln gilt (vgl. Abbildung 20). Das zweite Kennzeichen ist, dass Shell seit Beginn ihres Engagements 1999 die Entwicklung der Wasserstoffalternative nicht als radikalen Bruch, sondern als Evolution aus dem bestehenden Kraftstoffpfad heraus interpretiert (vgl. Macleod 2006a:1):

„Hydrogen powered fuel cells extend the logic of decarbonisation – offering the potential for cleaner more efficient energy. Much work is being done to pursue these possibilities. But, *in competitive energy markets, advances are more likely to succeed if they evolve from existing systems*“ (Watts 1999; Hervorhebung JCS).

Entsprechend ist Shells Gestaltungsansatz der Wertschöpfungskette stark integrativ ausgerichtet: Hinsichtlich des zu verwendenden Primärenergieträgers bedeutet die Evolutionsorientierung, dass Erdgas und aus Erdöl hergestelltes Benzin als naheliegende Wasserstoffquellen angestrebt werden:

- „Shell companies are presently focusing on four areas:
- * emission free power generation from gas,
 - * reforming hydrogen from gasoline in cars,
 - * reforming hydrogen from gas in service stations, and
 - * storing hydrogen as a solid in cars“ (Watts 1999).

Abbildung 20: Shells Gestaltung der Wertschöpfungskette von Wasserstoff

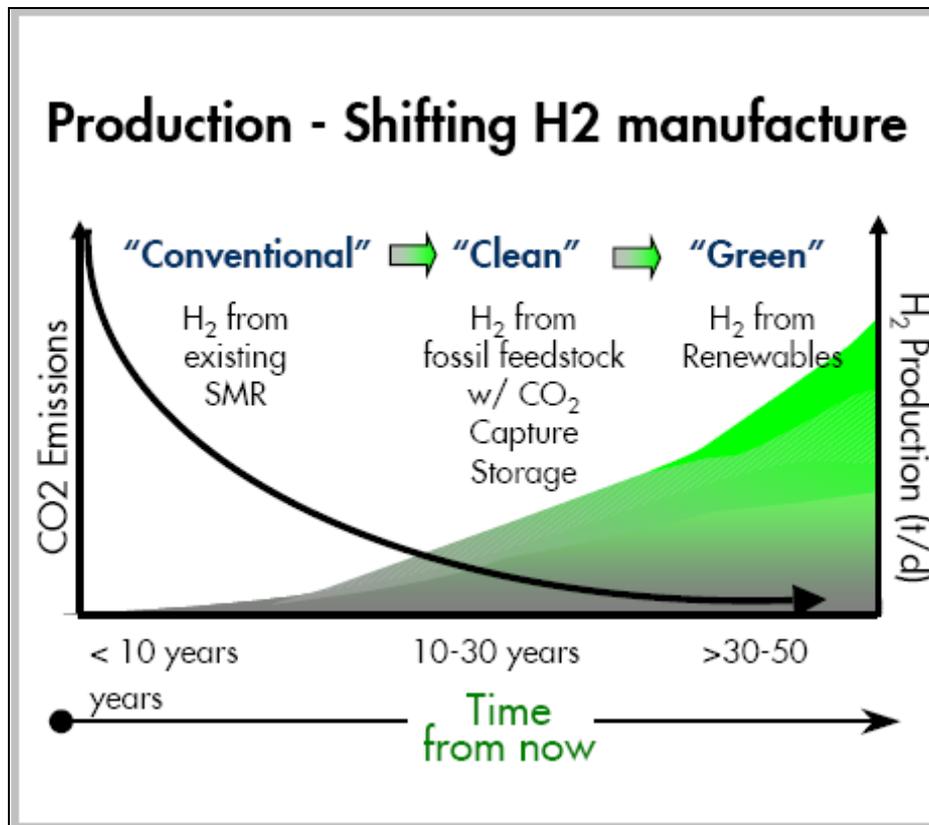


Quelle: Eigene Darstellung; vgl. Ramesohl et al. 2006:34; Shell 2008c.

Dem Erdgas wird dabei eine „vital role [...] as a bridging fuel during at least the next two decades“ (van der Veer 2003:2) zugewiesen (vgl. Abbildung 21). Zudem schließt Shell wie bei den synthetischen Kraftstoffen auch Kohle nicht als *Feed-stock* aus, verweist dabei aber auf die Notwendigkeit, diesen in Kombination mit der noch nicht marktreifen *end-of-pipe* Technologie ‚Carbon Capture and Sequestration‘ (CCS) zu verwenden. Dem Einsatz regenerativer Energieträger per Elektrolyse für die Wasserstoffproduktion wird dagegen aus Kosten- und Verfügbarkeitsgründen eine erst langfristig tragende Rolle zugewiesen, wobei Shell diese Variante bereits in ihren Leuchtturmprojekten in Reykjavik und Amsterdam erprobt. Trotz dieser doppelgleisigen Strategie setzt Shell somit in erster Linie darauf, dass auch in einer möglichen Umsetzung der Wasserstoffalternative ihre klassischen Produkte als Feedstock weiterhin Verwendung finden (vgl. van der Veer

2003:2ff; Macleod 2006a:2f, 2007b:3; Kramer et al. 2006:6ff; Shell 2007d:13; Sweeney 2007:4ff).

Abbildung 21: Shells Vision der Wasserstoffquellen⁷³



Quelle: Macleod 2007a:8.

Ähnlich verhält es sich auf der Ebene der Wasserstoffproduktion, auf der Shell wie schon deutlich wurde den Einsatz von Reformern für Erdgas und Benzin favorisiert. Diese Reformer können sowohl für eine zentrale als auch in kleinerem Maßstab an der Tankstelle, beim Verbraucher (*home refueller*) oder im Automobil (Benzinreformer) für eine dezentrale Herstellung von Wasserstoff verwendet werden. Alle Varianten deckt Shell über die Erdgasreformierung in der Raffinerie, die Entwicklung neuer Membranen für die zentrale oder dezentrale Erdgasreformierung und einen mit XCELLSIS entwickelten Benzinreformer ab. Bei diesen Entwicklungen bringt Shell ihr Know-how im Umgang mit Kohlenwasserstoffen und der Katalyse ein. Ergänzend zur zentralen Wasserstoffproduktion beschäftigt sich Shell zudem mit einer Großanlage zur Wasserstoffverflüssigung (Pelkmans & Azkárate 2003:46, 98; Macleod 2006a:2f, 2007b:4; Shell 2008b). Zugleich beschäftigt sich Shell aber auch mit der Elektrolyse, allerdings eher als Anwender in ihren Demonstrationsprojekten in Amsterdam und Reykjavik sowie als Markteinführungspartner des

⁷³ „SMR“ steht für „Steam Methane Reforming“, also für die konventionelle Umwandlung von Erdgas über die Dampfreformierung (vgl. Ramesohl et al. 2006:149).

Elektrolyseentwicklers Vandenborre Hydrogen Systems (Schindler & Schmidt 2004:77; Macleod 2006a:2; Shell 2008c).

Die Entwicklung von Technologien zur dezentralen Wasserstoffproduktion reicht bereits in die Wasserstoffdistribution hinein. Für diese stehen somit die Möglichkeiten einer Anlieferung von zentral hergestelltem und verflüssigtem Wasserstoff per Tankwagen, die Produktion vor Ort mittels Elektrolyse oder Reformier oder der Vertrieb von Benzin – oder anderen Primärenergieträgern wie Methanol oder Ethanol – an Pkws mit einem eingebauten Benzinreformier zur Verfügung. Bei den ersten beiden Varianten, also dem Direktvertrieb von Wasserstoff, bestehen die beiden Möglichkeiten, diesen verflüssigt oder komprimiert zu lagern und zu vertreiben. Beide Möglichkeiten erfordern dabei neue, auf gasförmige Kraftstoffe ausgelegte Distributionsinfrastrukturen, wobei für die Drucklagerung Kompressoren notwendig sind (Altmann et al. 2004:1-20ff; Ramesohl et al. 2006:105ff). Shell verfolgt auch auf dieser Ebene alle Optionen über die Entwicklung einer zentralen Wasserstoffverflüssigung, eines Benzinreformiers und die dezentral produzierten Druckwasserstoff verwendenden Leuchtturmprojekte Reykjavik und Amsterdam. Aufgrund der fehlenden Kompatibilität von Wasserstoff mit dem bestehenden Distributionssystem und den signifikanten Kosten für die Infrastrukturentwicklung ergibt sich bei der Realisierung der Wasserstoffalternative – anders als den vorher behandelten Alternativen GtL, BtL und Ethanol – das Henne-Ei-Problem als zentrale Herausforderung auf der Distributionsebene (vgl. 5.3; Altmann et al. 2004:1-4; Döhmel 2006a:5; Döhmel, Shell, 2007-03-27):

„How to economically make the transition to hydrogen is an actively-debated topic. Hydrogen must be sufficiently available in the beginning or customers won't buy fuel-cell vehicles. But to invest in a hydrogen infrastructure before there is adequate demand is difficult. It will take an innovative solution“ (Shell 2004b:14).

Zur Lösung dieses Problems setzt Shell auf dieser Ebene auf koordiniertes Handeln, das zum einen aus den genannten Leuchtturmprojekten in Amsterdam, Reykjavik, Washington DC, Tokyo und Shanghai besteht. Diese sieht Shell als einen ersten Schritt zu ‚Mini-Netzwerken‘, welche als Brücke zu einer flächendeckenden Infrastruktur fungieren könnten (Shell 2008d):

„We believe that the next stage towards possible hydrogen commercialisation is to work with other energy companies to create 'mini-networks' of at least four combined hydrogen and petrol refuelling stations in urban centres. This will take a coordinated effort to bring together hundreds of vehicles from different auto manufacturers, vehicle fleet owners and energy companies. Mini-networks could play a crucial role in bridging the gap between demonstration projects and commercialisation“ (Shell 2007d:14).

Neben diesen Leuchtturmprojekten verfolgt Shell eine enge Abstimmung mit den OEMs in gemeinsamen Studien zur Markteinführung von Infrastruktur und Brennstoffzellenfahrzeugen (*roll-out*) und damit auch in den Investitionsentscheidungen (vgl. Macleod 2006b):

„The uncertainty surrounding associated roll-out timelines also doesn't help. [...] It is therefore essential that we continue to build relationships with OEMs in order to better understand our common goals. At Shell, we believe there is a growing consensus around an investment decision

date of 2012-14, with commercialisation – which we define as the major automakers each producing 1,000 cars a month – i.e. 60,000 a year – perhaps 5-6 years later“ (Macleod 2007a:2).

Über diese Kooperation wird die Entwicklung des Distributionsbereichs direkt mit der Entwicklung des Automobilbereichs verknüpft. Dabei kooperiert Shell insbesondere mit General Motors im Leuchtturmprojekt von Washington D.C. sowie in einer *roll-out*-Studie, aber auch mit DaimlerChrysler, zum Beispiel beim Reykjavik-Projekt, in der Reformentwicklung und in der *California Fuel Cell Partnership*. Außerdem beteiligt sich Shell an dem *Japan Hydrogen and Fuel Cell Demonstration Project* und der europäischen *Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform* sowie in Deutschland an der auf Wasserstoff ausgerichteten und vom BMVBS koordinierten Verkehrswirtschaftlichen Energiestrategie (VES) (HB 1998-05-12; Pelkmans & Azkárate 2003:46; Shell 2007d:14, 2008c). Die zahlreichen – weit über das Aktivitätsniveau Shells hinsichtlich der Biofuels TP hinausgehenden – Kooperationen erstrecken sich somit nicht nur in den Automobilbereich, sondern beziehen auch die Politik mit ein, wobei dieser zum Beispiel über die Leuchtturmprojekte die Alltagstauglichkeit von Wasserstoff vorgeführt werden soll. In diesem umfassenden Kooperationsansatz – anstelle der Bildung einer kleineren Wasserstoff-Koalition – kommt die Unsicherheit hinsichtlich der Alternative Wasserstoff am deutlichsten zum Ausdruck (vgl. van der Veer 2003:5; Bentham 2006:2; VES 2007:17). Shell betont entsprechend, dass

„We at Shell are happy to play an important role in this transformation. *But we do not see it as an undertaking for any one company or group of companies.* Rather, it requires a partnership among government, the automakers, the energy industry, and the public. Clearly, partnerships between automakers and energy suppliers are essential at this juncture – some 5-10 years before commercialization of hydrogen fuel cell vehicles“ (Macleod 2006b:1f; Hervorhebung im Original).

Die Notwendigkeit zur Koordination sieht Shell somit auch hinsichtlich der Gestaltung der sich ebenfalls in der Entwicklung befindlichen regulativen Rahmenbedingungen. Diese sollten in Shells Augen den Startvorteil des bestehenden Kraftstoffsystems durch steuerliche Entlastungen zugunsten von Wasserstoff oder durch die Internalisierung der externen Kosten Luftqualität, Klimawandel und Energiesicherheit kompensieren:

„Globally, government policies impacting on the hydrogen and fuel cell industries are only now beginning to be formed. [...] Now, it is essential that the right principles are ingrained in these emerging policies and that they are carefully framed. This must be based above all on an understanding of the commercial challenges faced in the production of hydrogen. [...] [C]ompetitiveness must come from the added benefits produced in cleaner air, lower CO₂ emissions, and improved energy supply security. It is our view that these factors need to be reflected in price signals received by the market. *Technology alone cannot bridge the gap in cost.* The incumbent petroleum based technology already has an infrastructure in place and is made from a relatively low cost feedstock. This means that in practice, hydrogen will only be able to compete in the early years with the consistent support of government, and appropriate fiscal signals to the market“ (van der Veer 2003:3; Hervorhebung JCS).

Diese eingeforderte fiskalische Unterstützung für Wasserstoff ist in der EU und Deutschland insofern gegeben, als Wasserstoff bei der Verwendung in Demonstrationsprojekten

von der Energiesteuer befreit werden kann. Ansonsten ist der regulative Rahmen zwar bereits sehr ausformuliert, aber eher hinsichtlich der Verwendung von Wasserstoff als Chemikalie denn als Kraftstoff, so dass insbesondere die Zulassung von Tankstellen und die EG-Typengenehmigung von Serienfahrzeugen künftig Probleme aufwerfen könnten (vgl. Schwab 2006:3f, 46f; VES 2007:12f).

6.5.3 Wasserstoff und der Kraftstoffpfad

Folgt die Entwicklung der Wasserstoffalternative dem Entwurf Shells und ihren Organisationsbemühungen, so weist sie folgende Beziehung zum bestehenden technologischen Kraftstoffsystem auf: Hinsichtlich der Explorations- & Produktionsebene (vgl. 4.2) des Kraftstoffpfades greift Shell mit der Betonung der Evolution der Wasserstoffalternative aus dem bestehenden System heraus auf eben dieses zurück – bzw. auf das dort geförderte Erdgas. Dadurch, dass Erdgas dabei die zentrale Rolle zugewiesen wird, erfolgt wie schon beim GtL eine Integration in den Kraftstoffbereich. Damit entspricht der Upstreambereich der Wasserstoffalternative in Shells Version dem Explorations- & Produktionsbereich des Kraftstoffpfades und der GtL-Alternative. Entsprechend werden auch die dortigen positiven Rückkopplungs- und Veränderungsanreize auf die Wasserstoffalternative überführt sowie Shells eigenen Vorstellungen einer wirtschaftlichen Alternative (*Benchmarkeffekte*) und bereits vorhandenen Erdgaskompetenzen (*Spezialisierungseffekte*) entsprochen. Durch die Evolutionsperspektive hin zu erneuerbaren Quellen – oder Kohle plus CCS – werden zugleich die aus der Kritik an der Importabhängigkeit und dem Klimawandel resultierenden *Delegitimierungseffekte* sowie der *Lock-in* der Erdöl-Importländer adressiert. Diese in die Zukunft verschobene Vision von erneuerbarem Wasserstoff für eine auf Brennstoffzellen umgestellte Fahrzeugflotte – Shell spricht vom Jahr 2040 – führt zu einer zeitlich sehr losen Kopplung, bei der die Umsetzung der Alternative mit dem Abklingen der Erdölförderung einhergeht (vgl. Shell 2001:41; Macleod 2007a:8; Backer 2008).

In Bezug auf die Handlungsanreize des Raffineriebereichs (vgl. 4.3) des Kraftstoffpfades ist den verfolgten Reformervarianten gemeinsam, dass sie auf die im Raffineriebereich vorhandenen Kompetenzen bei der Erdgas- und Benzinreformation aufsetzen und somit dortige *Spezialisierungseffekte* nutzen. Auf der anderen Seite können die Raffinerien angesichts ihres steigenden Wasserstoffbedarfs von der Entwicklung der verschiedenen Varianten zur Wasserstoffproduktion profitieren (vgl. Pelkmans & Azkárate 2003:46; Macleod 2007a:3):

„Also Wasserstoff ist ja ein Medium, das durchaus gebräuchlich ist [...] es gibt ja zig Millionen von Tonnen Wasserstoff, die in Raffinerien und in Chemieanlagen gebraucht und umgesetzt werden [...] [I]n so einer Anlage wird der Wasserstoff perfekt beherrscht und auch erzeugt und umgesetzt [...] und dann wird es wieder in diesen ganzen Hydrierprozessen verbraucht. Diese Wasserstoffbilanz spielt natürlich in solchen Anlagen eine erhebliche Rolle und das ist jetzt nicht so, dass wir dort Wasserstoffüberschüsse haben, sondern der Bedarf geht eher hoch. Aber wir

wissen, wie man mit Wasserstoff umgeht und wie man Wasserstoff erzeugen kann und deswegen sind alle Verfahren, die auch neu sind und noch nicht so bekannt sind, interessant für eine Mineralölgesellschaft. Und wenn die Energielieferung in Form von Wasserstoff erfolgen muss dann irgendwann einmal, dann müssen wir natürlich wissen, wie es geht, deswegen ist es wichtig, sich mit so einem Thema zu beschäftigen“ (Mineralölbranche 1 Mitarbeiter, 2007-02-06).

Es kann somit zu einem *spill-over* zwischen der Raffinerietechnologie und der Wasserstofftechnologie kommen. Zudem steht die zentrale, in der Raffinerie vorgenommene Wasserstoffproduktion in einem positiven Verhältnis zum Raffinerieprozess, da so gemeinsam Anlagen genutzt werden können. Dadurch sind zum einen wie bei der BtL-Produktion *Synergieeffekte* möglich, zum anderen werden die Raffinerien dadurch auch nicht in ihrem Bestand gefährdet (*sunk costs-Effekte*). Die dezentrale Herstellung des Wasserstoffs aus Erdgas oder per Elektrolyse an der Tankstelle würde dagegen durch die Substitution der Raffinerieprodukte und die Auslagerung der Wasserstoffherstellung eben diese *sunk costs-Effekte* gefährden. Die im Automobil erfolgende Benzinreformati- on schließlich würde weiterhin Raffinerieprodukte erfordern und dabei auf das in Europa eher im Rückzug befindliche Benzin verwenden. Zu guter Letzt würde mit Wasserstoff auch das auf der Raffinerieebene mit der Kraftstoffqualität verortete Problem der Luftqualität gelöst werden, ohne dass Wasserstoff als neuer Kraftstoff für neue Motoren mit den bestehenden technologischen Komplementaritätseffekten zwischen Kraftstoffen und Motoren verbunden ist.

Hinsichtlich der Tankstellenebene (vgl. 4.4) des Kraftstoffpfades weichen die verfolgten Distributionsvarianten – abgesehen vom Benzin für den im Pkw untergebrachten Benzinreformer – vom bestehenden System ab. Die Folge ist, dass sie die *direkten Netzwerk-* bzw. *Koordinations*effekte nicht nutzen können und stattdessen mit einem Henne-Ei-Problem konfrontiert sind, das durch die Installationskosten der Wasserstoffinfrastruktur sowie den ‚*mono-fuel*-Charakter‘ von Brennstoffzellenfahrzeugen weiter verschärft wird (vgl. 5.3.2; Altmann et al. 2004:4-4). Dies wird durch die bisherige Konkurrenz zwischen dem Vertrieb von gasförmigem und verflüssigtem Wasserstoff noch intensiviert (vgl. Linde o.J.:20f).

Auf der Automobilebene (vgl. 4.5) divergiert die Wasserstoffvariante vollständig vom Kraftstoffpfad – sofern nicht wie von BMW angestrebt der Wasserstoff im Verbrennungsmotor eingesetzt wird (vgl. 5.2.1). Damit ist dieser alternative Kraftstoff neben dem Henne-Ei-Problem auch den aus der langsamen Erneuerung der deutschen Pkw-Flotte resultierenden *Verzögerungseffekten* ausgesetzt. Dementsprechend müsste die Wasserstoffinfrastruktur über einen längeren Zeitraum parallel zur Infrastruktur des Kraftstoffpfades unterhalten werden. Allerdings werden durch das Versprechen einer gleichwertigen und umweltfreundlichen Mobilität die Erwartungen der Verbraucher adressiert (*Legitimitätseffekte*) sowie die vor allem in Kalifornien von der Regulierung vorgegebene Entwicklung von *Zero Emission Vehicles* (ZEV) (vgl. 5.2).

6.5.4 Wasserstoff und die Explorationsanreize

Zu den Explorationsstrukturen weist die Art, wie Shell die Wasserstoffalternative verfolgt, sehr wenige Bezüge auf – insbesondere im Vergleich mit den anderen drei Alternativen GtL, BtL und Zelluloseethanol. Dies gilt vor allem für die regulativen Explorationsstrukturen (vgl. 5.1), von denen Wasserstoff lediglich einen Bezug zu den auf Freiwilligkeit basierenden *regulativen push-Effekten* der Mengenziele aufweist und die *finanziellen Förderereffekte* im FuE-Bereich in Anspruch nimmt (vgl. 5.1.5). Die Möglichkeit, in Demonstrationsprojekten Wasserstoff von der Energiesteuer befreit zu verwenden, dürfte dagegen kaum als steuerlicher *push*-Effekt wirken. Zugleich beschränkt sich Shells Einflussnahme auf die regulativen Explorationsanreize auf die Aufforderung, Wasserstoff steuerlich besser zu stellen als die fossilen Kraftstoffe, und ist damit im Vergleich zu den GtL-, BtL- und Zelluloseethanolaktivitäten nur schwach ausgeprägt. Dieser schwache Bezug zu den regulativen Explorationsstrukturen dürfte nicht nur mit der Marktferne von Wasserstoff zusammenhängen, sondern auch ein Hinweis darauf sein, dass diese Alternative von Shell weniger favorisiert wird und eher aufgrund der Aktivitäten der OEMs erfolgt.

Dafür spricht auch der deutliche Bezug zu den Explorationsanreizen der Antriebsentwicklung (vgl. 5.2) im Automobilbereich. Von diesen entspricht Shell den *demand-pull-Effekten* wie auch den *Zukunftssicherungseffekten* angesichts der Dynamik der Brennstoffzellenentwicklung um die Jahrtausendwende. Die zeitliche Übereinstimmung deutet darauf hin, dass diese Explorationsanreize eine zentrale Rolle für Shells Wasserstoffengagement spielten. Schließlich spiegelt noch die Breite der verfolgten Wasserstoffdistributionsansätze von Benzinreformern oder der Abgabe von gasförmigem oder verflüssigtem Wasserstoff die Offenheit im Design der Brennstoffzellenfahrzeuge wider. Dies deutet somit auch auf *technology forcing Effekte* in dem Sinne hin, dass Shell bei einer endgültigen Ausprägung des Pkw-Designs über die entsprechende Distributionsmöglichkeit verfügt (vgl. Jürgens & Meißner 2005:147ff).

Hinsichtlich der Explorationsanreize infolge der Entwicklung, Produktion und Distribution alternativer Kraftstoffe (vgl. 5.3) kann Shells Wasserstoffexploration auch als Reaktion auf die Aktivitäten möglicher anderer Anbieter wie Linde oder der Stromkonzerne interpretiert werden:

„Das Problem ist, die [internationalen Mineralölkonzerne; JCS] unterstützen das nicht. Das Spiel ist ein anderes. Die Energiezukunft der Welt wird nicht mehr so klar und auf wenige Akteure beschränkt sein. Wir werden durch die regenerativen Energien und insbesondere hier viel größere Vielfalt haben. Und das irritiert die. Das irritiert die Stationären, die EVUs [Energieversorgungsunternehmen; JCS], das irritiert aber auch die Mineralölunternehmen, weil plötzlich ein Windmühlenpark Wasserstoff herstellen kann. So, dann hat er eine freie Tankstelle, die das Zeug vertreibt. Oder: Hat eine Kommune und die Kommune baut plötzlich eine Tankstelle, weil die Kommune auch noch eine Müllverbrennungsanlage hat, aus dem Verbrennungsgas wird Wasserstoff hergestellt. [...] Dann ist die BP-Tankstelle plötzlich überflüssig. Das ist Konkurrenz von einer ganz anderen Seite. Und [...] dann kommen so Anbieter wie Linde, die flüssigen Wasserstoff herstellen und eine gute Geschäftsmöglichkeit sehen, das an Tankstellenbetreiber zu verkaufen

oder sogar eigene Tankstellen zu eröffnen. So, das heißt der Markt wird unruhig. Und ich kann ihnen sagen, das Interesse der, hier mitzumachen, ist ‚market shares‘. Die wollen das Spiel mitspielen. Lust haben die dazu nicht. Es ist teuer im Augenblick, man muss Innovationen mitmachen, hat selber kein eigenes Know-how, aber die Sache ist: Bevor sie dann plötzlich nicht mehr mitspielen können, machen sie jetzt mit. So sieht die Sache aus“ (Bundesministerium 1 Mitarbeiter, 2007-05-03).

In dieser Lesart würde Shells Wasserstoffexploration also mögliche *Angebots-push-Effekte* neuer Hersteller oder *Technologie-push-Effekte* neuer Technologien vorwegnehmen und damit auf die *Zukunftssicherungseffekte* der dynamischen Alternativenentwicklung reagieren. Eine Delegitimierung anderer alternativer Kraftstoffe wie dies bei den BtL- und den Zelluloseethanolaktivitäten der Fall ist, findet sich dagegen nicht.

6.5.5 Fazit: Wasserstoff als ‚licence to grow‘?

Die Exploration der Wasserstoffalternative in der Form wie sie von Shell vorgenommen wird setzt somit im E&P-Bereich auf den Kraftstoffpfad auf, während sie im Downstreambereich zunehmend von diesem abweicht. Allerdings versucht Shell auch dort die alte Wertschöpfungskette durch die zentrale Produktion von Wasserstoff und die Entwicklung eines Benzinreformers weitgehend zu erhalten. Hinsichtlich des Kraftstoffpfades würde bei dieser Realisierung der Wasserstoffvision somit keine radikale Innovation stattfinden – auch wenn sie mit der evolutionären Perspektive langfristig in Aussicht gestellt wird. Hinsichtlich der Explorationsanreize stellt sich Shells Wasserstoffentwicklung bereits von ihrer zeitlichen Einbettung her als Reaktion auf die Antriebsentwicklung der Automobilindustrie sowie der Bereitschaft möglicher Wettbewerber, sich in der Wasserstoffdistribution zu engagieren. Aufgrund der Marktferne der Erzeugung von Wasserstoff als Kraftstoff spielen die regulativen Explorationsanreize dagegen eine nachrangige, partiell unterstützende Rolle.

In Shells Organisation der Wasserstoffexploration kommen somit folgende Handlungsanreize zum Zuge:

1. Die *Entscheidung*, die Wasserstoffalternative zu explorieren, reagiert auf die *demand-pull*-Effekte und Zukunftssicherungseffekte der Antriebsentwicklung sowie auf den Markteintritt möglicher neuer Wettbewerber.
2. Die *Wahl*, mehrere Produktions- und Distributionsweisen zugleich zu explorieren, reflektiert die Unsicherheit über das technologische Design der Wasserstoffalternative.
3. Die *Integration* insbesondere des Upstreambereichs von Wasserstoff in den Kraftstoffpfad sichert Shell die Handlungsanreize dieser Bereiche und ihre eigenen Benchmark- und Spezialisierungseffekte und ermöglicht es ihr, auf dieser Basis die Wasserstoffalternative zu explorieren.
4. Die *Verwendung* ihr aus dem Raffineriebereich bekannter Technologien und ihre Weiterentwicklung ermöglicht positive spill-over-Effekte zugunsten des neue Wasserstoffquellen benötigenden Raffineriebereichs. In diesem Falle führt die Wasserstoffex-

ploration zu einer Kompetenzerweiterung auf der Raffinerieebene (vgl. Tushman & Anderson 1986).

5. Die vorwettbewerbliche *Kooperation* mit Partnern aus anderen Technologiebereichen – zum Beispiel der Elektrolyse – lässt Shell auch an Entwicklungen dieser alternativen, ihren Kompetenzen fern liegenden Wasserstofftechnologien teilhaben.
6. Die *Abstimmung* mit den Automobilherstellern als zentrale Akteure der Wasserstoffentwicklung entspricht den Zukunftssicherungseffekten und zielt auf die Lösung des Henne-Ei-Problems. Hier lässt sich auch die Teilnahme an Leuchtturmprojekten und Forschungsgremien hinzu zählen, die nicht nur die Infrastrukturtechnologien testen, sondern auch Basen für den ‚roll-out‘ der Infrastruktur sein sollen („Inselansatz“).
7. Die *Entwicklung* einer eigenen, evolutionären Wasserstoffvision, die die Einführung regenerativ erzeugten Wasserstoffs in die Zukunft verschiebt. Damit wird die Entwicklung von Wasserstoff aus regenerativen Energien nur lose mit der Wasserstoffrealisierung gekoppelt und legitimiert zugleich die auf Erdgas fokussierten Aktivitäten Shells.

Zusammengenommen zeichnet sich Shells Organisation der Wasserstoffexploration somit durch eine umfassende Betrachtung aller Alternativen, durch vorwettbewerbliche Partnerschaften, das Anstreben einer koordinierten Markteinführung sowie die Entwicklung einer evolutorischen Perspektive aus. Dadurch kann Shell an der Wasserstoffexploration teilnehmen und diese zugleich – wie bei den anderen Alternativen auch – teilweise in den Kraftstoffpfad integrieren. Dieser wird dadurch potenziell auch in die Kraftstoffversorgung von Brennstoffzellenfahrzeugen extendiert, wobei allerdings Wasserstoff - im Gegensatz zu der anderen aus Erdgas gewonnenen Alternative GtL – in der Distribution vom Kraftstoffpfad divergiert. Zugleich offeriert der Sekundärenergieträger Wasserstoff Shell eine „licence to grow“ (van der Veer 2003:5) dank seiner positiven Antwort auf die Frage der Luftqualität sowie seiner *potenziell* positiven Antworten auf die Fragen der CO₂-Effizienz und der Importabhängigkeit. Shells evolutorische Ausrichtung der Exploration weist jedoch nicht darauf hin, dass diese Möglichkeiten letztendlich auch genutzt werden.

6.6 Fazit: Shells Exploration alternativer Kraftstoffe

Zusammengenommen zeichnen sich Shells Aktivitäten zur Exploration der Alternativen *Gas-to-Liquids* (GtL), *Biomass-to-Liquids* (BtL), Ethanol aus Lignozellulose (Zelluloseethanol) und Wasserstoff durch einen pfadintegrativen Charakter aus. Dabei finden sich aber große Unterschiede zwischen den einzelnen Alternativen hinsichtlich ihrer Affinität zum Kraftstoffpfad, der Organisation ihrer Exploration durch Shell, ihre Motivation sowie schließlich der damit vermutlich verfolgten Strategie bzw. der strategischen Funktion der jeweiligen Alternative.

Bei der *Affinität zum Kraftstoffpfad* ist hervorzuheben, dass die vier Alternativen in unterschiedlichem Maße und von unterschiedlichen Bereichen des bestehenden Kraftstoffsystems abweichen: GtL divergiert aufgrund der eigenen Produktionsanlagen nur vom Raffi-

neriebereich des Kraftstoffpfades und fügt so das im E&P-Bereich wie Erdöl geförderte Erdgas in die bestehende Distributionsinfrastruktur ein. BtL und Zelluloseethanol divergieren dagegen mit der Verwendung von Biomasse vor allem vom wichtigen E&P-Bereich. Während BtL in den Raffineriebereich integriert werden kann, weicht Zelluloseethanol infolge eigener, biochemischer Produktionsanlagen auch auf dieser Ebene vom Kraftstoffpfad ab. Beide Technologien aber integrieren ihre Produkte in die bestehende Distributionsstruktur. Aus Erdgas in der Raffinerie oder an der Tankstelle gewonnener Wasserstoff ist zwar Upstream in den bestehenden E&P-Bereich integriert, weicht aber Downstream zunehmend von der bestehenden Wertschöpfungskette ab. Damit führt Wasserstoff als einzige Alternative zu einem Henne-Ei-Problem, während alle anderen Alternativen in den Kernmarkt ‚fossile Kraftstoffe‘ integriert werden. Diese variierende Affinität der Alternativen bedeutet, dass sie unterschiedlich stark auf die Handlungsanreize des Kraftstoffpfades – wie auch auf die Handlungsanreize, die aus Shells endogenisierten Strukturen resultieren – reagieren und diese nutzen. Dabei ergibt die variierende Affinität im Verein mit den jeweils verwendeten Technologien, dass nicht Wasserstoff am stärksten vom fossilen Kraftstoffpfad abweicht, sondern dass Zelluloseethanol als die radikalste Innovation betrachtet werden muss. Dafür spricht, dass sie nicht nur auf einem neuen Feedstock basiert, sondern auch, dass sie ein biochemisches, in kleinerem Maßstab anwendbares Verfahren nutzt. GtL und BtL nutzen dagegen die in der Mineralölindustrie üblichen thermochemischen Verfahren:

„[S]econd generation [BtL; JCS] is much more oil refining type operation with high pressure, it is catalyst, it is big investments, large plants, large industrial sites and so on and so forth. So, it is natural for the oil industry to be more interested in second generation because that is a technology that they know, that is a technology where they have expertise and they would probably be the only ones who could operate it“ (Mineralölbranche 4 Mitarbeiter, 2007-08-15).

Trotz ihrer unterschiedlichen Radikalität ist der Kraftstoffpfad durch keine der Alternativen ernstlich gefährdet, da zu der Radikalität eine zeitliche und bzw. oder mengenmäßige Entkopplung der Alternativen kommt: Dies gilt insbesondere für Wasserstoff, dessen radikal vom Kraftstoffpfad abweichende Variante, aus erneuerbaren Energien gewonnener Wasserstoff, erst langfristig für möglich gehalten wird. Die Produktionskapazitäten für GtL, BtL und Zelluloseethanol wiederum stehen bestenfalls erst mittelfristig – 2020 – in größerem Maße zur Verfügung und sorgen dann angesichts des prognostizierten weltweiten Nachfragewachstums eher für eine Ergänzung des Kraftstoffpfades denn für seine Substitution. Dies wiederum gilt insbesondere für die in ihrem Substitutionspotenzial limitierten Alternativen BtL und Zelluloseethanol. Durch diese zeitliche und mengenmäßige Entkopplung werden Alternativen den *sunk costs*-Effekten des Kraftstoffpfades gerecht.

Die Radikalität, mit der die Alternativen vom Kraftstoffpfad und von Shells auf diesen ausgerichteten Kompetenzen abweichen, spielt dennoch eine wichtige Rolle, insbesondere für Shells *Organisation der Explorationsaktivitäten*: So basiert die Exploration des weitgehend pfadkonformen GtLs als einzige Alternative allein auf internen Forschungs-

und Entwicklungsbemühungen und ist im etablierten Geschäftsbereich ‚Erdgas‘ integriert (vgl. Cook 2007:44f):

„GtL ist bei der Gasseite mit drin. Das hat aber rein etwas mit den internen Strukturen zu tun, weil der Hauptschlüssel natürlich ist bei GtL an stranded gas ran zu kommen. In Katar bauen wir ja nicht nur eine GtL-Anlage, sondern auch eine sehr große LNG-Anlage, da werden 25 Milliarden investiert. Insofern kommt das daher“ (Döhmel, Shell, 2007-03-27).

Die Exploration von Wasserstoff ist dagegen intern durch die Verankerung in *Shell Hydrogen* abgekoppelt und erfolgt zudem auf Basis zahlreicher vorwettbewerblicher Kooperationen. Bei BtL und Zelluloseethanol findet ein klares Innovationsoutsourcing an CHOREN respektive Iogen statt, bei dem Shell ihre eigenen Kompetenzen in Form der patentierten Fischer-Tropsch-Synthese bzw. der Investitionsplanung für eine Zelluloseethanolanlage einbringt. Die Biomassebeschaffung und der Anlagenbetrieb sind hier aber von Shell abgekoppelt. Durch diese Organisation verfolgt Shell die Alternativen intern, die auf ihre eigenen Kompetenzen aufsetzen und diese weiter entwickeln, während die Exploration der Alternativen, die neue Kompetenzen erfordern, Entwicklungspartnern überlassen wird. Damit schützt Shell diese Alternativen aber auch vor ihren eigenen Signifikationsstrukturen, das heißt vor ihren Ansprüchen an die mittelfristige Rendite und ihrer Fokussierung auf technologische Großprojekte – also vor ihren Benchmarkeffekten. Shell reagiert bei ihrer Organisation der Alternativenexploration aber nicht nur, sondern wirkt auch gezielt auf die Beeinflussung der Handlungsanreize hin, insbesondere der rechtlichen Rahmenbedingungen – vor allem bei den Biokraftstoffen BtL und Zelluloseethanol – und der Akteuserwartungen bzw. der Legitimität ihrer Alternativen. Auch dieses führt sie nicht allein durch, sondern im deutschen Rahmen insbesondere in Kooperation mit Volkswagen. Mit diesem Automobilhersteller kooperiert Shell in drei der vier Fälle und integriert damit den Bereich, in dem ihre Kraftstoffe verbraucht werden, früh in ihre Kraftstoffentwicklungen. Gründe dafür, dass die Exploration des vierten Falls, Wasserstoff, ohne Volkswagen erfolgt, könnten sein, dass diese weniger auf den deutschen Markt fokussiert erfolgt und dass Shells Wasserstoff-Kooperationspartner General Motors und DaimlerChrysler eine zentralere Rolle in der Brennstoffzellenentwicklung spielen als Volkswagen (vgl. Metzner & Waschke 2003:71; Jürgens & Meißner 2005:147ff). Strategische Partnerschaften, die ihrerseits wieder spezifische Kompetenzen erfordern, machen mithin einen zentralen Bestandteil in Shells Explorationsorganisation aus (vgl. Duschek 2001).

Auch beim dritten Aspekt, der *Motivation der Explorationsaktivitäten*, weisen die vier Alternativen große Unterschiede auf: Die Verfolgung der Wasserstoffalternative scheint insbesondere eine vorsorgende Reaktion auf die Antriebsentwicklungen im Automobilbereich zu sein. Die Ursachen für BtL und Zelluloseethanol scheinen dagegen ein starkes Motiv aus den regulativen Explorationsanreizen zu beziehen. GtL schließlich erscheint als optimale Antwort auf die Probleme des Kraftstoffpfades in Form der steigenden regulati-

ven Anforderungen an die Raffinerieprodukte einerseits und den erschwerten Zugang zu leicht verarbeitbarem ‚easy oil‘ andererseits (vgl. Shell 2006a:4). Bei allen Alternativen scheint zudem der Druck durch potenzielle Marktneulinge und neue Technologien motivierend zu wirken.

Zu guter Letzt ist die *Explorationsstrategie* zwar in allen vier Fällen pfadintegrativ ausgelegt, jedoch scheinen die Alternativen vor dem Hintergrund ihrer unterschiedlichen Pfadaffinität, Organisation und Motivation auch unterschiedliche strategische Funktionen in Shells Innovationsportfolio zu erfüllen. So stellt GtL eine logische Antwort auf die Handlungsanreize des Kraftstoffpfades dar und erfüllt mit der Erschließung eines neuen *Feedstocks* für das auf Flüssigkeiten basierende Kraftstoffsystem eine pfadextendierende Funktion. BtL dagegen erscheint nur im spezifischen Rahmen der deutschen und der europäischen Regulierung und Marktentwicklung sinnvoll. In diesem Rahmen aber sorgt es je nach Argumentation auf der einen Seite auch für eine Legitimierung des ‚Schwesterkraftstoffs‘ GtL und auf der anderen für eine Delegitimierung von Biodiesel. Die Pfadintegration BtLs erhält somit in erster Linie eine die GtL-Extension flankierende Funktion. Zelluloseethanol ergibt hinsichtlich der deutschen und der europäischen Regulierung ebenfalls, nicht aber im Rahmen der hiesigen Marktentwicklung (‚Dieselisierung‘) Sinn. Da deshalb seine Exploration im deutschen Rahmen in erster Linie mit einer Delegitimierung der hier produzierten ersten Ethanolgeneration einhergeht, erhält Zelluloseethanol hier eine neue Alternativen verhindernde Funktion. Im Rahmen des US-Marktes dagegen erscheint Zelluloseethanol als sinnvolle Antwort sowohl auf die Regulierung wie auch auf die Marktentwicklung. Shells Wasserstoffexploration schließlich scheint die Funktion zu erfüllen, eine mögliche Wasserstoffentwicklung zumindest Upstream in den bestehenden Kraftstoffpfad zu integrieren und so einen tiefgreifenderen Wandel der Wertschöpfungskette mittelfristig zu vermeiden – und mit der Evolutionsperspektive zu legitimieren.

Zusammengenommen betrachtet wird deutlich, dass auf der einen Seite die Wahl der zu explorierenden Alternativen und insbesondere die Gestaltung ihrer Exploration maßgeblich durch den Kraftstoffpfad und durch die Ausrichtung von Shells Signifikationsstrukturen und Kompetenzen auf den Kraftstoffpfad beeinflusst wird. Auf der anderen Seite ist Shell dazu in der Lage, durch Partnerschaften die eigenen pfadgebundenen Kompetenzen zu erweitern. Zudem gestaltet sie durch ihre Explorationsaktivitäten die Entwicklung des fossilen Kraftstoffpfades in einer Weise mit, die seine weitere Legitimation, seine Extension um den Erdgasbereich und die Vermeidung umfassenderen Wandels beinhaltet. Mithin können Shells Explorationsaktivitäten auch als Pfadmanagement verstanden werden, das einerseits auf Handlungsanreize – sowohl des Kraftstoffpfades wie auch der Explorationsstrukturen – reagiert und andererseits eben diese Anreize aktiv mit gestaltet.

7 Fazit: Shells Exploration alternativer Kraftstoffe als Pfadmanagement

Die Forschungsfrage dieser Arbeit lautete ‚*Warum und wie exploriert Shell alternative Kraftstoffe?*‘ und zielte vor dem Hintergrund einer Pfadabhängigkeitsvermutung des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ nicht nur auf eine theoretisch angeleitete Beschreibung und Erklärung der Aktivitäten Shells. Vielmehr ging es auch um die empirisch fundierte Einführung eines Pfadmanagementverständnisses in das – strukturationstheoretisch interpretierte – Pfadabhängigkeitskonzept. Entsprechend zielt dieses Fazit darauf ab, die Antworten auf die Forschungsfrage zusammen zu fassen und hinsichtlich ihrer empirischen und theoretischen Implikationen zu diskutieren. Dafür werden die beiden Leitfragen – ‚*Warum?*‘ (7.1) und ‚*Wie?*‘ (7.2) – als ordnendes Prinzip aufgegriffen und um einen Ausblick (7.3) ergänzt.

7.1 Warum Shell alternative Kraftstoffe exploriert

Die Frage, *warum* Shell als Pfadincumbent alternative Kraftstoffe exploriert, spiegelt die Kausalitätsorientierung des Pfadabhängigkeitskonzeptes wider und fordert den Erklärungskraft des Konzeptes empirisch heraus. Der Grund dafür ist, dass das klassische Pfadabhängigkeitskonzept von homogenen Akteuren, einer Urne und einer eindeutigen Nutzenverteilungen ausgeht. Die Exploration von Alternativen ist dabei ausgeschlossen, da dies nicht der kurzfristigen Nutzenmaximierung der Akteure entspricht (vgl. Arthur 1989:117ff; Crouch & Farrell 2004:12ff). Deshalb erfolgte der erste Schritt zur Beantwortung der ‚*Warum?*‘-Frage in Form einer Modifikation des klassischen Pfadabhängigkeitskonzept, die die beiden empirischen Schritte ermöglichte, nämlich die Analyse der Pfadabhängigkeit des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ einerseits und die Identifikation von Explorationsmotiven andererseits.

Die Modifikation des klassischen Pfadabhängigkeitskonzeptes erfolgte mit Hilfe einer strukturationstheoretischen Perspektive (Giddens 1997) sowie durch die Verwendung des Konzepts der ‚sozialen Mechanismen‘ (Hedström & Swedberg 1996; Mayntz 2005). Diese Modifikationen boten folgende Vorteile: So ermöglichte die Verwendung von Giddens (1997) Strukturationstheorie eine systematische Aufarbeitung der Pfadabhängigkeitsadaptationen, indem anhand der strukturationstheoretischen Trias ‚Struktur‘, ‚Akteurshandeln‘ und ‚reursive Dualität‘ die Pfadabhängigkeitsansätze auf ihre kommensurablen Bestandteile hin untersucht wurden. Dadurch konnten anschließend im modifizierten Pfadabhängigkeitsverständnis die vielfältigen Ursachen von Pfadabhängigkeit – technologische, ökonomische, regulative, soziale, kognitive positive Rückkopplungen – verbunden werden. Der zweite Vorteil bestand in dem vertieften Verständnis der Funktionsweise der Rückkopplungen mit Hilfe der Giddenschen ‚Grundlogik‘ einer rekursiven Dualität zwischen Struktur und Akteurshandeln sowie vor allem mit Hilfe des Konzepts der ‚sozialen Mechanismen‘. Letzteres kann von der Spezifität der Interaktion zwischen Struktur und

Akteurshandeln als auch von der Anzahl der betrachteten sozialen Prozesse her zwischen dem Pfadabhängigkeitskonzept und der Strukturationstheorie eingeordnet werden. Dadurch erfasst das Konzept sozialer Mechanismen mehr mechanismusbasierte Prozesse als die Pfadabhängigkeit und begründet diese zugleich spezifischer als die Strukturationstheorie als Prozessereignisse, die durch die Nutzenorientierung der Akteure *kausal* verknüpft sind. Konkret lassen sich mit Hilfe des Mechanismuskonzepts Pfadabhängigkeitsprozesse als eine spiralförmige Rekursivität verstehen, bei der in der Struktur Handlungsanreize enthalten sind, die von den nutzenorientierten Akteuren in ihrem Handeln befolgt werden und zu positiven Rückkopplungseffekten führen. Von den vier Bestandteilen eines solchen positiven Rückkopplungsmechanismus – Pfadstruktur, struktureller Handlungsanreiz, nutzenorientiertes Akteurshandeln und positiver Rückkopplungseffekt – nimmt das Akteurshandeln eine zentrale Funktion für die Schließung der Rückkopplungsschleife ein, so dass die Mechanismen nicht als determinierte ‚Selbstläufer‘ verstanden werden können.

Zwei weitere Konsequenzen dieses Mechanismusverständnis sind zum einen, dass sich die strukturellen Handlungsanreize erst im Zusammenspiel von Struktur und Handeln ergeben und deshalb *akteursspezifisch* sind: So resultieren zum Beispiel positive Rückkopplungen in Form von Skaleneffekten aus der strukturell gegebenen Möglichkeit für bestimmte Akteure, Skaleneffekte zu erzielen. Zum zweiten impliziert die Verwendung des Konzepts ‚sozialer Mechanismen‘, dass positive Rückkopplungen nur *ein* bestimmter Fall von Mechanismen sind, neben denen andere identifiziert werden können wie zum Beispiel Veränderungs- und Explorationsmechanismen (vgl. Mayntz 2005:213). Hinsichtlich der zu beantwortenden ‚*Warum?*‘-Frage bedeutete diese Modifikation somit nicht nur die Bereitstellung einer expliziten Kausalität der positiven Rückkopplungen, sondern vor allem auch eine Öffnung des Pfadabhängigkeitsverständnisses gegenüber Veränderungsursachen.

Auf dieser konzeptionellen Basis wurde empirisch untersucht, ob das technologische System ‚fossile Kraftstoffe‘ pfadabhängig ist. Dies spräche für eine weitere Exploitation des Pfades und – dem klassischen Pfadabhängigkeitsverständnis zufolge – gegen eine Exploration von Alternativen. Dafür wurde das technologische System mit Hilfe einer Matrix auf positive Rückkopplungsanreize für die internationalen Mineralölkonzerne, also für die Akteursgruppe, zu der Shell gehört, hin untersucht. Die Matrix umfasste auf der einen Seite die Wertschöpfungskette von Benzin und Diesel (Erdölexploration & Produktion, Raffinerie, Tankstelle, Automobil) und auf der anderen die allokativen Ressourcen ‚Technologie‘ und ‚Ökonomie‘, die autoritative Ressource ‚Regulierung‘ sowie die Legitimationsstruktur ‚Akteurserwartungen‘. Zu diesen Strukturen auf der Makroebene kamen die im dritten Empirieteil analysierten spezifischen Kompetenzen (allokative Ressourcen) und Sichtweise (Signifikationsstrukturen) Shells als endogene Strukturen (vgl. 3.3).

Die Untersuchung deutet auf eine klare Pfadabhängigkeit des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ hin, die aus positiven Rückkopplungen entlang der gesamten Wert-

schöpfungskette von Benzin und Diesel resultiert: Auf der Ebene der Exploration und Produktion von Erdöl sind dies wegen des Umfangs der dort getätigten Investitionen Skaleneffekte (*economies of scales*), die eine zentrale Funktion im Geschäftsmodell der internationalen Mineralölkonzerne einnehmen. Außerdem führen der Umfang der Investitionen und ihre Langfristigkeit zu *sunk costs*-Effekten. Hinzu kommen infolge der ökonomischen Attraktivität des E&P-Bereichs Opportunitätskosteneffekte und Legitimitätseffekte, da die internationalen Mineralölkonzerne die Erwartung des Finanzmarktes erfüllen müssen, in diesem Bereich erfolgreich zu sein. Auf der Raffinerieebene finden sich ebenfalls Skaleneffekte (*economies of scales*) und *sunk costs*-Effekte. Weitere positive Rückkopplungen resultieren aus Synergieeffekten (*economies of scope*) infolge der Kuppelproduktion von Benzin und Diesel sowie der Interaktion der Verfahrensschritte und aus technologischen Komplementaritätseffekten zwischen den produzierten Kraftstoffen und den Verbrennungsmotoren. Auf der Tankstellenebene erfolgen die positiven Rückkopplungen insbesondere infolge direkter Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte, die aus der räumlichen und mengenmäßigen Koordination von Kraftstoffangebot und -nachfrage resultieren. Auf der Ebene des Kraftstoffverbrauchs im Automobil kommen schließlich noch pfadstabilisierende Rebound-Effekte hinzu, die sich aus steigenden Verbraucheransprüchen ergeben, sowie Verzögerungseffekte infolge der langsamen Verjüngung der deutschen Pkw-Flotte. Damit kann, da alle diese positiven Rückkopplungen von den internationalen Mineralölkonzernen befolgt werden, auf der Ebene des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ von einer Pfadabhängigkeit bzw. vom Kraftstoffpfad gesprochen werden. Hinsichtlich der Mikroebene zeigt sich, dass auch Shell in ihren unternehmensinternen Strukturen auf dieses System ausgerichtet ist (vgl. 6.1): So finden sich Spezialisierungseffekte, die sich aus Shells Ausrichtung auf technologisch anspruchsvolle Großprojekte im E&P- und im Raffineriebereich ergeben, sowie Benchmarkeffekte, die in Shells Maßstäben (Wirtschaftlichkeit; Generierung von Skaleneffekten) bei der Beurteilung von Alternativen angelegt sind. Deshalb kann auch von einer internen Pfadabhängigkeit Shells gesprochen werden.

Es sei hier noch einmal darauf hingewiesen, dass die Analyse der Identifikation der Ursachen von Shells Aktivitäten diene, also derjenigen Einflussfaktoren, die Shell in ihrem Pfadmanagement aufgreift und gestaltet. Ein weiteres Resultat – sozusagen ein „Nebenprodukt“ – der Analyse war jedoch auch eine Präzisierung und Ergänzung der bisher in der Pfadabhängigkeitsliteratur diskutierten Mechanismen (vgl. Djelic & Quack 2007). Da die Mechanismen aber Mittel und nicht primärer Zweck der Analyse waren, können die vorgenommenen Präzisierungen und Ergänzungen nur Anstoß für die weitere Pfaddiskussion sein, nicht aber eine vollständige und konsolidierte Systematik. Dies gilt insbesondere für die Veränderungs- und Explorationsmechanismen. Als ein solcher Anstoß seien sie daher an dieser Stelle aufgeführt.

Hinsichtlich der positiven Rückkopplungsmechanismen wurden fünf weitere identifizierten Pfadabhängigkeitsursachen identifiziert, die bisher noch nicht explizit in der Literatur angeführt bzw. benannt wurden:

- Der Opportunitätskosteneffekt spiegelt den relativen Nutzenvorteil der Pfadalternative gegenüber anderen Alternativen wider und findet sich somit implizit auch in Arthurs (1989) Modellierung.
- Der Reboundeffekt wurde in der Pfadabhängigkeitsliteratur bisher nicht angesprochen. Er tritt dann auf, wenn zum Beispiel durch Effizienzbemühungen die negativen Folgen der Pfadabhängigkeit gemildert werden und die frei werdenden Ressourcen wieder in den Pfad ‚re-investiert‘ werden.
- Der Verzögerungseffekt ergibt sich aus der Nutzungsdauer der Pfadalternative: Im Falle zum Beispiel eines langen Produktlebenszyklus wird auch die Nachfrage nach produktbezogenen Dienstleistungen und Ergänzungsprodukten über einen langen Zeitraum erhalten bleiben.
- Der interne Spezialisierungseffekt kann als Ausformulierung der Diskussion um zu Kernrigiditäten werdenden Kernkompetenzen betrachtet werden (vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2005:15).
- Der Benchmarkeffekt schließlich benennt Situationen, in denen Alternativen verworfen werden, weil sie von den Akteuren an den Eigenschaften des bestehenden Pfades gemessen werden (vgl. Mante & Sydow 2008; Holtmann 2008).

Entsprechend kann die in 2.3.2 erstellte Übersicht positiver Rückkopplungsmechanismen weiter ergänzt werden (s. Tabelle 23):

Tabelle 23: Ergänzte Übersicht positiver Rückkopplungsmechanismen

Strukturkomponente	Positive Rückkopplungsmechanismen
<i>Allokative Ressourcen</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Skaleneffekte (<i>economies of scale</i>) - Synergieeffekte (<i>economies of scope</i>) - Lernkurveneffekte - <i>Sunk costs</i>-Effekte - Direkte Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte - Indirekte Netzwerkeffekte - Komplementaritätseffekte - Opportunitätskosteneffekte - Reboundeffekte - Verzögerungseffekte - Spezialisierungseffekte
<i>Autoritative Ressourcen</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Machteffekte
<i>Legitimität</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Legitimitätseffekte
<i>Signifikation</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Routinisierungseffekte - Benchmarkeffekte - Erwartungseffekte

Neben den von den internationalen Mineralölkonzernen befolgten positiven Rückkopplungsanreizen finden sich zudem Hinweise auf ein *Lock-in* des Kraftstoffpfades in Form des Arthurschen (1989:122) ‚*regret*‘-Kriteriums. Dieses Bedauern erfolgt aber nicht durch die internationalen Mineralölkonzerne, sondern durch die Erdöl importierenden Länder sowie durch die Verbraucher, die den Kraftstoffpfad aufgrund ihrer Importabhängigkeit, des hohen Ölpreises und aufgrund des Klimawandels für ineffizient befinden. Mit diesem Bedauern geht auch eine Delegitimierung des Kraftstoffpfades auf der Explorations- und Produktionsebene einher, mit der die Aspekte Importabhängigkeit, Ölpreis und Klimawandel primär verknüpft sind. Die Exploitation des Kraftstoffpfades und das Bedauern über einen *Lock-in* finden also durch unterschiedliche Akteure statt.

Die Delegitimierung des Kraftstoffpfades wird als Veränderungsmechanismus aufgefasst (Delegitimierungseffekt) und ist einer von mehreren, die den internationalen Mineralölkonzernen eine Veränderung des Kraftstoffpfades nahe legen (vgl. Tabelle 24). Ein zweiter Veränderungsmechanismus auf der Explorations- und Produktionsebene sind Gegenmachtseffekte. Diese resultieren aus der das klassische ‚*control of crude*‘-Modell der internationalen Mineralölkonzerne brechenden Nationalisierung der Erdölreserven durch die OPEC-Länder (Davis 2006b:6). Auf der im deutschen Rahmen eingebetteten Raffinerieebene kommen Marktsättigungseffekte hinzu, die sich aus der stagnierenden deutschen Nachfrage ergeben und die Auslastung der Kapazitäten und damit die Skaleneffekte gefährden. Außerdem finden sich auf der Raffinerieebene negative Nachfrageeffekte infolge der Verschiebung in der Nachfrage zugunsten von Dieselmotoren. Diese Effekte gefährden wiederum die Synergieeffekte, die auf der unflexiblen Kuppelproduktion von Benzin und Diesel basieren. Ein dritter Veränderungsanreiz im Raffineriebereich sind die Widersprüche in den regulativen Zielen ‚Luftqualität‘ und ‚CO₂-Effizienz‘ der Raffinerien (Widersprüchlichkeitseffekte). Auf der Tankstellenebene sprechen ebenfalls die Marktsättigungseffekte, die auf dieser Ebene nicht durch Ex- und Importe ausgeglichen werden können, für eine Veränderung. Hinzu kommen die aus der negativen Verbraucherattitüde gegenüber den Mineralölkonzernen resultierenden Delegitimierungseffekte. Auf der Automobilebene schließlich finden sich im Dieseltrend und im sinkenden Durchschnittsverbrauch die Ursachen für die in den vorhergehenden Wertschöpfungsstufen auftretenden Marktsättigungseffekte und negative Nachfrageeffekte.

Auch bei den Veränderungsmechanismen kann somit die in Abschnitt 2.3.2 erstellte Übersicht anhand der Empirie um zwei Mechanismen ergänzt werden:

- Der Marktsättigungseffekt tritt infolge der Ausschöpfung oder Schrumpfung des Marktes für eine Technologie auf. Er stellt damit eine inhaltliche Konkretisierung der *decreasing return*-Effekte dar und ist den destabilisierenden Veränderungsmechanismen zuzurechnen.
- Der negative Nachfrageeffekt ergibt sich aus einer Verschiebung in der Nachfragestruktur nach Kuppelprodukten und gehört als Widerpart der Synergieeffekte

(*economies of scope*) ebenfalls zu den destabilisierenden Veränderungsmechanismen.

Tabelle 24: Ergänzte Übersicht der Veränderungsmechanismen

Strukturkomponente	Veränderungsmechanismen
<i>Allokative Ressourcen</i>	<p><u>Pfaddestabilisierend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Decreasing return</i>-Effekte bzw. Marktsättigungseffekte - Negative Nachfrageeffekte - Sinkende Komplementaritätseffekte <p><u>Pfaddiversifizierend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Heterogenitätseffekte - Widersprüchlichkeitseffekte <p><u>Pfadneuausrichtend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Hybridisierungseffekte - Konversionseffekte
<i>Autoritative Ressourcen</i>	<p><u>Pfaddestabilisierend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Gegenmachtseffekte <p><u>Pfaddiversifizierend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Heterogenitätseffekte - Widersprüchlichkeitseffekte <p><u>Pfadneuausrichtend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Hybridisierungseffekte - Konversionseffekte
<i>Legitimität</i>	<p><u>Pfaddestabilisierend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Delegitimierungseffekte <p><u>Pfaddiversifizierend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Heterogenitätseffekte - Widersprüchlichkeitseffekte <p><u>Pfadneuausrichtend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Hybridisierungseffekte - Konversionseffekte
<i>Signifikation</i>	<p><u>Pfaddestabilisierend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Negative Erwartungseffekte - De-Routinisierungseffekte <p><u>Pfaddiversifizierend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Heterogenitätseffekte - Widersprüchlichkeitseffekte <p><u>Pfadneuausrichtend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Re-Interpretationseffekte (<i>double-loop</i>-Lernen)

Da die Pfadstrukturen und in ihnen angelegten Handlungsanreize in erster Linie eine modifizierte Exploitation des Kraftstoffpfades nahe legen, wurde nach weiteren Motiven für die Exploration alternativer Kraftstoffe gesucht. Dies erfolgte im zweiten Empirieteil mit der Analyse pfadexterner Strukturen hinsichtlich ihrer möglichen Explorationsanreize. Diese Analyse war zwar stark empiriegetrieben, aber zugleich konzeptionell mit der vorhergehenden Pfadanalyse kompatibel, da sie auf dieselbe Logik der Handlungsanreize

zurückgriff. Allerdings wich das verwendete Suchschema unter anderem deshalb von der im ersten Empirieteil verwendeten Matrix ab, da die Explorationsstrukturen einen geringeren Grad an Institutionalisierung besaßen und untereinander nur lose verbunden sind. Das gewählte Gliederungsschema umfasst deshalb Regulierungsstrukturen (vgl. 5.1), neue Antriebstechnologien im Automobilbereich (vgl. 5.2) sowie schließlich die Entwicklung, Produktion und Distribution alternativer Kraftstoffe (vgl. 5.3). Mit Hilfe dieses Strukturrasters wurden vielfältige Explorationsanreize identifiziert, die auf die Akteure im Kraftstoffbereich, also auch auf Shell, wirken (vgl. Tabelle 25):

Tabelle 25: Übersicht der Explorationsmechanismen

Strukturkomponente	Explorationsmechanismen
<i>Allokative Ressourcen</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Ressourcen-push</i>-Effekte - Steuerliche <i>push</i>-Effekte - Angebots-<i>push</i>-Effekte - Finanzielle Fördereffekte - Technologie-<i>push</i>-Effekte - <i>Demand-pull</i>-Effekte - Zukunftssicherungseffekte
<i>Autoritative Ressourcen</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Regulative <i>push</i>-Effekte - Regulative <i>pull</i>-Effekte - ‚<i>Technology forcing</i>‘-Effekte
<i>Legitimität</i>	- Nicht identifiziert
<i>Signifikation</i>	- Nicht identifiziert

So sorgen die deutsche und die europäische Regulierung, die maßgeblich durch den ‚*regret*‘ über den Kraftstoffpfad motiviert sind, mit der Subventionierung von Energiepflanzen für *Ressourcen-push*-Effekte aus dem landwirtschaftlichen Bereich zugunsten der Exploration von Biokraftstoffen. Über die Deklaration von Mengenzielen für alternative Kraftstoffe sorgt die Regulierung für – wenn auch freiwillige – regulative *push*-Effekte, die bis zum Jahre 2006 vor allem durch Steueranreize und damit einhergehende steuerliche *push*-Effekte unterstützt wurden. Ab 2006 kamen mit der Einführung von Verwendungspflichten für Biodiesel und Ethanol regulative *push*-Effekte für die Distributionsebene und regulative *pull*-Effekte für die Produktionsebene hinzu. Durch die Beimischung entstanden zudem auch ‚*technology forcing*‘-Effekte, die durch die Normung der Kraftstoffe abgesichert sind. Zu guter Letzt legen staatliche FuE-Programme die Exploration alternativer Kraftstoffe noch durch finanzielle Fördereffekte nahe. Insgesamt betrachtet resultieren die deutschen und die europäischen Regulierungsstrukturen somit insbesondere in Explorationsanreizen zugunsten von Biokraftstoffen. Die Antriebsentwicklungen der Automobilindustrie umfassen die Entwicklung von Fahrzeugen, die neue Kraftstoffe erfordern (HCCI-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge), wie auch die Adaption von Fahrzeugen für neue Kraftstoffe (CNG, FFV, B100). Daraus resultieren *demand-pull*-Effekte für die Produzenten und Distribuenten alternativer Kraftstoffe, wie auch *technolo-*

gy forcing-Effekte, die auf die Abstimmung der Kraftstoffe und Motoren hinwirken. Aus der Dynamik der Antriebsentwicklungen folgt für alle Marktteilnehmer die Notwendigkeit, die technologischen Optionen zu prüfen, um auf Veränderungen vorbereitet zu sein und so das eigene Bestehen im Markt zu sichern. Eine solcherart motivierte Exploration resultiert somit aus ‚Zukunftssicherungseffekten‘. Auch der Bereich der Entwicklung, Produktion und Distribution alternativer Kraftstoffe sorgt aufgrund seiner Dynamik, die insbesondere von Marktneulingen, Entwicklern von Alternativtechnologien und Reinkraftstoff-Produktkoalitionen in der Distribution getragen wird, für Zukunftssicherungseffekte bei allen Marktteilnehmern. Hinzu kommen für die Produzentenebene Technologie-*push*-Effekte alternativer Kraftstofftechnologien, die nach einem Markt suchen, sowie für die Distribuentenebene Angebots-*push*-Effekte alternativer Kraftstofftechnologien, die bereits die Produktion aufgenommen haben.

Die aus der Empirie generierten Explorationsmechanismen lassen sich neben die positiven Rückkopplungs- und Veränderungsmechanismen stellen. Dabei zeigt die Übersicht, dass die identifizierten Explorationsmechanismen den allokativen und autoritativen Ressourcen zuzuordnen sind, während aus Legitimations- und Signifikationsstrukturen resultierende Explorationsmechanismen in dieser Arbeit fehlen (s.o. Tabelle 25).

Auf Basis dieser vielfältigen Handlungsanreize wurde im dritten Empirieteil (vgl. 6) Shells Exploration der vier alternativen Kraftstoffe *Gas-to-Liquids* (GtL), *Biomass-to-Liquids* (BtL), Ethanol aus Lignozellulose (Zelluloseethanol) und Wasserstoff untersucht. Dabei wurde deutlich, dass hinter den Explorationsaktivitäten unterschiedliche Motive bzw. Handlungsanreize stehen: So kommt beim Dieselsubstitut GtL vor allem die Sicherung des regulativ verschärften technologischen Komplementaritätseffekts zwischen Kraftstoff und Motor zum Zuge, der durch einen zunehmenden Anteil von schwieriger zu verarbeitenden Erdölen unter Druck gerät. Anlass für Shells Wasserstoffexploration ist die Entwicklung von Brennstoffzellenfahrzeugen durch die Automobilhersteller – ein Antriebskonzept, das keine Verbindung zum traditionellen Verbrennungsmotor und den dafür erforderlichen Kraftstoffen aufweist. Bei dieser Exploration dienen somit die aus Sicht des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ *externe* Antriebsentwicklung und die in ihr enthaltenen Zukunftssicherungs- und *demand-pull*-Effekte als Explorationsursache. Bei BtL und Zelluloseethanol kommen schließlich regulative und Angebots-*push*-Effekte zum Tragen, die aus der regulativen Auflage, Biokraftstoffe zu verwenden, und aus den dadurch geschaffenen Märkten für neue Wettbewerber und neue Technologien resultieren.

Damit ist auf Basis der Handlungsanreize die Frage beantwortet, warum Shell trotz der Pfadabhängigkeit des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ alternative Kraftstoffe exploriert: Während die positiven Rückkopplungsmechanismen auf eine Pfadexploitation und die Veränderungsmechanismen auf eine modifizierte Pfadexploitation hinauslaufen, erfolgt die Exploration alternativer Kraftstoffe primär aufgrund der Explorationsmecha-

nismen. Letztere liegen beim klassischen Pfadabhängigkeitskonzept außerhalb des Analysefokus. Deshalb sei hier noch einmal darauf hingewiesen, dass die Modifikation des Pfadabhängigkeitskonzepts mit Hilfe der Giddenschen rekursiven Dualität und des Konzepts der ‚sozialen Mechanismen‘ es ermöglichen, sowohl Handlungsanreize zu erfassen, die auf positive Rückkopplungseffekte hinauslaufen, wie auch Veränderungs- und Explorationsanreize. Dadurch wurde das einfache Kausalitätsverständnis des klassischen Pfadabhängigkeitskonzepts mit einer komplexen Kausalität ersetzt. Diese basiert auf einem Zusammenspiel von *heterogenen* Strukturen – bzw. multipler Urnen (vgl. Clemens & Cook 1999; Crouch & Farrell 2004) – und der Nutzenorientierung *spezifischer* Akteure. Diese Konzeptionalisierung von Pfadabhängigkeit beinhaltet drei wichtige Konsequenzen: Erstens wird deutlich, dass, wenn die Mechanismen sich nur akteursbezogen erklären lassen, dieselbe Struktur für verschiedene Akteure unterschiedliche Handlungsanreize beinhaltet. Zweitens bedeutet das, dass alle oben identifizierten Handlungsanreize ‚im‘ fokalen Akteur ‚zusammenkommen‘, also derselbe Akteur sowohl positiven Rückkopplungsanreizen wie auch Veränderungsanreizen und Explorationsanreizen ausgesetzt ist. Durch das modifizierte Pfadabhängigkeitsverständnis wird somit eine Kernkritik am klassischen Pfadabhängigkeitskonzept behoben, nämlich dass dieses sich alleine auf positive Rückkopplungen fokussiere (vgl. Campbell 2005:60). Ein dritter Aspekt ist, dass die Interpretation, welche Handlungsanreize eine Struktur für einen fokalen Akteur beinhaltet, von der Blickrichtung des Forschers bzw. seiner Fragestellung abhängt. Das heißt, der Forscher kann dieselbe Struktur hinsichtlich ihrer positiven Rückkopplungs- wie auch ihrer Explorationsanreize interpretieren. In dieser Arbeit kam die unterschiedliche Bewertung in der Zweiteilung in Bezug auf den Kraftstoffpfad und eine mögliche Exploration zum Tragen.

7.2 Wie Shell alternative Kraftstoffe exploriert

Der zweite Teil der Forschungsfrage bestand darin zu klären, *wie* Shell alternative Kraftstoffe exploriert, obwohl im ersten Empirieteil die Pfadabhängigkeit des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ nachgewiesen werden konnte und obwohl Shells interne Strukturen auf diesen Kraftstoffpfad ausgerichtet sind (vgl. 4 und 7.1). Damit zielt die Frage darauf ab, ob die Handlungsanreize von den Akteuren nur befolgt werden oder ob sie diese auch gestalten. Mit anderen Worten: Shells Organisation der Exploration alternativer Kraftstoffe wurde auf Arthurs (1996) aktive Gestaltung der positiven Rückkopplungen – wie auch der identifizierten Veränderungs- und Explorationsanreize – hin untersucht. Diese Frage nach der Möglichkeit eines Pfadmanagements stellt den empirischen und theoretischen Kern der Arbeit dar.

Die Beantwortung dieser Frage ermöglichte das modifizierte Pfadabhängigkeitsverständnis durch die Einbettung in die Metalogik einer rekursiven Dualität und durch die Verwendung des Konzepts sozialer Mechanismen: Ein derartiges Pfadverständnis umfasst die

Gestaltung der positiven Rückkopplungs-, Veränderungs- und Explorationsmechanismen, da den Akteuren die zentrale Aufgabe zufällt, die strukturellen Handlungsanreize aufzugreifen und die entsprechenden Effekte zu realisieren. Das Handeln der Akteure ist somit weder vollständig strukturell determiniert noch erfolgt es voluntaristisch. Hinzu kommen strukturseitige Gestaltungsspielräume, die aus der Komplexität, Heterogenität und Widersprüchlichkeit der Strukturen oder auch aus ihrer Juvenilität oder aus fehlenden Richtlinien für neue Fragestellungen resultieren können.

Hinweise darauf, wie ein Pfadmanagement erfolgen kann, fanden sich nicht erst bei der Analyse von Shells Exploration alternativer Kraftstoffe im dritten Empirieteil, sondern bereits im Umgang der internationalen Mineralölkonzerne mit den pfadinternen Veränderungsanreizen (vgl. 4.6) sowie in der Gestaltung der Explorationsanreize durch die Automobilhersteller, die Produzenten und Distribuenten alternativer Kraftstoffe sowie durch den Staat (vgl. 5.4). Deshalb seien diese hier kurz zusammengefasst, bevor näher auf Shells Pfadmanagement eingegangen wird.

Im ersten Empirieteil fiel insbesondere auf, dass die internationalen Mineralölkonzerne die pfadinternen Veränderungsanreize in einer den Kraftstoffpfad modifizierenden Weise aufgreifen (vgl. 4.6 und 7.1): So reagieren die Mineralölkonzerne auf die Gegenmachteffekte im Explorations- und Produktionsbereich, indem sie den Wettbewerb um die verbliebenen Erdölressourcen verschärfen, durch das Ausweichen auf neue Förderstätten und unkonventionelle Erdöle sowie durch den Kauf von Wettbewerbern und die Konsolidierung der Branche. Hinzu kommt die Verbesserung der Risikoabschätzung durch die Einführung der Szenarienplanung. Auf die Delegitimierungseffekte im Explorations- und Produktionsbereich reagieren die Konzerne teilweise durch die Anerkennung des Klimawandels und ihrer sozialen Verantwortung, was sich unter anderem in der Publikation von Nachhaltigkeitsberichten niederschlägt. Auf der Raffinerieebene gleichen die Mineralölunternehmen die Marktsättigungs- und negativen Nachfrageeffekte vor allem durch den Export von Benzin in die USA aus. Auf der Tankstellenebene schließlich werden die Delegitimierungs- und Marktsättigungseffekte mit Hilfe von Marketingstrategien angegangen, die unter anderem auf den Mehrwert der eigenen Kraftstoffe hinweisen, sowie durch eine ‚Schwarzer-Peter‘-Strategie, die den Steueranteil als Hauptkostenfaktor der Benzin- und Dieselpreise hervorhebt. Die Veränderungsanreize werden somit aktiv von den internationalen Mineralölkonzernen aufgegriffen und in eine den Kraftstoffpfad und die eigenen, endogenen Strukturen weiter entwickelnde Richtung gelenkt.

Im zweiten Empirieteil wurde deutlich, dass die Automobilhersteller, Produzenten und Distribuenten alternativer Kraftstoffe sowie der Staat die positiven Rückkopplungsanreize des Kraftstoffpfades bei ihrer Gestaltung der Explorationsstrukturen berücksichtigen (vgl. 5.4): Dabei ist an erster Stelle die von allen Akteuren verfolgte Integrationsstrategie zu nennen, die in Form der genormten Beimischung die alternativen Kraftstoffe Biodiesel und Ethanol in den Kraftstoffpfad einbindet. Durch diese Integration wird den Al-

ternativen die Nutzung der bestehenden technologischen Komplementaritätseffekte zwischen Kraftstoff und Motor sowie der direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte zwischen Angebot und Nachfrage ermöglicht. Hinzu kommt eine Komplementarisierungsstrategie, die im Rahmen des ‚engines for fuels‘-Ansatzes Fahrzeuge für die Nutzung alternativer Kraftstoffe modifiziert und dadurch auf die Herstellung neuer technologischer Komplementaritätseffekte zwischen Kraftstoff und Motor zielt. Eine dritte Strategie ist die ‚Hybridisierungsstrategie‘, bei der auf alternative Kraftstoffe ausgelegte Fahrzeuge mittels Bivalenz oder ‚Flexible Fuel‘-Eigenschaft auch konventionellen Kraftstoff nutzen können. Diese Strategie zielt somit auf die Nutzung der direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte des Kraftstoffpfades. Während die drei soeben genannten Strategien von einzelnen Akteuren verfolgt werden können, finden sich für diejenigen Fahrzeug- und Kraftstoffarten, die nicht in den bestehenden Pfad integriert werden können, strategische Partnerschaften zwischen Automobilherstellern, Kraftstoffproduzenten und Distribuenten. Primäres Ziel dieser Partnerschaften ist die Überwindung des ‚Henne-Ei-Problems‘ also der fehlenden direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte zwischen Kraftstoffangebot und Nachfrage. Dafür werden zwei Ansätze verfolgt: Zum einen eine Vorleistungsstrategie wie im Falle von CNG und zum anderen eine Inselstrategie wie im Falle von Wasserstoff.

Im dritten Empirieteil (vgl. 6) wurde schließlich Shells Exploration alternativer Kraftstoffe unter der Fragestellung des Pfadmanagements untersucht. Dafür wurden die verfolgten Alternativen und Shells Explorationsorganisation in dreifacher Hinsicht beurteilt: Erstens wurde die ‚Passung‘ der Alternativen zum Kraftstoffpfad und seinen strukturellen Handlungsanreizen untersucht; zweitens wurde die Beziehung der Alternativen zu den Explorationsanreizen und drittens zu Shells internen Strukturen bewertet.

In Bezug auf die erste Frage der ‚Passung‘ der verfolgten Alternativen zum Kraftstoffpfad zeigte sich, dass sich Shell bei allen Alternativen um deren Integration in den bestehenden Kraftstoffpfad bemüht, da die Alternativen so von den positiven Rückkopplungsanreizen profitieren können. Infolge technologischer Unterschiede erfolgt die Integration der einzelnen Alternativen allerdings nur teilweise und in einem unterschiedlichen Ausmaß: Am vollständigsten erfolgt sie im Falle von GtL, das aufgrund der eigenen Produktionsanlagen nur im Raffineriebereich zum Aufbau einer ‚Parallelstruktur‘ zum Kraftstoffpfad führt. Im E&P-Bereich dagegen greift die GtL-Alternative auf die dortige Erdgasförderung zurück und fügt dieses Downstream durch die Verflüssigung in die bestehende Distributionsinfrastruktur ein. Das bedeutet, dass GtL den positiven Rückkopplungsanreizen des E&P-Bereichs in Form der erzielbaren Skaleneffekte und den Erwartungen – also den Legitimitätseffekten – des Finanzmarktes an Ausdehnung der fossilen Ressourcen entspricht und die direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte auf der Distributionsebene nutzt. Aufgrund der Rückwärtskompatibilität von beigemischtem GtL berücksichtigt diese Alternative zudem den Verzögerungseffekt durch die langsame Verjüngung der deutschen

Pkw-Flotte. Auf der Raffinerieebene verursacht GtL eine Investitionskonkurrenz mit den bestehenden Anlagen und gefährdet so deren Anpassung an regulative Entwicklungen und die Marktentwicklung – und damit letztlich die dortigen *sunk costs*-Effekte. Gleichzeitig entspricht GtL auf dieser Ebene, wie bereits bei der Frage nach den Explorationsmotiven (vgl. 7.1) erwähnt, der regulativen Verschärfung des technologischen Komplementaritätseffekts zwischen Kraftstoff und Motor. Weitere Vorteile der GtL-Alternative ergeben sich aus ihrer Platzierung im deutschen Markt und durch die Vermarktung als Premiumkomponente des Premiumkraftstoffs V-Power Diesel: Dieses Vorgehen wirkt gegen die negativen Nachfrageeffekte auf der Raffinerieebene entgegen, die durch den Dieseltrend hervorgerufen werden, und nützt Shell im Wettbewerb im Tankstellenbereich, der durch den Marktsättigungseffekt verschärft wird.

Im Unterschied zum GtL weicht die technologisch ähnliche BtL-Alternative vor allem vom wichtigen E&P-Bereich des Kraftstoffpfades ab, da sie auf den – mengenmäßig limitierten – *Feedstock* Biomasse zurückgreift. Auf der Raffinerieebene dagegen kann die BtL-Produktion in die bestehenden Standorte integriert werden. Dies gilt auch für das Produkt und die bestehende Distributionsinfrastruktur. Die Exploration von BtL wird somit auf der E&P-Ebene den *sunk costs*-Effekten in dem Sinne gerecht, als die Erdölförderung aufgrund des begrenzten Substitutionspotenzials von BtL nicht gefährdet wird. Auf der Raffinerieebene fallen insbesondere Synergieeffekte auf, die durch die mögliche Standortintegration und den Ausbau der Kuppelproduktion generiert werden können. Zu den direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekten des Distributionsbereichs wie auch zu den Verzögerungseffekten des Automobilbereichs verhält sich BtL wie GtL dank der möglichen Beimischung und der Rückwärtskompatibilität positiv. Gleichzeitig kann Shell durch die Exploration von BtL auch den Veränderungsanreizen des Kraftstoffpfades nachkommen: Auf der E&P-Ebene kann BtL als CO₂-effiziente und potenziell inländische Alternative die Delegitimierungseffekte abmildern, die aus der kritischen Haltung der Erdöl importierenden Länder gegenüber ihrer Abhängigkeit und der Fossilität des Energieträgers Erdöl resultieren. Auf der Raffinerieebene verhält sich BtL nicht nur positiv gegenüber den regulativ verschärften technologischen Komplementaritätseffekten, sondern liefert als CO₂-effizienter hochwertiger Kraftstoff auch eine Antwort auf die Widersprüchlichkeitseffekte, die in dem regulativen Zielkonflikt zwischen ‚Luftqualität‘ und ‚CO₂-Effizienz‘ angelegt sind. Zudem lässt sich BtL auf der Tankstellenebene positiv in die Marketingstrategie von GtL bzw. V-Power Diesel einbinden und erleichtert durch die Anrechnung auf den Durchschnittsverbrauch der Neuzulassungen der Automobilindustrie die Erfüllung der regulativen CO₂-Anforderungen ohne motorseitige Anpassungen vorzunehmen.

Zelluloseethanol weicht wesentlich stärker vom Kraftstoffpfad ab als BtL, da es nicht nur den limitierten *Feedstock* Biomasse verwendet, sondern außerdem auch auf einem biochemischen Prozess beruht und das Problem des Benzinüberschusses verschärft. Eine mögliche Verknüpfung von Zelluloseethanol und dem Kraftstoffpfad ergibt sich erst durch

die Umwandlung von Ethanol in ETBE in der Raffinerie sowie durch die Beimischung von ETBE oder Ethanol zum Benzin. Infolge dieser gering ausgeprägten Beziehung zum Kraftstoffpfad finden sich auch dessen positive Rückkopplungsanreize kaum in der Alternative Zelluloseethanol wieder: Auf der E&P-Ebene werden zwar die *sunk costs*-Effekte des Kraftstoffpfades berücksichtigt, da Zelluloseethanol Benzin nur begrenzt substituieren kann, auf der Raffinerieebene aber verhält sich Zelluloseethanol negativ zu den positiven Rückkopplungsanreizen des Kraftstoffpfades, da es die Ottokraftstoffüberschüsse steigert und damit die durch die unflexible Kuppelproduktion erzielten Synergieeffekte gefährdet. Erst auf der Distributionsebene kann Zelluloseethanol als direkte Ethanolbeimischung und als ETBE in den Kraftstoffpfad integriert werden und so die direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte nutzen und den Verzögerungseffekten des Automobilbereichs gerecht werden. Besser stellt sich das Bild von Zelluloseethanol in Bezug auf die Veränderungsanreize des Kraftstoffpfades dar: So wird Zelluloseethanol wie BtL der Forderung der Erdöl importierenden Länder nach inländischen und CO₂-effizienten Alternativen zum Erdöl – also den Delegitimierungseffekten des E&P-Bereichs – gerecht. Auf der Raffinerieebene wiederum kann in ETBE umgewandeltes Zelluloseethanol verwendet werden, um den regulativen ‚Widersprüchlichkeitseffekten‘ zwischen den Zielen ‚Luftqualität‘ und ‚CO₂-Effizienz‘ zu begegnen. Auf der Tankstellenebene schließlich kann aus Zelluloseethanol hergestelltes ETBE verwendet werden, um als Alleinstellungsmerkmal eines umweltfreundlichen Qualitätskraftstoffes zu dienen. Ein solcher Schritt stünde im Zusammenhang mit dem Marktsättigungseffekt auf der Tankstellenebene und der damit einhergehenden Verschärfung des Wettbewerbs.

Die vierte untersuchte Alternative, Wasserstoff, wird nach Shells Vorstellung mittelfristig vor allem aus Erdgas gewonnen und in der Raffinerie oder an der Tankstelle erzeugt. Diese Alternative ist somit in den bestehenden E&P-Bereich integriert, der ja auch Erdgas umfasst. Im Downstreambereich weicht Wasserstoff dagegen von der bestehenden Wertschöpfungskette ab – mit entsprechenden Folgen für die Adressierung der Handlungsanreize des Kraftstoffpfades. Damit entspricht aus Erdgas gewonnener Wasserstoff wie GTL den positiven Rückkopplungsanreizen des E&P-Bereichs, also den erzielbaren Skaleneffekten sowie den Erwartungen des Finanzmarktes, Erdöl- und Erdgasreserven zu erschließen und in den Markt zu bringen (Legitimitätseffekte). Die in Aussicht gestellte mittel- bis langfristige Evolution hin zu Wasserstoff aus erneuerbaren Energien stellt dank der zeitlichen Entkopplung vom gegenwärtigen Kraftstoffpfad keine Gefährdung des E&P-Bereichs dar und kommt somit den *sunk costs*-Effekten im E&P-Bereich entgegen. Auf der Raffinerieebene können sich, sofern der Wasserstoff dort per Reformier hergestellt wird, Synergieeffekte ergeben, da der Wasserstoffbedarf in der Raffinerie steigt. Auf der Tankstellenebene schließlich zeichnet sich die Wasserstoffalternative dadurch aus, dass sie die bestehenden direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte nicht nutzen kann. Das daraus resultierende ‚Henne-Ei-Problem‘ zwischen Wasserstoffangebot und

-nachfrage adressiert Shell über die Propagierung eines auf Wachstumskerne setzenden Inselansatzes. Das ‚Henne-Ei-Problem‘ wird zusätzlich durch den Verzögerungseffekt auf der Automobilebene verschärft, da dieser zu einer lang anhaltenden parallelen Infrastrukturbereitstellung nötig ist. Bezogen auf die Veränderungsanreize bietet die Wasserstoffalternative in der von Shell verfolgten Form eine Antwort auf die Delegitimierungseffekte des E&P-Bereichs, die aus der Kritik an der Importabhängigkeit und der Fossilität von Erdöl resultieren – allerdings nur in Form einer mittel- bis langfristigen Evolutionsperspektive hin zu Wasserstoff aus erneuerbaren und diversifizierten Energien.

Zusammengefasst zeigt sich, dass Shell bemüht ist, die explorierten Alternativen in den bestehenden Kraftstoffpfad zu integrieren, um die positiven Rückkopplungsanreize des Kraftstoffpfades zu befolgen und zu nutzen. Zugleich verwendet Shell die Alternativen, um Antworten auf die Veränderungsanreize zu generieren und dadurch den Kraftstoffpfad weiter zu stabilisieren. Dies gilt insbesondere für die Delegitimierungseffekte des E&P-Bereichs, für die negativen Nachfrageeffekte auf der Raffinerieebene sowie für die Markt-sättigungseffekte im Tankstellenbereich. Zwei der vier Alternativen weisen aber auch Probleme in ihrer ‚Passung‘ zum Kraftstoffpfad auf: Die Wasserstoff-Alternative kann nicht in die bestehende Distribution integriert werden und erfordert deshalb den Aufbau einer eigenen Infrastruktur; Zelluloseethanol wiederum verschärft als Benzinsubstitut die negativen Nachfrageeffekte, die die Kuppelproduktion der Raffinerien unter Druck setzen.

Neben der Passung zum Kraftstoffpfad wurde die Beziehung der Alternativen zu den Explorationsanreizen untersucht. In dieser Hinsicht zeigte sich, dass Shells Explorationsaktivitäten sowohl eine Reaktion auf die Explorationsanreize darstellen, als auch, dass sich Shell zugleich für eine weitere Ausgestaltung der Explorationsanreize in einem ihre Alternativen favorisierenden Sinne einsetzt. Die GtL-Alternative stellt dabei den extremsten Fall dar, da sie keine Verbindung zu den regulativen Explorationsanreizen aufweist, Shell aber zugleich bemüht ist, über die Verankerung von GtL in den europäischen Mengenziele eben solche regulativen Explorationsanreize zu kreieren. Im Hinblick auf die Antriebsentwicklung kann GtL dagegen als Reaktion auf die *demand pull*-Effekte wie auch auf die Zukunftssicherungseffekte verstanden werden, die durch die Entwicklung von HCCI-Motoren hervorgerufen werden. Durch die Kooperation mit Volkswagen nimmt Shell zudem aktiv an der Ausgestaltung der HCCI-Alternative teil. In Bezug auf die Explorationsanreize der Entwicklung, Produktion und Distribution alternativer Kraftstoffe kommt Shell ebenfalls Zukunftssicherungseffekten nach, da auch die direkten Wettbewerber Chevron und Sasol die GtL-Entwicklung vorantreiben. Zugleich steht GtL in einer indirekten Konkurrenz mit direkt als Kraftstoff verwendetem Erdgas (CNG), das aber eine eigene Infrastruktur erfordert und als Benzinsubstitut fungiert. Außerdem nimmt Shell durch das Marketing von GtL als Premiumkomponente von V-Power Diesel interne Angebots-*push*-Effekte vorweg, die in dem Aufbau der GtL-Produktionskapazitäten angelegt sind.

Im Gegensatz zum GtL weist BtL – vor allem dank der Aktivitäten der politisch einflussreichen BtL-Koalition CHOREN, Volkswagen, Daimler und Shell – bereits eine enge Beziehung zu den regulativen Explorationsanreizen auf: So nutzt BtL den Ressourcen-*push*-Effekt aus der Landwirtschaft insofern, als dass es auf Biomasse als Feedstock zurückgreift, dabei aber Reststoffe statt Pflanzenfrüchte verwendet. Vor allem aber profitiert BtL von den 2006 vorgenommenen regulativen Änderungen. Dies gilt für die regulativen *push*-Effekte der Mengenziele, die steuerlichen *push*-Effekte der 2006er Steuerbefreiung, die regulativen *pull*-Effekte der 2006er Verwendungspflicht sowie für die finanziellen Fördereffekte neu aufgelegter Forschungsprogramme. Allerdings entspricht die Ausgestaltung der regulativen Explorationsanreize nicht vollständig den Forderungen der BtL-Koalition, da die CO₂-Effizienz in der Verwendungspflicht und der Besteuerung nicht in dem Maße berücksichtigt wird wie von den BtL-Befürwortern angestrebt. Die Beziehung von BtL zu den Explorationsanreizen der Antriebsentwicklung entspricht der von GtL: Durch die Exploration von synthetischem Dieselkraftstoff und infolge der Kooperation mit Volkswagen und Daimler reagiert Shell auf die möglichen *demand-pull*-Effekte und die Zukunftssicherungseffekte der HCCI-Entwicklung. Die Beziehung der BtL-Exploration zu den aus der Entwicklung, der Produktion und der Distribution alternativer Kraftstoffe folgenden Handlungsanreizen gestaltet sich dagegen anders als im Fall von GtL: So nimmt Shell durch den Einstieg bei CHOREN mögliche Technologie-*push*-Effekte einer marktreifen BtL-Technologie vorweg und wird den Zukunftssicherungseffekten gerecht, die aus der potenziellen Alternative BtL für Shells Kerngeschäft fossiler Kraftstoffe resultieren. Außerdem bauen Shell und die anderen Teilnehmer der BtL-Koalition ihre Alternative unter dem Terminus ‚zweite Biokraftstoffgeneration‘ zu einer Konkurrenz für den bereits im Markt erfolgreichen Biodiesel auf, indem sie auf die relativen Vorteile BtLs gegenüber Biodiesel in den Fragen CO₂-Effizienz, Flächenertrag und Konkurrenz zur Nahrungsmittelkette hinweisen. Dieses ‚Framing‘ von BtL zielt nicht nur auf eine Legitimierung BtLs auf Kosten von Biodiesel und eine regulative Besserstellung, sondern verdeutlicht zugleich, dass sich die Akteurserwartungen an Biokraftstoffe ausdifferenzieren.

Die Beziehung der Alternative Zelluloseethanol zu den regulativen Explorationsanreizen ähnelt der von BtL: So finden sich die Ressourcen-*push*-Effekte aus der Landwirtschaft durch die Verwendung landwirtschaftlicher Reststoffe nur partiell wieder, während die regulativen *push*-Effekte der Verwendungspflicht und die steuerlichen *push*-Effekte der Steuerbefreiung Zelluloseethanol und CO₂-effizient produziertes Ethanol der ersten Generation präferieren. Wie beim BtL setzt sich Shell im Rahmen einer Zelluloseethanol-Koalition bestehend aus Volkswagen, Shell und Iogen für eine regulative Besserstellung dieses Kraftstoffes in Deutschland und der EU ein. Auch die Forderungen dieser Koalition entsprechen denen der BtL-Koalition – also eine besondere Berücksichtigung der CO₂-Effizienz in der Verwendungspflicht und der Besteuerung – und konnten ebenfalls bisher nicht vollständig durchgesetzt werden. Die Explorationsanreize aus der Antriebsentwick-

lung finden dagegen keine Beachtung in Shells Organisation der Explorationsaktivitäten, da Shell nicht an der E85-Koalition und dem Aufbau einer deutschen ‚*Flexible Fuel*‘-Pkw-Flotte teil nimmt. Bei den Explorationsanreizen der Entwicklung, Produktion und Distribution alternativer Kraftstoffe sorgt Shell mit ihrer Beteiligung an der Marktführerin Iogen für Zukunftssicherungseffekte und antizipiert mögliche Technologie-*push*-Effekte einer marktreifen Zelluloseethanoltechnologie. Vor allem aber ermöglicht die Exploration von Zelluloseethanol Shell in Deutschland die Kritik am Ethanol der ersten Generation als weniger CO₂-effizient, in die Nahrungsmittelkette eingreifend und geringere Erträge pro Hektar liefernd. Somit eignet sich Zelluloseethanol auch zur Delegitimierung der ersten, die Benzinüberschüsse im deutschen Raffineriebereich verschärfenden Ethanolgeneration. Shells Exploration der vierten Alternative, aus Erdgas gewonnenem Wasserstoff, erfolgt in erster Linie als Reaktion und nicht als aktive Gestaltung der Explorationsanreize: So entspricht die Wasserstoffexploration den regulativen *push*-Effekten der europäischen und deutschen Mengenziele und nutzt die finanziellen Fördereffekte. Bezüglich der Antriebsentwicklung folgt Shells Engagement den möglichen *demand pull*-Effekten durch die Entwicklung der Brennstoffzelle, was, wie bereits erwähnt, als Hauptmotiv Shells für die Wasserstoffexploration betrachtet werden kann. Zudem erfüllt Shell – vor allem auch durch die Teilnahme an zahlreichen Forschungs- und Demonstrationsprojekten und der Kooperation mit GM und Daimler – den Anreiz zu Zukunftssicherungseffekten, die aus der möglichen Brennstoffzellenentwicklung resultieren. Da zugleich auch potenzielle Marktneulinge auftreten und neue Wasserstofftechnologien entwickelt werden, sichert sich Shell mit Hilfe der eigenen Explorationsaktivitäten auch gegen mögliche Angebots- und Technologie-*push*-Effekte neuer Anbieter und neuer Technologien ab.

Zusammengenommen stellen sich Shells Explorationsaktivitäten nicht einfach als Befolgung der Explorationsanreize dar. Vielmehr findet sich hier auch ein pro-aktives Gestalten Shells wieder. Dieses zielt darauf ab, in die Explorationsstrukturen ‚die richtigen Anreize‘ zu integrieren. Shell verknüpft also die Exploration der jeweiligen Alternative mit der Einflussnahme auf die Explorationsstrukturen und ihre Anreize – vor allem auf die regulativen Strukturen. Dies gilt für GtL, das nur eine schwache Verbindung zu den regulativen Explorationsanreizen aufweist, sowie insbesondere auch für BtL und Zelluloseethanol. Dabei scheinen die Aktivitäten zugunsten von Zelluloseethanol vor dem Hintergrund des deutschen Dieselmärktes und angesichts von Shells Zurückhaltung gegenüber der E85-Koalition eher auf eine Diskreditierung der ersten Ethanolgeneration hinauszulaufen denn auf eine echte Exploration der Möglichkeiten von Zelluloseethanol im deutschen Markt. BtL dagegen passt in den deutschen Markt und kann zugleich als Legitimation des pfadnahen fossilen GtLs dienen.

Schließlich können Shells Explorationsaktivitäten auch dahingehend bewertet werden, inwiefern sie den internen, auf den Kraftstoffpfad ausgerichteten Strukturen Rechnung tragen. Dabei fällt vor allem die organisatorische Entkopplung der Explorationsaktivitäten

vom Kerngeschäft auf: Allein die Entwicklung von GtL erfolgte intern und ist heute in Shells etablierten Gasbereich integriert. Die Wasserstoff-, BtL- und Zelluloseethanolentwicklungen sind dagegen in unterschiedlichem Maße von Shells Kernkompetenzen und Signifikationsstrukturen abgekoppelt: So erfolgt die Exploration der Wasserstoffalternative zwar Shell-intern, aber im Rahmen der *Shell Hydrogen*, die keinen etablierten Geschäftsbereich darstellt. Bei BtL und Zelluloseethanol erfolgte dagegen ein Innovationsoutsourcing in Form der Beteiligung an CHOREN und Iogen und der Zerteilung der Wertschöpfungskette, durch die Shell nur ihre Kompetenzen einbringt, aber keine neuen zum Beispiel in der Biomasselogistik entwickeln muss. Durch diese Entkopplung wird die Entwicklung der ‚pfadfremderen‘ Technologien letztlich erleichtert: Zum einen ermöglicht die Entkopplung die Nutzung von Shells Spezialisierungseffekten so weit sie angewendet werden können und zum anderen schützt sie vor den von Shells Signifikationsstrukturen ausgehenden Benchmarkeffekten wie zum Beispiel an die Profitabilität der Alternativen. Zudem entgeht Shell internen Opportunitätskosteneffekten, die zwischen dem Investment in eine BtL- respektive Zelluloseethanolanlage und dem E&P-Bereich auftreten können, da die Organisation der Finanzierung in den Händen von CHOREN und Iogen liegt. Letztendlich wird damit ein Investment Shells in eine eigene BtL- oder Zelluloseethanolanlage aber auch zur ‚Gretchenfrage‘ ihres Engagements. Schließlich ist noch darauf hinzuweisen, dass die Organisation der Explorationsaktivitäten von Shells Kompetenz zur Bildung und Durchführung strategischer Partnerschaften profitiert. Diese Kompetenz stellt somit die Grundlage für die Abkopplung der Explorationsaktivitäten dar und ermöglicht Shell ein Abweichen von ihren eigenen pfadorientierten Strukturen. Unter den strategischen Partnerschaften scheint die mit Volkswagen eine besondere Rolle zu spielen und Shells Positionierung in Fragen der Antriebsentwicklung in einem hohen Maße mit zu prägen. Dies gilt insbesondere für Shells Einstellung gegenüber dem Dieseltrend, der HCCI-Entwicklung und der Ablehnung von FFVs im deutschen Markt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass angesichts des Kraftstoffpfades Shells Exploration alternativer Kraftstoffe über die weitgehende Integration der Alternativen in die bestehenden Strukturen erfolgt, so dass die positiven Rückkopplungen des alten Pfades genutzt werden können. Dies ist besonders augenfällig im Fall von Wasserstoff, der aus Erdgas in der Raffinerie oder per Benzinreformer im Automobil gewonnen wird. Pfadabweichende Versionen der Wasserstoffproduktion aus Erneuerbaren Energien verschiebt Shell dagegen in die Zukunft. Wasserstoff ist zugleich ein gutes Beispiel dafür, dass dort, wo die Alternative nicht integriert werden kann und somit essentielle positive Rückkopplungen nicht genutzt werden können, Strategien zum Zuge kommen, die diesen Malus der Alternative ausgleichen sollen. Bei der Wasserstoffalternative sind dies vor allem die direkten Netzwerk- bzw. Koordinationseffekte in der Distribution, deren Fehlen durch eine Inselstrategie im Rahmen von strategischen Partnerschaften angegangen wird. Zur Berücksichtigung der unternehmensinternen, pfadorientierten Strukturen und den damit

verbundenen Handlungsanreizen wiederum koppelt Shell die Exploration der ‚pfadfremden‘ Aspekte der Alternativen durch eigenständige interne Entwicklungsbereiche oder durch Innovationsoutsourcing vom Kerngeschäft ab. Dadurch umgeht Shell nicht nur die Ausrichtung ihrer internen Strukturen auf den Kraftstoffpfad, sondern profitiert zugleich von ihrer Kompetenz zur Entwicklung strategischer Partnerschaften.

Die Veränderungsanreize des Kraftstoffpfades berücksichtigt Shell durch die Exploration von Alternativen, die die Veränderungsanreize erfüllen und zugleich in den Kraftstoffpfad integrierbar sind. Dadurch wird der Veränderungsdruck auf den Kraftstoffpfad abgeschwächt. Dies gilt im Rahmen des deutschen Marktes insbesondere für BtL, das sowohl den negativen Nachfrageeffekten und den Marktsättigungseffekten gerecht wird, als auch den Delegitimierungseffekten im E&P-Bereich. Bei den Explorationsanreizen nimmt Shell eine pro-aktivere Haltung ein, da sie die Entwicklung der Alternativen mit der Gestaltung ihrer strukturellen Rahmenbedingungen verknüpft. Damit verbunden ist auch eine Delegitimierung unliebsamer Alternativen wie Biodiesel und Bioethanol.

Damit lässt sich festhalten, dass Shells bei der Exploration alternativer Kraftstoffe so weit wie möglich die positiven Rückkopplungen für die Alternativen nutzt, die auf den Kraftstoffpfad wirkenden Veränderungsanreize abschwächt und die Explorationsanreize zugunsten der eigenen Alternativen mitgestaltet. Zudem vermeidet Shell mögliche Konflikte zwischen dem Kraftstoffpfad und den Alternativen durch eine zeitliche und organisatorische Trennung. Shells Organisation der Explorationsaktivitäten erfolgt also unter dem Motto *‚Integration der Alternativen und Stabilisierung des bestehenden Systems so weit wie möglich, Mitgestaltung der Rahmenbedingungen und Entkopplung der Entwicklung wo nötig‘*. Diese Art der Explorationsorganisation bedeutet letztlich, dass Shell die alternativen Kraftstoffe zur Legitimation und auch zur Extension des Kraftstoffpfades durch ergänzende Kraftstoffe nutzt.

Shells Exploration alternativer Kraftstoffe liefert damit einen empirischen Hinweis dafür, dass die Akteure im Arthurschen Sinne aktiv an der Gestaltung der positiven Rückkopplungen teilnehmen und auf diese Weise zu einem ‚Pfadmanagement‘ in der Lage sind. Konzeptionell wird ein solches Pfadmanagement durch den Rückgriff auf die Logik einer rekursiven Dualität zwischen Struktur und Akteurshandeln und durch die nutzenbasierte Kausalität sozialer Mechanismen möglich. Pfadmanagement beruht somit auf der Mittlerposition der Akteure zwischen den strukturellen Handlungsanreizen und den strukturellen Folgen des Akteurshandelns. Hinzu kommen infolge der Verwendung des Konzepts sozialer Mechanismen weitere Interaktionsformen zwischen Struktur und Handlung wie Veränderungs- und Explorationsmechanismen. Diese Mechanismen erweitern die Möglichkeit zum Pfadmanagement, da sie den Akteuren Handlungsoptionen jenseits der positiven Rückkopplung nahe legen.

Anhand des untersuchten Falles können, obwohl die Exploration von Pfadalternativen durch einen Pfadincumbent sicherlich einen spezifischen Fall darstellt, sechs generalisier-

bare Pfadmanagementstrategien identifiziert werden (vgl. Yin 1994:30). Dabei ist zwischen dem Umgang mit den externen positiven Rückkopplungen des Kraftstoffpfades und dem Umgang mit den internen positiven Rückkopplungen der Unternehmensstrukturen zu unterscheiden. Auf Seiten der externen Pfadstrukturen finden sich vier Strategien für den Umgang mit den positiven Rückkopplungen:

1. Durch die Wahl pfadaffiner Alternativen, die unter anderem mittels Normung weitgehend in das Design des Pfades integriert werden, können die positiven Rückkopplungen des Pfades für die Alternativen genutzt werden. Dadurch wird auch möglichen *sunk costs*-Effekten entsprochen. Diese Strategie entspricht einer Integrationsstrategie, die aus der Pfadsicht eine Pfadextension und gegebenenfalls auch eine Pfadmodifikation zur Folge hat.
2. Nicht-integrierbare Alternativen können ‚hybridisiert‘ werden wie zum Beispiel durch die parallele Verwendung zweier technologischer Designs, von denen eines dem Pfad entspricht und dessen positive Rückkopplungen nutzt, während für das andere die entsprechenden Strukturen neu kreiert werden. Diese Strategie kann als Hybridisierungs- und ‚Anschubstrategie‘ verstanden werden, da durch die Hybridisierung der Pfad zur Etablierung der Alternative genutzt wird.
3. Für nicht-integrierbare und nicht-hybridisierte Alternativen, die die positiven Rückkopplungen des Pfades nicht nutzen können, können die Akteure ihre Handlungen abstimmen und koordinieren, so dass für die Alternative Entwicklungsspielräume eröffnet und positive Rückkopplungen generiert werden. Diese Strategie entspricht der von Garud und Karnøe (2003) sowie der von Sydow, Windeler, Möllering und Schubert (2005) geschilderten Pfadkreation, unter die die in der Empirie gefundenen Insel- und Vorleistungsstrategien subsumiert werden können.
4. Schließlich können durch die Wahl von Alternativen, deren Substitutionspotenzial limitiert ist oder die erst in der Zukunft realisiert werden, der Pfad und seine positiven Rückkopplungen gesichert werden. Deshalb lässt sich diese Strategie als ‚Pfadsicherungsstrategie‘ bezeichnen.

Im Umgang mit den externen Handlungsanreizen kann somit von einer Pfadsicherungsstrategie, einer Integrationsstrategie, einer Hybridisierungs- und Anschubstrategie sowie von einer Pfadkreatiionsstrategie gesprochen werden. Letztere bildet dabei insofern die schwächste Variante, da sie nicht wie die anderen Strategien die positiven Rückkopplungsanreize des Pfades nutzt, sondern diese erst zugunsten der Alternative kreieren muss. Zu diesen Strategien für den Umgang mit externen Pfadstrukturen kommen zwei Pfadmanagementstrategien für den Umgang mit internen positiven Rückkopplungen hinzu:

1. Durch die Wahl kompetenzerweiternder Alternativen, können die internen, pfadorientierten Strukturen weiter entwickelt werden, so dass eine ‚Kompetenzerweiterungsstrategie‘ vorliegt.
2. Negative Rückkopplungen, die aus den Pfadstrukturen für die Alternativen entstehen – zum Beispiel Benchmark- und Opportunitätskosteneffekte –, können durch strategische Partnerschaften oder durch eine interne organisatorische Trennung vermieden werden. Dieses Vorgehen lässt sich als ‚Entkopplungsstrategie‘ bezeichnen.

Neben diesen auf die positiven Rückkopplungen zielenden Strategien, umfasst Pfadmanagement, dessen Verständnis sich aus dem Konzept der sozialen Mechanismen speist, auch den Umgang mit den Veränderungs- und Explorationsmechanismen. Für den Umgang mit den Veränderungsmechanismen fanden sich im untersuchten Fall drei pfadstabilisierende Strategien:

- reaktive Marktstrategien wie zum Beispiel der verschärfte Wettbewerb im Tankstellen und die Konsolidierung der Branche durch den Kauf von Wettbewerbern;
- die Bildung interner Strukturen zum Ausgleich externer Veränderungen wie die Einführung der Szenarienplanung und die Herausgabe von Nachhaltigkeitsberichten (‚Kompensationsstrategie‘);
- die Exploration neuer Alternativen, die den bestehenden Pfad stützen und legitimieren (‚Legitimationsstrategie‘);

Die Explorationsmechanismen wiederum werden aufgrund ihres regulativen Charakters vor allem durch Lobbying- und *Framing*-Strategien mitgestaltet. Dabei fällt auf, dass sich die Explorationsanreize leichter pro-aktiv gestalten lassen, als die positiven Rückkopplungsanreize des Kraftstoffpfades. Dies könnte mit der unterschiedlichen Natur der ihnen zugrunde liegenden Strukturen bzw. ihrem ‚Momentum‘ zusammen hängen: Auf der einen Seite die langjährig entwickelten, umfassenden und komplexen Strukturen des Kraftstoffpfades und auf der anderen Seite die in der Entwicklung befindlichen, unverbundenen und heterogenen Explorationsstrukturen.

7.3 Ausblick

Das Ziel dieser Arbeit war es, die komplexen Dynamiken und Zusammenhänge des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ und der Entwicklung möglicher Alternativen aufzuzeigen und zugleich die Idee eines Pfadmanagements in Form der aktiven Gestaltung positiver Rückkopplungen innerhalb des Pfadabhängigkeitskonzeptes zu entwickeln.

In konzeptioneller Hinsicht zeigen die in 7.1 und 7.2 dargelegten Antworten auf die Forschungsfrage klar die Möglichkeit eines Pfadmanagement auf, das auf der gezielten Nutzung und Gestaltung positiver Rückkopplungen und anderer sozialer Mechanismen basiert. In diesem Zusammenhang wurden dank des aufschlussreichen empirischen Falles eine Reihe von positiven Rückkopplungs-, Veränderungs- und Explorationsmechanismen

sowie von Strategien zum Umgang mit den sozialen Mechanismen identifiziert und systematisiert. Diese Pfadmanagementstrategien und sozialen Mechanismen sind dank der Verwendung der strukturationstheoretischen Metalogik und der disziplinären Schnittstellenposition der Arbeit an die Betriebswirtschaftslehre, die Politikwissenschaft und die Techniksoziologie anschlussfähig. In allen drei Disziplinen kann die vorgenommene Systematisierung der sozialen Mechanismen und der Pfadmanagementstrategien als Ausgangspunkt für weitere konzeptionelle und empirische Arbeiten genutzt werden.

Wünschenswert für die Weiterentwicklung des Pfadabhängigkeitskonzeptes und dem in dieser Arbeit entwickelten Pfadmanagementverständnis ist insbesondere die weitere empirische Ergänzung und theoretische Konsolidierung der sozialen Mechanismen. Für die Veränderungsmechanismen, für die in der Pfadforschung nur erste Vorschläge vorliegen (vgl. Thelen 1999; Beyer 2005; Ebbinghaus 2005; Djelic & Quack 2007), konnte in dieser Arbeit bereits die Möglichkeit zur weiteren Ausarbeitung durch die Identifikation des negativen Nachfrageeffekts und des Marktsättigungseffekts als Gegeneffekte zum Synergieeffekt (*economies of scope*) bzw. zum Skaleneffekt (*economies of scale*) aufgezeigt werden. Ähnliches gilt auch für die Explorationsmechanismen: Diese wurden in der bisherigen Pfadabhängigkeitsdebatte nicht berücksichtigt, obwohl bereits Crouch und Farrell (2004) darauf hingewiesen haben, dass Akteure mehreren Strukturen – und damit auch mehreren Handlungsanreizen – ausgesetzt sein können. Neben der weiteren empiriebasierten Ausarbeitung der Explorationsmechanismen bietet sich zudem eine stärkere Verknüpfung des Pfadabhängigkeitskonzeptes mit anderen Forschungssträngen an, die ebenfalls mit sozialen Mechanismen arbeiten. Ein Beispiel wäre die Innovationsforschung *jenseits* der Pfadabhängigkeits- und Pfadkreationsforschung (vgl. Foxon et al. 2004). Die Notwendigkeit einer theoretischen Konsolidierung gilt für alle in dieser Arbeit angesprochenen Arten von Mechanismen, um mit möglichst wenigen Mechanismen möglichst viel Empirie erklären zu können.

Eine zweite wünschenswerte Weiterentwicklung des Pfadabhängigkeitskonzeptes und des Pfadmanagementverständnisses ist die Ergänzung und Fundierung der Pfadmanagementstrategien, die die positiven Rückkopplungen gestaltend aufgreifen. Dafür wurden mit der Pfadsicherungsstrategie, der Integrationsstrategie, der Hybridisierungs- und Anschubstrategie, mit der Pfadkreationsstrategie für den Umgang mit externen Pfadstrukturen sowie mit der Kompetenzerweiterungs- und der Entkopplungsstrategie für den Umgang mit internen Strukturen erste Vorschläge gemacht. Diese Vorschläge basieren jedoch auf der Analyse *eines* Falles, der zudem durch die Besonderheit geprägt ist, dass die Exploration von Pfadalternativen durch einen Pfadincumbent untersucht wurde. Somit bietet sich zur Validierung der Ergebnisse und zur Ergänzung weiterer Pfadmanagementstrategien die Analyse vergleichbarer wie auch divergierender Fälle an.

Zur praktischen Relevanz der Arbeit, dem Problem der Erdölabhängigkeit des Pkw-Bereichs, können folgende Schlüsse gezogen werden: An erster Stelle ist hervorzuheben,

dass infolge der Pfadabhängigkeit des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ ein Preissignal grundsätzlich nicht ausreicht, um einen Wechsel zu einer Alternative zu bewirken. Dagegen sprechen auf der Angebotsseite die positiven Rückkopplungen auf und zwischen den einzelnen Ebenen der Wertschöpfungskette sowie der Aufwand zur Bereitstellung einer äquivalenten Alternative zum bestehenden System. Hinzu kommt auf der Nachfrageseite vor allem die unelastische Nachfrage der Verbraucher. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang zudem der Antagonismus zwischen den Interessen auf Anbieter- und Nachfrageseite: Für die Mineralölkonzerne sind Alternativen in Zeiten hoher Preise unattraktiv, während es sich für die Verbraucher umgekehrt verhält.

Wichtiger als das Preissignal ist daher – das ist der zweite hervorzuhebende Punkt – die Dynamik auf der Anbieterseite des technologischen Systems, die angesichts der diskutierten Stabilität leicht aus dem Blick gerät: So findet sich auf der einen Seite zwar eine Vielzahl von Stabilitätsursachen, von denen insbesondere die Interdependenz zwischen Kraftstoff und Motor sowie die regionale und mengenmäßige Abstimmung von Kraftstoffangebot und Nachfrage einen sehr robusten Eindruck erwecken. Zugleich aber herrscht ein ausgeprägter Wettbewerb zwischen den Kraftstoffanbietern sowie zwischen den Automobilherstellern, infolgedessen erfolgsversprechende Alternativen von allen Anbietern umgehend aufgegriffen werden. Hinzu kommt, dass stets mit dem Auftreten neuer Wettbewerber und Technologien als neuen Faktoren zu rechnen ist, da der Kraftstoffmarkt aufgrund seines Volumens für Marktneulinge attraktiv ist. Schließlich sorgen auch die Interessenskonflikte für Veränderungen des technologischen Systems, wie zum Beispiel die Auseinandersetzung zwischen Automobil- und Mineralölindustrie in der Frage der Luftqualität.

Drittens fällt in Bezug auf die Aktivitäten der internationalen Mineralölkonzerne auf, dass diese sich nicht allein auf die Beobachtung und Verhinderung von Alternativen beschränken, sondern sich aktiv an ihrer Entwicklung beteiligen. Als Motive für solche Engagements finden sich Wettbewerbsvorteile wie im Falle von GtL, regulative Anreize wie im Falle der Steuerbefreiung der Biodieselbeimischung und regulativer Zwang wie im Falle der Beimischungsquoten. In den letzten beiden Fällen ist die Konstanz in den regulativen Rahmenbedingungen zentral für den langfristigen Erfolg der Alternativen. Shells Explorationsaktivitäten zeigen zudem, dass die internationalen Mineralölkonzerne zu Alternativen tendieren, die das bestehende System stabilisieren und seine Probleme partiell abmildern. Damit geht einher, dass die radikaleren, weniger in das System integrierten Alternativen auch weiter von der Markteinführung entfernt sind. Die Frage bleibt offen, ob die von Shell explorierten Alternativen wirklich realisiert werden, oder ob ihre Exploration – wie anscheinend im Falle von Zelluloseethanol – nur genutzt wird, um die gegenwärtige Kritik am fossilen Kraftstoffpfad argumentativ abzumildern.

Viertens ist festzuhalten, dass alle Akteure – der Staat, die Marktneulinge, die Verbraucher, die Automobilindustrie und die Mineralölindustrie – weiterhin die sozialen Mecha-

nismen in ihren Strategien berücksichtigen müssen, wenn sie das Praxisproblem ‚Erdöl-abhängigkeit‘ verändern wollen.

Die Entwicklung des technologischen Systems ‚fossile Kraftstoffe‘ und des komplementären Systems ‚Automobil‘ zeigte sich somit in der Tat als reichhaltiger empirischer Fall von Pfadabhängigkeit, der zugleich ein Verständnis davon ermöglicht, wie Akteure über die aktive Gestaltung der positiven Rückkopplungen ein Pfadmanagement betreiben und den Pfadverlauf partiell beeinflussen können.

Verwendete Abkürzungen

ACEA	Association des Constructeurs Européens d'Automobiles
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.
ADM	Archer Daniels Midland
ASEF	Alliance for Synthetic Fuels in Europe
B100	Dieselmotorenkraftstoff mit einem 100%igen Biodieselgehalt
B5, 7, 10, 30	Dieselmotorenkraftstoff mit 5%, 7%, 10%, bzw. 30% Biodiesel
BBE	Bundesverband BioEnergie e.V.
BIOFRAC	Biofuels Research Advisory Council
bl. / bbl.	Barrel
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMF	Bundesministerium der Finanzen
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BP	British/Beyond Petroleum
BtL	Biomass-to-Liquids
CCS	Carbon Capture and Sequestration
CEN	European Committee for Standardization
CEO	Chief Executive Officer
CEP	Clean Energy Partnership
CFP	Compagnie Française des Petroles
CNG	Compressed Natural Gas
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CONCAWE	CONservation of Clean Air and Water in Europe
CtL	Coal-to-Liquids
CUTE	Clean Urban Transport for Europe
DBV	Deutscher Bauernverband e.V.
dena	Deutsche Energieagentur
DG Research	Directorate-General for Research, Europäische Kommission
DG TREN	Directorate-General for Transport and Energy, Europäische Kommission
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DOE	U.S. Department of Energy
DWV	Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V.
E&P	Erdöl- und Erdgasexploration und Produktion
E5, E10	Ottomotorenkraftstoff mit 5 bzw. 10% Ethanolbeimischung
E85	Ottomotorenkraftstoff mit einem 85%igen Ethanolgehalt
ECTOS	Ecological City Transport System
EEB	European Environmental Bureau
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EID	Energie Informationsdienst
EMA	Engine Manufacturers Association
EN	Europäische Norm
ETBE	Etyl-Tertiär-Butyl-Ether
EtOH	Ethanol
ETS	European Emission Trading System
EUCAR	European Council for Automotive R&D

EUROPIA	European Petroleum Industry Association
FAEE	Fatty-Acid-Ethyl-Ether
FAM	Fachausschuss für Mineralöl- und Brennstoffnormung
FAME	Fatty-Acid-Methyl-Ether
FCV	Fuel Cell Vehicle
FFV	Flexi Fuel Vehicle
FNR	Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V.
FT	Fischer-Tropsch
FTD	Financial Times Deutschland
FuE	Forschung und Entwicklung
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GCC	Global Climate Coalition
GHG	Greenhouse Gases
GtL	Gas-to-Liquids
GUS	Gemeinschaft Unabhängiger Staaten
H ₂	Wasserstoff
HB	Handelsblatt
HC	Kohlenwasserstoff
HCCI	Homogenous Charge Compression Ignition
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil
ICE	Internal Combustion Engine
IEA	Internationale Energieagentur
IOC	International Oil Company
JAMA	Japan Automobile Manufacturers Association
JRC	Joint Research Centre
KMU	Klein- und mittelständische Unternehmen
LNG	Liquified Natural Gas
LPG	Liquified Petroleum Gas
MTBE	Methyl-Tertiär-Butyl-Ether
MWV	Mineralölwirtschaftsverband
NGO	Non-Governmental Organization
NOC	National Oil Company
NOx	Stickstoffoxid
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OEM	Original Equipment Manufacturer
OMV	OMV Aktiengesellschaft; früher Österreichische Mineralölverwaltung
OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PM	Particulate matter
ppm	parts per million
PZI	Prozblemzentriertes Interview
R&D&D	Research, Development, and Demonstration
RME	Rapsmethylester
SCR	Selective Catalytic Reduction
SEC	U.S. Securities and Exchange Commission
SRA	Strategic Research Agenda
SRU	Sachverständigenrat Umwelt
T&E	European federation for Transport and Environment
TC	Technical Committee
TP	Technology Platform

UFOP	Union zur Forderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V.
USD	US Dollar
VDA	Verband der Automobilindustrie e.V.
VDB	Verband deutscher Biodieselhersteller
VES	Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie
WBCSD	World Business Council on Sustainable Development
WiWO	Wirtschaftswoche
WTW	Well-to-Wheel
WWF	World Wide Fund For Nature
ZEV	Zero Emission Vehicle

Literatur

- ACEA, Alliance, EMA & JAMA 2006: *Worldwide Fuel Charter, September 2006*.
- Ackermann, R. 2001: *Pfadabhängigkeit, Institutionen und Regelreform*, Tübingen: Mohr Siebeck.
- Åhman, M. & L.J. Nilsson 2007: „Path dependency and the future of advanced vehicles and biofuels“, in: *Utilities Policy* xx (im Druck), 1-10.
- Aigle, T. & L. Marz 2007: „Automobilität und Innovation. Versuch einer interdisziplinären Systematisierung“, *WZB Discussion Paper SP III 2007-102*, <http://skylla.wz-berlin.de/pdf/2007/iii07-102.pdf> [08.08.2007].
- Alliance for Synthetic Fuels in Europe 2006: *Synthetic Fuels: 'Driving Towards Sustainable Mobility'*.
- Altmann, M., P. Schmidt, R. Wurster, M. Zerta & W. Zittel 2004: *Potential for Hydrogen as a Fuel for Transport in the Long Term (2020 - 2030). Full Background Report*, IPTS Technical Report Series, Report EUR 21090 EN.
- Antill, N. & R. Arnott 2002: „Oil Company Crisis. Managing Structure, Profitability, and Growth“, Oxford Institute for Energy Studies SP 15.
- Archer, M.S. 1982: „Morphogenesis versus Structuration: On Combining Structure and Action“, in: *The British Journal of Sociology* 33(4), 455-483.
- Archer, M.S. 1995: *Realist Social Theory: The Morphogenetic Approach*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Arnott, R. 2004: „Oil and Gas Reserves: Communication with the Financial Sector“, Briefing Paper, Chatham House & Oxford Institute for Energy Studies Sustainable Development Programme SDP BP 04/02.
- Arrow, K.J. 2000: „Increasing returns: historiographic issues and path dependence“, in: *The European Journal of the History of Economic Thought* 7(2), 171-180.
- Arthur, W.B. 1989: „Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events“, *Economic Journal* 99, 116-131.
- Arthur, W.B. 1994: „Positive feedbacks in the economy“, in: *The McKinsey Quarterly* 1, 81-95.
- Arthur, W.B. 1996: „Increasing returns and the new world of business“, *Harvard Business Review* 74, 100-109.
- Austrian Biofuels Institute 2002: „Biodiesel – a Success Story. The Development of Biodiesel in Germany“, Bericht für die IEA, Bioenergy Task 27 Liquid Biofuels, Wien, Juni 2001, Update Februar 2002.
- auto-schweiz 2006: *Auf den Punkt gebracht: Energieverbrauch und Emissionen von Personenkraftwagen. Zahlen, Fakten und Prognosen zu Emissionen, alternativen Kraftstoffen und Motoren*, Bern.
- Backer, L. 2008: „Narrating organisational identities by way of evolutionary tales – Talking Shell from an oil to an energy company“, in: *Scandinavian Journal of Management*, doi:10.1016/j.scaman.2007.11.005.
- Bahree, B. 2006: „Investment by Oil Industry Stalls“, *Wall Street Journal* 08.11.2006, A11.
- Bakir, V. 2005: „Greenpeace v. Shell: media exploitation and the Social Amplification of Risk Framework (SARF)“, in: *Journal of Risk Research* 8(7-8), 679-691.
- Barley, S.R. & P.S. Tolbert 1997: „Institutionalization and Structuration: Studying the Links between Action and Institution“, in: *Organization Studies*, 18 (1), 93-117.
- Barley, S.R. 1986: „Technology as an Occasion for Structuring: Evidence from Observations of CT Scanners and the Social Order of Radiology Departments“, in: *Administrative Science Quarterly* 31, 78-108.
- Battilana, J. 2006: „Agency and Institutions: The Enabling Role of Individuals' Social Position“, in: *Organization* 13(5); 653-676.
- BBC News 2007-07-26: „Shell gains on refining margins“, <http://news.bbc.co.uk/go/pr/fr/-/2/hi/business/6916806.stm> [2008-02-02].
- BBC News 2008-02-01: „Exxon Mobil reports record profit“, <http://news.bbc.co.uk/go/pr/fr/-/2/hi/business/7222414.stm> [2008-02-02].

- BBC News: „Shell reports record UK profits“, <http://news.bbc.co.uk/go/pr/fr/-/1/hi/business/4672716.stm> [Zugriff: 2008-02-02].
- Beckert, J. 1999: „Agency, Entrepreneurs, and Institutional Change. The Role of Strategic Choice and Institutionalized Practices in Organizations“, in: *Organization Studies* 20(5), 777-799.
- Bentham, J. 2006: „Hydrogen Programs & Projects in Europe“ Rede auf der 16. *World Hydrogen Energy Conference*, Lyon, 2006-06-14.
- Besson, C. 2006: „Scientific Challenges in Oil and Gas Exploration and Production“, OECD Global Science Forum, Paris, May 17th 2006.
- Beyer, J. 2005: „Pfadabhängigkeit ist nicht gleich Pfadabhängigkeit! Wider dem impliziten Konservatismus eines gängigen Konzepts“, in: *Zeitschrift für Soziologie* 34(1), 5-21.
- Blades, T. 2005: „Announcement of Partnership Shell/CHOREN“, Rede anlässlich der Bekanntgabe der Partnerschaft mit Shell, Hamburg den 17. August.
- Blades, T. 2006: „Der Weg zur industriellen Produktion“, Vortrag auf dem 2. BTL Kongress, Berlin 12.-13. Oktober. 2006.
- Blind, K. 2002: *Normen als Indikator für die Diffusion neuer Technologien*, Endbericht an das BMBF, Karlsruhe.
- BMU, BMELV, VDA, MWV, IG, DBV, VDB 2007: *Roadmap Biokraftstoffe. Stand 14.11.2007. Gemeinsame Strategie von BMU/BMELV, VDA, MWV, IG, DBV und VDB*, http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/roadmap_biokraftstoffe.pdf [2008-02-03].
- BMVBS, BMBF & BMWi 2006: „Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ Stand 2006-05-08, www.bmvbs.de [2007-02-02].
- Bockey, D. 2002: *Die Produktion von Biodiesel: Stand- und Entwicklungspotenzial – Eine internationale Bestandsaufnahme*, Berlin.
- Bockey, D. 2006: „Biodiesel und pflanzliche Öle als Kraftstoffe – aus der Nische in den Kraftstoffmarkt“, in: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis* 15 (1), 10-15.
- Bockey, D. 2007a: *Biodiesel in Germany 2006: Market Trends and Competition (incl. survey of biofuel quota act)*, Berlin.
- Bockey, D. 2007b: „Rapsöl bleibt wichtigster Rohstoff für Biodiesel“, in: *forum. new power* 04, 32-35.
- Bogner, A. & W. Menz 2005: „Das theoriegenerierende Experteninterview. Erkenntnisinteresse, Wissensformen, Interaktion“, in: A. Bogner, B. Littig, & W. Menz (Hrsg.): *Das Experteninterview. Theorie, Methode, Anwendung*, Opladen: Leske+Budrich, 33-70.
- Böhler, S. & D. Bongardt 2007: „Sorgenkind Verkehr – Maßnahmen zum Klimaschutz“, in: *Aus Politik und Zeitgeschichte* 29-30, <http://www.bpb.de/publikationen/QL7J92.html> [2007-08-08].
- Böhme, W. 2007: „2nd Generation Biodiesel and Biogas as a Fuel – Research Activities of a Mineral Oil Corporation“, Präsentation auf der Konferenz *Kraftstoffe der Zukunft 2007*, Berlin, 2007-11-27.
- Botzem, S. & A. Mante 2007: „Agency matters, but when and how? Reinterpreting path dynamics of transnational standardization processes“, Papier präsentiert auf dem 23. *EGOS Kolloquium*, Wien, 2007-06.
- Bozon, I.J.H., S.J.D. Hall & S.H. Øygard 2005: „What’s next for Big Oil?“, in: *McKinsey Quarterly* 2, 95-105.
- BP 2007a: *BP Statistical Review of World Energy June 2007*, London.
- BP 2007b: *BP Statistical Review Full Report. Workbook 2007*, London.
- BP 2007c: *Financial and Operating Information 2002-2006*, London.
- Brand, R. 2006: „Die Förderpolitik für Biokraftstoffe in Frankreich und der Bundesrepublik Deutschland im Vergleich“, in: M. Bechberger & D. Reiche (Hrsg.): *Ökologische Transformation der Energiewirtschaft. Erfolgsbedingungen und Restriktionen*, Berlin: Erich Schmidt Verlag, 23-40.
- Brinded, M. 2005: „Investing in uncertainty – the challenge of meeting expanding energy demand“, Rede auf dem *Oxford Energy Seminar*, Oxford, 2005-09-08.

- Browne, J. 1997: „Addressing global climate change“, Rede an der *Stanford University*, California, 1997-05-19.
- Bürklin, W. & C. Welzel 1996²: „Methoden und Arbeitsweisen. Theoretische und methodische Grundlagen der Politikwissenschaft“, in: M. Mols, H.-J. Lauth & C. Wagner (Hrsg.): *Politikwissenschaft: Eine Einführung*, Paderborn: Schöningh Verlag/UTB, 353-392.
- Bundesgesetzblatt 2006a: „Gesetz zur Neuregelung der Besteuerung von Energieerzeugnissen und zur Änderung des Stromsteuergesetzes“, in: *Bundesgesetzblatt* Teil I Nr. 33, 1534-1561.
- Bundesgesetzblatt 2006b: „Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromrechtlicher Vorschriften (Biokraftstoffquotengesetz – BioKraftQuG)“, in: *Bundesgesetzblatt* Teil I Nr. 62, 3180-3188.
- Bundesministerium der Finanzen 2007a: *Biokraftstoffbericht 2007*.
- Bundesministerium der Finanzen 2007b: „Biokraftstoffe werden nachhaltig gefördert“, Presseerklärung 40/2007 vom 17.04.2007.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2007: „Kurzüberblick zur Biomassenutzung in Deutschland“, <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/4759.php> [2007-11-13].
- Bundesregierung 2004: „Die Kraftstoffstrategie – Alternative Antriebe und innovative Antriebe“, in: Dies.: *Fortschrittsbericht 2004. Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung*, Berlin, 170-196.
- Bundesregierung 2007a: *Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm*.
- Bundesregierung 2007b: *Entwurf einer Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Erzeugung von Biomasse zur Verwendung als Biokraftstoff (Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung – BioNachV)*, www.bundesfinanzministerium.de [2008-08-27].
- Campbell, C., F. Liesenborghs, J. Schindler & W. Zittel 2003²: *Ölwechsel! Das Ende des Erdölzeitalters und die Weichenstellung für die Zukunft*, München: Deutscher Taschenbuch Verlag.
- Campbell, J.L. 2001: „Institutional Analysis and the Role of Ideas in Political Economy“, in: J.L. Campbell & O.K. Pedersen (Hrsg.): *The Rise of Neoliberalism and Institutional Analysis*, Princeton: Princeton University Press, 159-189.
- Campbell, J.L. 2005: „Where Do We Stand? Common Mechanisms in Organizations and Social Movements Research“, in: G.F. Davis, D. McAdam, W.R. Scott & M.N. Zald (Hrsg.): *Social Movements and Organization Theory*, Cambridge: Cambridge University Press, 41-68.
- Canzler, W. & G. Schmidt 2003: „Das zweite Jahrhundert des Automobils – Eine Einleitung“, in: Dies. (Hrsg.): *Das zweite Jahrhundert des Automobils. Technische Innovationen, ökonomische Dynamik und kulturelle Aspekte*, Berlin: Edition Sigma, 7-12.
- Caraballo, J. 2005: „Ethanol synthesis“, Papier präsentiert auf *1st European Summer School on Renewable Motor Fuels*, Birkenfeld, 29-31. August 2005.
- Carpenter, R.M. 1974: „Economic and Technical Challenges of Developing Synthetic Fuels“, in: *Columbia Journal of World Business* Fall, 30-37.
- CDU/CSU & SPD 2005: *Gemeinsam für Deutschland – Mit Mut und Menschlichkeit. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD*.
- Chandler, A. 1962: *Strategy and Structure: Chapters in the History of Industrial Enterprise*, Cambridge: Harvard University Press.
- Chang, Y. & J. Yong 2007: „Differing perspectives of major oil firms on future energy developments: An illustrative framework“, in: *Energy Policy* 35, 5466-5480.
- Chevron 1999: „Chevron and Sasol pursue global Gas-to-Liquids Joint Venture“, Chevron Press Release 1999-06-09, http://www.chevron.com/news/repository/chevron_press/1999/99-06-09.asp [2007-03-09].
- Chevron 2000: „Chevron and Sasol launch global Joint Venture“, Chevron Press Release 2000-10-16, http://www.chevron.com/news/repository/chevron_press/2000/2000-10-16-1.asp [2007-03-09]
- Child, J. 1972: „Organizational Structure, Environment and Performance. The Role of Strategic Choice“, in: *Sociology* 6, 1-22.

- Child, J. 1997: „Strategic Choice in the Analysis of Action, Structure, Organizations and Environment: Retrospect and Prospect“, in: *Organization Studies* 18 (1), 43-76.
- Christidis, P. 2003: „Driving Factors Affecting the Decisions on the Purchasing, Substituting and Scrapping of Cars“, in: L. Pelkmans & P. Christidis (Hrsg.): *Trends in Vehicle and Fuel Technologies. Review of Past Trends*, IPTS Technical Report Series, Report EUR 20746 EN, Sevilla, 174-185.
- Christidis, P., I. Hidalgo & A. Soria 2003: *Trends in Vehicle and Fuels Technologies: Scenarios for Future Trends*, IPTS Technical Report Series, EUR 20748 EN, Sevilla.
- Cibin, R. & R. M. Grant 1996: „Restructuring Among the World’s Leading Oil Companies, 1980-92“, in: *British Journal of Management* 7, 283-307.
- Clemens, E.S. und J.M. Cook 1999: „Politics and Institutionalism: Explaining Durability and Change“, in: *Annual Review Sociology* 25, 441-466.
- Collier, R.B. & D. Collier 1991: *Shaping the Political Arena: Critical Junctures, the Labor Movement, and Regime Dynamics in Latin America*, Princeton: Princeton University Press.
- Comité Européen de Normalisation 2008: „CEN Workshop 38 - XTL Gasoil for use in automotive diesel engines“, www.cen.eu [2008-08-25].
- CONCAWE 1995: *Interim Report on the European Refining Implications of Severe Reformulation of Gasoline and Diesel Fuel*, Report No. 95/54, Brüssel.
- CONCAWE 1997: *Motor Vehicle Emission Regulations and Fuel Specifications. Part 2: Detailed Information and Historic Review (1970-1996)*, Report No. 6/97, Brüssel.
- CONCAWE 1999: *Fuel Quality, Vehicle Technology and Their Interactions*, Report No. 99/55, Brüssel.
- CONCAWE 2007: *Oil Refining in the EU in 2015*, Report No. 1/07, Brüssel.
- Cook, L. 2007: „Gas and Power“, in: *Delivery and Growth. Leveraging a Strong Portfolio*, Präsentation der Royal Dutch Shell PLC, 2007-02-01, 28-47.
- Cornelius, P., A. Van de Putte, M. Romani 2005: „Three Decades of Scenario Planning in Shell“, in: *California Management Review* 48(1), 92-109.
- Correljé, A. & C. van der Linde 2006: „Energy Supply Security and Geopolitics“, in: *Energy Policy* 34, 532-543
- Couvaras, G. 2006a: „Die Zeit ist reif für GTL-Kraftstoff“ Teil 1, Interview in: *Hightech Report. Faszination Technik* 1, www.daimlerchrysler.com [2007-09-19].
- Couvaras, G. 2006b: „Die Zeit ist reif für GTL-Kraftstoff“ Teil 2, Interview in: *Hightech Report. Faszination Technik* 1, www.daimlerchrysler.com [2007-09-19].
- Cowan, R. & P. Gunby 1996: „Sprayed to Death: Path Dependence, Lock-in and Pest Control Strategies“, in: *The Economic Journal* 106(436), 521-542.
- Cowan, R. & S. Hultén 1996: „Escaping Lock-In: The Case of the Electric Vehicle“, in: *Technological Forecasting and Social Change* 53, 61-79.
- Cowan, R. & S. Hultén 2003: „Technical and economical goals and obstacles: Some suggestions for a framework“, in: L. Pelkmans & P. Christidis (Hrsg.): *Trends in Vehicle and Fuel Technologies. Overview of Current Research Activities*, IPTS Technical Report Series, Report EUR 20747 EN, Sevilla, 138-151.
- Cowan, R., S. Hultén & N. Hmimda 2003: „The Introduction of Diesel Engines in Cars“, in: L. Pelkmans & Panayotis C. (Hrsg.): *Trends in Vehicle and Fuel Technologies. Review of Past Trends*, IPTS Technical Report Series, Report EUR 20746 EN, Sevilla, 186-197.
- Crouch, C. & H. Farrell 2004: „Breaking the Path of Institutional Development? Alternatives to the New Determinism“, in: *Rationality and Society* 16(1), 5-43.
- Dahlgren, S. & A. Florén 1996: *Fråga det förflutna. En introduktion till modern historieforskning*, Lund: Studentlitteratur.
- Daimler 2008: *Der Weg zur nachhaltigen Mobilität: Innovationen für Antriebs- und Fahrzeugtechnik*, Stuttgart.

- Däke, K.-H. 2007: „Kostenbelastung der Mobilitätsnutzer – Entwicklung und Bewertung“, Vortrag auf der Veranstaltung ‚Luxusgut Mobilität?‘ des Deutschen Verkehrsforums und des VDAs auf der 62. IAA, Frankfurt/Main, 2007-09-18.
- Datamonitor 2005: *Royal Dutch/Shell Group. Company Profile*, Reference Code 1430.
- David, P.A. 1985: „Clio and the Economics of QWERTY“, in: *Economic History* 75(2), 332-337.
- David, P.A. 1992: „Heroes, Herds and Hysteresis in Technological History: Thomas Edison and 'The Battle of the Systems' Reconsidered“, in: *Industrial and Corporate Change* 1(1), 129-180.
- Davis, G.F. & C. Marquis 2005: „Prospects for Organization Theory in the Early Twenty-First Century: Institutional Fields and Mechanisms“, in: *Organization Science* 16(4), 332-343
- Davis, J. 2006a: „Preface“ in: Ders. (Hrsg.): *The Changing World of Oil: An Analysis of Corporate Change and Adaption*, Aldershot: Ashgate, xiii.
- Davis, J. 2006b: „'And then there were four ...'. A Thumbnail History of Oil Industry Restructuring, 1971-2005“, in: Ders. (Hrsg.): *The Changing World of Oil: An Analysis of Corporate Change and Adaption*, Aldershot: Ashgate, 1-10.
- Davis, J. 2006c: „Future Oil Resources and Oil Company Strategies: The Clash between Geologists and Economists and What it Means for the Industry“, in: Ders. (Hrsg.): *The Changing World of Oil: An Analysis of Corporate Change and Adaption*, Aldershot: Ashgate, 143-167.
- Davis, J. 2006d: „'Why Don't Oil Companies Commit More to "Renewables"?' A Corporate Constraints Perspective“, in: Ders. (Hrsg.): *The Changing World of Oil: An Analysis of Corporate Change and Adaption*, Aldershot: Ashgate, 169-189.
- Deeg, R. 2001: „Institutional Change and the Uses and Limits of Path Dependency: The Case of German Finance“, *MPIfG Discussion Paper 01/6*.
- Deffeyes, K.S. 2006: *Beyond Oil. The View from Hubbert's Peak*, New York: Hill and Wang.
- Denzau, A.T. & D.C. North 1994: „Shared Mental Models: Ideologies and Institutions“, in: *Kyklos* 47 (1), 3-31.
- Deutsche Energieagentur 2006: *Biomass to Liquid – BtL Realisierungsstudie. Zusammenfassung*, Berlin.
- Diamond, J. 2006: *Collapse. How Societies Choose to Fall or Succeed*, London: Penguin Books.
- DiMaggio, P.J. & W.W. Powell 1983: „The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collectivity Rationality in Organizational Fields“, in: *American Sociology Review* 48, 147-160.
- DiMaggio, P.J. 1988: „Interest and agency in institutional theory“, in: L.G. Zucker (Hrsg.): *Institutional Patterns and Organizations*, Cambridge: Ballinger, 3-21.
- Djelic, M.-L. & S. Quack 2007: „Overcoming path dependency: path generation in open systems“, in: *Theory and Society* 36, 161-186.
- Dobusch, L. & E. Schüßler 2006: „'One mechanism does not make a path' – Revisiting path dependency's favorites in a quest for clarity“, Papier für den *EIASM Workshop Organizing Paths – Paths of Organizing*, Berlin, 2006-10-10.
- Döhmel, K. 2006a: „Biokraftstoffe zweiter Generation – eine nachhaltige Kraftstoff-Option für die Zukunft“, Rede auf der Veranstaltung *Biokraftstoffe der 2. Generation. Potenziale, Chancen und notwendige Rahmenbedingungen* des Forums für Zukunftsenergien, Berlin, 2006-06-21.
- Döhmel, K. 2006b: „Biokraftstoffe zweiter Generation – eine nachhaltige Kraftstoff-Option für die Zukunft“, Präsentation auf der Veranstaltung *Biokraftstoffe der 2. Generation. Potenziale, Chancen und notwendige Rahmenbedingungen* des Forums für Zukunftsenergien, Berlin, 2006-06-21.
- Dosi, G. 1982: „Technical Paradigms and Technical Trajectories. The Determinants and Directions of Technical Change and the Transformation of the Economy“, in: *Research Policy* 11, 146-162.
- Drüner, B. & B. Schweiker 2006: „Branchenstudie Tankstellenmarkt. Aktualisierung Dezember 2006“ der Prof. Dr. Schneck Rating GmbH.
- Duschek, S. 2001: „Kooperative Kernkompetenzen – Zum Management einzigartiger Netzwerkressourcen“, in: G. Ortmann & J. Sydow (Hrsg.): *Strategie und Struktur. Strategisches Management von Unternehmen, Netzwerken und Konzernen*, Wiesbaden: Gabler, 173-189.

- E.ON Avacon AG: „Erdgas und Autogas – eine Gegenüberstellung“, www.erdgasfahrzeuge.eon-avacon.com/Content.aspx?mpid=100 [2008-03-31].
- Ebbinghaus, B. 2005: „Can Path Dependence Explain Institutional Change? Two Approaches Applied to Welfare State Reform“, *MPIfG Discussion Paper* 05/2.
- Elzen, B. (Hrsg.) 2004: *System innovation and the transition to sustainability: Theory, evidence and policy*, Cheltenham: Elgar.
- Emirbayer, M. & A. Mische 1998: „What Is Agency?“, in: *American Journal of Sociology* 103 (4), 962–1023.
- Energie Informationsdienst 2005-08-29: „Welche Strategie für Raffinerien? Eine Boston Consulting-Studie“, in: *Energie Informationsdienst* 35, Rubrik Mineralöl [CD ROM Jg. 2005].
- Energie Informationsdienst 2006-02-06: „ExxonMobil profitabelste Ölfirma der Welt“, in: *Energie Informationsdienst* 06, Rubrik Mineralöl [CD ROM Jg. 2006].
- Energie Informationsdienst 2006-03-13: „In Europa kommen Raffinerien auf den Markt“, in: *Energie Informationsdienst* 11, Rubrik Mineralöl [CD ROM Jg. 2006].
- Energie Informationsdienst 2006-05-08: „Dank Raffinerien: Neues Rekordergebnis der deutschen Ölindustrie“, in: *Energie Informationsdienst* 19, Rubrik Mineralöl [CD ROM Jg. 2006].
- Energie Informationsdienst 2006-07-03: „Deutschland ist Nettoexporteur von Ölprodukten“, in: *Energie Informationsdienst* 27, Rubrik Mineralöl [CD ROM Jg. 2006].
- Energie Informationsdienst 2006-07-17: „Wann endet die „goldene Ära“?“, in: *Energie Informationsdienst* 29, Rubrik Mineralöl [CD ROM Jg. 2006].
- Energie Informationsdienst 2006-07-31: „Deutsche Tankstellenmargen im europäischen – Vergleich auch im ersten Halbjahr 2006 ganz unten“, in: *Energie Informationsdienst* 31, Rubrik Mineralöl [CD ROM Jg. 2006].
- Energie Informationsdienst 2006-09-18: „Raffinerien können alles, aber es hat seinen Preis“, in: *Energie Informationsdienst* 38, Rubrik Mineralöl [CD ROM Jg. 2006].
- Energie Informationsdienst 2006-11-27: „Auch in Deutschland machen Öl-Majors weiterhin ein gutes Geschäft“, in: *Energie Informationsdienst* 48, Rubrik Mineralöl [CD ROM Jg. 2006].
- Energie Informationsdienst 2007: „Statistiken“, in: *Energie Informationsdienst: 60 Jahre EID*, Hamburg, 47-72.
- Energie Informationsdienst 2007-02-05a: „Tankstellenzahl erneut gesunken. EID-Umfrage zum 1. Januar 2007“, in: *Energie Informationsdienst* 06, 1-6.
- Energie Informationsdienst 2007-02-05b: „TOTAL: ‚Wachstum ja, aber nicht um jeden Preis‘“, in: *Energie Informationsdienst* 06, 8-10.
- Energie Informationsdienst 2007-05-07a: „Vergleich der Verbraucherpreise in der EU vom 23.04.2007“, in: *Energie Informationsdienst* 19, 6.
- Energie Informationsdienst 2007-05-07b: „Benzinpreis-Hoch“, in: *Energie Informationsdienst* 19, 12.
- Ernst & Young 2007: „Investment and Other Uses of Cash Flow By the Oil Industry, 1992-2006“, Studie für das American Petroleum Institute (API).
- Esso 2007: „Esso Kraftstoffe sind schwefelfrei“, www.esso.de [2007-05-03].
- EUCAR, JRC & CONCAWE 2004: *Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context*, WELL-to-WHEELS Report Version 1b, January 2004.
- EurActiv 2006-02-27: „Biokraftstoffe für den Verkehr“, keine Aktualisierung angegeben, www.euractiv.com, [2008-08-25].
- EurActiv 2007-03-16: „EURO-5-Emissionsvorschriften für Fahrzeuge“, aktualisierte Version eines Artikels vom 2005-04-08, www.euractiv.com [2007-04-02].
- EurActiv 2007-04-13: „Umweltfreundliche Autos“, www.euractiv.com [2007-08-06].
- EurActiv 2007-05-16: „Automobilhersteller fordern Aufschub der CO₂-Begrenzung“, www.euractiv.com [2007-08-09].
- EurActiv 2007-06-29: „EU aims at oil firms on way to low carbon future“, aktualisierte Version eines Artikels vom 2007-02-01, www.euractiv.com [2007-07-16].

EurActiv 2007-07-18: „Interview: Biokraftstoffe durch 'Größenproblem' behindert“, www.euractiv.com [2007-07-30].

EurActiv 2007-08-02: „Biokraftstoffe: 'bescheidener' Einfluss auf Landwirtschaft“, aktualisierte Version eines Artikels vom 2007-07-27, www.euractiv.com [2007-08-02].

EurActiv 2008-04-28: „Biokraftstoffe, Handel und Nachhaltigkeit“, www.euractiv.com [2008-09-18].

EurActiv 2008-05-07: „EU-Agrarkommissarin: Biokraftstoffe sind der ‚Sündenbock‘ im Streit um Lebensmittelpreise“, www.euractiv.com [2008-08-15].

Eurobarometer 2008: *EUROBAROMETER Spezial 295. Einstellungen der europäischen Bürger zur Umwelt*, Ausgabe : November – Dezember 2007.

Europäische Kommission 1995: *Weißbuch. Eine Energiepolitik für die Europäische Union*, KOM(95) 682, Brüssel.

Europäische Kommission 1997: *Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan*, KOM(97)599, Brüssel

Europäische Kommission 2000: *The Auto-Oil II Programme. A Report from the Services of the European Commission*, Brüssel.

Europäische Kommission 2001: *Weißbuch. Die europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellungen für die Zukunft*, KOM(2001) 370, Brüssel.

Europäische Kommission 2005: *Grünbuch über Energieeffizienz oder Weniger ist mehr*, KOM(2005) 265, Brüssel.

Europäische Kommission 2006a: *Grünbuch. Eine europäische Strategie für nachhaltige, wettbewerbsfähige und sichere Energie*, KOM(2006)105, Brüssel.

Europäische Kommission 2006b: *Für ein mobiles Europa – Nachhaltige Mobilität für unseren Kontinent. Halbzeitbilanz zum Verkehrsweißbuch der Europäischen Kommission von 2001*, Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament, KOM(2006) 314, Brüssel.

Europäische Kommission 2006c: *Biofuels in the European Union. A vision for 2030 and beyond. Final report of the Biofuels Research Advisory Council*, Brüssel.

Europäische Kommission 2007a: *Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament. Ergebnisse der Überprüfung der Strategie der Gemeinschaft zur Minderung der CO₂-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen*, KOM(2007) 19, Brüssel.

Europäische Kommission 2007b: *Fortschrittsbericht Biokraftstoffe. Bericht über die Fortschritte bei der Verwendung von Biokraftstoffen und anderen erneuerbaren Kraftstoffen in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union*, KOM(2006) 845, Brüssel.

Europäische Kommission 2007c: *Eine Energiepolitik für Europa*, KOM(2007) 1, Brüssel.

Europäische Kommission 2007d: „Air Quality – Existing Legislation“, http://ec.europa.eu/environment/air/existing_leg.htm [04.08.2007].

Europäische Kommission 2008: *Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen*, KOM(2007) 19, Brüssel.

Europäische Union 2007a: „Motor vehicles with trailers: polluting emissions“, <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l21047.htm> [2007-08-08].

Europäische Union 2007b: „Summaries of legislation: Quality of petrol and diesel fuels: sulphur and lead“, <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l28077.htm> [2007-08-08].

Europäische Union 2007c: „Ambient Air Quality“, <http://ec.europa.eu/environment/air/ambient.htm> [2007-08-08].

Europäische Union 2007d: „Summary of legislation. CO₂ emissions from new passenger cars“, <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l28055.htm> [2007-08-08].

Europäischer Rat 1996: „Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität“, in: *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften* L 296, 55.

Europäischer Rat 2003: „Richtlinie 2003/96/EG des Europäischen Rates vom 27. Oktober 2003 zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom“, in: *Amtsblatt der Europäischen Union* L 283, 51-70.

- Europäisches Parlament & Europäischer Rat 1998:65: „Directive 98/70/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 1998 relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Council Directive 93/12/EEC“, in: *Official Journal of the European Communities* L 350, 58-68.
- Europäisches Parlament & Europäischer Rat 2003: „Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor“, in: *Amtsblatt der Europäischen Union* L 123, 42-46.
- European Biofuels Technology Platform 2006: *Terms of Reference*, www.biofuelstp.eu [2007-05-03].
- European Biofuels Technology Platform 2007a: *Work Group Members*, <http://www.biofuelstp.eu/wgmembers.html> [2007-05-04].
- European Biofuels Technology Platform 2007b: *Steering Committee*, <http://www.biofuelstp.eu/steering.html> [2007-06-25].
- European Biofuels Technology Platform 2008: *Strategic Research Agenda & Strategy Deployment Document*, Newbury: CPL Press.
- Evans, G. 2007: *Liquid Transport Biofuels – Technology Status Report*, Projekt 08/017 des National Non-Food Crops Centre International Biofuels Strategy Project, York.
- ExxonMobil 2003: *Esso Energieprognose 2003. Schwerpunkt: Der Aufstieg des Diesels*, Hamburg.
- ExxonMobil 2006a: *The Outlook for Energy. A View to 2030*, Irving/Texas.
- ExxonMobil 2006b: „Guiding Principles“, http://www2.exxonmobil.com/cororate/About/ViewPoints/Corp_V_GuidingPrinciples.asp [2008-08-01].
- ExxonMobil 2007a: „Auto-/Öl-Programm“, *Unser Unternehmen*, <http://www.exxonmobil.de/unternehmen/energie/programm/index.html> [2007-08-08].
- ExxonMobil 2007b: *Financial and Operational Review 2006*, Irving/Texas.
- Fabricius, N. 2004: „The Qatar Shell Gas to Liquids Project“, Rede auf der *Finance and Investment in Qatar Conference*, London, März 2004.
- Farrell, A.E., D.W. Keith & J.J. Corbett 2003: „A strategy for introducing hydrogen into transportation“, in: *Energy Policy* 31, 1357–1367.
- Farrell, J. & G. Saloner 1986: „Installed base and compatibility: innovation, product preannouncements, and predation“, in: *American Economic Review* 76, 940–955.
- Farrell, J. & G. Saloner 1992: „Converters, Compatibility, and the Control of Interfaces“, in: *The Journal of Industrial Economics* 40(1), 9-35.
- Fattouh, B. 2007: „How Secure Are Middle East Oil Supplies?“, Oxford Institute for Energy Studies WPM 33.
- Financial Times Deutschland 2007-02-02: „Das Tankstellensterben geht weiter“, http://ftd.de/unternehmen/handel_dienstleister/157813.html?mode=print [2007-05-25]
- Fischer Boel, M. 2008: „Die Gentechnik ist schon lange hier“, Interview in *DIE ZEIT* 25, 28.
- Fischer, W. 2000: „Die Zukunft der Energieversorgung“, in: K. Kaiser & H.-P. Schwarz (Hrsg.): *Weltpolitik im neuen Jahrhundert*, Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung, 279-294.
- Flick, U. 2002: *Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung*, Reinbeck: Rowohlt.
- Flick, U. 2004: *Triangulation. Eine Einführung*, Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.
- Fligstein, N. 1991: „The structural transformation of American industry: An institutional account of the causes of diversification in the largest firms: 1919-1979“, in: W.W. Powell & P.J. DiMaggio (Hrsg.): *The new institutionalism in organizational analysis*, Chicago: University of Chicago Press: 311-336.
- Foxon, T.J. 2006: „Technological lock-in and the role of innovation“, in: G. Atkinson, S. Dietz and E. Neumayer (Hrsg.): *Handbook of Sustainable Development*, Cheltenham: Edward Elgar, Vorabversion, http://www.hm-treasury.gov.uk/media/C/0/climatechange_imp_3.pdf [2006-05-08].
- Foxon, T.J., P. Pearson, Z. Makuch, M. Mata 2005: *Policy Drivers and Barriers for Sustainable Innovation*, London: ICEPT Monograph 2005/1, ESCR Sustainable Technologies Programme.

- Foxon, T.J., Z. Makuch, M. Mata & P. Pearson 2004: „Innovation Systems and Policy-Making Processes for the Transition to Sustainability“, in: K. Jacob, M. Binder & A. Wieczorek (Hrsg.): *Governance for Industrial Transformation. Proceedings of the 2003 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change*, FFU-report 03-2004, 96-112.
- Fox-Wolfgramm, S.J., K.B. Boal & J.G. Hunt 1998: „Organizational Adaption to Institutional Change: A Comparative Study of First-order Change in Prospector and Defender Banks“, in: *Administrative Science Quarterly* (43), 87-126.
- Franken, M. 2008: „Aufruf zur Elektro-Evolution“, in: *Neue Energie* 08, 47-52.
- Frankfurter Allgemeine Zeitung 2007-05-23: „Rekord-Spritpreise. ‚Ich verstehe die Wut der Autofahrer‘“, www.faz.net [2007-05-23].
- Frankfurter Allgemeine Zeitung 2008-04-05: „Biosprit-Debakel bringt alles gegeneinander auf“, in: *Frankfurter Allgemeine Zeitung* 80, 11.
- Friedrich, A., M. Tappe & R.K.W. Wurzel 2000: „A New Approach to EU environmental policy-making? The Auto-Oil I Programme“, in: *Journal of European Public Policy* 7 (4), 593-612.
- Friese, U. 2007: „Branchen (95): Mineralölindustrie. Privat gegen staatlich“, in *FAZ* 2007-05-21 (116), 23.
- Gabriel, S. 2006: „Biokraftstoffe der Zukunft - Strategien für eine nachhaltige Mobilität“, Rede auf der Veranstaltung *Biokraftstoffe der Zukunft* der Friedrich-Ebert-Stiftung und der Deutschen Energieagentur, Berlin, 2006-03-16.
- Garud, R. & M.A. Rappa 1994: „A Socio-cognitive Model of Technology Evolution: The Case of Cochlear Implants“, in: *Organization Science* 5(3), 344-362.
- Garud, R. & P. Karnøe 2001: „Path Creation as a Process of Mindful Deviation“, in: Dies. (Hrsg.): *Path Dependence and Creation*. London: Lawrence Erlbaum Associates, 1-38.
- Garud, R. & P. Karnøe 2003: „Bricolage vs. Breakthrough: Distributed and Embedded Agency in Technology Entrepreneurship“, in: *Research Policy* 32, 277-300.
- Garud, R., S. Jain & A. Kumaraswamy 2002: „Institutional Entrepreneurship in the Sponsorship of Common Technological Standards: The Case of Sun Microsystems and Java“, in: *Academy of Management Journal* 45 (1), 196-214.
- Gea Group 2005: *Hintergrundinformationen Synthetische Kraftstoffe*, www.geagroup.com [2006-11-01].
- Geels, F.W. 2004: „From sectoral systems of innovation to socio-technical systems. Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory“, in: *Research Policy* 33, 897-920.
- Giddens, A. 1997³: *Die Konstitution der Gesellschaft. Grundzüge einer Theorie der Strukturierung*, Frankfurt/Main: Campus Verlag.
- Gielen, D. & F. Unander 2005: *Alternative Fuels. An Energy Technology Perspective*, IEA/ETO Working Paper, ETO /2005/01.
- Gilbert, C.G. 2005: „Unbundling the Structure of Inertia: Resource versus Routine Rigidity“, in: *Academy of Management Journal* 48 (5), 741-763.
- Gläser, J. & G. Laudel 2004: *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen*, Wiesbaden.
- Gottschalk, B. 2007: „Statement von Prof. Dr. Bernd Gottschalk, Präsident des Verbandes der Automobilindustrie (VDA), anlässlich eines Pressegespräches zum Thema CO2 und Klimaschutz“ am 22. Januar 2007 Frankfurt am Main“, www.vda.de [2007-02-10].
- Grablowitz, A., P. Board, M. Craye & M. Weber 1998: *Strategic Management of Sustainable Transport Innovations*, ESTO Project Report EUR 18679 EN, Sevilla.
- Grant, R. M. & R. Cibin 1996: „Strategy, Structure and Market Turbulence: The International Oil Majors, 1970-1991“, in: *Scandinavian Journal of Management* 12(2), 165-188.
- Grant, R.M. & M. Nippa 2006: *Strategisches Management. Analyse, Entwicklung und Implementierung von Unternehmensstrategien*, München :Pearson Studium.
- Greenpeace 2005: *Brent Spar und die Folgen. Zehn Jahre danach*, Hamburg.

- Greenwood, R. & R. Suddaby 2006: „Institutional Entrepreneurship In Mature Fields: The Big Five Accounting Firms“, in: *Academy of Management Journal* 49(1), 27–48.
- Hall, D.J. & M.A. Saias 1980: „Strategy Follows Structure!“, in: *Strategic Management Journal* 1 (2), 149-163.
- Hall, P.A. & R.C.R. Taylor 1996: „Political Science and the Three New Institutionalisms“, in: *Political Studies* 44, 936-957.
- Handelsblatt 1988-08-11: „KRAFTSTOFFMARKT / Konzentrationsprozesse im Tankstellenbereich gehen weiter. Preis und Qualitaet als wesentliche Aktionsparameter im Wettbewerb“, in: *Handelsblatt* 153, 08.
- Handelsblatt 1994-07-04: „DEUTSCHE BP / Stellenabbau. Zielvorgabe ein Jahr eher erreicht“, in: *Handelsblatt* 126, 13.
- Handelsblatt 1996-12-06: „AUTOMARKT / Trotz der hohen Steuer klettert der Anteil der Diesel-Personenwagen. TDI macht den Selbstzünder salonfähig. “, in: *Handelsblatt* 237, 26.
- Handelsblatt 1997-06-26: „DIESEL / Altes Prinzip mit neuer Zukunft.Aus dem Zugochsen wird ein Rennpferd. “, in: *Handelsblatt* 120, 47.
- Handelsblatt 1998-05-12: „UMWELT / Autobauer und Energiemultis forschen. Wissmann gibt Gas bei Öko-Antrieben “, in: *Handelsblatt* 090, 9.
- Handelsblatt 1998-06-24: „DEUTSCHE BP HOLDING AG / Gutes Jahresergebnis. Das Tankstellennetz wird kräftig ausgedünnt“, in: *Handelsblatt* 118, 21.
- Handelsblatt 1999-09-29: „14 Projekte weltweit in Prüfphase. Gas-Öl-Anlagen werden profitabel “, in: *Handelsblatt* 188, 27.
- Handelsblatt 2001-07-17: „BP ist mit Aral künftig die Nummer eins in Deutschland“, in: *Handelsblatt* 135, 2.
- Handelsblatt 2002-11-06: „Potenzielle Investoren warten auf Marktregulierung für Kraftstoffe aus erneuerbaren Rohstoffen. Kein Bio-Tiger für den Trecker “, in: *Handelsblatt* Nr. 214, 14.
- Handelsblatt 2004-01-12: „Harte Zeiten für den Handel. Kaum Hoffnung für den Konsum - Probleme mit Emissionsrechten“, in: *Handelsblatt* 07, 9.
- Handelsblatt 2004-02-12: „Tankstellen kämpfen um engen Markt. Mittelständische Betreiber geraten unter Druck“, in: *Handelsblatt* 30, 10.
- Handelsblatt 2006-12-15: „VW macht Motoren sauberer. CCS-Verfahren kombiniert Diesel- und Benzinmotor. Weniger Verbrauch und Schadstoffausstoß“, in: *Handelsblatt* 30, 10.
- Hård, M. & A. Knie 2000: „Getting Out of the Vicious Circle: Attempts at Restructuring the Cultural Ambience of the Automobile throughout the 20th Century“, *WZB Discussion Paper*. FS II 00-103.
- Hargadon, A.B. & Y. Douglas 2001: „When Innovations Meet Institutions: Edison and the Design of the Electric Light“, in: *Administrative Science Quarterly* 46, 476-501.
- Hautzinger, H., K. Mayer, M. Helms, C. Kern, M. Wiesenhütter, G. Haag & J. Binder 2004: *Analyse von Veränderungen des Mobilitätsverhaltens – insbesondere der Pkw-Fahrleistung – als Reaktion auf geänderte Kraftstoffpreise*, Schlussbericht des Forschungsprojektes Nr. 96.0756/2002/ für das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen.
- Hedström, P. & R. Swedberg 1996: „Social Mechanisms“, in: *Acta Sociologica* 39, 281-308.
- Heise 2008: „Prius an der Steckdose. Toyota bringt den Prius mit Plug-In-Hybrid auf die Straße“, www.heise.de/autos/artikel/s/4207, [2008-04-24].
- Helfat, C.E. 1994: „Evolutionary Trajectories in Petroleum Firm R&D“, in: *Management Science* 40 (12), 1720-1747.
- Herbst, S. 2006: „Aiming at a business environment where the emphasis is on both the Business and the Environment: Toyota’s Perspective to address the Climate Change challenges“, Präsentation auf der *Jahrestagung 2006 des Öko-Instituts*, 22.-23. September 2006, Berlin.
- Hermann, R. 2008: „Die Hundert-Dollar-Marke“, in: *Frankfurter Allgemeine Zeitung* 213, 11.
- Hitzler, G. & M. Bargende 2000: *Schadstoffemissionen von Pkw mit reformulierten Kraftstoffen unter realen Fahrbedingungen*, Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS).
- Hoffman, A.J. 1999: „Institutional Evolution and Change: Environmentalism and the U.S. Chemical Industry“, in: *Academy of Management Journal* 42(4), 351-371.

- Holtgrewe, U. 2000: „'Wer das Problem hat, hat die Lösung.' Strukturierung und pragmatische Handlungstheorie am Fall von Organisationswandel“, Onlineversion eines Artikels aus *Soziale Welt* 51(2), 37 – 54, [2008-07-07].
- Holtmann, P. 2008: *Pfadabhängigkeit strategischer Entscheidungen: Eine Fallstudie am Beispiel des Bertelsmann Buchclubs Deutschland*, Köln.
- Honsel, G. 2008: „Energie. Realitätsfremde Annahmen“, in: *Technology Review* 4, 85-86.
- Hopf, C. 1991: „Qualitative Interviews in der Sozialforschung. Ein Überblick“, in: U. Flick, E. v. Kardorff, H. Keupp, L. v. Rosenstiel, S. Wolff (Hrsg.): *Handbuch Qualitative Sozialforschung. Grundlagen, Konzepte, Methoden und Anwendungen*, München 177-182.
- Huber, J. 2001: „Umweltschutz“, in: K.-R. Korte & W. Weidenfeld (Hrsg.): *Deutschland-TrendBuch. Fakten und Orientierungen*, Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung, 364-393.
- Huberman, A.M. & M.B. Miles 1994: „Data Management and Analysis Methods“, in: N.K. Denzin & Y.S. Lincoln (Hrsg.): *Handbook of Qualitative Research*, Thousand Oaks: Sage, 428-444.
- Huff, J. S., A. S. Huff, & H. Thomas 1992: „Strategic renewal and the interaction of cumulative stress and inertia“, in: *Strategic Management Journal* 13, 55-75.
- Hughes, T.P. 1989: „The Evolution of Large Technological Systems“, in: W.E. Bijker, T.P. Hughes & T. Pinch (Hrsg.): *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge: MIT Press, 51-82.
- Hultén, S. & L. Pelkmans 2003: „Emission Regulations for Light-Duty Vehicles – A Comparison of the USA and Europe“, in: L. Pelkmans & P. Christidis (Hrsg.): *Trends in Vehicle and Fuel Technologies. Review of Past Trends*, IPTS Technical Report Series, Report EUR 20746 EN, Sevilla, 152-173.
- Hultén, S. 2003: „Study on SUV in the USA“, in: L. Pelkmans & P. Christidis (Hrsg.): *Trends in Vehicle and Fuel Technologies. Review of Past Trends*, IPTS Technical Report Series, Report EUR 20746 EN, Sevilla, 198-206.
- Innovationsreport 2005: „Renaissance eines Klassikers für die Sprit-Produktion“, 2005-12-14, www.innovations-report.de/html/berichte/veranstaltungen/bericht-65620.html, [2007-03-09].
- Internationale Energieagentur 2005a: *Resources to Reserves. Oil & Gas Technologies for the Energy Markets of the Future*, Paris.
- Internationale Energieagentur 2005b: *World Economic Outlook 2005. Middle East and North Africa Insights*, Paris.
- Internationale Energieagentur 2005c: *Energy Technologies at the Cutting Edge*, Paris.
- Internationale Energieagentur 2005d: *Biofuels for Transport. An International Perspective*, Paris.
- Internationale Energieagentur 2006a: *Medium-Term Oil Market Report July 2006*, Paris.
- Internationale Energieagentur 2006b: *Oil Market Report. Annual Statistical Supplement for 2005 and Users Guide*, Paris.
- Internationale Energieagentur 2007a: *Oil Market Report. A Monthly Oil Market and Stocks Assessment. December 2007*, Paris.
- Iogen 2008: *Partners*, <http://www.iogen.ca/partners/overview/index.html> [2008-06-05].
- Jacob, K., M. Beise, J. Blazejczak, D. Edler, R. Haum, M. Jänicke, T. Löw, U. Petschow & K. Rennings 2005: *Lead Markets for Environmental Innovations*, Heidelberg: Physica Verlag.
- Jansen, K.J. 2004: „From Persistence to Pursuit: A Longitudinal Examination of Momentum during the Early Stages of Strategic Change“, in: *Organization Science* 15 (3), 276-294.
- Jeken, B. 2005: „CNG Distribution in Germany“, Präsentation auf dem *Clean Energy Forum 2005. Introduction of Clean Energy in Road Transportation*, Berlin, 2005-11-01.
- Jensen, D. & M. Benschmann 2008: „Gefressen werden“, in: *Neue Energie* 04, 49-51.
- Jürgens, U. & H.R. Meißner 2005: *Arbeiten am Auto der Zukunft. Produktinnovationen und Perspektiven der Beschäftigung*, Berlin: Edition sigma.
- Katz, M. & C. Shapiro 1986: „Technology adoption in the presence of network externalities“, in: *Journal of Political Economy* 94, 822-841.

- Kavalov, B. & S.D. Peteves 2004: „Impacts of the Increasing Automotive Diesel Consumption in the EU“, European Commission JRC Report EUR 21378 EN, Petten.
- Kemp, R., A. Rip & J. Schot 2001: „Constructing Transition Paths through the Management of Niches“, in: R. Garud & P. Karnøe (Hrsg.): *Path Dependence and Creation*, Mahwah/NJ: Lawrence Erlbaum, 269-299.
- Kemp, R., J. Schot & R. Hoogma 1998: „Regime Shifts to Sustainability Through Processes of Niche Formation: The Approach of Strategic Niche Management“, in: *Technology Analysis and Strategic Management* 10 (2), 175-195.
- Keohane, R.O. 1978: „The International Energy Agency: State Influence and Transgovernmental Politics“, in: *International Organization* 32(4), 929-951.
- Kirchberger, M. 2008: „Hybrid-Autos sind gefragt, und ohne V8 will keiner fahren“, in: FAZ 70, T3.
- Kitschelt, H. 1980: *Kernenergiepolitik. Arena eines gesellschaftlichen Konflikts*, Frankfurt/Main: Campus Verlag.
- Kliem, K. 2007: „Biokraftstoffe heute und morgen – europäische und deutsche Strategien“, Rede auf dem *Ersten Internationalen Kongress zu Pflanzenöl-Kraftstoffen*, Erfurt, 6.-7. September 2007.
- Koch, J. 2007: „Strategie und Handlungsspielraum: Das Konzept der strategischen Pfade“, in: *Zeitschrift für Organisationsentwicklung* 5, 283-291.
- Kochhar, K., S. Ouliaris & H. Samiei 2005: „What Hinders Investment in the Oil Sector?“, Note by the IMF Research Department, 2005-02-22.
- Kolke, R., M. Jäcker, A. Rauterberg-Wulff, H. Verron, W. Zimmer, A. Ostermeier, K. Stinshoff & C. Pech 2003: *CO₂-Minderung im Verkehr. Ein Sachstandsbericht des Umweltbundesamtes – Beschreibung von Maßnahmen und Aktualisierung von Potenzialen*, Berlin.
- Koza, M.P. & A.Y. Lewin 1998: „The Co-Evolution of Strategic Alliances“, in: *Organization Science* 9(3), 255-264.
- Kraftfahrt-Bundesamt 2008: *Fahrzeugzulassungen. Bestand, Emissionen, Kraftstoffe, 01. Januar 2008*, Flensburg.
- Kramer, G.J., J. Huijsmans & D. Austgen 2006: „Cleen and Green Hydrogen“, Papier präsentiert auf der *16. World Hydrogen Energy Conference*, Lyon, 13.-16. Juni 2006.
- Krasner, S.D. 1984: „Approaches to the State: Alternative Conceptions and Historical Dynamics“, in: *Comparative Politics* 16, 223-46.
- Kritzinger, S. 2007: „Teure Mobilität – Handicap für unsere Wirtschaft?“, Vortrag auf der Veranstaltung *„Luxusgut Mobilität?“* des Deutschen Verkehrsforums und des VDAs auf der 62. IAA, Frankfurt/Main, 2007-09-18.
- Kuckartz, U. 1999: *Computergestützte Analyse qualitativer Daten. Eine Einführung in Methoden und Arbeitstechniken*, Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Lahl, U. & T. Knobloch 2006: „Beimischungsgesetz und Biokraftstoffstrategie der Bundesregierung – Vorbild für die EU-Strategie für Biokraftstoffe und der Ratspräsidentschaft Deutschlands in 2007“, Präsentation auf dem *4th International Congress on Biofuels*, Berlin, 2006-11-27.
- Larivé, J.-F. 2007: „Well-to-Wheels assessment of alternative fuels and powertrains in the European context“, Präsentation auf der *Transport and Environment: a global challenge*, Mailand, März 2007.
- Lawrence, T.B. 1999: „Institutional Strategy“, in: *Journal of Management* 25(2), 161-187.
- Leblebici, H., G.R. Salancik, A. Copay, T. King 1991: „Institutional Change and the Transformation of Interorganizational Fields: An Organizational History of the U.S. Radio Broadcasting Industry“, in: *Administrative Science Quarterly* 36, 333-363.
- Legge, S. 1997: „A Comparison of the US and European Auto/Oil Programmes“, *Oxford Institute for Energy Studies* EV23.
- Lehold, J. 2006a: „Die Kraftstoff- und Antriebsstrategie von Volkswagen“, Präsentation beim *„Kamingespräch“* 2006-07-03.
- Lehold, J. 2006b: „Biogene Kraftstoffe – Potenziale und notwendige Rahmenbedingungen“, Vortrag auf der Veranstaltung *Biokraftstoffe der 2. Generation. Potenziale, Chancen und notwendige Rahmenbedingungen* des Forums für Zukunftsenergien, Berlin, 2006-06-21.

- Levy, B. 1982: „World Oil Marketing in Transition“, in: *International Organization* 36(1), 113-133.
- Levy, D.L. & A. Kolk 2002: „Strategic Responses to Global Climate Change: Conflicting Pressures on Multinationals in the Oil Industry“, in: *Business and Politics* 4(3), 275-300.
- Levy, D.L. 2008: „USA: Part of the Problem or Part of the Solution?“, in: *Management Engineers: Klimawandel schafft Wirtschaftsklima – Zukunftsszenarien für Ökologie und Ökonomie*, Forum Berlin 2007, Düsseldorf, 63-71.
- Liebowitz, S.J. & S.E. Margolis 1990: „The Fable of the Keys“, in: *Journal of Law and Economics* 33(1), 205-226.
- Liebowitz, S.J. & S.E. Margolis 1995: „Path Dependency, Lock-in and History“, in: *Journal of Law, Economics and Organization* 11(1), 205-226.
- Linde o.J.: *Der sauberste Energieträger, den es he gab. Hydrogen Solutions von Linde Gas*, Pullach.
- Lindström, M. 2007: „En hållbar nollvision“, in: *Dagens Nyheter Netzausgabe* www.dn.se 2007-10-23 [2007-12-26].
- Llewellyn, S. 2007: „Introducing the Agents ...“, in: *Organization Studies* 28(02), 133-153.
- Lüke, H.-W. 2005: „BTL-Fuels – A View from the Mineral Oil Industry“, in: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.): *Synthetische Biokraftstoffe. Techniken – Potenziale – Perspektiven*, Münster: Landwirtschaftsverlag 49-54.
- Luhmann, H.-J., E. Müller, J. Nitsch & H.-J. Ziesing 2002: *Mineralölkonzern und Klimazerstörung. Wie man Investitionen in erneuerbare Energien umlenken kann und damit das Klima schützt*, Studie im Auftrag von Greenpeace Deutschland, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal.
- Luyken, R. 2004: „Ein kleiner Liter Öl auf großer Fahrt“, in: *Die ZEIT* 36, www.zeit.de [2007-10-10].
- Mabro, R. 1998: „The Oil Price Crisis of 1998“, *Oxford Institute for Energy Studies* SP 10.
- Macleod, D. 2006a: „'Hydrogen comes of age'. Creating a global hydrogen business“, Rede auf der *NHA World Hydrogen Energy Conference 2006*, Lyon, 2006-06-16.
- Macleod, D. 2006b: „Dynamics of Vehicle and Infrastructure Roll Out. Joint Study Shell Hydrogen and General Motors“, Rede auf der *NHA Conference*, Long Beach/Kalifornien, 2006-03-15.
- Macleod, D. 2007a: „Maximising Hydrogen's value in a carbon constrained world“, Präsentation auf der *NHA Annual Hydrogen Conference 2007*, San Antonio, 2007-03-20.
- Macleod, D. 2007b: „Maximising Hydrogen's value in a carbon constrained world“, Rede auf der *NHA Annual Hydrogen Conference 2007*, San Antonio, 2007-03-20.
- Mahoney, J. 2000: „Path Dependence in Historical Sociology“, in: *Theory and Society* 29, 507-548.
- Mante, A. & J. Sydow 2008: „Stabilisierungsprozesse interorganisationaler Routinen: Zur Koordination von FuE-Aktivitäten im Rahmen eines internationalen Joint Ventures“, Vortrag auf dem *Workshop der Wissenschaftlichen Kommission „Organisation“*, München, 21. - 22. Februar.
- March, J.G. & J.P. Olsen 1984: „The New Institutionalism: Organizational Factors in Political Life“, in: *American Political Science Review* 78, 734-749.
- March, J.G. 1991: „Exploration and Exploitation in Organizational Learning“, in: *Organization Science* 2(1), 71-87.
- Martin, J.-M. 1996: „Energy Technologies: Systemic Aspects, Technological Trajectories, and Institutional Frameworks“, in: *Technological Forecasting and Social Change* 53, 81-95.
- Matthies, K. 2000: „Tight Supply Keeps Oil Prices Soaring“, in: *INTERECONOMICS* September/October, 253-256.
- Mayntz, R. & F. Scharpf 1995: „Der Ansatz des akteurzentrierten Institutionalismus“, in: Dies. (Hrsg.): *Gesellschaftliche Selbstregulierung und politische Steuerung*, Frankfurt/Main: Campus Verlag, 39-72.
- Mayntz, R. 1988: „Zur Entwicklung technischer Infrastruktursysteme“, in: R. Mayntz, B. Rosewitz, U. Schimank & R. Stichweh: *Differenzierung und Verselbständigung. Zur Entwicklung gesellschaftlicher Teilsysteme*, Frankfurt/Main: Campus Verlag, 233-259.

- Mayntz, R. 2005: „Soziale Mechanismen in der Analyse gesellschaftlicher Makro-Phänomene“, in: U. Schimank & R. Gresshoff (Hrsg.): *Was erklärt Soziologie? Methoden, Modelle, Perspektiven*, Berlin: LIT Verlag, 204-227.
- Mayring, P. 1988: *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*, Weinheim: Deutscher Studien Verlag.
- Mayring, P. 2003: *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*, Weinheim: UTB.
- McAdam, D. & W.R. Scott 2005: „Organization and Movements“, in: G.F. Davis, D. McAdam, W.R. Scott & M.N. Zald (Hrsg.): *Social Movements and Organization Theory*, Cambridge: Cambridge University Press, 4-40.
- Metzner, A. & T. Waschke 2003: „Innovationsstrategien für das Automobil am Beispiel der Brennstoffzellentechnologie“, in: W. Canzler & G. Schmidt (Hrsg.): *Das zweite Jahrhundert des Automobils. Technische Innovationen, ökonomische Dynamik und kulturelle Aspekte*, Berlin: Edition Sigma, 63-76.
- Mey, G. 2000: „Erzählungen in qualitativen Interviews: Konzepte, Probleme, soziale Konstruktion“, in: *sozialersinn* 1, 135-151.
- Meyer, J.W. & B. Rowan 1991: „Institutionalized Organizations Formal Structure as Myth and Ceremony“, in: W.W. Powell & P.J. DiMaggio (Hrsg.): *The new institutionalism in organizational analysis*, Chicago: University of Chicago Press, 41-62.
- Mineralölwirtschaftsverband 1996a: *Öl – Rohstoff und Energieträger*, Hamburg: Saphir Druck + Verlag.
- Mineralölwirtschaftsverband 2000: *Mineralöl Forum. Kraftstoffe der Zukunft*, Hamburg: Saphir Druck + Verlag.
- Mineralölwirtschaftsverband 2001: *Aus der Sprache des Öls*, Hamburg: Saphir Druck + Verlag.
- Mineralölwirtschaftsverband 2003a: *Mineralöl und Raffinerien*, Hamburg: Saphir Druck + Verlag.
- Mineralölwirtschaftsverband 2003b: *Jahresbericht 2002*, Hamburg: Saphir Druck + Verlag.
- Mineralölwirtschaftsverband 2005: *Jahresbericht 2004*, Hamburg: Saphir Druck + Verlag.
- Mineralölwirtschaftsverband 2006a: *MWV-Prognose 2025 für die Bundesrepublik Deutschland*, Hamburg.
- Mineralölwirtschaftsverband 2006b: *Preisbildung an Tankstellen*, Hamburg: Saphir Druck + Verlag.
- Mineralölwirtschaftsverband 2006c: „Das Einsparpotenzial von Biokraftstoffen an Treibhausgasen im Straßenverkehr. MWV-Kurzfassung einer gemeinsamen Studie von EUCAR, JRC, CONCAWE“, in: *MWV Aktuell Sonderausgabe 2006-02-28*.
- Mineralölwirtschaftsverband 2006d: *Jahresbericht Mineralöl-Zahlen 2005*, Hamburg: Saphir Druck + Verlag.
- Mineralölwirtschaftsverband 2007: *Jahresbericht Mineralöl-Zahlen 2006*, Hamburg: Saphir Druck + Verlag.
- Mintzberg, H. 1978: „Patterns in Strategy Formation“, in: *Management Science* 24 (9), 934-948
- Mitchell, J. 2004: „Petroleum Reserves in Question“, Briefing Paper, Chatham House & Oxford Institute for Energy Studies Sustainable Development Programme SDP BP 04/03.
- Mommer, B. 2000: „The Governance of International Oil. The Changing Rules of the Game“, Oxford Institute for Energy Studies WPM 26.
- Mönninger, M. 2003: „Die Wüste lebt – Über die verhängnisvolle Rückkoppelung zwischen Stadtlucht und Verkehrswachstum“, in: W. Canzler & G. Schmidt (Hrsg.): *Das zweite Jahrhundert des Automobils. Technische Innovationen, ökonomische Dynamik und kulturelle Aspekte*, Berlin: Edition Sigma, 251-258.
- Müller, F. 2002: „Energiepolitische Interessen in Zentralasien“, in: *Aus Politik und Zeitgeschichte* (8), 23-31.
- Müller-Graff, P.-C. 2004: „Die Kompetenzen der Europäischen Union“, in: W. Weidenfeld (Hrsg.): *Die Europäische Union. Politisches System und Politikbereiche*, Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung, 141-165.

- Müller-Langer, F., A. Vogel & M. Kaltschmitt 2006: „Synthetische Biokraftstoffe“, in: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.): *Marktanalyse. Nachwachsende Rohstoffe*, Gülzow, 166-180.
- Neste Oil o.J.: *NExBTL. Renewable Synthetic Diesel*, www.nesteoil.com [2007-06-07].
- Neue Energie 2008-01: „Choren gibt BtL-Standort bekannt“, in: *Neue Energie* 01, 23.
- Neue Energie 2008-04a: „Hydrierung bevorzugt Palmöl“, in: *Neue Energie* 04, 21.
- Neue Energie 2008-04b: „Nachhaltigkeitsverordnung gestoppt“, in: *Neue Energie* 04, 11.
- Neue Energie 2008-05: „Zweite Generation lernt laufen“, in: *Neue Energie* 05, 25.
- North, D.C. 1990: *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Nylund, N.-O., P. Aakko-Saksa & K. Sipilä 2008: *Status and outlook for biofuels, other alternative fuels and new vehicles*, VTT Research Notes 2426, Helsinki.
- Odell, P.R. 2007: „Ein Blick auf wahrscheinliche Trends in der globalen Öl- und Gaswirtschaft“, in: Energie Informationsdienst: *60 Jahre EID*, Hamburg, 36-38.
- Oehrlein, J. 2007: „Bio-Treibstoff aus Brasilien. Zuckerrohr und Peitsche“, in: *Frankfurter Allgemeine Zeitung* 104, 9.
- Olien, R.M. 2002: „It’s not your father’s oil industry any more“, in: *Quarterly Review of Economics and Finance* 42, 273-284.
- Oliver, C. 1991: „Strategic Responses to Institutional Processes“, in: *Academy of Management Review* 16(1), 145-179.
- Oliver, C. 1992: „The Antecedents of Deinstitutionalization“, in: *Organization Studies* 13(4), 563-588.
- OPEC 2007: *Annual Statistical Bulletin 2006*, Wien.
- Orlikowski, W.J. & S.R. Barley 2001: „Technology and Institutions. What Can Research on Information Technology and Research on Organizations Learn from Each Other?“, in: *MIS Quarterly* 25, 145-165.
- Ortmann, G., J. Sydow & A. Windeler 1997: „Organisation als reflexive Strukturierung“, in: G. Ortmann, J. Sydow & K. Türk (Hrsg.): *Theorien der Organisation. Die Rückkehr der Gesellschaft*, Opladen: Westdeutscher Verlag, 315-354.
- Osmundsen, P., M. Emhjellen & M. Halleraker 2006: „Transnational Energy Companies’ Investment Allocation Decisions“, in: J. Davis (Hrsg.): *The Changing World of Oil: An Analysis of Corporate Change and Adaptation*, Aldershot: Ashgate, 105-121.
- Pearson, P.J.G. 2007: „Energy Systems in Transition – No Future Without Innovation?“, Queen’s Lecture TU Berlin, 2007-11-29, Berlin.
- Pehnt, M. 2001: *Ökologische Nachhaltigkeitspotenziale von Verkehrsmitteln und Kraftstoffen*, DLR, Stuttgart, STB-Bericht Nr. 24.
- Pelkmans, L. & P. Christidis 2003: „Executive Summary“ in: Dies. (Hrsg.): *Trends in Vehicle and Fuel Technologies. Review of Past Trends*, IPTS Technical Report Series, Report EUR 20746 EN, Sevilla, 1-3.
- Pelkmans, L. 2003: „Survey of Recent Major Publications and Relevant Activities of the Main Manufacturers“, in: L. Pelkmans & P. Christidis (Hrsg.): *Trends in Vehicle and Fuel Technologies. Overview of Current Research Activities*, IPTS Technical Report Series, Report EUR 20747 EN, Sevilla, 54-117.
- Pelkmans, L., & G. Azkárate 2003: „Main Developments in Research Activities, Pilot Applications and Field Trials“, in: L. Pelkmans & P. Christidis (Hrsg.): *Trends in Vehicle and Fuel Technologies. Overview of Current Research Activities*, IPTS Technical Report Series, Report EUR 20747 EN, Sevilla, 14-53.
- Pelkmans, L., G. Azkárate & S. Hultén 2003a: „Main Trends of Vehicle and Fuel Technologies“, in: L. Pelkmans & P. Christidis (Hrsg.): *Trends in Vehicle and Fuel Technologies. Review of Past Trends*, IPTS Technical Report Series, Report EUR 20746 EN, Sevilla, 11-92.
- Pelkmans, L., S. Hultén & R. Cowan 2003b: „Major Technical and Economic Goals and Obstacles“, in: L. Pelkmans & P. Christidis (Hrsg.): *Trends in Vehicle and Fuel Technologies. Overview of*

- Current Research Activities*, IPTS Technical Report Series, Report EUR 20747 EN, Sevilla, 118-137.
- Petersen, R. 2003: „Zukunftsperspektiven des Ottomotors“, in: Canzler, W. & G. Schmidt (Hrsg.): *Das zweite Jahrhundert des Automobils. Technische Innovationen, ökonomische Dynamik und kulturelle Aspekte*, Berlin: Edition Sigma, 77-96.
- Pettigrew, A.M. & R. Whittington 2003: „Complementarities in Action: Organizational Change and Performance in BP and Unilever 1985-2002“, in: A.M. Pettigrew, R. Whittington, L. Melin, C. Sánchez-Runde, F.A.J. van den Bosch, W. Ruigrok & T. Numagami (Hrsg.): *Innovative Forms of Organizing. International Perspectives*, London: SAGE Publications, 173-207.
- Pettigrew, A.M. 1995: „Longitudinal Field Research on Change. Theory and Practice“, in: G. Huber & A. Van de Ven (Hrsg.): *Longitudinal Field Research Methods. Studying Processes of Organizational Change*, London: Sage Publications, 91-125.
- Picard, K. 2006: „Biokraftstoffe aus Sicht der Mineralölindustrie“, in: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis* 15(1), 34-41.
- Picard, K. 2007: Beitrag zur Podiumsdiskussion der Veranstaltung ‚Luxusgut Mobilität?‘ des Deutschen Verkehrsforums und des VDAs auf der 62. IAA, Frankfurt/Main, 2007-09-18.
- Picard, K., M. Winkler 2006: „Auswertung alternativer Kraftstoffstrategien“, in: *VDI-Berichte* 1975, 13-15.
- Pierson, Paul 2000a: „Increasing Returns, Path Dependence, and the Study of Politics“, in: *American Political Science Review* 94, 251-267.
- Pierson, Paul 2000b: „The Limits of Design: Explaining Institutional Origins and Change“, in: *Governance* 13, 475-499.
- Powell, W.W., D.R. White, K.W. Koput & J. Owen-Smith 2005: „Network Dynamics and Field Evolution: The Growth of Interorganizational Collaboration in the Life Sciences“, in: *American Journal of Sociology* 110 (4): 1132-1205.
- Prankl, H. & M. Wörgetter 2000: „European Standardisation of Biodiesel“, Papier präsentiert auf der *First World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry*, 5-9 Juni 2000, Sevilla.
- Pulletz, G. & W. Böhme 2003: „Wasserstoff in der Mobilität“, Präsentation auf der *R&M Innovationsmanagement*, 10. Oktober 2003.
- Rabe, M. 2004: „BtL-Kraftstoff aus Sicht von Volkswagen“, http://mobilityandsustainability.com/_download/sunfuel_vortrag_rabe.pdf [2007-02-02].
- Ramesohl, S., M. Fishedick, K. Arnold, F. Merten, J. Nitsch, S. Schmid, P. Viebahn, M. Peht, W. Knörr, S. Gärtner & G. Reinhardt 2006: *Entwicklung einer Gesamtstrategie zur Einführung alternativer Kraftstoffe, insbesondere regenerativ erzeugten Wasserstoffs. Endbericht, Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 203 45 118*.
- Rammert, W. 2000: *Technik aus soziologischer Perspektive 2. Kultur – Innovation – Virtualität*, Wiesbaden: Westdeutscher Verlag.
- Reed, M.I. 1997: „In Praise of Duality and Dualism: Rethinking Agency and Structure in Organizational Analysis“, in: *Organization Studies* 18(1), 21-42.
- Remmele, E. 2007: „Biokraftstoffe heute und morgen – ein Trendbericht“, in: *forum. new power* 1, 40-43.
- Rempel, H., S. Schmidt & U. Schwarz-Schampera 2006: *Kurzstudie Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2006*, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.), Hannover.
- Roedenbeck, M.R.H. & B. Nothnagel 2008: „Rethinking Lock-in and Locking: Adopters Facing Network Effects“, in: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 11 (1 4).
- Rogers, E.M. 1983. *Diffusions of Innovations*, New York: The Free Press.
- Roth-Berend, D. & A. Nowack 2004: „Die Umweltpolitik der Europäischen Union“, in: W. Weidenfeld (Hrsg.): *Die Europäische Union. Politisches System und Politikbereiche*, Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung, 305-322.
- Rudzio, W. 1996⁴: *Das politische System der Bundesrepublik Deutschland*, Opladen: Leske & Budrich.

- Rutz, D. & R. Janssen 2006: „Overview and Recommendations on Biofuel Standards for Transport in the EU“, Beitrag zu den Arbeitspaketen 3.2 und 5.5 des ‚Biofuel Marketplace Project‘ (EIE/05/022/SI2.420009), WIP Renewable Energies, München.
- Rycroft, R.W. & D.E. Kash 2002: „Path Dependence in the Innovation of Complex Technologies“, in: *Technology Analysis and Strategic Management*, Vol. 14 (1), 21-35.
- Sabatier, P.A. 1993: „Advocacy-Koalitionen, Policy-Wandel und Policy-Lernen, Eine Alternative zur Phasenheuristik“, in: A. Héritier (Hrsg.): *Policy-Analyse. Eine Kritik und Neuorientierung* (PVS Sonderheft 24), Opladen, 116-148.
- Sachverständigenrat Umwelt 2008: „Biokraftstoffe: SRU begrüßt Kurskorrektur der Bundesregierung“, *Pressemitteilung* 2008-04-09.
- Sahal, D. 1981: *Patterns of technological innovation*, London: Addison-Wesley.
- Schäfer, K. 2006: „Auf Wiedersehen Wasserstoff“, in: *Technology Review* 4, 50-57.
- Scharpf, F.W., Reissert B. & F. Schnabel 1976: *Politikverflechtung. Theorie und Empirie des kooperativen Föderalismus in der Bundesrepublik*, Kronberg.
- Schindler, J. & P. Schmidt 2004: *Brennstoffzellen- und Wasserstoff-Technologien als wirtschaftliche Chance für Hamburg*, Studie im Auftrag der Freien und Hansestadt Hamburg, Ottobrunn.
- Schmidt, M.G. 1995: *Wörterbuch zur Politik*, Stuttgart: Körner.
- Schmidtchen, U. 2007: „Wasserstoff und Brennstoffzellen – Chancen und Grenzen“, Sonderdruck (Nr. 6143) aus *ew* [Energieverlag] 106 (1-2), 20-24.
- Schmitz, N. 2006: „Bioethanol“, in: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.): *Marktanalyse. Nachwachsende Rohstoffe*, Gülzow, 213-238.
- Schöne, H. 2003: „Die teilnehmende Beobachtung als Datenerhebungsmethode in der Politikwissenschaft. Methodologische Reflexion und Werkstattbericht“, in: *Forum Qualitative Sozialforschung* 4(2), <http://www.qualitative-research.net/fqs-texte/2-03/2-03schoene-d.htm> [2006-10-10].
- Schrader, C. 2005: „Zündende Ideen“, in: *SZ Wissen* 04, 18-27.
- Schreyögg, G. 2008: „Wie Unternehmen pfadabhängig werden“, Vortrag auf dem Innovationsforum der Gottlieb Daimler- und Karl Benz-Stiftung *Vom Innovationsvorsprung zur Kompetenzfalle: Strategische Pfade in Unternehmen*, Berlin, 2008-05-26.
- Schreyögg, G., J. Sydow & J. Koch 2003: „Organisatorische Pfade – Von der Pfadabhängigkeit zur Pfadkreation?“, in: G. Schreyögg & J. Sydow (Hrsg.): *Managementforschung 13: Strategische Prozesse und Pfade*, Wiesbaden: Gabler, 257-294.
- Schwab, R. 2006: *Auf dem Weg zu einer Wasserstoffinfrastruktur im Straßenverkehr. Eine Studie der rechtlichen Rahmenbedingungen in der Gesetzgebung der Europäischen Union und in Deutschland*, Berlin: ifmo.
- Scott, W.R. 2001²: *Institutions and Organizations*, Thousand Oaks: Sage.
- Sewell, W.H. Jr. 1992: „A Theory of Structure: Duality, Agency, and Transformation“, in: *The American Journal of Sociology* 98 (1), pp. 1-29.
- Shell 2001: *Exploring the Future. Energy Needs, Choices and Possibilities. Scenarios to 2050*, London.
- Shell 2002a: „Shell invests in green fuel technology“, *News and Library* 2002-05-08, www.shell.com [2007-03-15].
- Shell 2002b: *Steigender Energiebedarf und nachhaltiges Handeln. Shell Report 2002. Zusammenfassung*, Hamburg.
- Shell 2003a: „Shell and Volkswagen announce Joint Fuel and Engine Programme“, *News & Media Releases* 2003-11-04, www.shell.com [2007-03-15].
- Shell 2003b: „Window on a new age of fuels: Shell and Volkswagen launch trial of 'Shell Gas to Liquids'“, *News & Library* 2003-05-06, www.shell.com [2007-03-15].
- Shell 2004a: „2004 Strategy review“, www.shell.com [2006-03-23].
- Shell 2004b: „Fuelling mobility. 21st century transportation fuels“, www.shell.com [2006-03-23].

- Shell 2004c: „Qatar Petroleum and Shell sign Development and Production Sharing Agreement for Pearl GTL Project“, *News and Media Releases* 2004-07-08.
- Shell 2005a: *Shell Global Scenarios to 2025. Executive Summary and Excerpts*, London & Den Haag.
- Shell 2006a: „Technologies driving new fuels“, Transcript des *Shell Technology Webcast*, 2006-08-18.
- Shell 2006b: „Landmark victory with Shell V-Power Diesel fuel technology at Le Mans“, *News and Media Releases* 2006-06-18, www.shell.com [2007-03-15].
- Shell 2006c: *The Shell Coal Gasification Process. For Sustainable Utilisation of Coal*, www.shell.com/globalsolutions [2006-08-03].
- Shell 2006d: *Meeting the energy challenge. The Shell Sustainability Report 2006*, London & Den Haag.
- Shell 2006e: „Volkswagen, Shell and Iogen to study feasibility of producing cellulose ethanol in Germany“, *News & Media releases* 2006-01-09, www.shell.com [2007-03-15].
- Shell 2007a: *Shell Technology Report. The Power of Innovation*, London & Den Haag.
- Shell 2007b: *Financial and Operational Information 2002-2006*, London & Den Haag.
- Shell 2007c: „New York - RDS.A. 2004-01-01 – 2004-12-31“, http://www.shell.com/home/PlainPageServlet?FC=/investor-en/html/iwgen/share_price/new_york/app_rdsa_new_york_detail.html [2007-05-31].
- Shell 2007d: „Fuelling mobility. The evolution of road transport fuels continues ...“, www.shell.com [2008-06-05].
- Shell 2007e: „V-Power ® Diesel“, *Fuel innovations*, www.shell.com [24.05.2007-05-25]
- Shell 2007f: *Shell and Biofuels*, www.shell.com [2008-06-05].
- Shell 2007g: *About Shell Hydrogen*, www.shell.com [2007-03-13]
- Shell 2008a: „Ausbau der Zusammenarbeit zwischen Shell und Iogen. Biokraftstoffentwicklung der nächsten Generation wird schneller vorangetrieben“, *Shell News 2008* 2008-07-15, www.shell.com [2008-08-29].
- Shell 2008b: *The hydrogen technology – Hydrogen processors*, www.shell.com [2008-06-14].
- Shell 2008c: *Shell Hydrogen partners*, www.shell.com [2008-06-14].
- Shell 2008d: *The Hydrogen journey*, www.shell.com [2008-06-14].
- Shell 2008e: „Neue Perspektiven für Biokraftstoffe: Shell und Virent arbeiten an neuem Biobenzin“, *Shell News 2008* 2008-03-26, www.shell.com [2008-04-25].
- Siems, D., C. Bauschke & R. Nelles 2000: „Pack die Steuer aus dem Tank“, in: *Die WELT* 2000-05-26, www.welt.de [2007-02-03].
- Sievers, M. 2008: „Neue Kfz-Steuer steckt im Stau“, in: *Frankfurter Rundschau Online*, http://www.fr-online.de/in_und_ausland/wirtschaft/aktuell/?em_cnt=1324739 [2008-04-25].
- Siggelkow, N. 2007: „Persuasion With Case Studies“, in: *Academy of Management Journal* 50 (1), 20–24.
- Simon, H.A. 1985: „Human Nature in Politics: The Dialogue of Psychology with Political Science“, in: *American Political Science Review* 79, 293-304.
- Skjærseth, J.B. & T. Skodvin 2001: „Climate Change and the Oil Industry: Common Problems, Different Strategies“, in: *Global Environmental Politics* (1:4), 43-64.
- Sorge, A. 2006: „Organizing Socially Constructed Internal and External Resources“, in: *Journal of Institutional and Theoretical Economics* 162, 172–193.
- Spiegel Online 2004-06-04: „NEUER DIESEL. Mit V-Power aus der Ölabhängigkeit“, <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,302732,00.html> [2007-04-12].
- Steger, U. 2003: „Lebt das Auto von der Trägheit? Beobachtungen von jenseits der bayrischen Alpen – Ein Kommentar“, in: W. Canzler & G. Schmidt (Hrsg.): *Das zweite Jahrhundert des Automobils. Technische Innovationen, ökonomische Dynamik und kulturelle Aspekte*, Berlin: Edition Sigma, 157-162.

- Steinmeier, F.-W. 2007: „Energieaußenpolitik für eine sichere und saubere Energieversorgung“, in: Energie Informationsdienst: *60 Jahre EID*, Hamburg, 12-13.
- Stieler, W. 2008: „Die Zukunft der Antriebe Teil 4: Eine Neuerfindung des Rades“, in: *Technology Review* 04, 46-51.
- Stokes, R.G. 1994: *Opting for Oil. The political economy of technological change in the West German chemical industry, 1945-1961*, Cambridge.
- Stokes, R.G. 2004: „From the I.G. Farben Fusion to BASF AG (1925-1952)“, in: W. Abelshausen, W. v. Hippel, J.A. Johnson & R.G. Stokes: *German industry and global enterprise: BASF: The history of a company*, Cambridge: Cambridge University Press, 225-229.
- Stones, R. 2001: „Refusing the Realism—Structuration Divide“, in: *European Journal of Social Theory* 4 (2), 177-197.
- Stones, R. 2005: *Structuration Theory*, Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- Strobel, J.C. 2004. „Stabilität und Wandel. Die Liberalisierung der schwedischen Telekommunikation und das Problem von Pfadwandel“, *Wirtschaft & Politik (WiP) - Working Paper* 24.
- Strobel, J.C. & M.R.H. Roedenbeck 2006: „How to Shape Markets for Fuel-Efficient Automobiles? Lessons from the Success-Story of Diesel Cars in Germany“, Papier präsentiert auf dem *22. EGOS Kolloquium*, Bergen, Juli 2006.
- Strobel, J.C. & S. Duschek 2007: „Beyond Path Dependency: Why and How Mineral Oil Companies Support the Development of Sustainable Fuels“, Papier präsentiert auf dem *19th Annual Meeting on Socio-Economics (SASE)*, Kopenhagen 2007.
- Strümpel, B. 1990²: „Hauptursache: Wirtschaftsideologien und individuelle Lebensansprüche“, in: U.E. Simonis (Hrsg.): *Basiswissen Umweltpolitik. Ursachen, Wirkungen und Bekämpfung von Umweltproblemen*, Berlin: Edition Sigma, 74-83.
- Sturm, R. 2004: „Die Forschungs- und Technologiepolitik der Europäischen Union“, in: W. Weidenfeld (Hrsg.): *Die Europäische Union. Politisches System und Politikbereiche*, Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung, 289-304.
- Sweeney, G. 2007: „Carbon Management Technologies“, Transcript des *Shell Technology Webcast*, 2007-02-27.
- Sydow, J., A. Windeler & G. Möllering 2004. „Path-Creating Networks in the Field of Next Generation Lithography: Outline of a Research Project“, *Technology Studies Working Papers*, TUTS-WP-2-2004, 21.
- Sydow, J., G. Schreyögg & J. Koch 2005: „Organizational Paths: Path Dependency and Beyond“, Papier präsentiert auf dem *21st EGOS Colloquium*, Berlin.
- Sydow, J., A. Windeler, G. Möllering & C. Schubert 2005. „Path-Creating Networks: The Role of Consortia in Processes of Path Extension and Creation“, Papier präsentiert auf dem *21st EGOS Colloquium*, Berlin.
- Szklo, A., R. Schaeffer & F. Delgado: „Viewpoint. Can one say ethanol is a real threat to gasoline?“, in: *Energy Policy* 35, 5411-5421.
- Taminiau, Y. 2006: „Beyond known uncertainties: Interventions at the fuel-engine interface“, in: *Research Policy* 35, 247-265.
- Teece, D.J. 2007: „Explicating Dynamic Capabilities: The Nature and Microfoundations of (Sustainable) Enterprise Performance“, in: *Strategic Management Journal* 28, 1319-1350.
- Teece, D.J. & G. Pisano 1994: „The Dynamic Capabilities of Firms: an Introduction“, in: *Industrial and Corporate Change* 3(3), 537-556.
- Teece, D.J., G. Pisano 1997: „Dynamic Capabilities and Strategic Management“, in: *Strategic Management Journal* 18(7), 509-533.
- Thelen, K. 1999: „Historical Institutionalism in Comparative Politics“, in: *Annual Review of Political Science* 2, 369-404.
- Thelen, K. 2004. *How institutions evolve. The political economy of skills in Germany, Britain, the United States and Japan*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Thuijl, E. van & E.P. Deurwaarder 2006: *European biofuel policies in retrospect*, ECN-C—06-016.

- Trittin, J. 2003: „Erdgasantrieb fördern nutzt Umwelt und Klima“, Rede am 18.09.2003 anlässlich der ‚Sonderschau Erdgasfahrzeuge‘ auf der Internationalen Automobil-Ausstellung, Frankfurt am Main.
- Tushman, M.L. & P. Anderson 1986: „Technological Discontinuities and Organizational Environments“, in: *Administrative Science Quarterly* 31, 439-465.
- Tzimas, E., A. Soria & S.D. Peteves 2004: *The introduction of alternative fuels in the European transport sector: Techno-economic barriers and perspectives. Extended summary for policy makers*, EU JRC-IPTS Bericht EUR 21173 EN, Sevilla.
- U.S. Department of Energy 2007: „DOE Selects Six Cellulosic Ethanol Plants for Up to \$385 Million in Federal Dunfing“, Pressemitteilung 2007-02-28, www.doe.gov [2008-06-05].
- Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V. 2006: *Die aktuelle Biokraftstoff-Gesetzgebung*, Berlin.
- Unruh, G.C. 2000: „Understanding carbon lock-in“, in: *Energy Policy* 28, 817-830.
- Unruh, G.C. 2002: „Escaping carbon lock-in“, in: *Energy Policy* 30, 317-325.
- Urff, W. v. 2004: „Agrarmarkt und Struktur des ländlichen Raumes in der Europäischen Union“, in: W. Weidenfeld (Hrsg.): *Die Europäische Union. Politisches System und Politikbereiche*, Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung, 205-222.
- Utterback, J.M. 1994. *Mastering the Dynamics of Innovation*. Boston: Harvard Business School Press.
- van der Veer, J. 1997: „Shell International Renewables - Bringing Together the Group's activities in solar power, biomass and forestry“, *News & Library* 1997-10-06, www.shell.com [2007-03-15].
- van der Veer, J. 2001: „Oil and the challenges of the 21st century“, Rede auf dem *Second International Oil Summit*, Paris, 2001-04-25.
- van der Veer, J. 2003: „Hydrogen – the ultimate fuel“, Rede auf der *Iceland Hydrogen Economy Conference*, 2003-04-24.
- van der Veer, J. 2005a: „Shell's strategy to fuel the future“, Rede auf dem *IMD CEO Roundtable*, Lausanne, 2005-11-11.
- van der Veer, J. 2005b: „What is the international oil company of the future going to look like?“, Rede auf dem *International Oil Summit*, Paris, 2005-04-21.
- van der Veer, J. 2006: „Jeroen Van der Veer outlines his vision for 'Green Fossil Fuels'. Article published in London's Financial Times newspaper, Wednesday 25 January 2006“, *Speeches 2006*, www.shell.com [2007-03-15].
- van der Veer, J. 2007: „Introduction“, in: *Delivery and Growth. Leveraging a Strong Portfolio*, Präsentation der Royal Dutch Shell PLC, 2007-02-01, 1-9.
- Verband der Deutschen Automobilindustrie 2006: *Auto Jahresbericht 2006*, http://www.vda.de/de/service/jahresbericht/files/VDA_2006.pdf [2007-06-01].
- Verband der Deutschen Automobilindustrie 2007a: *Auto Annual Report 2007*, Frankfurt am Main.
- Verband der Deutschen Automobilindustrie 2007b: „VDA-Initiative „Energiespeicher“ – Deutsche Fahrzeughersteller bündeln ihre Aktivitäten zur Entwicklung von Lithium-Ionen-Batteriesystemen“, *Presse* 2007-11-28, www.vda.de [2007-12-04].
- Verband deutscher Biodieselhersteller 2007: „Die politischen Rahmenbedingungen in Deutschland“, aktualisiert am 23.03.2007, www.biokraftstoffverband.de/vdb/politik/deutschland.html [2008-02-02].
- Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie 2007: *3. Statusbericht der Task Force an das Steering Committee*, Berlin.
- Victor, D.G. & J.C. House 2006: „BP's emissions trading system“, in: *Energy Policy* 34, 2100-2112.
- Volkswagen 2004: *Die Basis nachhaltiger Mobilität. SunFuel*, Wolfsburg.
- Volkswagen 2006: „Volkswagen AG Gründungsmitglied von ‚Alliance for Synthetic Fuels in Europe‘ (ASFE)“, Pressemitteilung 2006-03-07, www.volkswagen-media-services.com [2007-09-25].
- Volkswagen 2007a: *Evolution statt Revolution. Die Kraftstoff- und Antriebsstrategie von Volkswagen*, Wolfsburg.

- Volkswagen 2007b: „Die Kraft aus der ganzen Pflanze. Das Projekt RENEW erforscht Herstellungsverfahren von Biokraftstoffen“, *Wissen Sunfuel* www.volkswagen-umwelt.de/_content/wissen_23217.asp [2007-04-19].
- Volkswagen 2007c: „Fischer-Tropsch-Synthese“, *Wissen Sunfuel* http://www.volkswagen-umwelt.de/wissen_22769.asp [2007-04-19].
- Volkswagen 2007d: „Antreiben statt abfackeln. Erdgas als Basis für synthetischen Kraftstoff“, *Wissen Sunfuel*, http://www.volkswagen-umwelt.de/wissen_21683.asp [2007-04-19].
- Volkswagen 2007e: „Gemeinsam ist besser als einsam. Kraftstoff- und Motorenentwicklung in Zukunft untrennbar“, *Wissen Sunfuel* www.volkswagen-umwelt.de/wissen_23053.asp [2007-04-19].
- Volkswagen 2009: „Die Kraftstoff- und Antriebsstrategie von Volkswagen“, persönliche Information von Dr. Natascha Künstner, [2009-09-22].
- Vorholz, F. 2008: „Banken: Grün“, in: *DIE ZEIT* 7, 28.
- Voß, J.-P. 2007: *Designs on Governance. Development of Policy Instruments and Dynamics of Governance*, Enschede: Printpartners Ipskamp.
- Walgenbach, P. 2002: „Neoinstitutionalistische Organisationstheorie – State of the Art und Entwicklungslinien“, in: G. Schreyögg & P. Conrad (Hrsg.): *Managementforschung 12*, Wiesbaden: Gabler, 155-202.
- Waltl, J. 2005: „'Es ist wie in der Formel 1'“, Interview in: *Die Welt* 2005-02-16, www.welt.de [2007-02-03].
- Watts, P. 1999: „Change, continuity, choice and competition – a Shell perspective on developing energy markets“, *News & Library* 1999-09-03, www.shell.com [2007-03-15].
- Weider, M., A. Metzner & S. Rammner 2004: „Das Brennstoffzellen-Rennen. Aktivitäten und Strategien bezüglich Wasserstoff und Brennstoffzellen in der Automobilindustrie“, *WZB Discussion Paper* SP III 2004-101.
- Weitzman, M.L., W. Newey & M. Rabin 1981: „Sequential R&D Strategy for Synthetic Fuels“, in: *The Bell Journal of Economics* 12(2), 574-590.
- WELT 2001-04-30: „ADAC ruft auf zum Boykott von teureren Markentankstellen. Absprachen der Mineralölkonzerne seien trotz der gemeinsamen Preiserhöhungen kaum nachzuweisen“, www.welt.de [2007-02-02].
- WELT 2004-05-08: „ADAC fordert Verzicht auf Ökosteuer. Autoclub: Benzin muss billiger werden - Ölpreis fast bei 40 Dollar“, www.welt.de [02.02.2007].
- Werle, R. & E.J. Iversen 2006: „Promoting Legitimacy in Technical Standardization“, in: *STI Studies* 2, 19-39.
- Whittington, R. 1992: „Putting Giddens into Action: Social Systems and Managerial Agency“, in: *Journal of Management Studies* 29(6), 693-712
- Windeler, A. 2003: „Kreation technologischer Pfade: Ein strukturationstheoretischer Analyseansatz“, in: G. Schreyögg & J. Sydow (Hrsg.): *Managementforschung 13*, Wiesbaden: Gabler, 295-328.
- Wirtschaftswoche 2007-02-07: „EU Klimaschutz-Vorgabe wird Autokauf verteuern“, www.handelsblatt.de [2007-10-09].
- Wirtschaftswoche 2008-03-10: „Holz für den Motor“, in: *Wirtschaftswoche* 11, 90.
- Witt, U. 1997: „'Lock-ins' vs. 'critical masses' - Industrial change under network externalities“, in: *International Journal of Industrial Organization* 15(6), 753-773.
- Witzel, A. 2000: „Das problemzentrierte Interview“ [26 Absätze], in: *Forum Qualitative Sozialforschung* 1(1). <http://qualitative-research.net/fqs> [2006-08-05].
- Woldendorp, J. 2007: „Status of European Biofuels Standards for Vehicles“, Papier präsentiert auf der 15. *European Biomass Conference & Exhibition*, 5.-7. Mai 2007, Berlin.
- World Business Council for Sustainable Development 2005: *Case Study: Toyota. Environment and hybrid*, Genf.
- www.wer-zu-wem.de 2008: „Raffinerien & Raffineriekapazität in Deutschland“, www.wer-zu-wem.de/ranking/raffinerien/raffinerien_mitte.php [2008-02-09].

- Yergin, D. 2003: *The Prize. The Epic Quest for Oil, Money, and Power*, New York: Free Press.
- Yin, R. 1994: *Case Study Research: Design and Methods*, Thousand Oaks: Sage.
- Zeddies, J. 2006: *Rohstoffverfügbarkeit für die Produktion von Biokraftstoffen in Deutschland und in der EU-25*, Hohenheim.
- Zittel, W. & J. Schindler 2007: *Crude Oil. The Supply Outlook*, Bericht an die Energy Watch Group, EWG-Series No.3/2007.
- Zundel, S., G. Erdmann, R. Kemp, J. Nill & C. Sartorius 2005: „Conceptual framework“, in: C. Sartorius & S. Zundel (Hrsg.): *Time Strategies, Innovation and Environmental Policy*, Cheltenham: Edward Elgar, 10-54.