

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
- Umweltpolitische Grundsatzfragen -

Forschungsbericht 297 14 206
UBA-FB 000196



Arbeitswelt in einer nachhaltigen Wirtschaft Analyse der Wirkungen von Umweltschutzstrategien auf Wirtschaft und Arbeits- strukturen

Dr. rer. pol. Rainer Walz (Projektleitung)
Dr. rer. pol. Carsten Dreher
Dr. rer. nat. Frank Marscheider-Weidemann
Dipl.-Wirt.-Ing. Carsten Nathani
Dipl.-Wirt. Ing. Elna Schirrmeister
Dr. rer. pol. Joachim Schleich
Dipl.-Psych. Ing. grad. Robert Schneider
Dipl.-Ing. Michael Schön

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und
Innovationsforschung (Fh-ISI)

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei
Vorauszahlung von DM 20,-- (10,26 Euro)
durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Ahornstraße 1-2,
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet I 2.2
Dr. Sylvia Schwermer

Berlin, Juli 2001

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 000196	2.	3. Wirtschafts- und sozial-wissenschaftliche Umweltfragen
4. Titel des Berichts Arbeitswelt in einer nachhaltigen Wirtschaft - Analyse der Wirkungen von Umweltschutzstrategien auf Wirtschaft und Arbeitsstrukturen		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Dr. Walz, Rainer; Dr. Dreher, Carsten; Dr. Marscheider-Weidemann, Frank; Nathani, Carsten; Schirrmeister, Elna; Dr. Schleich, Joachim; Schneider, Robert; Schön, Michael	8. Abschlußdatum 19. März 2001	
	9. Veröffentlichungsdatum	
6. Durchführende Institutionen (Name, Anschrift) Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Breslauer Str. 48, 76139 Karlsruhe	10. UFOPLAN-Nr. 297 14 206	
	11. Seitenzahl 264	
	12. Literaturangaben 125	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin	13. Tabellen und Diagramme 68	
	14. Abbildungen 66	
15. Zusätzliche Angaben Modellbeschreibung und Einzelergebnisse sind im Anhang aufgeführt.		
16. Kurzfassung Zu den Grundfragen einer nachhaltigen Entwicklung zählen die Auswirkungen von Umweltschutzstrategien auf die Arbeitswelt und die wirtschaftlichen Strukturen. Aufbauend auf einer Diskussion der Wirkungsmechanismen, die für die einzelnen Wirkdimensionen relevant sind, werden Hypothesen über die Wirkungen unterschiedlicher Umweltschutzstrategien abgeleitet und ein Zwischenfazit gezogen. Es zeigt sich, dass erheblicher Forschungsbedarf hinsichtlich den Wirkungen von Recyclingstrategien und neuen Produktstrategien besteht. Die Auswirkungen dieser beiden Umweltschutzstrategien werden exemplarisch an Hand von Szenarienanalysen für fünf Fallbeispiele untersucht. Eingesetzt wird jeweils das im Rahmen des Projekts entwickelte Modell ISIS (Integrated Meso-economic Simulation System for Sustainability Assessment). Es erlaubt im Sinne eines ganzheitlichen Verständnisses von Nachhaltigkeit eine modellgestützte integrierte Analyse der Auswirkungen von Umweltschutzstrategien auf Produktion, Arbeitsplätze, Strukturwandel, Qualifikationsstruktur, Arbeitsbedingungen, Regionalstruktur und Umwelt. Die Ergebnisse zeigen, dass tendenziell mit positiven Gesamtbeschäftigungswirkungen zu rechnen ist. Gleichzeitig kommt es zu deutlichen sektoralen Verschiebungen zwischen den einzelnen Wirtschaftsbranchen, die insbesondere für einige Arbeitsamtsbezirke erheblichen regionalen Anpassungsbedarf nach sich ziehen. Die Veränderungen des erforderlichen Qualifikationsniveaus sind zwar begrenzt, aber die Tätigkeitsspektren – und damit die geforderten Kenntnisse – verschieben sich deutlich. Der hohe strukturelle Anpassungsbedarf verdeutlicht die Notwendigkeit einer vorausschauenden Struktur-, Regional- und Bildungspolitik. Bei den analysierten Umwelteffekten zeigt sich, dass die anhand der Fallbeispiele untersuchten Umweltschutzstrategien auch nach Einbeziehung sämtlicher intersektoraler Produktionseffekte bedeutende positive Umweltwirkungen induzieren.		
17. Schlagwörter Nachhaltigkeit, Arbeitswelt, Beschäftigung, sektoraler Strukturwandel, Qualifikationsbedarf, Arbeitsbedingungen, Regionalwirkung, Umweltwirkung, Recycling, Produktkonzepte		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB 000196	2.	3. economic and social aspects of environmental policy
4. Report Title Employment in a sustainable economy – analysis of the effects of environmental strategies on the economy and the work structures		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Dr. Walz, Rainer; Dr. Dreher, Carsten; Dr. Marscheider-Weidemann, Frank; Nathani, Carsten; Schirrmeister, Elna; Dr. Schleich, Joachim; Schneider, Robert; Schön, Michael	8. Report Date March 19, 2001	
	9. Publication Date	
6. Performing Organisations (Name, Address) Fraunhofer-Institute for Systems and Innovation Research Breslauer Str. 48, D-76139 Karlsruhe, Germany	10. UFOPLAN-Ref. No. 297 14 206	
	11. No. of Pages 264	
	12. No. of References 125	
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin	13. No. of Tables, Diagrams 68	
	14. No. of Figures 66	
15. Supplementary Notes The description of the model and detailed results are presented in the annex.		
16. Abstract <p>The effects of environmental strategies on the economy and the working conditions are an integral part of sustainable development. Based on a discussion of the economic mechanisms which affect the different aspects of the economy, hypotheses on the impact of different environmental strategies are developed. It is concluded that the economic effects of recycling and product concepts are among the top future research priorities.</p> <p>As a first step in the analysis of the economic effects of both environmental strategies, scenario analyses are carried out for five case studies. For the quantification of the economic and environmental effects, the ISIS-model (Integrated Meso-economic Simulation System for Sustainability Assessment) was developed within the project. The model allows an integrated analysis of the effects of environmental strategies on production, employment, sectorial changes, qualification requirements, working conditions, regional effects, and environmental pollution.</p> <p>In general, the environmental strategies result in small but positive changes in employment. At the same time, these strategies cause substantial sectorial changes between the different economic sectors which calls for significant adjustment efforts in some regions. Overall, the changes in the required levels of qualification tend to be modest, but the tasks that need to be performed change significantly leading to different know-how requirements. The structural changes emphasise the need for long-term industrial, regional and education/training policies. Furthermore, the case studies demonstrate the enormous potential of both recycling and product concepts for emission reductions.</p>		
17. Keywords Sustainability, employment, production, sectorial effects, qualification requirements, working conditions, regional effects, environmental effects, recycling, product concepts		
18. Price	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	X
1 Hintergrund, Zielsetzung und Vorgehensweise	1
Teil A: Ausgangspunkte.....	5
2 Umweltschutzstrategien für eine nachhaltige Wirtschaft	5
2.1 End-of-pipe-Technologien	6
2.2 Umweltfreundliche Produktionsverfahren	8
2.3 Recycling von Produktionsrückständen und Produkten	11
2.4 Umweltfreundliche Produkte	14
3 Wirkungsmechanismen und Hypothesen zu den ökonomischen Wirkungen von Umweltschutzstrategien	19
3.1 Wirkungsmechanismen	19
3.1.1 Gesamtwirtschaftliche Beschäftigungswirkungen	19
3.1.1.1 Preis- und Kosteneffekte	20
3.1.1.2 Innovationseffekte	21
3.1.1.3 Nachfrageeffekte	23
3.1.1.4 Kombination der Wirkungsmechanismen bei der Einführung neuer Technologien	24
3.1.2 Strukturwandel.....	25
3.1.3 Betriebliche Arbeitsstrukturen	28
3.2 Hypothesen zu den Wirkungen der Umweltschutzstrategien	30

II

3.2.1	End-of-pipe-Technologien	30
3.2.2	Umweltfreundliche Produktionsverfahren	34
3.2.3	Recycling von Produktionsrückständen und Produkten	38
3.2.4	Umweltfreundliche Produkte	41
3.3	Zwischenfazit: Wissensstand und Forschungsbedarf hinsichtlich der ökonomischen Wirkungen von Umweltschutzstrategien	47
Teil B:	Wirkungsanalyse für ausgewählte Fallbeispiele	51
4	Vorgehensweise bei der Analyse der Fallbeispiele	51
4.1	Erkenntnisinteresse und Auswahl der Fallbeispiele.....	51
4.2	Analyse der betrieblichen Arbeitsstrukturen auf der Mikroebene	55
4.3	Durchführung von Szenarienanalysen	57
4.3.1	Modellierungsansatz.....	57
4.3.2	Modell ISIS.....	60
5	Nachhaltige Produktion und Nutzung von Papier	67
5.1	Möglichkeiten einer ökologisch nachhaltigen Gestaltung der Produktion und Nutzung von Papier	67
5.1.1	Beschreibung des Stoffstroms Papier und der beteiligten Branchen	67
5.1.2	Konkretisierung der Umweltstrategie	71
5.1.2.1	Verstärkter Einsatz von Altpapier in der Papierherstellung	71
5.1.2.2	Effizientere Nutzung von Papier	72
5.1.2.3	Umweltentlastungen in der Papierkette und Verringerung des Papierverbrauchs durch Nutzung von IuK-Techniken	73
5.2	Szenarienanalyse	74
5.2.1	Annahmen und Dateninput.....	74
5.2.1.1	Annahmen zur Szenarienbildung	74
5.2.1.2	Annahmen und Vorgehensweise bei der Modellierung.....	80
5.2.1.3	Nachfrageimpulse.....	81

5.2.2	Arbeitsplätze und sektorale Wirkungen	82
5.2.3	Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen	86
5.2.4	Regionale Wirkungen	89
5.2.5	Umweltwirkungen	92
5.3	Auswirkungen auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen	94
6	Kunststoffrecycling.....	99
6.1	Möglichkeiten einer ökologisch nachhaltigen Gestaltung der Kunststoffverwertung und -entsorgung	99
6.1.1	Beschreibung der Kunststoffindustrie	99
6.1.2	Konkretisierung der Umweltstrategie	100
6.2	Szenarienanalyse	103
6.2.1	Annahmen und Dateninput.....	103
6.2.1.1	Annahmen zur Szenarienbildung	103
6.2.1.2	Annahmen und Vorgehensweise bei der Modellierung.....	105
6.2.1.3	Nachfrageimpulse	107
6.2.2	Arbeitsplätze und sektorale Wirkungen	109
6.2.3	Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen	113
6.2.4	Regionale Wirkungen	118
6.2.5	Umweltauswirkungen.....	121
6.3	Auswirkungen auf betriebliche Arbeitsstrukturen	123
7	Produkt-Lebensdauererweiterung am Beispiel Pkw	128
7.1	Möglichkeiten einer Lebensdauererweiterung von Pkw.....	128
7.1.1	Beschreibung des Pkw-Sektors	128
7.1.2	Konkretisierung der Umweltstrategie	129
7.2	Szenarienanalyse	132
7.2.1	Annahmen und Dateninput.....	132
7.2.1.1	Annahmen zur Szenarienbildung	132
7.2.1.2	Annahmen und Vorgehensweise bei der Modellierung.....	136
7.2.1.3	Nachfrageimpulse	136
7.2.2	Arbeitsplätze und sektorale Wirkungen	137

7.2.3	Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen	142
7.2.4	Regionale Wirkungen	146
7.2.5	Umweltwirkungen	149
7.3	Auswirkungen auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen	152
8	Nutzungsintensivierung von Produkten am Beispiel Car-Sharing	155
8.1	Möglichkeiten des Car-Sharing	155
8.1.1	Hintergrund	155
8.1.2	Konkretisierung der Umweltstrategie	155
8.2	Szenarienanalyse	158
8.2.1	Annahmen und Dateninput	158
8.2.1.1	Annahmen zur Szenarienbildung	158
8.2.1.2	Annahmen und Vorgehensweise bei der Modellierung	160
8.2.1.3	Nachfrageimpulse	162
8.2.2	Arbeitsplätze und sektorale Wirkungen	163
8.2.3	Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen	167
8.2.4	Regionale Wirkungen	170
8.2.5	Umweltauswirkungen	172
8.3	Auswirkungen auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen	175
9	Umweltfreundliche Antriebstechnik am Beispiel von Brennstoffzellenfahrzeugen	178
9.1	Möglichkeiten zur Einführung des Brennstoffzellenantriebs in Pkw	178
9.1.1	Hintergrund	178
9.1.2	Konkretisierung der Umweltstrategie	181
9.2	Szenarienanalyse	182
9.2.1	Annahmen und Dateninput	182
9.2.1.1	Annahmen zur Szenarienbildung	182
9.2.1.2	Annahmen und Vorgehensweise bei der Modellierung	184
9.2.1.3	Nachfrageimpulse	185
9.2.2	Arbeitsplätze und sektorale Wirkungen	185

9.2.3	Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen	189
9.2.4	Regionale Wirkungen	192
9.2.5	Umweltauswirkungen	195
9.3	Auswirkungen auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen	197
10	Zusammenfassung der empirischen Ergebnisse und Implikationen	198
10.1	Zusammenfassung und Auswertung der Fallbeispiele	198
10.2	Politische Durchsetzbarkeit	206
10.3	Implikationen	209
	Literatur	213
Anhang A:	Modellbeschreibung ISIS	224
A.1	Input-Output-Modell	224
A.2	Modul Beschäftigung	226
A.3	Modul Qualifikationsstruktur und Arbeitsbedingungen	227
A.4	Modul Regionalwirkungen	228
A.4.1	Gesamtwirtschaftlicher Indikator für Veränderung der regionalen Konzentration	229
A.4.2	Indikatoren für Wirkungen auf einzelnen Regionen	231
A.5	Modul Umwelt	233
A.6	Isolierung eines neuen I/O- Sektors am Beispiel „Kfz-Instandhaltung“	234
Anhang B:	Einzelergebnisse zu den Regionalwirkungen und Qualifikationswirkungen	236
Anhang C:	Daten zu den Qualifikationsstrukturen und den wirtschaftlichen Auswirkungen des Klimaschutzes	256
Anhang D:	Ökonometrische Schätzung des Einflusses politökonomischer Faktoren auf Organisations- und Durchsetzungsfähigkeit der Interessen einzelner Industriesektoren	259

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Produkttechnische Strategien im Kreislauf	14
Abbildung 3-1:	Überblick über die Wirkungsmechanismen von Umweltschutzstrategien auf die Volkswirtschaft	20
Abbildung 3-2:	Dimensionen und Determinanten des sektoralen Strukturwandels	26
Abbildung 3-3:	Wirkungsmechanismen auf betriebliche Arbeitsstrukturen	30
Abbildung 5-1:	Schematische Übersicht über den Stoffstrom „Papier“	68
Abbildung 5-2:	Entwicklung des Altpapiereinsatzes in der Papierherstellung (gemessen an der Quote von Altpapiereinsatz zu Papierproduktion)	72
Abbildung 5-3:	Nettoproduktionswirkungen durch nachhaltige Papiernutzung (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	84
Abbildung 5-4:	Nettobeschäftigungswirkungen durch nachhaltige Papiernutzung (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	84
Abbildung 5-5:	Veränderungen der Qualifikationsanforderungen durch nachhaltige Papiernutzung (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	87
Abbildung 5-6:	Qualifikationsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersektoren einer nachhaltigen Papiernutzung	87
Abbildung 5-7:	Nettowirkungen einer nachhaltigen Papiernutzung auf die Tätigkeitsfelder (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	88
Abbildung 5-8:	Teilzeitstellen und befristete Arbeitsverträge in den Gewinner- und Verlierersektoren einer nachhaltigen Papiernutzung	88
Abbildung 5-9:	Flexibilisierungsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersektoren einer nachhaltigen Papiernutzung	89
Abbildung 5-10:	Veränderung der Umweltauswirkungen in einzelnen Sektoren im Verhältnis zu den gesamten Umweltauswirkungen einer nachhaltigen Papiernutzung – Energieverbrauch und Luftemissionen	93

Abbildung 5-11:	Veränderung der Umweltauswirkungen in einzelnen Sektoren im Verhältnis zu den gesamten Umweltauswirkungen einer nachhaltigen Papiernutzung – Abwassermengen und Abfälle	94
Abbildung 6-1:	Einsatzbereiche von Kunststoffen im Jahr 1998	99
Abbildung 6-2:	Struktur des Stoffflussmodells "C-Ströme"	104
Abbildung 6-3:	Nettoproduktionswirkungen durch verstärktes Kunststoffrecycling (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	111
Abbildung 6-4:	Nettobeschäftigungswirkungen durch verstärktes Kunststoffrecycling (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	111
Abbildung 6-5:	Veränderungen der Qualifikationsanforderungen durch verstärktes Kunststoffrecycling (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	115
Abbildung 6-6:	Qualifikationsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersektoren eines verstärkten Kunststoffrecyclings	116
Abbildung 6-7:	Auswirkungen eines verstärkten Kunststoffrecyclings auf Tätigkeitsfelder (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	116
Abbildung 6-8:	Teilzeitstellen und befristete Arbeitsverträge in den Gewinner- und Verlierersektoren eines verstärkten Kunststoffrecyclings	117
Abbildung 6-9:	Flexibilisierungsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersektoren eines verstärkten Kunststoffrecyclings	117
Abbildung 6-10:	Veränderung der Umweltbelastung in einzelnen Sektoren im Verhältnis zur gesamten Umweltentlastung eines verstärkten Kunststoffrecyclings-Energieverbrauch und Luftemissionen	122
Abbildung 6-11:	Veränderung der Umweltbelastung in einzelnen Sektoren im Verhältnis zur gesamten Umweltentlastung eines verstärkten Kunststoffrecyclings – Abwassermengen und Abfälle	123
Abbildung 6-12:	Ablauf der Sortierung in einer Wertstoffsartieranlage	127

Abbildung 6-13:	Aufbauorganisation einer Sortieranlage für Recyclingmaterial	127
Abbildung 7-1:	Betriebe und Beschäftigte im Kraftfahrzeugbau (Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen) 1998	129
Abbildung 7-2:	Nettoproduktionswirkungen durch Lebensdauerverlängerung von Pkw in 2020 (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	139
Abbildung 7-3:	Nettobeschäftigungswirkungen durch Lebensdauerverlängerung von Pkw in 2020 (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	139
Abbildung 7-4:	Veränderungen der Qualifikationsanforderungen bei einer Pkw-Lebensdauerverlängerung (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	143
Abbildung 7-5:	Qualifikationsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersektoren einer Pkw-Lebensdauerverlängerung	144
Abbildung 7-6:	Auswirkungen einer Pkw-Lebensdauerverlängerung auf Tätigkeitsfelder (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	144
Abbildung 7-7:	Teilzeitstellen und befristete Arbeitsverträge in den Gewinner- und Verlierersektoren einer Lebensdauerverlängerung von Pkw	145
Abbildung 7-8:	Flexibilisierungsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersektoren einer Pkw-Lebensdauerverlängerung	145
Abbildung 7-9:	Veränderung der Umweltbelastung in einzelnen Sektoren im Verhältnis zur gesamten Umweltentlastung einer Pkw-Lebensdauerverlängerung – Energieverbrauch und Luftemissionen	151
Abbildung 7-10:	Veränderung der Umweltbelastung in einzelnen Sektoren im Verhältnis zur gesamten Umweltentlastung einer Pkw-Lebensdauerverlängerung – Abwassermengen und Abfälle	151
Abbildung 8-1:	Nettoproduktionswirkungen durch verstärktes Car-Sharing in 2020 (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	164
Abbildung 8-2:	Nettobeschäftigungswirkungen durch verstärktes Car-Sharing in 2020 (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	164

Abbildung 8-3:	Veränderungen der Qualifikationsanforderungen bei verstärktem Car-Sharing (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	168
Abbildung 8-4:	Qualifikationsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersektoren eines verstärktes Car-Sharing	168
Abbildung 8-5:	Auswirkungen eines verstärkten Car-Sharings auf Tätigkeitsfelder (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	169
Abbildung 8-6:	Teilzeitstellen und befristete Arbeitsverträge in den Gewinner- und Verlierersektoren eines verstärkten Car-Sharings	169
Abbildung 8-7:	Flexibilisierungsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersektoren eines verstärkten Car-Sharings	170
Abbildung 8-8:	Veränderung der Umweltauswirkungen in einzelnen Sektoren im Verhältnis zu den gesamten Umweltauswirkungen bei verstärktem Car-Sharing – Energieverbrauch und Luftemissionen	174
Abbildung 8-9:	Veränderung der Umweltauswirkungen in einzelnen Sektoren im Verhältnis zu den gesamten Umweltauswirkungen bei verstärktem Car-Sharing – Abwassermengen und Abfälle	175
Abbildung 9-1:	Komponenten eines Brennstoffzellensystems für den Fahrzeugantrieb	180
Abbildung 9-2:	Benötigte Tankvolumina und Speichermassen zur Unterbringung der Energie von 50 l Benzinäquivalent	180
Abbildung 9-3:	Überblick über die Veränderungen durch die Brennstoffzelle beim konventionellen Fahrzeug	181
Abbildung 9-4:	Nettoproduktionswirkungen einer Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	187
Abbildung 9-5:	Nettobeschäftigungswirkungen einer Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	187
Abbildung 9-6:	Veränderungen der Qualifikationsanforderungen bei einer Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	190

Abbildung 9-7:	Qualifikationsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersektoren einer Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen	190
Abbildung 9-8:	Auswirkungen einer Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen auf Tätigkeitsfelder (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	191
Abbildung 9-9:	Teilzeitstellen und befristete Arbeitsverträge in den Gewinner- und Verlierersektoren einer Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen	191
Abbildung 9-10:	Flexibilisierungsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersektoren einer Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen	192
Abbildung 9-11:	Veränderung der Umweltbelastung in einzelnen Sektoren im Verhältnis zur gesamten Umweltentlastung bei Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen – Energieverbrauch und Luftemissionen	196
Abbildung 9-12:	Veränderung der Umweltbelastung in einzelnen Sektoren im Verhältnis zur gesamten Umweltentlastung bei Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen – Abwassermengen und Abfälle	196
Abbildung A-1:	Schema einer erweiterten Input-Output-Tabelle	225
Abbildung B-1:	Auswirkungen einer nachhaltigen Nutzung von Papier auf Qualifikationsanforderungen in den einzelnen Sektoren (Differenz zwischen Referenz- und Nachhaltigkeitsszenario)	253
Abbildung B-2:	Auswirkungen eines verstärkten Kunststoffrecyclings auf Qualifikationsanforderungen in den einzelnen Sektoren (Differenz zwischen Referenz- und Nachhaltigkeitsszenario)	253
Abbildung B-3:	Auswirkungen einer Pkw-Lebensdauerverlängerung auf Qualifikationsanforderungen in den einzelnen Sektoren (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	254
Abbildung B-4:	Auswirkungen eines zunehmenden Car-Sharings auf Qualifikationsanforderungen in den einzelnen Sektoren (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	254

Abbildung B-5:	Auswirkungen der Einführung von Brennstoffzellen- fahrzeugen auf Qualifikationsanforderungen in den einzelnen Sektoren (Differenz zwischen Nachhaltig- keits- und Referenzszenario)	255
Abbildung C-1:	In verschiedenen Studien ermittelte Auswirkungen einer Klimapolitik auf die Beschäftigung	257
Abbildung C-2:	In verschiedenen Studien ermittelte Auswirkungen einer Klimapolitik auf das Bruttoinlandsprodukt	258

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Klassifizierung technologischer und organisatorischer Maßnahmen in idealtypische Umweltschutzstrategien	18
Tabelle 3-1:	Zusammenfassung der Hypothesen zu den ökonomischen Auswirkungen von Umweltschutzstrategien	50
Tabelle 4-1:	Auf der Mikroebene untersuchte Unternehmensbeispiele	57
Tabelle 4-2:	Überblick über die Vorgehensweise bei der Durchführung der Szenarienanalysen	60
Tabelle 5-2:	Produktion, Verbrauch und Außenhandel von Primärfaserstoffen in der deutschen Papierindustrie im Jahr 1998	67
Tabelle 5-3:	Verbrauch, Produktion und Außenhandel von Papier in Deutschland im Jahr 1998 nach Sortengruppen	69
Tabelle 5-4:	Zahl der Betriebe, Umsatz und Beschäftigte in den Branchen der Papierwirtschaft im Jahr 1998	71
Tabelle 5-5:	Papierproduktion und des inländischer Papierverbrauch im Referenz- und im Nachhaltigkeitsszenario	75
Tabelle 5-6:	Szenarienannahmen zur Entwicklung der Altpapiereinsatzquote	76
Tabelle 5-7:	Einsparungen im Nachhaltigkeitsfall durch eine geringere Nachfrage nach Papierprodukten	80
Tabelle 5-8:	Prozentuale Verteilung der realisierten Einsparungen bei Papierprodukten auf Verwendungszwecke	80
Tabelle 5-9:	Nachfrageimpulse im Nachhaltigkeitsszenario (Differenz zum Referenzszenario)	81
Tabelle 5-10:	Produktions-, Import- und Beschäftigungswirkungen einer nachhaltigen Produktion und Nutzung von Papier in 2020 (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	85
Tabelle 5-11:	Herfindahl-Hirschman-Koeffizienten zur regionalen Konzentration für am stärksten betroffene Wirtschaftszweige einer nachhaltigen Papiernutzung	90

Tabelle 5-12:	Arbeitsamtsbezirke mit den relativen höchsten Netto-Beschäftigungsgewinnen und –verlusten bei einer nachhaltigen Papiernutzung	91
Tabelle 5-13:	Arbeitsamtsbezirke mit dem höchsten und geringsten strukturellen Anpassungsdruck bei einer nachhaltigen Papiernutzung	91
Tabelle 5-14:	Umweltauswirkungen einer nachhaltigen Papiernutzung (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	93
Tabelle 6-1:	Struktur der Kunststoffindustrie im Jahr 1998	100
Tabelle 6-2:	Daten zum derzeitigen und zukünftigen Kunststoff-Stoffstrom	103
Tabelle 6-3:	Szenarienannahmen zur Verwertung der Kunststoffabfälle	105
Tabelle 6-4:	Veränderungen der Kunststoffströme im Nachhaltigkeitsszenario (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	108
Tabelle 6-5:	Produktions-, Import- und Beschäftigungswirkungen durch verstärktes Kunststoffrecycling	112
Tabelle 6-6:	Herfindahl-Hirschman-Koeffizienten zur regionalen Konzentration für am stärksten betroffene Wirtschaftszweige eines verstärkten Kunststoffrecyclings	118
Tabelle 6-7:	Arbeitsamtsbezirke mit den relativen höchsten Nettobeschäftigungsgewinnen und –verlusten bei verstärktem Kunststoffrecycling	119
Tabelle 6-8:	Arbeitsamtsbezirke mit dem höchsten und geringsten strukturellen Anpassungsdruck bei verstärktem Kunststoffrecycling	120
Tabelle 6-9:	Umweltauswirkungen eines verstärkten Kunststoffrecyclings in Deutschland (Differenzen zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	122
Tabelle 7-1:	Bestandsentwicklung und Fahrleistung von Pkw und Kombi in Deutschland	128
Tabelle 7-2:	Durchschnittsalter gelöschter Pkw in Jahren	130
Tabelle 7-3:	Wichtige Veränderungen im Nachhaltigkeitsszenario (Basisvariante) gegenüber dem Referenzszenario	135

Tabelle 7-4:	Veränderung der Produktion von Pkw durch eine Strategie der Nutzungsdauerverlängerung im Jahr 2020	136
Tabelle 7-5:	Produktions-, Import- und Beschäftigungswirkungen der Basisvariante einer Lebensdauerverlängerung von Pkw	140
Tabelle 7-6:	Sensitivitätsanalyse der Produktions-, Import- und Beschäftigungswirkungen für den reinen Struktureffekt bei einer Lebensdauerverlängerung von Pkw	141
Tabelle 7-7:	Sensitivitätsanalyse der Produktions-, Import- und Beschäftigungswirkungen einer Lebensdauerverlängerung von Pkw bei Annahme eines First-mover-advantage für die deutsche Fahrzeugindustrie	142
Tabelle 7-8:	Herfindahl-Hirschman-Koeffizienten zur regionalen Konzentration für am stärksten betroffene Wirtschaftszweige im Fallbeispiel Lebensdauerverlängerung Pkw	147
Tabelle 7-9:	Arbeitsamtsbezirke mit den relativen höchsten Nettobeschäftigungsgewinnen und -verlusten bei einer Pkw-Lebensdauerverlängerung	148
Tabelle 7-10:	Arbeitsamtsbezirke mit dem höchsten und geringsten strukturellen Anpassungsdruck bei einer Pkw-Lebensdauerverlängerung	149
Tabelle 7-11:	Veränderung der Umweltbelastung in Deutschland bei Durchführung einer Strategie zur Pkw-Lebensdauerverlängerung	150
Tabelle 7-12:	Überblick über die Ergebnisse der Unternehmensanalyse im Pkw-Reparatursektor	154
Tabelle 8-1:	Wichtige Veränderungen im Nachhaltigkeitsszenario gegenüber dem Referenzszenario	160
Tabelle 8-2:	Veränderung der Güterströme durch verstärktes Car-Sharing im Nachhaltigkeitsszenario gegenüber dem Referenzszenario	163
Tabelle 8-3:	Produktions-, Import- und Beschäftigungswirkungen eines verstärkten Car-Sharings	166
Tabelle 8-4:	Herfindahl-Hirschman-Koeffizienten zur regionalen Konzentration für am stärksten betroffene Wirtschaftszweige im Fallbeispiel Car-Sharing	171

Tabelle 8-5:	Arbeitsamtsbezirke mit den relativen höchsten Nettobeschäftigungsgewinnen und –Verlusten im Fallbeispiel Car-Sharing	171
Tabelle 8-6:	Arbeitsamtsbezirke mit dem höchsten und niedrigsten strukturellen Anpassungsdruck im Fallbeispiel Car-Sharing	172
Tabelle 8-7:	Vergleich der spezifischen NO _x -Emissionen für Pkw und ÖPV	173
Tabelle 8-8:	Umweltauswirkungen verstärkten Car-Sharings	174
Tabelle 8-9:	Beispiel für gegenwärtige Arbeitsstrukturen in einem Car-Sharing Unternehmen	177
Tabelle 9-1:	Anwendungsfelder von Brennstoffzellentechnologien	178
Tabelle 9-2:	Bedeutung der Sektoren als Zulieferer für die Herstellung von konventionellen bzw. Brennstoffzellenantrieben	184
Tabelle 9-3:	Ökonomische Impulse durch Herstellung und Betrieb von Brennstoffzellenfahrzeugen	185
Tabelle 9-4:	Produktions-, Import- und Beschäftigungswirkungen einer Einführung von Fahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb	188
Tabelle 9-5:	Herfindahl-Hirschman-Koeffizienten zur regionalen Konzentration für am stärksten betroffene Wirtschaftszweige im Fallbeispiel Brennstoffzelle	193
Tabelle 9-6:	Arbeitsamtsbezirke mit den relativ höchsten Nettobeschäftigungsgewinnen und –verlusten im Fallbeispiel Brennstoffzelle	194
Tabelle 9-7:	Arbeitsamtsbezirke mit dem relativ höchsten und niedrigsten Anpassungsdruck im Fallbeispiel Brennstoffzelle	194
Tabelle 9-8:	Veränderung der Umweltbelastung in Deutschland bei Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen	195
Tabelle 10-1:	Veränderungen von Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen im Nachhaltigkeitsszenario gegenüber dem Referenzszenario	203
Tabelle 10-2:	Umweltauswirkungen der Fallbeispiele (Differenz zwischen Referenz- und Nachhaltigkeitsszenario)	205

Tabelle B-1:	Regionalwirkungen einer nachhaltigen Papiernutzung im Vergleich zum Referenzszenario	237
Tabelle B-2:	Regionalwirkungen von verstärktem Kunststoffrecycling im Vergleich zum Referenzszenario	240
Tabelle B-3:	Regionalwirkungen einer Pkw-Lebensdauerverlängerung im Vergleich zum Referenzszenario	243
Tabelle B-4:	Regionalwirkungen durch Car-Sharing im Vergleich zum Referenzszenario	246
Tabelle B-5:	Regionalwirkungen infolge des Einsatzes der Brennstoffzelle als Antriebstechnik im Vergleich zum Referenzszenario	249
Tabelle B-6:	Veränderungen von Teilzeittätigkeit und Stellenbefristung in den Fallbeispielen (Differenzen zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	252
Tabelle B-7:	Veränderungen der Flexibilisierungsanforderungen an die Erwerbstätigen in den Fallbeispielen: (Differenzen zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)	252
Tabelle C-1:	Qualifikation der Beschäftigten in unterschiedlichen Sektoren	256
Tabelle D-1:	OLS-Schätzergebnis des Einflusses politökonomischer Faktoren auf Subventionen in der deutschen Industrie	260
Tabelle D-2:	Strukturdaten zu den von den Umweltschutzstrategien besonders betroffenen Branchen:	262
Tabelle D-3:	Ausprägung wichtiger Parameter für die Realisierung von unterstützenden politischen Maßnahmen zur Realisierung der untersuchten Fallbeispiele	264

1 Hintergrund, Zielsetzung und Vorgehensweise

Seit der UNCED-Konferenz in Rio wird der Begriff der **nachhaltigen Entwicklung** zunehmend als Leitbild für die Umweltpolitik in den industrialisierten Ländern herangezogen. Da der abstrakte Begriff der nachhaltigen Entwicklung konkretisiert werden muss, ist in Deutschland - ebenso wie in anderen Staaten - eine intensive Diskussion über die Maßstäbe für Nachhaltigkeit entstanden. Hierbei zeichnet sich eine pragmatische Interpretation des Nachhaltigkeitsbegriffs ab, der in den Industrieländern die Umweltbelastung und den Ressourcenverbrauch als limitierenden Faktor für eine Nachhaltigkeit identifiziert, gleichzeitig aber - im Sinne einer Drei-Säulen-Interpretation – eine Ökonomie- und Sozialverträglichkeit entsprechender Politiken fordert. Entsprechend gehören Fragen, wie sich die Arbeitswelt und die wirtschaftlichen Strukturen auf dem Weg hin zu einer dauerhaft tragfähigen ökologischen Entwicklung ändern, zu den Grundfragen einer Nachhaltigkeitsstrategie. Hierbei fließen auch Ergebnisse aus anderen Diskussionen – z. B. über die Zukunft der Arbeit in Industriegesellschaften – in diese Debatte ein.

Zur Erreichung der **ökologischen Ziele** können unterschiedliche Technologietypen und Konzepte eingesetzt werden. Im Hinblick auf die Auslösung ökonomischer Auswirkungen lassen sie sich in die vier idealtypischen Strategien End-of-pipe-Technologien, umweltfreundliche Produktionsverfahren, Recycling von Produktionsrückständen und Produkten sowie umweltfreundliche Produkte klassifizieren. Denn je nach dem, wo diese Strategien im gesamtwirtschaftlichen Wirkungsgefüge ansetzen, lösen sie unterschiedliche Mechanismen aus, die zu Auswirkungen auf die Arbeitswelt führen. Maßnahmen zur Reduktion der Umweltbelastung bewirken vielfältige Anpassungsreaktionen bei den einzelnen Unternehmen und bei privaten Haushalten. Durch die Summe dieser Anpassungsreaktionen und die hierdurch wiederum ausgelösten Folgewirkungen kommt es dann zu Veränderungen der gesamtwirtschaftlichen Zielgrößen Produktion und Beschäftigung. Hierbei ist von Bedeutung, dass es mehrere **Wirkungsmechanismen** gibt, die jeweils unterschiedliche Theorieansätze widerspiegeln. Die Gesamtwirkung auf die Beschäftigung und die Produktion ergibt sich aus dem Zusammenspiel der unterschiedlichen Wirkungsmechanismen. Es ist daher nicht möglich, die gesamtwirtschaftlichen Effekte aus einer isolierten Betrachtung weniger Teileffekte abzuleiten. Gleichzeitig können die Effekte auf einzelwirtschaftlicher, Meso- oder Makro-Ebene in unterschiedlicher Ausprägung auftreten. Zur Analyse der wirtschaftlichen Auswirkungen ist es daher erforderlich, die anzuwendenden Analyseinstrumente bzw. Modelle in Abhängigkeit der gewählten Betrachtungsebene auszuwählen.

Ein Schwerpunkt der in der Vergangenheit durchgeführten Analysen zum Themenkomplex Arbeit und Umwelt waren die Arbeitsplatzeffekte von **End-of-pipe-Technologien**. Thematisiert wird einerseits eine (kurzfristige) Erhöhung der Kostenbelastung bei den Anwendern, andererseits aber auch der direkte Nachfrageimpuls, der

bei den Herstellern dieser Technologien entsteht und sich über die Vorleistungsbeziehungen auch auf vorgelagerte Bereiche auswirkt. Des Weiteren wird auch immer wieder auf die traditionell hohe internationale Wettbewerbsfähigkeit hingewiesen, die Deutschland bei den End-of-pipe-Anlagen aufweist.

Die Wirkungen **umweltfreundlicher Produktionsverfahren** wurden in der jüngsten Vergangenheit zum einen auf der Ebene von *Fallstudien* untersucht. Trotz höherer Anschaffungskosten wird bei ihrem Einsatz keine (deutliche) Steigerung der Produktionskosten der Anwender erwartet, da sie gleichzeitig zu Effizienzsteigerungen sowohl bei den eingesetzten Umweltressourcen als auch bei den anderen Produktionsfaktoren – und damit zu Kostensenkungen – führen können. Hierbei kann es allerdings zu direkten Freisetzungseffekten von Arbeitskräften in den Anwenderbetrieben kommen. Insbesondere im Zusammenhang mit der Einführung einer Energiesteuer wurden zum anderen zahlreiche *Modellanalysen* durchgeführt, die die makroökonomischen Wirkungsmechanismen und Anpassungsvorgänge in den Vordergrund gerückt haben. Es zeigt sich eine gewisse Konvergenz der Ergebnisse dahingehend, dass sich moderate positive Arbeitsplatzeffekte einstellen, vor allem wenn die Steuermehreinnahmen zur Senkung der Arbeitskosten verwendet werden.

Kennzeichen der **Recyclingstrategien** ist eine teilweise massive Umlenkung von Stoffströmen, die zur Reduktion der Produktion von Primär-Werkstoffen führt. Bei neuen **umweltfreundlichen Produktkonzeptionen** kommt es zusätzlich auch zur Substitution der Neuproduktion durch dienstleistungsähnliche Aktivitäten zur Nutzungsintensivierung und Lebensdauerverlängerung von Produkten. Da diese Strategien Änderungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette induzieren, kann sich eine empirische Analyse der wirtschaftlichen Auswirkungen nicht auf Fallstudien beschränken, die die Effekte bei den Anwenderbranchen untersuchen, sondern muss die gesamten wirtschaftlichen Verflechtungen berücksichtigen. Bisher wurden derartige Analysen allenfalls ansatzweise und wenig detailliert vorgenommen.

Gleichzeitig wurden in den meisten Modellanalysen zu den wirtschaftlichen Auswirkungen des Umweltschutzes **qualitative Faktoren** wie Branchenverteilung der Arbeitsplätze, Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen sowie regionale Wirkungen weitgehend vernachlässigt. Zudem bleibt oftmals offen, inwieweit die in wirtschaftswissenschaftlichen Analysen gewonnenen Ergebnisse bezüglich der ökonomischen Auswirkungen auf die – z. T. in anderen Studien und unter anderen Voraussetzungen abgeleiteten – Umweltentlastungseffekte der Strategien übertragen werden können, da die in den jeweiligen Studien herangezogenen Beispiele sowie die getroffenen Annahmen in den seltensten Fällen kongruent sind.

Vor diesem Hintergrund sollten mit dem hier beschriebenen Forschungsvorhaben folgende **Zielsetzungen** angegangen werden:

- (1) Da die verschiedenen Umweltschutzstrategien an unterschiedlichen Stellen im Wirkungsgefüge der Volkswirtschaft ansetzen, sollten in einem ersten allgemeinen Teil wirtschaftlich bedeutsame Unterscheidungsmerkmale der unterschiedlichen Umweltschutzstrategien herausgearbeitet und die relevanten Wirkungsmechanismen für die einzelnen Dimensionen des wirtschaftlichen und strukturellen Wandels aufgezeigt werden. Darauf aufbauend sollten Hypothesen für die Auswirkungen der Umweltschutzstrategien entwickelt werden.
- (2) Methodisch sollte ein Modellierungsansatz entwickelt werden, der auf einem mittleren Aggregationsniveau unterschiedliche Aspekte der Nachhaltigkeit -d. h. neben der Anzahl der Arbeitsplätze und der sektoralen Verteilung auch qualitative Aspekte wie Qualifikationsanforderungen, Tätigkeitsspektren und Arbeitsbedingungen, räumliche Verteilung des Anpassungsbedarfs sowie Grobabschätzung der ökologischen Effekte - integriert aufgreift. Neben der Integration unterschiedlichster Wirkdimensionen sollte sich dieser Ansatz durch eine technologische Fundierung der ökonomischen Modellierung und damit der Etablierung einer Mikro-Makro-Brücke auszeichnen.
- (3) Dieser Modellierungsansatz sollte für ausgewählte Fallbeispiele aus den Bereichen der Umweltschutzstrategien Recycling und umweltfreundliche Produktkonzepte erprobt werden. Hierzu sollten zukunftsbezogene Szenarienanalysen durchgeführt werden, aus denen gleichzeitig erste Hinweise über die bei Recyclingstrategien und umweltfreundlichen Produktkonzeptionen auftretenden Auswirkungen abgeleitet werden können.

Zur Durchführung der empirischen Arbeiten wurde das **Modell ISIS** (**I**ntegrated **S**ustainability Assessment **S**ystem) entwickelt, das im Sinne eines ganzheitlichen Verständnisses von Nachhaltigkeit in innovativer Weise eine modellgestützte integrierte Analyse der Auswirkungen von Umweltschutzstrategien auf Produktion, Strukturwandel, Arbeitsplätze, Qualifikationsstruktur, Arbeitsbedingungen, Regionalstruktur und Umwelt erlaubt. Bei der Entwicklung des Modells konnte dankenswerterweise auf Rohdaten des Statistischen Bundesamtes und der Bundesanstalt für Arbeit zurückgegriffen werden.

In diesem Bericht werden die Ergebnisse dieser Analysen nach folgender Gliederung dokumentiert: Der **allgemeine Teil A** beginnt mit einer Beschreibung und Systematisierung der Umweltschutzstrategien hinsichtlich wirtschaftlich bedeutsamer Unterscheidungsmerkmale (Kapitel 2). In Kapitel 3 werden die Wirkungsmechanismen, die für die einzelnen Wirkdimensionen relevant sind, vorgestellt sowie Hypothesen, wie die unterschiedlichen Umweltschutzstrategien auf die jeweiligen Wirkdimensionen einwirken dürften, abgeleitet. Aufbauend auf diesen Ausführungen wird ein *Zwischenfazit* über den Wissensstand und den Forschungsbedarf hinsichtlich der ökonomischen Wirkungen von Umweltschutzstrategien gezogen.

Zu Beginn des **empirischen Teils B** der Studie wird in Kapitel 4 auf die Auswahl der Fallbeispiele und die Vorgehensweise bei der Wirkungsanalyse eingegangen. Der zentrale *Modellierungsansatz* wird vorgestellt, der in der Etablierung einer Mikro-Makro-Brücke besteht, die von einer technoökonomisch fundierten bottom-up Analyse ausgeht und zur Durchführung von Szenarienanalysen mittels eines – um betriebliche Arbeitsstrukturen, Qualifikationsanforderungen, Regionalwirkungen sowie Umweltbelastungsgrößen erweiterten - IO-Modells führt (Modell ISIS). Die für die *fünf ausgewählten Fallbeispiele* durchgeführten Modellanalysen werden in den anschließenden Kapiteln 5-9 beschrieben. Die sich aus den Analysen ergebenden *Implikationen* bezüglich Anpassungsbedarf und Entwicklungsperspektiven werden in Kapitel 10 dargestellt. Im *Anhang* finden sich Tabellen und Grafiken zu Einzelergebnissen sowie eine Darstellung des Modells ISIS.

Teil A: Ausgangspunkte

2 Umweltschutzstrategien für eine nachhaltige Wirtschaft

Unter Umweltschutz werden alle Maßnahmen zur Vermeidung beziehungsweise Verminderung anthropogener Belastungen verstanden, die schädliche Wirkungen in der natürlichen Umwelt und auf die menschliche Gesundheit hervorrufen oder hervorrufen können. Die Vorteilhaftigkeit unterschiedlicher Maßnahmen ist von der jeweiligen Problemlage abhängig, auch können verschiedene Maßnahmen gemeinsam verfolgt oder miteinander kombiniert werden.

Eine Klassifizierung der unterschiedlichen Maßnahmen in **idealtypische Strategien** ist immer kontextabhängig, d. h. durch das jeweilige Erkenntnisinteresse bedingt. Bei der im Folgenden getroffenen Typisierung steht im Vordergrund des Interesses die Unterscheidung nach Merkmalen, die für unterschiedliche sozioökonomische Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen von Bedeutung sind. Von besonderer Bedeutung hierfür sind Merkmale wie der Ort der Vornahme der technologischen Änderung, durch den zugleich der Hauptakteur der Maßnahmen bestimmt wird. Des Weiteren ist der Ort der Umweltentlastung zu untersuchen. Hierdurch wird zugleich der Emittent bestimmt, dem die Umweltentlastung gutgeschrieben wird bzw. der Aufwendungen für Umweltressourcen einspart. Schließlich ist von Bedeutung, welcher direkte Anpassungsbedarf sich bei der Durchführung der einzelnen Maßnahmen einstellt.

Vor diesem Hintergrund werden in diesem Bericht vier idealtypische Strategien unterschieden:

- End-of-pipe-Technologien,
- umweltfreundliche Produktionsverfahren,
- Recycling von Produktionsrückständen und Produkten, sowie
- umweltfreundliche Produkte und Produktkonzeptionen.

Die Strategien sind nicht homogen, sondern weisen unterschiedliche Facetten auf, so dass sich bei einer morphologischen Betrachtung nochmals Teilstrategien abgrenzen lassen (vgl. Tab. 2-1). Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass in der Praxis zahlreiche Überschneidungen zwischen diesen Strategien bestehen. In einigen Fällen ist eine Zuordnung nicht eindeutig zu treffen, so z. B. beim Recycling von Produktionsrückständen oder bei einem die Recyclingfähigkeit erhöhenden Produktdesign. Auch schließen sich die Strategien nicht gegenseitig aus, sondern können sich durchaus ergänzen (Böhm 1995). Hervorzuheben ist außerdem, dass keine

Priorisierung zwischen diesen einzelnen Strategien getroffen werden kann. So wird es z. B. auch in Zukunft sinnvoll und notwendig sein, weiterhin End-of-pipe-Technologien einzusetzen. Die im Folgenden beschriebenen Entwicklungstendenzen verdeutlichen, dass bei allen Strategien noch ein erhebliches Entwicklungspotenzial besteht, das es für den künftigen Umweltschutz zu realisieren gilt.

2.1 End-of-pipe-Technologien

Bereits in der Vergangenheit zählte der Einsatz von End-of-pipe-Technologien zu den Paradebeispielen von Umweltschutztechnologien: Umweltschutz wurde vorrangig mit Schlagwörtern wie Ausbau von Kläranlagen, Einbau von Rauchgasentschwefelungsanlagen oder Ausrüstung mit (geregelten) Katalysatoren gleichgestellt. Auch in Zukunft wird ein verstärkter Einsatz dieser Verfahren notwendig sein. Die Entwicklung wird in Richtung leistungsfähigerer, d. h. besonders effektiver, zuverlässiger und kostengünstiger additiver Techniken gehen, die spezifischer auf die Kombination mit integrierten Maßnahmen zugeschnitten sind.

End-of-pipe-Techniken sind immer noch wegen ihrer universellen Anwendbarkeit und der Möglichkeit der Nachrüstung bestehender Anlagen sowie wegen der relativ kurzen Zeiträume, die für ihre Realisierung benötigt werden, die meist verwendeten Umweltschutztechniken. Sie bilden nach wie vor den Kern der **klassischen Umweltgüterindustrie**, die als typisches Querschnittsgebiet allerdings keine eigenständige Branche bildet, sondern traditionell ein wichtiges Betätigungsfeld anderer Branchen wie beispielsweise des Maschinenbaus, des Apparate- und Anlagenbaus, der Mess- und Regeltechnik, der Elektrotechnik und Elektronik sowie der Bauindustrie ist.

Neue technologische Lösungen werden häufig durch die intensive Kooperation zwischen einem anwendenden Betrieb und einem Anbieter entsprechender Technologien erarbeitet. Dabei werden oft bestehende Technologien für eine neuartige Aufgabenstellung modifiziert. End-of-pipe-Technologien bestehen meist aus einer *Kombination von mehreren Prozessschritten*. Neuentwicklungen ergeben sich daher häufig aus einer neuartigen Kopplung bekannter Elemente, oder es werden einzelne Elemente einer herkömmlichen Prozesskette verbessert oder durch völlig neue, effizientere Elemente ersetzt. Die technologischen Innovationen profitieren damit stark vom Entwicklungspotenzial der unterschiedlichsten Fachdisziplinen. Als wichtigste Technologiefelder, die Entwicklungen in der Umwelttechnik anstoßen bzw. stark beeinflussen, sind zu nennen:

- Verfahrenstechnik,
- Werkstoff- und Oberflächentechnik,

- Chemie und (physikalisch-) chemische Analytik,
- Biotechnologie,
- Mess-, Steuer- und Regelungstechnik.

Additive Umwelttechnik ist in weiten Bereichen ein spezifisches Anwendungsfeld der klassischen Verfahrenstechnik, d. h. vor allem der physikalischen Grundverfahren zur Trennung/Reinigung von Gasen, Flüssigkeiten und Feststoffen (mechanisch, thermisch, magnetisch, elektrolytisch), zur Zerkleinerung oder Agglomeration von Feststoffen, zum Mischen und Lösen von Substanzen unterschiedlichster Beschaffenheit und Aggregatzustände. Für diese Aufgaben wird eine Vielzahl von Apparaten und Maschinen eingesetzt, wodurch sich die große Breite des Angebots der Umweltschutzgüterindustrie allein im Bereich des Apparate- und Maschinenbaus erklärt. Durch verschiedenste Apparatekonstruktionen kann die technische Reaktionsführung - beispielsweise zum Zweck der Optimierung des Stoffaustauschs - an die jeweiligen Aufgabenstellungen angepasst werden (z. B. in Abhängigkeit von physikalischen Stoffdaten oder Stoffkonzentrationen). Der verfahrenstechnische Ansatz steht meist im Mittelpunkt bei der Wasser- und Abgasreinigung sowie bei der Behandlung von kontaminierten Böden, Schlämmen und festen Abfallstoffen. Als Beispiele für verfahrenstechnische Entwicklungen mit stark wachsender Bedeutung für die Umwelttechnik seien die Trennung von Gas- und Flüssigkeitsgemischen und von Lösungen durch Membranverfahren und Ionenaustauscher genannt.

Fortschritte in der Entwicklung neuer Werkstoffe und ihre unmittelbare Anwendung haben in den letzten Jahren stimulierende Wirkung auch in der Umwelttechnik gezeigt. Dieser Trend wird auch künftig anhalten. Vor allem hochtemperaturfeste und korrosionsbeständige Legierungen und Keramiken haben Verfahrensverbesserungen bei nachgeschalteten Prozessen (z. B. thermische Behandlung von Sonderabfällen, keramische Träger für Katalysatoren) ermöglicht. Korrosions- und verschleißbeständigere Oberflächenbeschichtungen verlängern die Lebensdauer von Bauteilen und Maschinenelementen, die vielfach wesentlich von diesen Oberflächeneigenschaften bestimmt wird. Durch verbesserte Beschichtungsverfahren können die Emissionen kritischer Luft- und Wasserschadstoffe erheblich reduziert werden. Besonders wichtige neue Werkstoffe in der Umwelttechnik sind polymere Membrane unterschiedlichster Eigenschaften und Ionenaustauscherharze, mit denen sich neue Trennverfahren realisieren lassen.

Die Chemie spielt nicht nur bei der Entwicklung polymerer Werkstoffe eine zentrale Rolle, weitere Anwendungsfelder chemischer Erzeugnisse in der Umwelttechnik sind Katalysatoren und Hilfsstoffe. Schließlich haben sich die heute in der Umweltanalytik eingesetzten Messverfahren mit wenigen Ausnahmen aus der Laboranalytik entwickelt. Dies betrifft sowohl Verfahren, die sich aus der chemischen Spuren-

analyse entwickelt haben, als auch physikalisch-chemische Untersuchungsmethoden.

Zwei wichtige Technologiefelder mit hohem Entwicklungspotenzial, die in vielen Bereichen zu einer Umweltentlastung beitragen können, sind die Mikroelektronik und ihr Einsatz in der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (vgl. Angerer/Hiessl 1991) sowie die Umweltbiotechnologie (vgl. Hüsing et al., 1997). Neuentwicklungen in der Mikroelektronik, insbesondere in der Sensortechnik, ermöglichen bei additiven Techniken eine bessere Steuerung, Regelung sowie Überwachung von entsprechenden Anlagen. Für die Umweltbiotechnologie ergeben sich künftige Entwicklungschancen in der biologischen Reinigung industrieller und kommunaler Abwässer, der Abluftreinigung sowie neuen Aufgaben der Behandlung von Abfällen und bei der Sanierung kontaminierter Böden.

Kennzeichen der End-of-pipe-Technologien ist, dass sie *additiv zum eigentlichen Herstellprozess* eingesetzt werden. Die technologischen Veränderungen finden im unmittelbaren Umfeld des emittierenden Betriebes statt. Entsprechend ist eine direkte Zurechnung von Investition und Umweltentlastung möglich, da die eingesetzte Technologie die vom Anwender verursachte Umweltbelastung reduziert. Auf Grund ihres additiven Charakters löst der Einsatz von End-of-pipe-Technologien i. d. R. nur einen geringen Anpassungsbedarf an den eigentlichen Produktionsprozess aus. Der wesentliche Effekt auf die betroffenen Unternehmen liegt darin, dass die Anschaffung und z. T. auch der Betrieb der End-of-pipe-Technologien zusätzliche Kosten verursacht, denen kurzfristig keine unternehmensinternen Kostenreduktionen gegenüberstehen, wohl aber Umweltentlastungen – und damit vermiedene künftige Produktionskosten, falls es zu einer Internalisierung der externen Kosten kommt.

2.2 Umweltfreundliche Produktionsverfahren

Der Begriff *umweltfreundliche Produktionsverfahren* steht für alle Produktions- und Fertigungsverfahren, in denen *Schadstoffemissionen* und *Abfälle* (sowohl beim regulären Betrieb als auch durch Betriebsstörungen) *von vornherein vermieden* oder erheblich verringert werden bzw. bei denen es zu einer Einsparung von natürlichen Ressourcen kommt. Der Einsatz von umweltfreundlichen Produktionsverfahren stellt keine Neuentwicklung dar, sondern wurde bereits in der Vergangenheit in vielen Bereichen verwirklicht. Diese Tendenz wird künftig in allen Branchen ein eigenständiger Bestandteil von Neuentwicklungen sein. Ähnlich wie bei den End-of-pipe-Technologien profitiert die Entwicklung neuer umweltfreundlicher Produktionsverfahren von den Fortschritten in der Verfahrens-, Werkstoff- und Oberflächentechnik, der Chemie und Biotechnologie sowie der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik. Die jeweiligen Lösungen bei neuen umweltfreundlichen

Produktionsverfahren können sehr problem- oder branchenspezifisch sein. Damit können keine speziellen umweltfreundlichen Produktionstechnologien definiert werden. Dennoch gibt es generelle branchenübergreifende **Ansatzpunkte** für Verbesserungen herkömmlicher Verfahren:

- Durch Änderungen des eigentlichen Produktions- oder Fertigungsverfahrens kann es zu ganz erheblichen Umweltentlastungen kommen. Dazu gehören Verbesserungen oder der Einsatz von Alternativen bei einzelnen Verfahrenstechniken und Apparaten sowie der Verzicht auf kritische Verarbeitungs- und Behandlungsstufen eines mehrstufigen Produktions- oder Fertigungsprozesses bzw. deren Substitution durch neue effizientere Teilprozesse (z. B. Umform- statt Zerspanungstechniken, um Stäube/Schlämme zu vermeiden).
- Eine weitere Möglichkeit ist der Ersatz ganzer Prozesse oder Produktionsverbünde durch völlig neue Konzepte. Zahlreiche Anwendungsbeispiele aus unterschiedlichen Branchen werden in der Fachliteratur beschrieben, wie z. B. neue Methoden der metallischen und organischen Beschichtung oder neue Synthesewege in der chemischen Industrie. Die Beispiele zeigen, dass die neuen Prozesse teilweise sogar deutliche wirtschaftliche Vorteile bieten. Prozessentwicklungen benötigen allerdings meist erhebliche Entwicklungszeiten, d. h. völlig neue Konzepte - aber auch die Erarbeitung und Erprobung neuer Teilprozesse - sind nur in wesentlich längeren Zeiträumen zu realisieren als additive nachsorgende Maßnahmen.
- Des Weiteren können andere oder weniger verunreinigte Rohstoffe, Zwischenprodukte oder Hilfsstoffe zur Reduzierung von Emissionen und Abfällen führen, oder es lassen sich durch Substitution besonders kritische Schadstoffe vermeiden. Ein anderer Weg ist die Installation zusätzlicher Einrichtungen oder Teilschritte, um aus dem Prozess ausgetragene Hilfsstoffe nicht zu emittieren, sondern sie direkt im Prozess wieder zu verwenden. Vielfältige Möglichkeiten bieten auch die Prozessführung und Prozessüberwachung mit Hilfe moderner Mess-, Steuer- und Regelungstechnik. Sie erlauben z. B. die Verringerung von Emissionen und Produktionsausschuss durch weitgehende Reduzierung von Betriebsstörungen. Durch Messung und Verknüpfung zahlreicher Parameter, die einen Prozess bestimmen, ist es möglich, ihn auch bei wechselnden Bedingungen nahe am Optimum zu betreiben. Damit können Energie, Grund- und Betriebsstoffe eingespart und unerwünschte Emissionen oder Abfallprodukte entsprechend verringert werden.
- Fallweise kann es angezeigt sein, Verbesserungen durch Neugestaltung der Arbeitsabläufe zu verwirklichen: Durch Umstellung von Batchprozessen auf kontinuierliche Betriebsweise lassen sich z. B. Emissionen und Abfälle vermindern, die beim An- und Abfahren von Anlagen entstehen.

Insbesondere im Bereich der Vermeidung von Luftemissionen gibt es zahlreiche Beispiele, die die Potenziale des Einsatzes moderner Technologien zur Reduktion

der Umweltbelastung verdeutlichen, so z. B. in den Bereichen der klassischen Luftschadstoffe, der Emissionen von Schwermetallen und Lösemitteln in die Luft sowie bei der CO₂-Minderung durch rationelle Energieverwendung. Diese Beispiele verdeutlichen, dass durch den Einsatz von umweltfreundlichen Produktionsverfahren ein erheblicher Beitrag zur Verminderung der Umweltbelastung geleistet werden kann.

Trotz der zahlreichen positiven Beispiele muss auf der anderen Seite vor übermäßigem Optimismus in die quasi eigengesetzliche Dynamik einer Umweltentlastung durch neue Produktionsverfahren gewarnt werden. So ist die Existenz technischer Problemlösungspotenziale nicht gleichbedeutend mit tatsächlich realisierter Umweltentlastung, da oftmals ein nur zögerlicher Einsatz der umweltfreundlichen Technologien zu beobachten ist. Hierbei ist die Unterscheidung von Nebenanlagen und Hauptanlagen von höchster Wichtigkeit. Insbesondere die Analysen im Bereich der Reduktion des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen verdeutlichen, dass einzelwirtschaftlich höchst rentable Investitionen in Nebenanlagen (z. B. Blockheizkraftwerke) nicht getätigt werden, da sich das Hauptinteresse auf den eigentlichen Produktionsprozess richtet und Amortisationsanforderungen an Investitionen in Nebenanlagen gestellt werden, die verkennen, dass die Lebensdauer dieser Anlagen oftmals um ein Vielfaches über denen von Investitionen im Hauptprozess liegen.

Wie bei den End-of-pipe-Technologien finden bei den umweltfreundlichen Produktionsverfahren die technologischen Veränderungen im unmittelbaren Umfeld des emittierenden Betriebes statt. Entsprechend ist eine direkte Zurechnung von Investition und Umweltentlastung möglich, da die eingesetzte Technologie die vom Anwender verursachte Umweltbelastung reduziert. Im Unterschied zu den End-of-pipe-Technologien *verändern umweltfreundliche Produktionsverfahren* den eigentlichen *Herstellprozess*. Dies gilt in besonderem Ausmaß für die in den Hauptanlagen stattfindenden technologischen Änderungen, da hier der Einsatz von Umweltschutztechnik gleichbedeutend ist mit Modifikationen oder gar Substitutionen des Hauptprozesses. Entsprechend müssen die umweltfreundlichen Produktionsverfahren i. d. R. mindestens die Anforderungen an die bestehende Produktionstechnologie erfüllen. Aber auch Veränderungen in den Nebenanlagen wie z. B. Energieversorgung oder Druckluftherzeugung müssen bezüglich Zuverlässigkeit und Leistung die Anforderungen des eigentlichen Herstellprozesses abdecken. Den erhöhten Abstimmungserfordernissen steht bei den umweltfreundlichen Produktionsverfahren allerdings auch eine verbesserte Ausnutzung der eingesetzten Ressourcen (z. B. Energieverbrauch, Materialeinsatz, Reduktion von Ausschuss) gegenüber, die die eigentliche Reduktion der Umweltbelastung darstellt. Umweltfreundliche Produktionsverfahren bieten damit die Möglichkeit, auch Kosteneinsparungen zu realisieren und damit - bereits unter den gegebenen Rahmenbedingungen - einzelwirtschaftlich rentabel zu sein.

2.3 Recycling von Produktionsrückständen und Produkten

Diese Strategie kann auf *innerbetrieblicher* oder *zwischenbetrieblicher Ebene* erfolgen; in beiden Fällen handelt es sich i. d. R. um ein Recycling von Produktionsrückständen. Gleichzeitig wird diese Strategie auch im Hinblick auf die Rückführung gebrauchter *Endprodukte* in den Herstellprozess angewendet (Produktrecycling).

Beim **Recycling von Produktionsrückständen** ergeben sich erhebliche Überschneidungen mit der Strategie umweltfreundlicher Produktionsverfahren, da das Recycling auch als das Schließen von Stoffströmen bei Produktionsverfahren interpretiert werden kann. Daher wäre es ebenfalls möglich, das Recycling als Unterform eines Einsatzes umweltverträglicher Verfahren in die Produktion einzuordnen. Auf der anderen Seite zielt das Recycling von Produktionsrückständen weniger auf eine effizientere Ausgestaltung des Primärprozesses, sondern vielmehr auf eine verstärkte Kreislaufführung. So hat das innerbetriebliche Recycling zum Ziel, Schadstoffemissionen abzuscheiden bzw. entstehende Produktionsrückstände aufzuarbeiten und sie jeweils wieder im Produktionsprozess einzusetzen. Dabei handelt es sich meist um Hilfsstoffe, die nicht in das Produkt eingehen, jedoch für den Herstellungsprozess erforderlich sind. Diese Hilfsstoffe werden einerseits aus dem Prozess emittiert, andererseits werden sie verunreinigt oder verändern mit der Zeit ihre Eigenschaften, so dass ihr Austausch zu Produktionsrückständen führt. Durch Installation zusätzlicher Einrichtungen/Teilschritte können diese Hilfsstoffe abgeschieden, gereinigt oder regeneriert werden und stehen wieder für den Ausgangsprozess zur Verfügung.

Ein weiteres Beispiel für die Schließung von Stoffkreisläufen in einem Produktionsverfahren ist die Rückführung nicht umgesetzter Anteile von Ausgangsstoffen beispielsweise einer chemischen Reaktion, die aus einem Produkt-, Abgas- oder Abwasserstrom abgetrennt und in konzentrierter Form wieder dem Reaktor zugeführt werden. Damit werden nicht nur Abgas- bzw. Abwasseremissionen oder Abfälle vermieden, sondern es wird auch die Stoffausbeute erhöht. Auf Grund der stark gestiegenen Entsorgungskosten sind die geschilderten Wege der Rückführung von Emissionen oder Rückständen vielfach auch wirtschaftlich interessant. Das Idealbild eines geschlossenen Systems ohne Emissionen und mit völliger Kreislaufführung ist jedoch nur in den seltensten Fällen realisierbar, da beispielsweise bei der Reinigung oder Regeneration von Hilfsstoffen meist wiederum Abfälle entstehen, deren Menge aber verglichen mit der rückgeführten Menge gering ist.

Die Verwertungskaskade, d. h. die Nutzung von Produktionsrückständen in nachgelagerten Prozessen im direkten Produktionsverbund oder auch in anderen Branchen, kann ebenfalls zu spürbaren Verringerungen von Stoffflüssen führen. Der Begriff Kaskade deutet an, dass diese Verwertung in aller Regel auf einem qualitativ oder energetisch niedrigeren Niveau stattfindet.

Für Stoffkreisläufe und Verwertungskaskaden in der Produktion gibt es bereits aus der Vergangenheit eine Vielzahl von Beispielen, die auch wirtschaftlich interessante Lösungen darstellen. So resultiert der reduzierte Wasserbedarf der Industrie zu einem beträchtlichen Teil aus der Wiederverwendung von Kühl- oder Abwasser im gleichen oder in anderen Prozessen im Sinne einer Kreislaufführung oder einer Kaskadennutzung. Auch im Bereich der Chemischen Industrie gibt es sowohl Beispiele für echte Stoffkreisläufe als auch für Verwertungskaskaden. Als weitere Beispiele für Stoffkreisläufe sind das Lösemittelrecycling bei der Lackierung und in Reinigungsanlagen, Recyclingverfahren in der Galvanik und die Regenerierung industriell eingesetzter Katalysatoren zu nennen.

Insbesondere aus abfallpolitischer Sicht hat sich in den letzten Jahren der Druck erhöht, eine weitergehende Schließung von Stoffkreisläufen durch die Rückführung von gebrauchten Produkten in den Produktionsprozess herbeizuführen. Ziel ist es, die stoffliche Verwertung von Abfällen zu erhöhen. Hierbei gibt es bereits zahlreiche Produkte, für die sich ein Recycling etabliert hat. Zu erwähnen sind u. a. die Schrottverwendung in der Stahlerzeugung, Sekundäraluminium, Glasrecycling und Recyclingpapier. Dieser Ansatz wird zurzeit bei weiteren Produkten - z. B. Verpackungsmaterial, Elektronikschrott, Batterien, Altfahrzeuge, Kunststoffe - verfolgt.

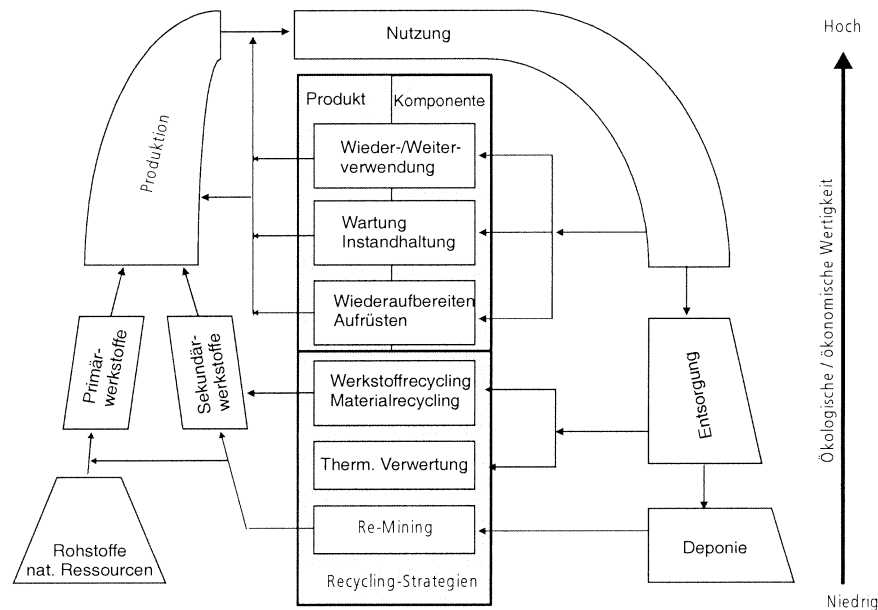
Durch den wachsenden politischen Druck zur Verwertung verbrauchter Produkte ist zu erwarten, dass verstärkt leistungsfähige und kostengünstige Technologien für die Materialtrennung bei komplexen technischen Produkten entwickelt werden. Die Wirtschaftlichkeit der Verwertung wird einerseits vom Aufwand für die Erzeugung eines Sekundärproduktes bestimmt, andererseits vom Wert der substituierten Primärprodukte. Da der Aufwand für die Erzeugung des Sekundärproduktes sehr stark von den für eine Substitution von Primärprodukten erforderlichen Anforderungen abhängt, müssen die geforderten Spezifikationen für Sekundärprodukte genau geprüft werden, um überhöhte Anforderungen zu vermeiden. Auf der anderen Seite müssen zur Verbesserung der Verwertungschancen die erforderlichen Qualitätsstandards festgelegt und die notwendige Qualitätssicherung auch gewährleistet werden.

Um eine möglichst hohe Verwertungsquote zu erreichen, sind auch zahlreiche Anforderungen an die Produktgestaltung zu erfüllen. Damit bestehen zahlreiche Überschneidungen zur Strategie von umweltfreundlichen Produkten, die u. a. auf die Wiederverwendung des Produktes oder von Komponenten hiervon abzielen. Ein wesentlicher Unterschied hierzu liegt aber in der Wertigkeit der zurückgeführten Materialströme (vgl. Abb. 2-1). Das stoffliche Recycling ist i. d. R. nicht nur energie- und auch transportaufwendig, sondern führt darüber hinaus meist zu qualitativ minderwertigen Sekundärrohstoffen mit verminderten Einsatzmöglichkeiten (Problem des Downcycling).

Beim **innerbetrieblichen Recycling** finden die technologischen Veränderungen im unmittelbaren Umfeld des emittierenden Betriebes statt, und entsprechend ist eine direkte Zurechnung von Investition und Umweltentlastung möglich. Beim **zwischenbetrieblichen Recycling** ist hingegen bereits ein Produktionsverbund zu betrachten, so dass die Zurechenbarkeit von Investitionen und Umweltentlastungen bereits schwerer fällt. Kennzeichen des **Produktrecyclings** ist es, dass es tendenziell zu *Veränderungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette* kommt. Denn die Erfassung der verbrauchten Produkte erfordert technische oder organisatorische Änderungen bis hin zu den Endverbrauchern. Auch die Umweltentlastung fällt bei unterschiedlichen Emittenten an: Einerseits kommt es zu einer Reduktion der zu entsorgenden Abfallmengen der Verbraucher, andererseits wird eine Reduktion der Umweltbelastung u. a. dadurch erreicht, dass die Wiederverwendung der rezyklierten Stoffe bzw. Produkte zur Vermeidung ihrer Neuproduktion führt. Insbesondere bei der Rückführung von gebrauchten Produkten der Grundstoffindustrie sind diese Aspekte ganz entscheidend für die Reduktion der Umweltbelastung durch Recyclingstrategien.

Die auf unterschiedlichen Stufen von Wertschöpfungsketten ausgelösten technologischen Veränderungen sind mit einem höheren Abstimmungsbedarf verbunden. Innerhalb der betroffenen Betriebe entsteht Anpassungsbedarf nicht nur bei der Produktion, sondern auch bei der Beschaffung der Einsatzstoffe. Zudem erfordert ein zwischenbetriebliches Recycling bereits die Abstimmung der Produktion unterschiedlicher Betriebe und ist entsprechend mit höheren Risiken verbunden. Die Rückführung gebrauchter Produkte erfordert ein inverses Logistiksystem sowie die Kooperation der Konsumenten bei der Erfassung der gebrauchten Produkte. Diesen erhöhten Anforderungen steht die wirtschaftliche Chance gegenüber, durch das Recycling Kosten einzusparen. Dies gilt zum einen hinsichtlich der Entsorgungskosten, die durch die Wiederverwendung der Hilfsstoffe bzw. der Produkte vermieden werden. Zum anderen kann es aber auch zur Verminderung von Materialkosten kommen, falls die Kosten der Rückführung gebrauchter Produkte geringer sind als diejenigen einer Neuproduktion vergleichbarer Einsatzstoffe.

Abbildung 2-1: Produkttechnische Strategien im Kreislauf



Quelle: Hiessl et. al. 1995, S. 92

2.4 Umweltfreundliche Produkte

Die Strategie umweltfreundlicher Produkte dehnt den Vorsorgeaspekt von der Produktionssphäre auf die Produkte selbst aus. Ausgangspunkt hierfür ist die Erkenntnis, dass es nicht nur die Produktionsprozesse, sondern deren Produkte - die einzelnen Wirtschaftsgüter - sind, die einen Großteil des Ressourcenverbrauchs ausmachen und zu ganz erheblichen Emissionen in die Atmosphäre (z. B. Lösemittel), in Oberflächengewässer und ins Grundwasser (z. B. Waschmittel, Pestizide) und zu kritischen Abfällen führen. Kernforderung dieser Strategie ist es daher, bereits beim Design der Produkte und der *Gestaltung neuer Produktkonzepte* auf deren **ökologische Verträglichkeit** zu achten. Hierbei können mehrere Teilstrategien mit unterschiedlichen Anpassungserfordernissen unterschieden werden:

- Ein ökologisches Design kann die Verbesserung der Wiederverwendbarkeit und Rezyklierbarkeit der Produkte zum Ziel haben, um die oben beschriebene Recyclingstrategie zu unterstützen bzw. kann auch an den Inhaltsstoffen der Produkte ansetzen (weitgehender Verzicht auf Schadstoffe).
- Ziel der Produktgestaltung kann auch die effizientere bzw. umweltfreundlichere Nutzung des Produktes sein.

- Schließlich kann das Ziel auch darin bestehen, die Nutzungs- und Lebensdauer der Produkte oder zumindest von Produktkomponenten zu erhöhen, was z. T. zu völlig neuen Produktkonzeptionen führen kann.

Um eine wirkliche Umweltentlastung zu erreichen, darf das Design der Produkte nicht isoliert betrachtet werden, sondern ist es erforderlich, den gesamten Lebenszyklus des Produktes von den einzelnen Vorleistungen über die Produktion und Nutzung bis hin zur Entsorgung zu analysieren. Entsprechend korrespondiert die Herausbildung der Strategie umweltfreundlicher Produkte mit der Entwicklung von Analyseinstrumentarien wie produktbezogenen Ökobilanzen, die die Analyse der Umweltwirkungen über den gesamten Lebensweg von Produkten zum Ziel haben.

Aus der konsequenten Beachtung der Forderung nach verbesserter Verwertbarkeit der Produkte ergeben sich vielfältige neue technologische Anforderungen. So muss die gesamte Fertigungstechnologie nicht nur im Hinblick auf die Produktion, sondern auch auf die nach Beendigung der Lebensdauer notwendige Entsorgung des Produktes hin optimiert werden, um z. B. die Wiederverwendung oder das Recycling einzelner Bestandteile des Produktes zu erleichtern.

Die Erfüllung dieser technologischen Anforderungen lässt auch gravierende Auswirkungen auf die betriebliche Organisation und die anzuwendenden Entscheidungskriterien erwarten. So darf sich die Auswahl von Werkstoffen und Hilfsstoffen nicht mehr nur an den Produktionskosten und den funktionellen Erfordernissen des Produktes orientieren, sondern muss die ökologische Dimension beinhalten. Darüber hinaus ist die Beschaffung auf den Einsatz umweltfreundlicher Vorleistungen auszurichten und steht das Marketing vor der Herausforderung, den Absatz der umweltfreundlichen Produktalternativen zu sichern.

Die Teilstrategie der **Lebensdauererlängerung** von Produkten wird im Unterschied zu den ersten beiden Teilstrategien noch vergleichsweise wenig thematisiert. Allerdings zeigt sich gerade in jüngster Zeit ein verstärktes Interesse an Ansätzen zur Gestaltung der Nutzung und Lebensdauer von Produkten und an neuen Produktkonzeptionen. Sie eröffnen die Möglichkeit, neuartige Gebrauchsgüter in den Markt einzuführen oder durch neue **Nutzungsformen** von Gebrauchsgütern (z. B. Verkauf von Nutzen anstatt von Produkten) neue Marktchancen zu eröffnen. Aus der Frage nach dem Nutzen von Gebrauchsgütern ergeben sich Konsequenzen für die Art der Nutzung (Kauf, Miete, Leasing, Nutzungsgemeinschaften, öffentliches Angebot der Nutzung) und die dadurch bedingte Produktgestaltung. Eine ganzheitliche Produktpolitik verlangt flexibel reparierbare, an künftige Anforderungen und Technologien anpassbare Komponenten, Produkte und Systeme, welche untereinander austauschbar sind, damit der technische Fortschritt laufend, z. B. durch Komponentenaustausch in bestehenden Systemen, integriert werden kann, ohne dass in fortschrittsverzögernder Weise der nächste turnusmäßige (Gesamt-) Systemaustausch abgewartet werden muss.

Gemeinsam ist all diesen Ideen der Übergang von einem linearen Produktions-/Konsum-/Abfallablauf zu einer Strategie von Nutzungsschleifen. Im Hinblick auf die Produktionstechnik bedeutet dies die Schließung von materiellen Kreisläufen auf möglichst hoher Wertstufe (vgl. Abb. 2-1), wobei die Strategien auf Produkt-, Komponenten- wie auch auf Werkstoffebene ansetzen können. Dafür stehen verschiedene Wege wie Modulbauweise mit Auswechslung einzelner, kompatibler Komponenten, Langzeitgüter, Verlängerung der Nutzungsdauer durch Wiederverwendung, Reparatur, Wiederinstandsetzung und die technologische Hochrüstung von Produkten zur Verfügung.

Aber auch im Hinblick auf die Verbraucher von Produkten sind neue, nicht-materielle Strategien notwendig. Von ihnen wird z. T. ein veränderter Nutzungsbegriff gefordert, der der gemeinschaftlichen Nutzung von (dafür geeigneten) Produkten den Vorrang vor individueller Nutzung einräumt (geteilte oder Mehrfachnutzung). Damit verbunden ist eine veränderte Perzeption von „Wohlstand“, die nicht wie bisher den Produktbesitz (und damit verbunden den Verkauf von Produkten), sondern vielmehr den Produktnutzen (und damit den Verkauf des Produktnutzens) in den Vordergrund rückt.

Mit umweltfreundlichen Produktkonzepten lassen sich völlig neue unternehmerische Innovationsstrategien verwirklichen. Diese enthalten vielfältige Zielsetzungen wie Kosteneinsparung, Qualitätsverbesserung, neue Geschäftsfelder sowie Produkt- und Dienstleistungsangebote und sind gleichzeitig mit dem Ziel umweltgerechten Wirtschaftens kompatibel (vgl. Fleig et. al. 2000). Zum Teil erklären sich diese Verhaltensweisen aus Besonderheiten des Marktes (wie kostenträchtige Investitionsgüter, hohe Sicherheitsauflagen, Marktmacht der Nachfrager, hohe Markttransparenz im Fall der Flugzeugindustrie), aber auch aus spezifischen unternehmensstrategischen Ansätzen.

Insgesamt ist die Strategie umweltfreundlicher Produkte und Produktkonzepte hinsichtlich Ort der Vornahme der Verbesserung bzw. der Umweltentlastung ähnlich zu beurteilen wie die Recyclingstrategien: In beiden Fällen herrschen Tendenzen vor, die zu einer Verteilung der Aktivitäten und erreichbaren Umwelteffekte entlang der gesamten Wertschöpfungskette beitragen. Damit ist die Zurechnung von umweltfreundlicher Aktivität bzw. Investition und beobachtbarer Umweltentlastung nicht mehr unmittelbar gegeben. Darüber hinaus kann bei neuen Produktstrategien wie einer Lebensdauerverlängerung - eventuell verbunden mit einer Nutzungsintensivierung - auch ein neues Selbstverständnis des Unternehmens gefordert sein. So erfordert z. B. ein Produktkonzept, das auf eine längere Lebensdauer und eine Nutzungsintensivierung setzt, von dem durchführenden Unternehmen eine Hinwendung zu dienstleistungsähnlichen Tätigkeiten, um die intensivere Wartung und die evtl. notwendig werdende technologische Nachrüstung mit neu entwickelten Produktteilen zu organisieren oder um als Betreiber der eingesetzten Produkte die

für eine Nutzungsintensivierung notwendigen neuen Eigentumsformen (Miete statt Kauf) zu ermöglichen. Hierbei ist gerade bei neuen Produktkonzeptionen die Akzeptanz der Verbraucher ein entscheidender Engpassfaktor. Damit wird deutlich, dass die Strategie des produktintegrierten Umweltschutzes zu ganz massiven Anpassungserfordernissen nicht nur bei den Produzenten, sondern auch den Konsumenten führen kann.

Tabelle 2-1: Klassifizierung technologischer und organisatorischer Maßnahmen in idealtypische Umweltschutzstrategien

	End-of-pipe	Umweltfreundliche Produktionsverfahren			Recycling von Produktionsrückständen und Produkten		umweltfreundliche Produkte und Produktkonzepte	
		Nebenanlagen	Hauptanlagen	Produktionsrückstände	Verwertung von Produkten	Produktgestaltung	neue Produktkonzepte	
Technologische Beschreibung der Strategie	Additiver Einsatz von Umwelttechnologien zur Reinigung oder Zurückhaltung von Emissionen (Filter, Kläranlagen etc.)	Ersetzung alter durch neue Technologie im Produktionsprozess	Ersetzung alter durch neue Technologie im Produktionsprozess	Rückführung von Produktionsrückständen in den Produktionsprozess	Rückführung von Produkten in den Produktionsprozess	Steigerung der Effizienz bzw. Reduktion der Umweltbelastung bei der Nutzung der Produkte; Verzicht auf gefährliche Inhaltsstoffe	Lebensdauerverlängerung; Nutzungsintensivierung; neue Produkte	
Umweltentlastung	technologische Änderungen im unmittelbaren Umfeld; Reduktion Umweltbelastung beim Anwender der Technologie	technologische Änderungen im unmittelbaren Umfeld; Reduktion Umweltbelastung beim Anwender der Technologie	technologische Änderungen im unmittelbaren Umfeld; Reduktion Umweltbelastung beim Anwender der Technologie	technologische Änderungen im (un-) mittelbaren Umfeld; Reduktion Umweltbelastung v. a. beim Anwender der Technologie	technologische Änderungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette; Reduktion Umweltbelastung durch Vermin- derung vorgelagerter Produktion und Abfall- reduktion nachgelagerter Bereiche	technologische Änderung bei Design/ Herstellung des Produkts; Reduktion Umweltbelastung beim Nutzer des Produkts; Verminderung von Vor- leistungen (z. B. Energie) zur Nutzung des Produktes	Verbesserungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, evtl. einschl. Benutzerverhalten; Vermeidung von Produktion in vorgelagerten Bereichen; Reduktion Umweltbelastung v. a. in vor- und nachgelagerten Produktionsbereichen	
Anpassungsbedarf	i. d. R. keine Änderungen beim eigentlichen Produktionsprozess	Umstellungen v. a. bei Nebenanlagen erforderlich, denen geringere Priorität bei der Modernisierung eingeräumt wird	Umstellungen v. a. im Produktionsbereich des Unternehmens erforderlich (neue Technologie muss Funktionen der alten erfüllen)	Umstellungen u. a. im Produktionsbereich des Unternehmens erforderlich; Abstimmungsbedarf bei zwischenbetrieblichem Recycling	Anpassungsbedarf nicht nur bei Produktion, sondern auch Beschaffung und Absatz; inverses Logistiksystem; Abstimmungsbedarfs steigt	Umstellungen u. a. bei den Kriterien zur Produktgestaltung; Veränderungen im Produktionsprozess erforderlich	Anpassungsbedarf in nahezu allen Unternehmensbereichen; Neues Selbstverständnis des Unternehmens erforderlich; Akzeptanz der Verbraucher erforderlich	

3 Wirkungsmechanismen und Hypothesen zu den ökonomischen Wirkungen von Umweltschutzstrategien

3.1 Wirkungsmechanismen

Maßnahmen zur Reduktion der Umweltbelastung lösen vielfältige Anpassungsreaktionen bei den einzelnen Unternehmen und privaten Haushalten aus. Durch die Summe dieser Anpassungsreaktionen und die hierdurch wiederum ausgelösten Folgewirkungen kommt es dann zu Veränderungen der Wirtschaftsstrukturen und der gesamtwirtschaftlichen Zielgrößen. In diesem Abschnitt wird der Frage nachgegangen, auf Grund welcher volkswirtschaftlicher Zusammenhänge der Einsatz von Umweltschutzstrategien zu Veränderungen der gesamtwirtschaftlichen Größen, vor allem der Beschäftigung, sowie der Wirtschaftsstrukturen und der betrieblichen Arbeitsstrukturen führen kann. Diese volkswirtschaftlichen Zusammenhänge werden als Wirkungsmechanismen bezeichnet. Sie sind verantwortlich dafür, dass umweltpolitische Maßnahmen positive oder negative Impulse bewirken.

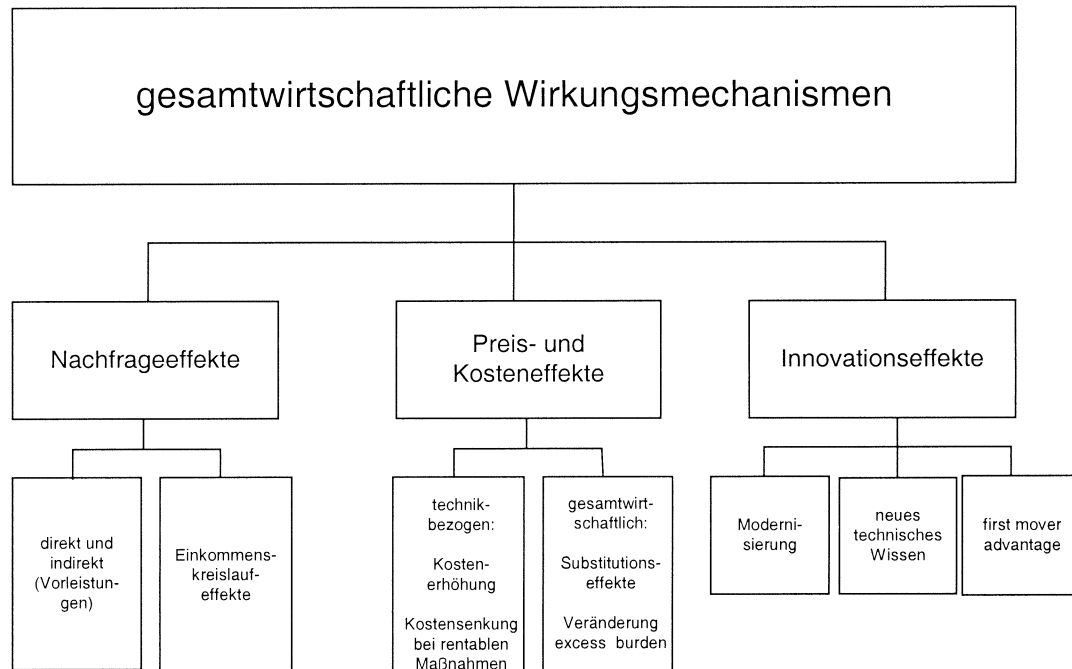
3.1.1 Gesamtwirtschaftliche Beschäftigungswirkungen

Unter den gesamtwirtschaftlichen Zielgrößen kommt den Veränderungen des Inlandsprodukts als Maß für wirtschaftliches Wachstum und der Anzahl der Arbeitsplätze besondere Bedeutung zu. Hierbei ist zu beachten, dass es mehrere Wirkungsmechanismen gibt, die jeweils unterschiedliche Theorieansätze widerspiegeln. Drei große Klassen von Effekten können unterschieden werden (vgl. Abbildung 3-1):

- Preis- und Kosteneffekte,
- Innovationseffekte sowie
- Nachfrageeffekte.

Die Gesamtwirkung auf die Beschäftigung und die Produktion ergibt sich aus dem Zusammenspiel der unterschiedlichen Wirkungsmechanismen. Es ist daher nicht möglich, die gesamtwirtschaftlichen Effekte aus einer isolierten Betrachtung weniger Teileffekte abzuleiten, zumal zahlreiche Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Wirkungsmechanismen bestehen.

Abbildung 3-1: Überblick über die Wirkungsmechanismen von Umweltschutzstrategien auf die Volkswirtschaft



3.1.1.1 Preis- und Kosteneffekte

Die Preis- und Kosteneffekte stehen im Vordergrund der neoklassischen Theorie. Hierbei werden in der allgemeinen volkswirtschaftlichen Diskussion als die wesentlichen Kostenfaktoren u. a. die Kosten für Arbeit (Lohnkosten) oder für die Bereitstellung von Kapital thematisiert. Nach der neoklassischen Theorie führt eine Erhöhung der Kostenbelastung der Volkswirtschaft durch Umweltschutzmaßnahmen zu negativen Effekten, die durch die im internationalen Preiswettbewerb verschlechterte Wettbewerbssituation noch verstärkt werden (vgl. Lintz 1992). Die Vollbeschäftigung bleibt allerdings erhalten, wenn es zu einer Kompensation dieser Kostensteigerung, z. B. durch Reduktion der Reallöhne, kommt. Werden durch Umweltschutzmaßnahmen hingegen Kostenreduktionen bewirkt, kommt es zu einer Steigerung von Produktion und Beschäftigung und einer Verbesserung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit.

Aus dieser Argumentation wird deutlich, dass es im Rahmen der Neoklassik für die Wirkungsrichtung dieser Kosteneffekte entscheidend ist, ob die umweltpolitischen Maßnahmen zu einer Erhöhung oder Reduktion der Kostenbelastung führen. Wird durch umweltpolitische Maßnahmen ein einzelwirtschaftlich rentables Emissionsreduktionspotenzial realisiert, kommt es zu einer gesamtwirtschaftlichen Kostenentlastung und damit tendenziell zu positiven Effekten auf Beschäftigung und gesamtwirtschaftliche Produktion. Führen diese Maßnahmen hingegen zu einer Erhöhung der Kostenbelastung, sind tendenziell negative Abweichungen bezüglich gesamtwirtschaftlicher Produktion und Beschäftigung zu erwarten.

Eine spezielle Art von Kosteneffekten wird in Zusammenhang mit der Einführung einer ökologischen Steuerreform diskutiert. Hierbei werden Ausgestaltungsalternativen erörtert, in denen die ökologischen Steuern durch die Senkung anderer Abgaben kompensiert werden (Aufkommensneutralität). Da von der Erhebung nahezu jeder Steuer die *relativen* Preise der Produktionsfaktoren verändert werden, treten volkswirtschaftliche Zusatzkosten der Besteuerung auf (excess burden der Besteuerung). Diese Zusatzbelastung kann unter Umständen durch eine aufkommensneutrale Ökosteuer reduziert werden, falls letztere einen geringeren excess burden aufweist als die Steuern, die zur Kompensation der Ökosteuer gesenkt werden. Ist dies der Fall, kommt es zu einem Double-dividend-Effekt im engeren wissenschaftlichen Sinn (vgl. Schöb 1995). Allerdings ist empirisch umstritten, welche Höhe der excess burden für die einzelnen Steuerarten ausmacht. Damit bleibt unklar, in welche Richtung derartige Effekte wirken und welches Ausmaß sie einnehmen.

Wenn sich durch umweltpolitische Maßnahmen die relativen Preise zwischen den Produktionsfaktoren ändern, werden Substitutionseffekte ausgelöst. Wird etwa der Produktionsfaktor Arbeit im Verhältnis zu den anderen Produktionsfaktoren kostengünstiger – dies ist z. B. besonders bei einer Energiesteuer, deren Aufkommen zur Senkung von Abgaben auf Arbeit verwendet wird, offensichtlich – besteht ein Anreiz, mehr Arbeitskräfte zu beschäftigen und dadurch andere Produktionsfaktoren zu substituieren (Faktorsubstitutionsthese). Dadurch wird ein Beitrag zur Erreichung des Ziels der Vollbeschäftigung geleistet.

Insgesamt zeigt sich, dass die tatsächlichen Kosten- und Preiseffekte aus unterschiedlichen, z. T. gegenläufigen Teileffekten bestehen, die in ihrer Ausprägung von der betrachteten Situation abhängen. Wichtige zu berücksichtigende Parameter sind das erschließbare, einzelwirtschaftlich rentable Emissionsreduktionspotenzial und die finanzpolitische Ausgestaltung einer Ökosteuer.

3.1.1.2 Innovationseffekte

Die Verwirklichung von Umweltschutzstrategien geht i. d. R. mit dem Einsatz neuer technischer Lösungen inklusive organisatorischer und sozialer Änderungen einher. Damit stellt sich die Frage nach dem Zusammenhang zwischen Beschäftigung und

umweltpolitisch induzierten Innovationen. Beschäftigungswirkungen können auftreten, wenn sich umweltpolitische Maßnahmen auf die Qualität der Produktionsfaktoren bzw. die qualitative Wettbewerbsfähigkeit der auf dem Weltmarkt gehandelten Güter auswirken. Hierbei gibt es drei unterschiedliche *Teileffekte*, die zu berücksichtigen sind:

- Im Bereich der gewerblichen Wirtschaft können von der Diffusion von Umweltschutztechnologien Auswirkungen auf die Modernisierung des Produktionsapparates ausgehen.
- Die Umweltpolitik kann einen Beitrag zur verstärkten Generierung innovativer Lösungen leisten.
- Da insbesondere bei technologieintensiven Gütern Außenhandelserfolge nicht nur von den Preisen, sondern von der Qualität der Produkte und einer frühzeitigen Marktpräsenz abhängen, kann eine forcierte Einführung von Umwelttechniken dazu führen, dass sich die betreffenden Länder frühzeitig auf die Bereitstellung von innovativen Technologien spezialisieren und damit ihre Wettbewerbsposition stärken (First-mover-advantage).

Bei den Auswirkungen auf die *Modernisierung des Produktionsapparates* der Gesamtwirtschaft und damit auf die Produktivitätsentwicklung können unterschiedliche Wirkungsrichtungen auftreten: Wenn die Umweltschutztechniken selbst keine produktiven Wirkungen besitzen und sogar produktive Investitionen der Unternehmen verdrängen, würde durch ein derartiges „technologisches crowding out“ die Produktivitätsentwicklung gemindert. Wenn die Umweltschutztechniken hingegen selbst Bestandteil von produktiven Investitionen sind, d. h. produktivitätssteigernde Wirkung aufweisen, wäre ihr forciert Einsatz gleichbedeutend mit einem „technologischen crowding in“ und würde eine verstärkte Modernisierung der Volkswirtschaft nach sich ziehen. Welcher dieser beiden Wirkungen höheres Gewicht zukommt, hängt von der Spezifikation der betrachteten Investitionen sowie der Zinsreagibilität des Kapitalmarktes ab.

Des Weiteren ist auch zu fragen, welche Auswirkungen von einer konsequenten Umsetzung umweltpolitischer Strategien auf die Entwicklung neuer technischer Verfahren ausgehen (technischer Innovationseffekt). Eine konsequente Weichenstellung in Richtung Umweltschutz könnte erheblichen Einfluss auf das Innovationsgeschehen ausüben und damit zur *Generierung neuen technischen Wissens* beitragen. Hierdurch könnten die Kosten für die Erreichung gesetzter Umweltziele verringert sowie die Grundlagen für einen gesteigerten Export von Umweltschutztechnologien gelegt werden. Hierbei wird die Wirkung der Umweltpolitik auf die Innovationsgenerierung sehr stark davon abhängen, inwieweit ein Einbezug des Umweltschutzes in das traditionelle Zielsystem der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten erfolgen wird.

Neben der preislichen Wettbewerbsfähigkeit, die durch die Kosteneffekte beeinflusst wird, werden Außenhandelserfolge auch durch den *Qualitätswettbewerb* bestimmt. Insbesondere bei technologieintensiven Gütern hängen hohe Marktanteile von der Innovationsfähigkeit einer Volkswirtschaft und der frühzeitigen Marktpresenz ab (First-mover-advantage). Eine forcierte nationale Strategie zur Verbesserung der rationellen Energieanwendung bewirkt tendenziell, dass sich die betreffenden Länder frühzeitig auf die Bereitstellung der hierzu erforderlichen Güter spezialisieren. Bei einer nachfolgenden Ausweitung der internationalen Nachfrage nach diesen Gütern sind diese Länder dann auf Grund ihrer frühzeitigen Spezialisierung in der Lage, sich im internationalen Wettbewerb durchzusetzen. (vgl. Bhagwati 1982; Blümle 1994; Porter/van der Linde 1995).

3.1.1.3 Nachfrageeffekte

Die *Nachfrageeffekte* stehen im Zentrum des keynesianischen Unterbeschäftigungsmodells, in dem ein wesentlicher Grund für eine Unterbeschäftigung eine zu geringe gesamtwirtschaftliche Nachfrage ist. Kommt es durch die umweltpolitischen Strategien zu einer Erhöhung der effektiven Gesamtnachfrage nach Gütern, sind insgesamt positive Wachstums- und Beschäftigungseffekte zu erwarten.

Bei den Auswirkungen der Maßnahmen auf die Gesamtnachfrage dürfen nicht nur die *direkten Nachfrageeffekte* berücksichtigt werden, sondern müssen auch die *indirekten Effekte* mit einbezogen werden. Sie entstehen, da zur Bereitstellung der jeweiligen Nachfrage zahlreiche Vorleistungen aus anderen Branchen notwendig sind. Gesamtwirtschaftlich bedeutende Unterschiede in der Gesamtnachfrage können verstärkt werden, wenn die Umweltschutzstrategien zu Änderungen in den importierten Güterströmen führen. Zusätzlich kann – speziell im Hinblick auf die Beschäftigungswirkung – als weiterer Teileffekt zum Tragen kommen, dass die durch die Umweltschutzstrategien begünstigten Nachfragebereiche eine deutlich ausgeprägte unterschiedliche Arbeitsintensität aufweisen.

Die direkten und indirekten Nachfrageeffekte berücksichtigen nicht die – im Zentrum einer makroökonomischen Analyse stehenden – Einkommenskreislaufeffekte wie z. B. Veränderungen im Spar- und Investitionsverhalten, induzierte Zinsänderungen oder Änderungen in der Erwartungsbildung. Sind derartige Effekte zu erwarten, muss zur Analyse ein makroökonomisches Modell herangezogen werden. Hierbei ist dann jeweils zu beachten, dass sich entsprechend den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen – z. B. Reaktionen der Bundesbank oder verändertes Verhalten der Tarifparteien – unterschiedliche Wirkungen ergeben können.

3.1.1.4 Kombination der Wirkungsmechanismen bei der Einführung neuer Technologien

Bei der Betrachtung der unterschiedlichen Wirkungsmechanismen ist insgesamt festzuhalten, dass sich die Gesamtwirkung aus dem Zusammenspiel der unterschiedlichen Wirkungsmechanismen ergibt und nicht aus der isolierten Betrachtung einzelner Teileffekte abgeleitet werden kann. Insbesondere im Zusammenhang mit der Einführung neuer Technologien werden in der Literatur eine ganze Reihe von Effekten thematisiert, die durch neue Technologien ausgelöst werden und aus einer Kombination unterschiedlicher Wirkungsmechanismen resultieren, die auf mesoökonomischer Ebene wirksam werden (vgl. Hagemann 1985, Klauder 1986, Mettel-siefen/Barens 1987, Blattner 1996 sowie Meyer-Krahmer 1999). Sie sind auch für den Einsatz von Umweltschutzstrategien von erheblicher Bedeutung, die ebenfalls durch den Einsatz neuer Techniken gekennzeichnet sind.

Kommt es zu einer Produktivitätssteigerung, ist die im Zusammenhang mit Prozessinnovationen diskutierte *Freisetzungshypothese* von Bedeutung, die die Rationalisierungseffekte von neuen Technologien in den Vordergrund stellt. Sie besagt, dass bei konstantem Niveau und konstanter Struktur des Outputs technischer Wandel primär die Arbeitsproduktivität erhöht und damit arbeitssparend wirkt. Auf Grund einer derartigen „Produktions-/Produktivitätsschere“ verringert sich dann die Zahl der Arbeitsplätze.

Gleichzeitig werden in der Literatur eine Reihe von Effekten diskutiert, die als Kompensation der oben angeführten Freisetzungshypothese zu einer Erhöhung der Nachfrage führen können und damit die Annahme eines konstanten Niveaus des Outputs in Frage stellen:

- Effizientere Produktionsverfahren, die z. B. die Arbeitsproduktivität steigern und damit Freisetzungseffekte herbeiführen, senken gleichzeitig die Kosten. Diese Effizienzgewinne können in Form geringerer Preise oder erhöhter Gewinn- bzw. Lohneinkommen *Real-Einkommenseffekte* hervorrufen. Im Ergebnis führen also die Kreislaufzusammenhänge dazu, dass die Nachfrage erhöht und damit beschäftigungsschaffende Effekte induziert werden.
- Produktinnovationen stiften den Konsumenten mehr Nutzen, wenn die Merkmalstruktur der neuen Güter den Präferenzen der Konsumenten besser entspricht, d. h. also pro Geldeinheit im Vergleich zu den alten Gütern ein Zusatznutzen realisiert werden kann. Wenn *Produktinnovationen* auf diesem Wege dazu beitragen, die Sättigungsgrenzen hinauszuschieben, können sie die Endnachfrage erweitern und damit beschäftigungssteigernd wirken. Allerdings gilt diese Argumentation nur bei additiven oder komplementären Produktinnovationen, nicht aber bei substitutiven, bei denen der Nachfragerückgang nach alten Gütern zu berücksichtigen ist.

- Die eine Produktivitätssteigerung im Produktionsprozess bewirkenden neuen Technologien müssen ihrerseits erst einmal hergestellt werden. Nach dem sogenannten *Maschinenherstellungsargument* stehen daher den Freisetzungen von Arbeitskräften in den Anwenderbetrieben positive Effekte bei den Herstellern und ihren Vorlieferanten gegenüber.
- Wie in den vorigen Abschnitten ausgeführt, kann es durch den technischen Wandel zu einer Steigerung der *internationalen Wettbewerbsfähigkeit* kommen, wenn die Preise gesenkt oder neue Qualitäten angeboten werden können. Beide Effekte führen im Ergebnis dazu, dass sich der Saldo aus Export- und Importnachfrage erhöht und damit positive Wirkungen auf die Beschäftigung erzielt werden.

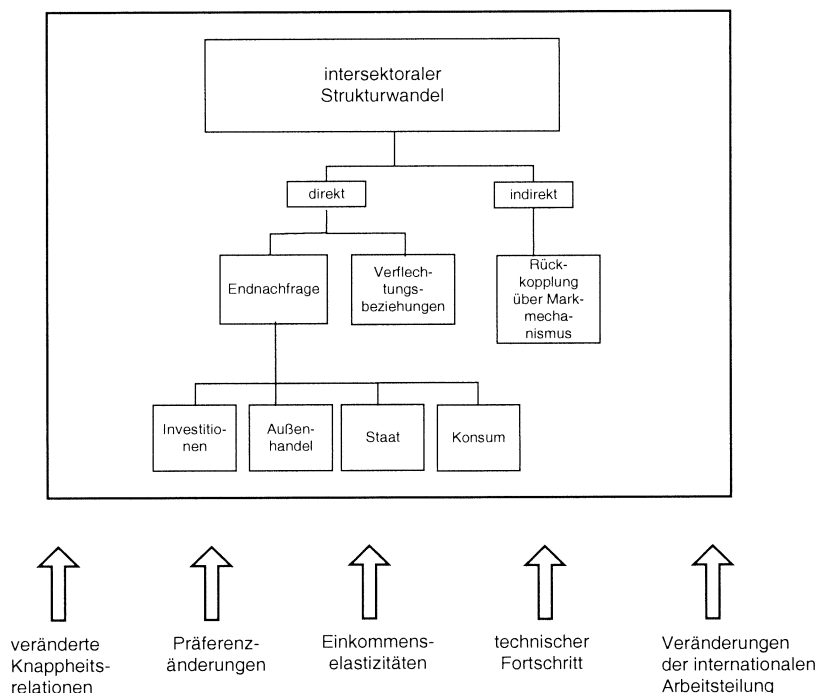
Wie erwähnt, gilt die Freisetzungsthese in ihrer einfachen Form nur unter der Annahme einer konstanten Struktur des Outputs. Wenn der Einsatz neuer Technologien auch die sektorale Verteilung der Wirtschaftsaktivitäten verändert, kann diese Annahme nicht mehr aufrecht erhalten werden. Werden durch den ausgelösten sektoralen Strukturwandel *arbeitsintensive Branchen* begünstigt, kann es zu einer Abschwächung oder sogar Überkompensation der Freisetzungshypothese kommen. Umgekehrt wird der Freisetzungseffekt noch verstärkt, wenn Branchen mit einer geringen Arbeitsintensität begünstigt werden. Schließlich kann der ausgelöste sektorale Strukturwandel auch zu einer Änderung der Inlandsnachfrage führen. Werden verstärkt Produktionsbereiche mit hohen *Importanteilen* begünstigt, kommt es tendenziell zu einem Abfluss der Nachfrage ins Ausland. Werden umgekehrt Produktionsbereiche begünstigt, die durch geringe Importanteile gekennzeichnet sind, kommt es zu einer Importsubstitution und damit einem Anstieg der Inlandsnachfrage.

3.1.2 Strukturwandel

Strukturwandel äußert sich in Veränderungen der Anteile der Wirtschaftsbranchen am gesamtwirtschaftlichen Produktionsergebnis und kann durch ökonomische Kenngrößen wie Anteile am Bruttoproduktionswert, an der Bruttowertschöpfung oder an den Beschäftigten gemessen werden. Hierbei läuft der Prozess dieser **sektoralen Strukturänderungen** kontinuierlich ab. So gewinnt seit vielen Jahren der Dienstleistungsbereich an Bedeutung. Auch innerhalb des Produzierenden Gewerbes verändern sich die Anteile der einzelnen Wirtschaftszweige. Hierbei sind nicht nur unterschiedlich hohe Wachstumsraten zwischen den Branchen zu beobachten, sondern auch Branchen, die absolut an Produktion und Beschäftigung verlieren. In dem Ausmaß, in dem sich die räumliche Verteilung und die Qualifikationserfordernisse zwischen den Branchen unterscheiden, zieht ein sektoraler Strukturwandel auch indirekte Effekte hinsichtlich der regionalen Strukturen und der Arbeitsstrukturen nach sich.

Die Gründe für die Veränderungen der sektoralen Zusammensetzung sind vielfältig (vgl. Knottenbauer 2000). Zum einen wird die Bedeutung der einzelnen Branchen durch die *Endnachfrage nach Gütern* bestimmt. Entsprechend schlagen sich Änderungen in der Struktur der Endnachfrage als Änderungen in der Sektorstruktur nieder. Zum anderen wird die Bedeutung einzelner Sektoren auch dadurch bestimmt, in welchem Umfang sie *Vorprodukte an andere Produktionsbereiche* liefern (z. B. Stahlerzeugnisse an die Automobilindustrie). Unterteilt man die Volkswirtschaft entsprechend dieser Systematik in die Endnachfrage einerseits und den Produzierenden Bereich andererseits, so lassen sich die Auslöser für Struktureffekte in beiden Bereichen lokalisieren (vgl. Abbildung 3-2). Gleichzeitig ist zu bedenken, dass sich auch indirekte Effekte auf die sektorale Verteilung der Wirtschaftsaktivitäten dadurch ergeben, dass sich die ursprünglich angestoßenen Veränderungen in den relativen Preisen niederschlagen und es dadurch zu Rückkopplungen auf die Sektorstruktur kommt.

Abbildung 3-2: Dimensionen und Determinanten des sektoralen Strukturwandels



Der Bereich der Endnachfrage setzt sich im Wesentlichen aus den Aggregaten Privater Konsum, Staatsverbrauch, Investitionen und Export zusammen und bezieht Güter aus dem Produzierenden Bereich zur letzten Verwendung. Veränderungen in der Struktur der nachgefragten Güter können zum einen auftreten, weil es zu Verschiebungen in der Bedeutung der Nachfrageaggregate kommt. Beispiele hierfür sind ein im Zeitablauf ansteigender Anteil des Staatsverbrauchs oder eine Erhöhung der volkswirtschaftlichen Investitionsquote bei gleichzeitiger Zurückdrängung des

privaten Konsums. Zum anderen kann es auch zu Veränderungen innerhalb einzelner Aggregate kommen. Auslöser hierfür können sein:

- Veränderung in den Präferenzen der Konsumenten,
- unterschiedliche Einkommenselastizitäten der nachgefragten Güter, die bei steigendem Einkommen die Bedeutung der superioren Güter erhöhen,
- veränderte Knappheitsrelationen (z. B. Änderungen in der Verfügbarkeit von Produktionsfaktoren, Bevölkerungswachstum bewirken Änderungen der relativen Preise und lösen damit wiederum Nachfrageänderungen aus),
- Angebot vollkommen neuer Güter auf Grund technischen Fortschritts,
- neue Produktionsverfahren, die nicht in den traditionellen Investitionsgütersektoren hergestellt werden,
- Veränderungen in der internationalen Wettbewerbsfähigkeit zwischen den nachgefragten Gütern, die zu Veränderungen in der internationalen Arbeitsteilung führen und entsprechend den nationalen Spezialisierungsmustern auf die inländische Sektorstruktur einwirken, sowie
- Veränderungen in der ausländischen Nachfrage (z. B. konjunkturelle Einflüsse), die unmittelbar die exportintensiven Branchen treffen.

Die Verflechtungsbeziehungen innerhalb des Produzierenden Bereichs verändern sich ebenfalls im Zeitablauf, da der technische Fortschritt oder veränderte Preisstrukturen alternativer Vorleistungen zu anderen Vorleistungsstrukturen der Sektoren führen können. Darüber hinaus wirken sich die auf der Endnachfrageebene angestoßenen Strukturveränderungen auch auf der Vorleistungsebene aus. Denn wenn es zu Änderungen bei der Endnachfrage nach einem Gut kommt, verändern sich ceteris paribus die zur Produktion dieses Gutes erforderlichen Vorleistungen in die gleiche Richtung. Die eintretenden Strukturverschiebungen können also wiederum selbst Strukturverschiebungen nach sich ziehen.

Eine Veränderung der **räumlichen Strukturen** durch unterschiedliche Umweltschutzstrategien kann sich dadurch einstellen, dass auf der Anwender- oder Herstellerseite Anpassungsreaktionen ausgelöst werden, die Veränderungen in der regionalen Verteilung der wirtschaftlichen Aktivitäten nach sich ziehen. Durch Umweltschutzstrategien werden verschiedene Substitutionsprozesse bei Vor-, Zwischen- und Endprodukten oder bei Produktionsverfahren ausgelöst, und unter Umständen werden sogar völlig neue Produkte und Verfahren entwickelt. Als mögliche Folgen ergeben sich neue Produktionsstrukturen, eine Umorganisation der Produktionsverflechtungen, Marktaus- und Markteintritte oder Betriebsumstellungen.

Regionale Verschiebungen können sich durch Stilllegung, Vergrößerung, Verkleinerung oder Auslagerung bestehender Betriebe oder Betriebsteile bzw. durch Hinzukommen neuer Betriebe ergeben. Eine bestimmte Umweltstrategie kann zur Ein-

stellung der Produktion bestimmter Güter oder Verfahren führen, sei es dadurch, dass ihre Funktion nicht mehr benötigt wird oder dass sie durch andere Güter oder Verfahren ersetzt werden, die nicht in der „alten“ Produktionsstätte hergestellt werden. Ebenso kann es zur Ausdehnung der Produktion und Nachfrage „umweltgerechter“ Produkte und Prozesse durch bereits existierende Betriebe kommen (z. B. Erweiterung der Produktpalette mit Öko-Haushaltsgeräten zur Marktsegmentierung). Regionale Verschiebungen können sich außerdem dadurch ergeben, dass auf Grund von Umweltschutzstrategien bisher regional getrennte Produktionseinheiten desselben Unternehmens zusammengelegt oder dass bisher regional konzentrierte Einheiten räumlich separiert werden. Ebenso besteht die Möglichkeit, dass Umweltschutzstrategien zur Gründung neuer Unternehmen oder Betriebe führen. Auch dabei stellt sich die Frage, wo sich die neuen Produktionsstätten ansiedeln werden.

Daneben kann es zu räumlichen Verschiebungen durch eine Umgestaltung der betrieblichen Verflechtungsstrukturen auf der Beschaffungs- und/oder der Absatzseite kommen. Eine Änderung der Produktpalette oder der Produktionsverfahren führt unter Umständen dazu, dass ein Unternehmen seine Zulieferer wechselt, und/oder neue Absatzmärkte eröffnet, wodurch sich indirekt die regionalen Strukturen verändern können.

3.1.3 Betriebliche Arbeitsstrukturen

Die qualitativen Auswirkungen auf Beschäftigung und Arbeit können möglicherweise hohe sozialpolitische Relevanz besitzen. In diesem Fall können sie bei der Umsetzung der jeweiligen Umweltschutzstrategien nicht ignoriert werden, sondern es müssen Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt und entwickelt werden. Hierbei steht im Folgenden die Mikroebene im Vordergrund des Interesses, d. h. es wird gefragt, welche Auswirkungen auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen von einem verstärkten Einsatz von Umweltschutzstrategien in den Unternehmen ausgehen. Zusätzlich zu diesen Effekten können weitere indirekte Effekte auch daraus resultieren, dass es auf Grund der sektoralen Strukturwirkungen zu Änderungen in der Branchenverteilung kommt. In dem Ausmaß, in dem sich die unterschiedlichen Branchen hinsichtlich der betrieblichen Arbeitsstrukturen unterscheiden, kommt es dann zu weiteren indirekten Effekten.

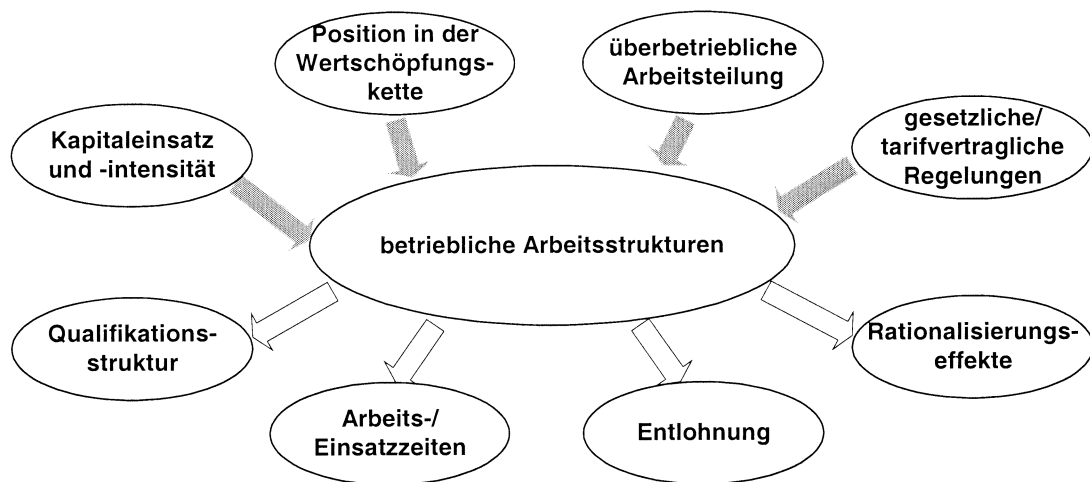
Durch die Umsetzung der vier Umweltschutzstrategien werden unterschiedliche Wirkungsmechanismen mit Auswirkungen auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen ausgelöst (siehe Abb. 3-3). Der *Kapitaleinsatz* und die *Kapitalintensität* können zur Substitution von Arbeit führen. Die Qualität der neu eingesetzten Maschinen und Verfahren können ebenfalls Rückwirkungen auf die Arbeitsbedingungen haben, z. B. durch gekapselte Prozesse veränderte Arbeitsanforderungen oder andere Arbeitszeiten auf Grund der Umstellung von Los- auf Prozessfertigung.

Die Umweltschutzstrategien betreffen einzelne Produktionsbetriebe nicht in gleichem Maße. Je nach dem, ob es sich um Zulieferer, Systemzulieferer oder Endproduzenten handelt, sind die Wirkungen gegebenenfalls in Abhängigkeit von der *Stellung in der Wertschöpfungskette* zu bewerten. In ähnlichem Zusammenhang ist die erforderliche Neuorganisation der Wertschöpfungskette infolge der Umweltschutzstrategien zu betrachten. Je nach Neuordnung der *überbetrieblichen Arbeitsteilung* werden Beschäftigungseffekte entstehen, z. B. bei der Entscheidung über zentrale oder dezentrale Entsorgungs- oder Recyclingeinrichtungen. Dies bliebe ebenfalls nicht ohne Rückwirkungen auf die quantitativen und qualitativen Aspekte der Beschäftigung.

Gesetzliche und tarifvertragliche Regelungen bilden letztlich einen Rahmen, der die Unternehmensstrategien mitbestimmt. Dies sind nicht nur die direkten gesetzlichen Regelungen zum Umweltschutz, sondern weitere gesetzliche, berufsgenossenschaftliche oder tarifvertragliche Bestimmungen, die in den dann veränderten Kontexten ebenfalls Rückwirkungen auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen haben können. Beispielsweise hat eine Umstellung auf eine neue Technik infolge einer der Umweltschutzstrategien, die viele Überwachungs- und Sicherheitsaufgaben benötigt, andere Konsequenzen auf Entlohnung und Arbeits- und Einsatzzeiten als die herkömmlichen Techniken. Ursache hierfür können Vorschriften der Unfallversicherung sein.

Die Auswirkungen dieser Wirkungsmechanismen auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen sollen hinsichtlich vier Dimensionen dargestellt werden. Von Interesse sind einmal die *Rationalisierungseffekte*, die sich aus dem veränderten Verhalten der Unternehmen in Reaktion auf die Umweltschutzstrategien ergeben können. Sie beeinflussen in hohem Maße die quantitativen Wirkungen auf die Beschäftigung. Die *Qualifikationsstruktur* gehört ebenso zur Beschreibung der betrieblichen Arbeitsstrukturen. Hierbei ist es – im Gegensatz zu anderen Studien (Blazejczak et al. 1993, ZEW 1998) – nötig, nicht nur die gesamtbetriebliche oder Unternehmensebene zu betrachten, sondern gegebenenfalls zwischen technischen Büros, Werkstatt und neuen Dienstleistungsaufgaben zu unterscheiden. Bei den Thesen zur Qualifikationsstrukturentwicklung ist weiter zu prüfen, ob notwendige Qualifikationen zur Sicherung der Anforderungen der jeweiligen Umweltschutzstrategie nicht auch durch Zusatzausbildungen oder Weiterbildungsmaßnahmen auf der Basis bestehender betrieblicher Qualifikationsstrukturen erreicht werden können. Für die Arbeitnehmer ist weiter von Interesse, inwieweit sich *Arbeits- und Einsatzzeiten* durch die Umsetzung der Umweltschutzstrategie ändern. Umstellungen auf Schichtbetrieb, Rund-um-die-Uhr-Rufbereitschaften im Servicebereich etc. haben Auswirkungen auf die Gestaltung der Arbeitsplätze. In gleichem Maße werden sich die Lohnfindung und *Entlohnungsstrategien* der Unternehmen anpassen müssen.

Abbildung 3-3: Wirkungsmechanismen auf betriebliche Arbeitsstrukturen



3.2 Hypothesen zu den Wirkungen der Umweltschutzstrategien

Die oben skizzierten Wirkungsmechanismen werden von den Umweltschutzstrategien in unterschiedlichem Ausmaß angestoßen. Bei der im Folgenden beschriebenen Wirkungsweise erfolgt eine Fokussierung auf genuin dem Einsatz der Umweltschutzstrategien zurechenbare Impulse. Auf Einkommenskreislaufeffekte, durch eine Ökosteuer ausgelöste Faktorsubstitutionen oder Verminderungen des excess burden sowie auf die außerhalb der eigentlichen Umweltpolitik liegenden Aspekte wird nicht eingegangen.

3.2.1 End-of-pipe-Technologien

Gesamtwirtschaftliche Effekte

End-of-pipe-Technologien sind dadurch gekennzeichnet, dass sie additiv zu den eigentlichen Produktionsprozessen eingesetzt werden. Da sie nicht in den eigentlichen Produktionsprozess eingreifen, sind bei den Anwendern i. d. R. *keine Freisetzungseffekte* von Arbeitskräften zu erwarten. In beschränktem Umfang können sogar zusätzliche Arbeitsplätze durch den Betrieb und die Kontrolle der Anlagen entstehen. Andererseits führen sie i. d. R. zu einer Erhöhung der Kostenbelastung bei den Anwendern, was kurzfristig unter Umständen zu einer Verschlechterung der Wettbewerbsposition führen kann. Allerdings sollte diese Kostenbelastung von ihrer Größenordnung her nicht überbewertet werden, da die Mehrkosten von End-of-pipe-Technologien im Verhältnis zu den anderen Kostenblöcken doch gering sind. Zudem kommt anderen Effekten wie z. B. Wechselkursschwankungen eine weitaus

größere Bedeutung für die Entwicklung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit zu. Nicht zuletzt kann sich mittel- bis langfristig eine frühzeitige Anpassung an die veränderten Knappheitsrelationen auch positiv auswirken. Denn in dem Ausmaß, in dem es zu einer Internalisierung der externen Kosten kommt, können die durch End-of-pipe-Technologien reduzierten externen Kosten als vermiedene Produktionskosten von morgen angesehen werden.

Durch den Einsatz von End-of-pipe-Technologien kommt es - im Sinne des Maschinenherstellungsargumentes - bei den Herstellern zu einem *direkten Nachfrageimpuls*, der sich über die Vorleistungsbeziehungen auch auf vorgelagerte Bereiche auswirkt. Inwiefern es zu einer – die erhöhten Aufwendungen für die End-of-pipe-Anlagen kompensierenden - Nachfragereduktion in anderen Bereichen kommt (negativer Real-Einkommenseffekt), hängt von der Art der gesamtwirtschaftlichen Finanzierung und der vorliegenden gesamtwirtschaftlichen Konstellation ab.

Für das Ausmaß der Beschäftigungswirkungen ist auch der Erfolg der Hersteller von Umwelttechnologien auf dem *Weltmarkt* von Bedeutung. Der frühzeitige Einsatz von End-of-pipe-Technologien kann zu einem First-mover-advantage führen, der sich in erhöhten Exporterfolgen auf dem Weltmarkt für entsprechende Technologien niederschlägt. So weist z. B. Deutschland bei den Umwelttechnologien eine traditionell hohe internationale Wettbewerbsfähigkeit auf und war im Jahr 1998 mit einem Welthandelsanteil von 17 % hinter den USA zweitgrößter Exporteur (Legler et al. 2001). Unterstrichen wird diese starke Stellung noch dadurch, dass die Exporterfolge der Hersteller in diesem Bereich deutlich über dem Durchschnitt der Industriewaren insgesamt liegen, was durch positive RCA Werte unterstrichen wird (Legler et al. 2000). Auch bezüglich der Patentposition, die als kurz- bis mittelfristiger Indikator für die zukünftige technologische Wettbewerbsfähigkeit interpretiert werden kann, ist eine überdurchschnittliche Stellung Deutschlands bei der Umwelttechnik festzustellen (Legler et al. 2000).

In empirischen Studien wurden im Auftrag des Umweltbundesamtes die Zahl der Beschäftigten im Umweltschutz abgeschätzt. Auf Grund der Schwierigkeiten einer statistischen Abgrenzung von umweltfreundlichen Produktionsverfahren beziehen sich die ausgewiesenen Werte hauptsächlich auf die mit dem Einsatz von End-of-pipe-Technologien verbundenen Effekte. Abgeschätzt wurden jeweils die Anzahl der Beschäftigten, die entweder unmittelbar im Umweltschutz oder bei der Erstellung von Umweltschutzgütern und –leistungen tätig sind. Insgesamt beträgt die Zahl der im Umweltschutz Tätigen hiernach knapp eine Mio. Beschäftigte (DIW et al. 1996). Auch zur Abschätzung der Netto-Beschäftigungswirkungen wurden bis Anfang der neunziger Jahre mehrere Untersuchungen für Deutschland durchgeführt, bei denen den Nachfrageaspekten eine große Rolle zukommt (vgl. Blazejczak 1993). Hierbei wurden größtenteils positive Beschäftigungswirkungen ausgewiesen. Allerdings machen Überlegungen zur Berücksichtigung zusätzlicher Wirkungsmechanismen auch deutlich, dass bei bestimmten Konstellationen hinsichtlich

Art der Finanzierung der Umweltschutzmaßnahmen, gesamtwirtschaftliche Kapazitätsauslastung etc. „auch Situationen vorstellbar sind, in denen eine zusätzliche Ausweitung des Umweltschutzes per Saldo nicht zu zusätzlicher Beschäftigung führt“ (Blazejczak et al. 1993, S. 3).

Sektoraler Strukturwandel

Der verstärkte Einsatz von End-of-pipe-Technologien wirkt sich einmal in einem *Investitionsschub* bei den Herstellern der Umweltschutzanlagen aus. Der veränderte Bedarf an Investitionsgütern spiegelt sich im Endnachfrageaggregat „Investitionen“ wider und kann in gewissem Umfang zu Struktureffekten bei den Vorlieferanten der Investitionsgüterhersteller führen. Entsprechend ist zu erwarten, dass die End-of-pipe-Anlagen herstellenden Branchen einschließlich der intensiv damit verbundenen Zulieferbranchen einen Wachstumsimpuls erhalten. Dieser Impuls würde dann noch verstärkt, wenn es, wie oben beschrieben, zu einem verstärkten Erfolg dieser Hersteller auf dem internationalen Markt von Umweltschutzgütern kommt. Die End-of-pipe Maßnahmen führen zwar auch zu Veränderungen im Bezug von Hilfs- und Betriebsstoffen, weitergehende strukturelle Verschiebungen dürften auf Grund der eher untergeordneten Größenordnung der Verschiebungen hiermit jedoch nicht verbunden sein.

Als weiterer Gesichtspunkt für sektorale Auswirkungen müssen die oben angeführten *Kosteneffekte* bei den Anwendern beachtet werden. Hierdurch könnten mehrere Effekte ausgelöst werden:

- Güter, die in Branchen hergestellt werden, die durch die Installierung von End-of-pipe-Technologien besonders betroffenen sind – hierzu dürften wegen den von ihnen ausgehenden Umweltbelastungen z. B. die Energiewirtschaft und Grundstoffindustrie gehören - werden tendenziell durch Güter aus anderen Branchen substituiert. Damit sinken die Produktionsanteile der besonders betroffenen Branchen und steigen die Anteile der Branchen, die die Substitute herstellen.
- Die besonders betroffenen Branchen können an internationaler Wettbewerbsfähigkeit verlieren. Damit reduziert sich ihr Export, gleichzeitig steigen die Importe aus dem Ausland an und verdrängen die im Inland produzierten Produkte der besonders betroffenen Branchen.
- Auf Grund der gesunkenen Anteile der besonders betroffenen Branchen reduziert sich auch die Bedeutung der Branchen, die als Lieferanten von Vorleistungen produktionstechnisch eng mit diesen Branchen verbunden sind.

Insgesamt sind daher vom Einsatz von End-of-pipe-Technologien Verschiebungen von den Anwenderbranchen hin zum Investitionsgütergewerbe zu erwarten. Sie dürften allerdings nicht sehr deutlich ausfallen, da die Kosteneffekte von End-of-pipe-Technologien im Verhältnis zu den anderen Kostenblöcken doch sehr begrenzt sind.

Regionaler Strukturwandel

Die Auswirkungen auf den regionalen Strukturwandel sind abhängig von der räumlichen Verteilung der durch den sektoralen Strukturwandel begünstigten bzw. benachteiligten Sektoren. Zu erwarten ist, dass die Regionen, in denen die Hersteller von End-of-pipe-Technologien konzentriert sind, überdurchschnittlich profitieren, während die Regionen, in denen die Hauptanwender der Technologien vertreten sind, eher benachteiligt werden. Nach den Ergebnissen von DIW/Fifo (1999) weist die Umweltschutzgüterindustrie eine besonders hohe Bedeutung im Saarland und Ruhrgebiet, in Hessen und in den Gebieten mit einer traditionell starken Investitionsgüterindustrie in Baden-Württemberg auf. In Ostdeutschland liegt die Bedeutung der Umweltschutzgüterindustrie insgesamt unter der in Westdeutschland, überdurchschnittliche Anteile ergeben sich für Sachsen-Anhalt und für Sachsen. Demgegenüber dürften die Regionen mit einem hohen Grundstoffanteil, die auf Grund der von ihnen ausgehenden Umweltbelastung tendenziell verstärkt End-of-pipe-Technologien einsetzen dürften, überproportionale hohe Aufwendungen für End-of-pipe-Technologien leisten. Da dies z. T. die gleichen Regionen sind, in denen auch die Umweltschutzgüterindustrie überproportional vertreten ist, kommt es z. T. zu einem deutlich ausgeprägten intraregionalen Strukturanpassungsbedarf.

Arbeitsstrukturen

Der Einsatz von End-of-pipe-Technologien erfordert den Einsatz emissionsmindernder Technologien bei den Kern- und Hilfsprozessen. Beispiele sind abgas- bzw. abwasserreinigende oder ähnliche Aggregate. Die Anlagen sind i. d. R. Prozessanlagen, die vielfach aus Arbeitsschutzgründen gekapselt sind. Der Betrieb der Anlagen erfolgt vornehmlich automatisiert. Damit ergeben sich zusätzlich Überwachungsfunktionen parallel zum Fabrikbetrieb (ggf. rund um die Uhr). Diese Funktionen werden entweder bereits technisch qualifizierten Arbeitnehmern übertragen, oder eine geringe Anzahl von Spezialisten wird zusätzlich eingestellt. Die Entlohnung erfolgt in Gehaltsform, da Leistungsentlohnung auf Grund fehlender Messgrundlagen nicht möglich ist. Zusatzqualifikationen müssen dabei ggf. gesondert vergütet werden. Insgesamt werden sich die betrieblichen Arbeitsstrukturen bei den Anwenderbetrieben kaum ändern, da lediglich Randbereiche der Betriebe betroffen sind (vgl. Manske 1995).

Für die Hersteller dürften die End-of-pipe-Anlagen kaum von den regulären Investitionsmaßnahmen der Kunden zu unterscheiden sein. Entsprechend ist davon auszugehen, dass die klassischen Facharbeiterstrukturen im Maschinenbau erhalten bleiben. Allerdings werden die Engineering- und Planungsaufgaben zunehmen. Die Anbieter müssen in der Lage sein, ihre Kunden spezifisch zu bedienen und die umwelttechnischen Auflagen zu erfüllen. Dies erfordert mehr Personal in den technischen Büros mit entsprechenden Techniker-, Fachhochschul- oder Universitätsabschlüssen.

Auf gesamtwirtschaftlicher Ebene können sich unter Umständen Änderungen im Qualifikationsbedarf und den Tätigkeitsbildern durch den ausgelösten sektoralen Strukturwandel ergeben. Ob derartige *indirekte Effekte* auftreten, ist abhängig von den Unterschieden in den Arbeitsstrukturen zwischen den begünstigten und benachteiligten Sektoren. Gewinner des sektoralen Strukturwandels sind die Betriebe, die Umweltschutzgüter produzieren. Ihre Qualifikationsanforderungen liegen deutlich über dem sich für alle Wirtschaftszweige ergebenden Durchschnitt (vgl. Tabelle C-1 im Anhang). Auch im Vergleich mit Branchen der Grundstoffindustrie weist die Umweltschutzindustrie ein höheres Qualifikationsniveau auf. Insofern kann die These vertreten werden, dass der durch den Einsatz von End-of-pipe-Technologien ausgelöste sektorale Strukturwandel tendenziell zu höheren Qualifikationsanforderungen führt.

3.2.2 Umweltfreundliche Produktionsverfahren

Gesamtwirtschaftliche Effekte

Umweltfreundliche Produktionsverfahren substituieren die herkömmlichen Produktionstechnologien und führen i. d. R. zu höheren Anschaffungskosten. Dennoch ist keine (deutliche) Steigerung der Produktionskosten der Anwender zu erwarten. Denn die höheren Anschaffungskosten können sich amortisieren, weil umweltfreundliche Produktionsverfahren den Einsatz von Roh- bzw. Hilfsstoffen oder von Energie vermindern und die damit verbundenen Beschaffungskosten senken. Wenn sie darüber hinaus nicht nur die Ressourcenproduktivität, sondern gleichzeitig auch die Produktivität der anderen Produktionsfaktoren erhöhen, kann durch diesen Innovationseffekt die Kostenbelastung der Unternehmen zusätzlich reduziert werden. Insgesamt dürften daher umweltfreundliche Produktionsverfahren nicht die bei den End-of-pipe-Technologien thematisierten negativen *Kosteneffekte* nach sich ziehen.

Bezüglich der *direkten Beschäftigungseffekte* umweltfreundlicher Produktionsverfahren müssen spezifische Veränderungen der Arbeitsnachfrage pro Wertschöpfungseinheit und absolute Wirkungen unterschieden werden. Folgende Teileffekte sind denkbar:

- Ein positiver spezifischer Effekt tritt auf, wenn pro Einheit Output beim umweltfreundlichen Produktionsverfahren mehr Arbeit eingesetzt wird als bei den Referenzverfahren. In diesen Fällen trägt also Arbeit zu einer Substitution von Umweltverbrauch bei.
- Wenn die umweltfreundlichen Produktionsverfahren zu einer erhöhten Arbeitsproduktivität führen, kommt es zu einer spezifischen Reduktion der Beschäftigung, d. h. pro Wertschöpfungseinheit wird weniger Arbeit eingesetzt. In diesen Fällen wird der Umweltverbrauch durch einen erhöhten Kapitaleinsatz substituiert, der gleichzeitig auch zu einer Freisetzung von Arbeit beiträgt.

- Durch eine Erhöhung der Produktivität kann es zu einer Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit kommen, die sich in einem erhöhten Produktionsniveau und damit einer Erhöhung der Arbeitsnachfrage niederschlagen kann.

Der absolute Effekt auf die Arbeitsnachfrage von Unternehmen, die umweltfreundliche Produktionsverfahren einsetzen, ergibt sich aus dem Wechselspiel der Effekte. Hierbei kann es trotz Freisetzungseffekten, die aus einer Erhöhung der Arbeitsproduktivität resultieren, zu einer Erhöhung der Arbeitsnachfrage kommen, wenn der Produktionseffekt die spezifischen Effekte überkompensiert.

Im Sinne des Maschinenherstellungsargumentes kann von einer moderaten Steigerung der *Investitionsnachfrage* ausgegangen werden, da die umweltfreundlichen Verfahren i. d. R. höhere Anschaffungskosten erfordern als die Referenztechnologien. Der Wachstumsimpuls für die Hersteller dieser Anlagen kann sich noch in dem Ausmaß erhöhen, in dem die verbesserte Stellung im Qualitätswettbewerb zu einer Erhöhung der Weltmarktanteile an Investitionsgütern führt. Da durch umweltfreundliche Produktionsverfahren i. d. R. Energie oder Rohstoffe eingespart werden, die zu einem erheblichen Teil importiert werden, kommt es tendenziell auch zu einer Importsubstitution, die zur Steigerung der Inlandsnachfrage beiträgt.

Eine Untersuchung der Beschäftigungseffekte integrierter Umweltschutztechnologien wurde vom ZEW (1998) durchgeführt. Es wird die These vertreten, dass die „Beschäftigungswirkungen integrierter Umwelttechnik nur schwer identifizierbar sind und vor dem Hintergrund der Effekte des allgemeinen, arbeitssparenden technischen Fortschritts kaum ins Gewicht fallen.“ (ZEW 1998, S. 52). Allerdings sind diese auf Unternehmensbefragungen beruhenden Ergebnisse als Mikro-Fallstudien einzustufen. Die Einbeziehung der auf meso- und makroökonomischer Ebene auftretenden Wirkungsmechanismen erfordert die Verwendung von Modellanalysen. Prototypisch für den Einsatz umweltfreundlicher Produktionsverfahren wurden derartige Analysen am Beispiel der Energie- und Klimapolitik durchgeführt. Auch wenn die einzelnen Studien z. T. zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen, ist doch eine Konvergenz der Ergebnisse dahingehend zu beobachten, dass moderate, aber positive Arbeitsplatzeffekte zu erwarten sind (vgl. Abbildung C-1 im Anhang C).

Bezüglich der Innovationswirkungen stützen erste empirische Ergebnisse die These, dass eine verstärkte Diffusion von Klimaschutztechniken tendenziell eine produktivitätssteigernde Wirkung nach sich zieht (Walz 1999). Hierbei handelt es sich um die Diffusion bisher bekannter und erprobter Technologien. Zudem legen die Ergebnisse von Grupp (1999) die Schlussfolgerung nahe, dass eine Steigerung der Energiepreise – z. B. aufgrund der Einführung einer Energiesteuer – zusätzlich die Generierung neuer, innovativer Verfahren begünstigt. Des Weiteren konnte an Hand der energiepolitischen Initiativen der Bundesregierung Anfang der 80er Jahre beobachtet werden, dass energiesparende Produkte wie Wärmeschutzglas,

hocheffiziente Brenner oder Techniken zur Nutzung regenerativer Energien im Außenhandel weit überproportionale Wachstumsraten erzielen (vgl. Jochem 1996). Diese Exporterfolge, die sich mit dem First-mover-advantage erklären lassen, haben sich teilweise bis heute erhalten. Insgesamt ist es daher plausibel anzunehmen, dass von Maßnahmen zur Einführung umweltfreundlicher Produktionsverfahren zusätzliche Innovationseffekte ausgelöst werden, die die in Modellanalysen ausgewiesenen positiven gesamtwirtschaftlichen Effekte noch verstärken.

Sektoraler Strukturwandel

Der verstärkte Einsatz von umweltfreundlichen Produktionsverfahren dürfte im Saldo die Investitionsnachfrage erhöhen, da die umweltfreundlichen Verfahren in der Regel höhere Anschaffungskosten erfordern. Entsprechend ist zu erwarten, dass die *Investitionsgüterbranchen* einen (moderaten) Wachstumsimpuls erhalten, der eventuell durch die verstärkte Stellung im Qualitätswettbewerb mittelfristig noch verstärkt werden könnte. In Abhängigkeit davon, wie sich die zusätzlichen Investitionen auf Ausrüstungen und Bauten verteilen, kann eventuell auch die Bauindustrie mit den ihr vorgelagerten Branchen profitieren.

Wie oben ausgeführt, ist bei den umweltfreundlichen Produktionsverfahren keine deutliche Steigerung der Produktionskosten bei den Anwendern zu erwarten. Ein Grund hierfür liegt darin, dass umweltfreundliche Produktionsverfahren i.d.R. den Einsatz von Roh- bzw. Hilfsstoffen oder von Energie vermindern und die damit verbundenen Kosten senken. Dies führt zu einer Reduktion der Nachfrage bei den Herstellern dieser Roh- und Hilfsstoffe bzw. den Energieanbietern. Tendenziell könnten umweltfreundliche Produktionsverfahren damit zu einer Reduktion der Bedeutung der Energiewirtschaft und einzelner Grundstoffindustrien beitragen.

Die Auswirkungen auf den sektoralen Strukturwandel wurden am Beispiel des Klimaschutzes – bei dem größtenteils integrierte Technologien eingesetzt werden - von Welsch (1996) sowie von Walz et al. (1995) untersucht. Bei Welsch (1996) gehören die energieproduzierenden Branchen erwartungsgemäß zu den Verlierern. Innerhalb der Industrie schneidet das Investitionsgütergewerbe tendenziell überdurchschnittlich, die Grundstoffindustrie eher unterdurchschnittlich gut ab. Auch nach den Ergebnissen von Walz et al. (1995), die auf einer disaggregierteren Ebene vorliegen, gehören lediglich die Energiewirtschaft und der Bergbau zu den eindeutigen Verlierern einer Klimapolitik. Zu den eindeutigen Gewinnern zählen vor allem die Bauindustrie und die eng mit ihr verflochtenen Branchen sowie der Maschinenbau. Sie machen ca. 10 % der gesamten Bruttonproduktion aus. Die restlichen Branchen, die zusammen knapp 85 % der Produktion ausmachen, haben lediglich eine geringe Zunahme (unter 1 %) der Produktion zu erwarten. Diese empirischen Ergebnisse untermauern die These, dass umweltfreundliche Produktionsverfahren tendenziell die Investitionsgüterbranche begünstigen und die Energie- und Rohstoffproduzenten benachteiligen.

Regionaler Strukturwandel

Die Auswirkungen auf den regionalen Strukturwandel sind abhängig von der räumlichen Verteilung der durch den sektoralen Strukturwandel begünstigten bzw. benachteiligten Sektoren. Zu erwarten ist, dass die Regionen, in denen die Hersteller von umweltfreundlichen Produktionsverfahren konzentriert sind, überdurchschnittlich profitieren, während die Regionen, in denen die Energie- und Rohstoffproduzenten vertreten sind, eher benachteiligt werden.

Regionale Wirkungen des Umweltschutzes wurden vom DIW/Fifo (1999) in Modellrechnungen am Beispiel der Auswirkungen einer Ökosteuer abgeschätzt. Nach diesen Ergebnissen kommt es zu einem besonders hohen Strukturanpassungsbedarf in den traditionellen Industrieregionen in West- und Ostdeutschland mit starker Ausrichtung auf die Grundstoffindustrie. Auf der anderen Seite ist die überproportionale Bedeutung der Umweltschutzgüterindustrie im Saarland, Ruhrgebiet, Hessen und in den Gebieten mit einer traditionell starken Investitionsgüterindustrie in Baden-Württemberg anzuführen.

Arbeitsstrukturen

Bei umweltfreundlichen Produktionsverfahren erfolgt eine Integration des Umweltschutzes in den Prozess. Die Folge sind neue umweltfreundliche und tendenziell kapitalintensivere Verfahren, deren Investitionskosten erwirtschaftet werden müssen. Umweltfreundliche Produktionsverfahren dürften verstärkt von einer Kapselung der Prozessschritte zur Vermeidung von Schadstoffaustritten und durch die Umstellung der Batch-Prozesse auf möglichst kontinuierliche Betriebsweise gekennzeichnet sein. Wenn man von einer relevanten Verbreitung dieser Entwicklungen ausgeht, könnten folgende Effekte auftreten:

- Bei Prozessanlagen ist auf Grund des höheren Kapitaleinsatzes eine hohe Auslastung im Hinblick auf die Erreichung einer Fixkostendegression besonders dringlich, was zu möglichst langen Betriebszeiten und Schichtbetrieb führt.
- Die Kapselung erfordert zusätzliche Überwachungs- und Wartungstätigkeiten, die z. T. mit Hilfe technischer Überwachungshilfen durchgeführt werden. Hierzu ist i. d. R. geschultes Personal wichtig, das entsprechende (vorbeugende) Wartungstätigkeiten selbst vornimmt oder veranlasst.
- Hilfstätigkeiten werden an den Anlagen direkt anfallen. Beladen, Entladen, Säubern etc. werden durch Arbeitnehmer dort vorgenommen, wo sich der Einsatz von Automatisierungslösungen nicht rechnet.

Insgesamt ist von einer *Polarisierung der Qualifikationen* auszugehen. Entlohnung wird sich an Performanceparametern (Gutteile, Verfügbarkeit etc.) und nicht mehr an reinen Output-Größen orientieren. Bemessungsgrundlage werden Gruppen- bzw. Anlagenleistung sein.

Die Anbieter von umweltfreundlichen Produktionsverfahren müssen damit rechnen, dass ihnen von den Kunden mehr Verantwortung für das Funktionieren der Anlagen und Fertigungsprozesse zugewiesen wird. Hierdurch ergibt sich unter Umständen ein erhöhter Bedarf an Servicetechnikern mit Rufbereitschaft. Auch technische Lösungen, wie Teleservice, wären in diesem Fall denkbar. Gerade die Engineering- und Services-Aufgaben könnten angesichts des drohenden Ingenieurmangels für kleine und mittlere Unternehmen zum Problem werden. Die vorzuhaltende Engineering-Kapazität z. B. könnte kaum oder nur relativ teuer aufgebaut werden.

Neben den direkten Effekten bei den Anwendern sind auch die *indirekten Effekte* von Bedeutung, die durch den ausgelösten sektoralen Strukturwandel hervorgerufen werden. Nach den Thesen zum sektoralen Strukturwandel gehört der Teil des Investitionsgütergewerbes, der Umweltschutzgüter produziert, eher zu den Gewinnern, die Energie- und Rohstoffproduzenten eher zu den Verlierern.

Aus einem Vergleich der Qualifikationsstrukturen zwischen den Betriebsteilen des Investitionsgütergewerbes, die sich mit der Produktion von Umweltschutzgütern beschäftigen, und den Qualifikationsstrukturen der Energiewirtschaft und des Bergbaus wird ersichtlich, dass die Umweltschutzindustrie insbesondere einen höheren Anteil an hochqualifizierten Arbeitskräften mit (Fach-)Hochschulabschluss beschäftigt (vgl. Tabelle C-1 im Anhang). Insofern kann die These aufgestellt werden, dass der durch einen verstärkten Einsatz umweltfreundlicher Produktionsverfahren ausgelöste sektorale Strukturwandel eine Tendenz zur Höherqualifikation nach sich ziehen dürfte.

3.2.3 Recycling von Produktionsrückständen und Produkten

Gesamtwirtschaftliche Effekte

Kennzeichen der Strategien zum Recycling von Produktionsrückständen und gebrauchten Produkten ist eine teilweise massive Umlenkung von Stoffströmen. Die durch diese Veränderungen ausgelösten *Kosteneffekte* sind a priori schwer abzuschätzen. Allerdings dürften bei den Anwendern eines innerbetrieblichen Recyclings die Effekte vergleichsweise gering ausfallen, da den erhöhten Kosten für die Durchführung des Recyclings eingesparte Roh- bzw. Hilfsstoffkosten gegenüberstehen. Beim Recycling von Produkten stehen den erhöhten Aufwendungen für Sammlung und Aufbereitung die eingesparten Kosten für die vermiedenen Primärwerkstoffe gegenüber. Ob es aus gesamtwirtschaftlicher Sicht zu einer Kostenbe- oder -entlastung kommt hängt entscheidend davon ab, welche der beiden Größen dominiert.

Bezüglich der Entwicklung der *Nachfrage* sind unterschiedliche Teileffekte zu erwarten. Einerseits steigt die Nachfrage nach Erfassungs- und Transportaktivitäten sowie bei den Aufbereitern von Rohstoffen, andererseits sinkt sie für Werk- und

Rohstoffe. Auch bei Kostensteigerungen und –einsparungen kann entsprechend den kreislauftheoretisch begründeten Real-Einkommenseffekten von einer Konstanz ausgegangen werden, es sei denn die rezyklierten Produkte würden zusätzlich genutzt. Dies dürfte allerdings um so weniger der Fall sein, je mehr es sich um ein hochwertiges Recycling handelt, das die Qualität von Primärwerkstoffen erreicht. Bei der Beurteilung der Investitionsgüternachfrage muss bedacht werden, dass den zusätzlichen Investitionen in Sammlung und Aufbereitung (Maschinenherstellungsargument) eine Reduktion der Investitionen in Produktion und Entsorgung entgegensteht. Von daher dürften auch die Effekte auf die Investitionsnachfrage begrenzt sein.

Dennoch gibt es zwei Gründe, die als Hypothese einen positiven Gesamteffekt plausibel erscheinen lassen: Erstens wird ein Großteil der Rohstoffe für die Grundstoffindustrien nach Deutschland importiert. Damit kommt ein Teil der negativen Nachfrageeffekte nicht im Inland zum Tragen. Zweitens dürften – zumindest kurzfristig – die spezifischen Intensitäten im Arbeitseinsatz bei den stärker dienstleistungsähnlichen Erfassungs- und Aufbereitungsaktivitäten höher ausgeprägt sein als in der Grundstoffindustrie, so dass ein spezifischer Nettobeschäftigungszuwachs zu erwarten ist. Allerdings fällt dieser Effekt umso geringer aus, je mehr es im Zeitablauf zu einer Mechanisierung und damit einer Steigerung der Arbeitsproduktivität bei den Erfassungs- und Aufbereitungsaktivitäten kommt. Hierdurch kann es zu erheblichen Freisetzungseffekten innerhalb der Recyclingbranche kommen.

Es ist die Aufgabe empirischer Untersuchungen, die Größenordnung der unterschiedlichen Teileffekte zu quantifizieren, um so die Aussagefähigkeit dieser Hypothesen beurteilen zu können.

Sektoraler Strukturwandel

Kennzeichen der Strategien zum Recycling von Produktionsrückständen und gebrauchten Produkten ist eine teilweise massive Umlenkung von Stoffströmen. Hierdurch dürften u. a. *Verschiebungen von Primär- zu Sekundärrohstoffproduzenten* ausgelöst werden. Folgende Teileffekte sind zu erwarten:

- Eine erhöhte Nachfrage dürfte bei Erfassungs- und Transportaktivitäten sowie bei den Aufbereitern von Rohstoffen zu beobachten sein.
- Eine verminderte Nachfrage ergibt sich für die Produzenten der Werkstoffe und ihren produktionstechnisch eng verbundenen Vorlieferanten, z. B. aus dem Bereich der Rohstoff- und Energiewirtschaft.
- Die Auswirkungen auf die Investitionsgüterindustrie sind gegenläufig, da einerseits die Nachfrage nach den für die Recyclingstrategien erforderlichen Ausrüstungen steigt, andererseits die Investitionsnachfrage der Werk- und Rohstoffhersteller sinkt.

Da das Recycling von Produktionsrückständen und Produkten zu ganz erheblichen Verlagerungen in der Wertschöpfungskette führt, ist zu vermuten, dass zusätzlich zu den beschriebenen Effekten noch weitere sektorale Wirkungen auftreten können. Diese sind allerdings abhängig von den jeweiligen spezifischen Bedingungen und können nicht a priori beschrieben werden, sondern bedürfen einer empirischen Analyse.

Regionaler Strukturwandel

Bezüglich der durch den sektoralen Strukturwandel ausgelösten regionalen Wirkungen ist festzuhalten, dass sich hier Effekte in Abhängigkeit der Unterschiede in der Regionalverteilung der zunehmenden bzw. abnehmenden Branchen ergeben können. Zu vermuten ist, dass sich zumindest beim Recycling von Produkten ein Teil der Aktivitäten regional relativ gleichmäßig verteilt, da die Sammlung der Produkte nur vor Ort erfolgen kann. Inwieweit dies für die Aufbereitung gilt, hängt von den jeweiligen Transportkosten ab. Fallen diese sehr ins Gewicht, ist auch davon auszugehen, dass die Aufbereitung gebrauchter Produkte regional verteilt erfolgt. Demgegenüber ist gerade die Grundstoffindustrie, die zu den Verlierern von Recyclingstrategien gehören dürfte, eher regional konzentriert. Daher kann die These aufgestellt werden, dass beim Übergang zu Recyclingstrategien einige wenige Regionen deutliche Verluste hinnehmen müssen, während die Zuwächse regional gleichmäßiger anfallen.

Arbeitsstrukturen

Insbesondere beim Recycling von Produkten entstehen *neue Tätigkeitsfelder* bei der Sammlung, Sortierung und Demontage. Diese Arbeitsplätze sind mit niedrig qualifizierten Mitarbeitern besetzt, die vielfach einfache und manuelle Tätigkeiten unter z. T. schwierigen Arbeitsbedingungen verrichten (IG Metall 1996, Mendius). Die Entsorgungsindustrie hält diesen Zustand für dauerhaft, da die durch Facharbeiterausbildung induzierten höheren Lohnkosten „nicht wettbewerbsfähig“ seien (Abfallwirtschaftlicher Informationsdienst 1998). Ob dieser Zustand tatsächlich so dauerhaft ist, muss hinterfragt werden. Neben arbeitsschutzrechtlichen Konsequenzen kann bei entsprechenden Volumina der Rückstände mit technischen Innovationen und höherer Automatisierung gerechnet werden (vgl. Eichmeyer 1996). So wird zurzeit versucht, diese Arbeitsplätze durch automatisierte Lösungen zu ersetzen. Technische Probleme bereiten das Handling biegeschlaffer Teile und die Bilderkennung in schmutziger Umgebung. Bei zu erwartendem Mengenwachstum werden Standortkonzentration und Großtechnikeinsatz wahrscheinlicher. Solche Lösungen werden durch die zunehmende Konstruktion demontagefreundlicher Produkte gefördert. In diesem Fall fallen im Recycling ein Teil der neu geschaffenen einfacheren Arbeitsplätze weg und werden durch wenige hochqualifizierte Arbeitnehmer ersetzt.

Andere Konsequenzen hängen von den Aufbereitungsnotwendigkeiten der Abfälle und den Substitutionswirkungen auf die Rohstofflieferanten ab. In der Regel ist

nach der Sortierung von einer thermischen oder chemischen Behandlung und von Reinigungsprozessen auszugehen. Diese Prozesse sind gekapselt und finden in kontinuierlich gefahrenen Anlagen statt. Es gelten dabei ähnliche Anforderungen wie in der Chemischen Industrie (allerdings nicht auf deren Lohnniveau), d. h. Schichtbetrieb, Polarisierung in Anlagenführer versus Hilfstätigkeiten etc. Des Weiteren entstehen neue Herausforderungen an das Speditionsgewerbe. Die Rückführung von Stoffen und Produkten muss nicht zwangsläufig in gleichem Ausmaß zu mehr Transporten führen. Durch bessere Konsolidierung lässt sich z. B. der Rücktransport effektiv gestalten. Dies erfordert aber eine sorgfältigere Planung der Logistik und damit eine Steigerung der Nachfrage nach entsprechend qualifizierten Mitarbeitern.

Neben den direkten Effekten auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen können auch indirekte Wirkungen aus dem sektoralen Strukturwandel resultieren. Das Ausmaß dieser indirekten Effekte hängt überwiegend von den Unterschieden in den Qualifikationsstrukturen der zu- und abnehmenden Sektoren ab. Entsprechend lässt sich die These vertreten, dass es tendenziell zu einer Abnahme der Qualifikationsanforderungen beim Recycling kommen könnte, da die neu geschaffenen Arbeitsplätze in der Erfassung und Sortierung ein vergleichsweise geringes Qualifikationsniveau aufweisen. Allerdings weisen die Unterschiede in den Qualifikationsanforderungen, die zwischen den unterschiedlichen Roh- und Werkstoffproduzenten bestehen – z. B. zwischen der NE-Metallindustrie und der Chemieindustrie – darauf hin, dass diese These unter Umständen fallspezifisch zu differenzieren ist (vgl. Tabelle C-1 im Anhang). Zudem ist zu bedenken, dass sie auch von der langfristigen Entwicklung der Qualifikationsanforderungen in den Recyclingbereichen abhängt, für die unterschiedliche Entwicklungspfade denkbar sind.

3.2.4 Umweltfreundliche Produkte

Gesamtwirtschaftliche Effekte

Prägendes Merkmal umweltfreundlicher Produkte ist, dass sie auf die ökologische Gestaltung der gesamten Wertschöpfungskette von Produkten setzen. Die durch diese Veränderungen ausgelösten *Kosteneffekte* sind a priori schwer abzuschätzen. Bei einem recyclinggerechten bzw. auf Effizienzsteigerung bei der Nutzung gerichtetem Produktdesign sind höhere Anschaffungskosten denkbar. Inwieweit sie sich gesamtwirtschaftlich amortisieren, hängt von den vermiedenen Kosten für die Bereitstellung der Roh- und Werkstoffe ab. Bei neuen Produktkonzeptionen ist davon auszugehen, dass sich Kostensteigerungen in Grenzen halten müssen, da sich diese Konzeptionen ansonsten nicht am Markt durchsetzen können. Ob es bei umweltfreundlichen Produkten aus gesamtwirtschaftlicher Sicht zu einer Kostenbe- oder -entlastung kommt, kann nur im Einzelfall entschieden werden.

Bei neuen Produktkonzeptionen werden dienstleistungsähnliche Tätigkeiten zentral für das Funktionieren der Wertschöpfungskette oder – genauer – der Nutzungsschleife sein. Inwiefern es insgesamt zu *Freisetzungseffekten* kommen wird, ist in der Literatur umstritten. Mendius (1994) argumentiert, dass die zusätzlichen Aufgaben wie Reparatur etc. die Reduzierung der Arbeitsplätze in der Neuproduktion auf fängt. Manske (1995) dagegen hält eine Reduzierung der Arbeitsplätze und damit Freisetzungen für wahrscheinlich. Das Auftreten von Freisetzungseffekten ist auch abhängig von der Form der zwischenbetrieblichen Arbeitsteilung bei Reparatur, Aufarbeitung und Intensivierung des Produktnutzens. Erfolgt eine Zentralisierung dieser Tätigkeiten in Großbetrieben, ist eher mit Freisetzungseffekten zu rechnen als im Fall regionaler Kooperationsnetzwerke zwischen Industrieunternehmen, Handwerkern und Dienstleistern, bei denen von einer höheren Arbeitsintensität bei diesen Aufgaben ausgegangen werden kann.

Bezüglich der *Nachfrageentwicklung* sind folgende Teileffekte denkbar: Die Umsetzung von neuen Produktkonzepten führt zwar zu erheblichen Nachfrageverschiebungen zwischen Roh- und Werkstoffproduzenten sowie traditionellen Produktherstellern einerseits und gesteigerter Nachfrage nach neuen Produktkonzeptionen inklusive einer Verstärkung der Inanspruchnahme von Reparatur- und Dienstleistungsaktivitäten andererseits. Dennoch kann entsprechend den kreislauftheoretisch begründeten Real-Einkommenseffekten auch bei hierdurch verursachten steigenden oder sinkenden Gesamtkosten von Mechanismen ausgegangen werden, die zur Kompensation von Nachfragesteigerungen bzw. -reduktionen führen. Bezüglich der Entwicklung der Investitionsnachfrage ist zu klären, inwieweit die zum Ausbau der Dienstleistungsaktivitäten erforderlichen Investitionen ausreichen, um den Rückgang der Investitionen zu kompensieren, der aus der verminderten Produktion von Grund- und Werkstoffen resultiert. Nicht auszuschließen ist, dass sich ein negativer Maschinenherstellungseffekt ergeben könnte. Auf der anderen Seite wäre es auch denkbar, dass die neuen Produktkonzeptionen zumindest teilweise additiv sind, d. h. die alten Güter nur zum Teil substituieren. Wenn dies zutreffen würde, wäre ein Anstieg der Endnachfrage und damit ein beschäftigungssteigernder Effekt zu erwarten. Schließlich können sich gerade durch Innovationen im Produktbereich völlig neue Chancen auf dem Weltmarkt ergeben, woraus eine Steigerung der Gesamtnachfrage resultieren könnte.

Ob es bei den zahlreichen Teileffekten zu positiven Gesamteffekten kommt, hängt ähnlich wie bei den Recyclingstrategien zudem von den spezifischen Importanteilen und Arbeitsintensitäten ab. Der vergleichsweise geringe Importanteil und die hohe Arbeitsintensität bei Dienstleistungen sprechen tendenziell für einen beschäftigungssteigernden Nettoeffekt. Aber auch den Effekten auf den Export kommt eine erhöhte Bedeutung zu, zumal da gerade die Hersteller der neuen umweltfreundlichen Produkte zu den Branchen mit besonders hohen Exportanteilen gehören. Hier sind auch negative Effekte denkbar, falls die neuen Produktstrategien auch bei den Exportgütern zum Tragen kommen, da dann die positiven Teileffekte einer

Zunahme der dienstleistungsähnlichen Aktivitäten im Ausland anfallen, während die negativen Teileffekte einer Reduktion der Produktion von Neugütern im Inland wirksam werden.

Welche der in unterschiedliche Richtungen wirkenden Teileffekte überwiegen, wird sich nur vor dem Hintergrund empirischer Analysen beantworten lassen.

Sektoraler Strukturwandel

Die produktbezogenen Strategien können sich sowohl im Produktionsbereich als auch im Endnachfragebereich auswirken. Ein prägendes Merkmal dieser Strategien ist, dass sie auf die ökologische Gestaltung der gesamten Wertschöpfungskette von Produkten setzen. Dementsprechend können sie zu strukturellen Verschiebungen zwischen allen Akteuren der Wertschöpfungskette führen. Bezüglich der Strukturveränderungen sind folgende Teileffekte absehbar:

- Eine verstärkte Aufarbeitung von Produktkomponenten hat notwendigerweise einen Rückgang der Nachfrage nach Grund- und Werkstoffen zur Folge.
- Bei umweltfreundlichen Produktkonzeptionen stehen auch die Produzenten im Investitions- bzw. Verbrauchsgüterbereich vor gravierenden Anpassungsproblemen, da z. B. eine Verlängerung der Lebensdauer der von ihnen produzierten Güter Auswirkungen auf ihre Nachfrage hat. Zumindest der traditionelle Bereich der Güterproduktion im Investitions- und Gebrauchsgütergewerbe dürfte durch Strategien wie eine Lebensdauerverlängerung sinken, andererseits können sich für diese Branchen neue Chancen bei der Aufarbeitung, Reparatur und dem Betrieb von neuen Produktkonzeptionen ergeben. Es ist daher davon auszugehen, dass das Investitions- bzw. Gebrauchsgütergewerbe vor einem erheblichen inter- und intrasektoralen Strukturwandel steht.
- Bestandteil der neuen Produktkonzeptionen ist eine Verstärkung der Inanspruchnahme von Reparatur- und dienstleistungsähnlichen Aktivitäten. Entsprechend wird es in diesen Bereichen zu deutlichen Beschäftigungssteigerungen kommen.

Insgesamt lassen sich die sektoralen Auswirkungen umweltfreundlicher Produktkonzepte dahingehend zusammenfassen, dass sie den bereits in der Vergangenheit zu beobachtenden *Strukturwandel vom sekundären zum tertiären Sektor* noch verstärken dürften. Da neue Produktkonzeptionen zu ganz massiven Verlagerungen in der Wertschöpfungskette führen, ist zu vermuten, dass zusätzlich zu den beschriebenen Effekten noch weitere sektorale Wirkungen auftreten können, die allerdings abhängig von den jeweiligen spezifischen Bedingungen sind und nicht a priori beschrieben werden können, sondern einer empirischen Analyse bedürfen.

Regionaler Strukturwandel

Bezüglich der durch den sektoralen Strukturwandel ausgelösten regionalen Wirkungen ist festzuhalten, dass sich hier Effekte in Abhängigkeit der Unterschiede in der Regionalverteilung der zunehmenden bzw. abnehmenden Branchen ergeben kön-

nen. Bestandteil der neuen Produktkonzeptionen könnte eine hohe Kundenbindung und damit eine Tendenz zu räumlicher Präsenz sein. In diesem Fall dürften die zunehmenden Branchen räumlich relativ gleich verteilt sein. Die räumliche Verteilung der abnehmenden Sektoren ist hingegen fallspezifisch und kann bei der Fülle der denkbaren Ausprägungen des sektoralen Strukturwandels a priori nicht vorhergesagt werden.

Arbeitsstrukturen

Zur Ableitung der direkten Wirkungen auf die Arbeitsstrukturen müssen bei neuen Produktkonzeptionen, die die Produktnutzung intensivieren und die Lebensdauer verlängern, nicht nur die produzierenden Betriebe, sondern auch (neue) Dienstleister in der Wertschöpfungskette beachtet werden (vgl. Deutsch 1994, Behrends et. al. 1998, Bierter, Brödner 1998). In den produzierenden Betrieben ändert sich der Ablauf erheblich. Nicht die Produktion als Neufertigung, sondern Reparatur und Austausch von Komponenten stehen im Vordergrund. Demontage und Montagetätigkeiten werden dominieren (Fleig 1997). Der Prozess der Reparatur und Aufarbeitung erfordert im Gegensatz zu den vorherigen Entwicklungsmöglichkeiten eine vielfältige *Verbreiterung der Kenntnisse und Fähigkeiten* der betroffenen Arbeitnehmer:

- Der Materialfluss und die (neue) Nutzungskette erfordern für den produzierenden (aufarbeitenden und reparierenden) Betrieb eine umfangreichere Disposition. Über die Unternehmensgrenzen hinweg haben die Mitarbeiter die Produkte zu verfolgen und in ihrem Zustand einzuschätzen (produktbegleitende Informationstechnik, Teleservice). Diese Entwicklung erfordert sowohl höhere als auch veränderte Qualifikationen in den technischen Büros. Wissen zur Funktions- und Nutzungsweise muss mit technischen und werkstoffkundlichen Kenntnissen zu Prognosen verdichtet werden. Das ergibt andere Anforderungsprofile als bei der bisherigen Technikerfortbildung üblich.
- Ein spezielles Feld ist das sog. *Retromarketing*. Neben der Distribution ist das Einwerben von gebrauchten Produkten eine zentrale Tätigkeit, die die Neuproduktion einschränkt oder gar überflüssig macht. Aufbau von Sammelstationen, Pfandstellen, Vermarktung von Austauschprodukten etc. werden das übliche Berufsbild von Vertriebskaufleuten erweitern.
- In der Werkstatt gibt es ein *Back to the Roots*. Handwerkliche und manuelle Tätigkeiten werden zur Demontage, Reparatur und Aufarbeitung der Altprodukte benötigt. Dies erfordert solides technisches Grundwissen und genaue Produktkenntnisse. Eine breite Facharbeiterausbildung ist hierbei von Nutzen.
- Ausreichende Produktkenntnisse bilden die Grundlage für sicheres und richtiges Entscheiden vor Ort und in der Werkstatt. Dies ist zukünftig eine Schlüsselqualifikation. Die Beurteilung der eingegangenen Gebrauchtteile muss das spätere Funktionieren vor unterschiedlichen Nutzerhintergründen gewährleisten. Hierzu sind Erfahrungen mit nachfolgenden Produktionsschritten, mit dem

Kundendienst und Nutzerkenntnisse unabdingbar. Dies wird nur durch Arbeitsplatzrotation erreichbar sein, die wiederum eine breite Qualifikation voraussetzt.

- Entscheidungshintergrund muss weiter ein anderes Qualitätsbewusstsein sein. Eine höhere Verantwortung wird dabei dem Einzelnen für das zukünftige Funktionieren des Produkts zugewiesen.
- Bei relevanter Menge von Reparaturteilen werden neue Techniken und Werkzeuge ihren Einsatz finden. Diese werden semi-manuell ausgelegt sein, um die Demontage und Reparatur zu unterstützen. Hierfür ist neues Bediener-Know-how erforderlich.

Insgesamt ist bei einer Realisierung von umweltfreundlichen Produktkonzeptionen von einer breiteren *Höherqualifizierung innerhalb der ausführenden Betriebe* auszugehen. Diese Höherqualifizierung muss auf einer technischen Fachausbildung beruhen.

Inwiefern sich Arbeitszeit und Entlohnung ändern, kann nur beantwortet werden, wenn abzusehen ist, wie sich die zwischenbetriebliche Arbeitsteilung bei Reparatur, Aufarbeitung und Intensivierung des Produktnutzens entwickeln wird. Erfolgt eine Zentralisierung dieser Tätigkeiten in Großbetrieben, werden sich Arbeitszeiten und Entlohnungsformen nicht gravierend gegenüber den in anderen großen Produktionsbetrieben üblichen Formen unterscheiden. Industrielle Lösungen an zentralen Standorten gibt es bereits (Rank-Xerox - Beispiel in Bierter, Brödner 1998). Eine besondere Form - als „Gegenmodell“ - sind *regionale Kooperationsnetzwerke* zwischen Industrieunternehmen, Handwerkern, Dienstleistern etc., die zum Ziel haben, Produkte und Materialien möglichst lange und intensiv (gemeinsam) zu nutzen sowie für eine regionale Reparatur, Weiterverwendung, Aufarbeitung und Aufbereitung Sorge zu tragen. Kleinere Handwerksbetriebe können die Aufarbeitung von Materialien oder Maschinen und Anlagen übernehmen, die an anderer Stelle (von anderen Betrieben) wieder eingesetzt werden können. Gleichzeitig kann die gemeinsame Nutzung von Maschinen und Anlagen durch Vermieten oder ein Pool-Modell von einem speziellen Dienstleister organisiert werden. Nicht mehr einsetzbare Produkte können über ein regionales Recyclingnetzwerk einer stofflichen Wieder- oder Weiterverwertung zugeführt werden (zur Diskussion dazu auch Bierter, Brödner 1998).

Im Fall der regionalen Kooperationsnetzwerke wären folgende Entwicklungen der betrieblichen Arbeitsstrukturen denkbar:

- Wartung, Instandhaltung und Kundendienst könnten bei verlängerten Produktlebenszyklen zu entscheidenden Wettbewerbsvorteilen werden, so dass die Erfahrungen älterer Arbeitnehmer mehr Geltung erhalten könnten.
- Die Bedeutung handwerklicher Fähigkeiten Handwerk könnte wieder an Gewicht gewinnen.

- Dem könnte eine kundenorientierte Arbeitszeitflexibilität („Rund-um-die-Uhr-Bereitschaft“) gegenüberstehen.
- Die Arbeitnehmer könnten ihre Tätigkeitsspektren am Produktlebenszyklus der Produkte, zu denen sie spezielle Kenntnisse erworben haben, ausrichten. Nach der Entwicklung der Produktion werden Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten übernommen, und das Wissen wird später in die Demontage der verbrauchten Produkte eingebracht.
- Die Leistungsbewertung menschlicher Arbeit wird sich verändern, da bei langen Produktlebenszyklen die Sorgfalt der Bearbeitung, Geschick bei der Wartung und Erfahrung bedeutender werden können als die Höhe des Outputs.

Insgesamt sind bei einem Einsatz umweltfreundlicher Produkte erhebliche direkte Auswirkungen auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen denkbar. Allerdings bestehen erhebliche Unsicherheiten über die zukünftige Entwicklung. Die Gründe hierfür liegen einmal in der geringen Anzahl von existierenden Beispielen, die als Grundlage für Projektionen herangezogen werden können, zum anderen in der noch offenen Frage, wie die Organisation der Wertschöpfungsketten in Zukunft erfolgen wird.

Neben den direkten Effekten auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen können auch *indirekte Wirkungen* aus dem sektoralen Strukturwandel resultieren. Das Ausmaß dieser indirekten Effekte hängt überwiegend von den Unterschieden in den Qualifikationsstrukturen der zu- und abnehmenden Sektoren ab. Da bei den umweltfreundlichen Produktkonzeptionen die sektoralen Verschiebungen am komplexesten sind, zudem ein erheblicher intrasektoraler Wandel beim Investitionsgüter- und Gebrauchsgütergewerbe zu vermuten ist, sind Thesen zu den indirekten Effekten mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Auch bestehen erhebliche Unsicherheiten, welche Qualifikationsstruktur die zunehmenden dienstleistungsähnlichen Tätigkeiten erfordern. Selbst wenn man von der – sehr kritisch zu hinterfragenden – Annahme ausgeht, dass die Qualifikationsstrukturen in diesen dienstleistungsähnlichen Tätigkeiten denen in den (statistisch erfassten) sonstigen Dienstleistungen entsprechen, ergibt sich kein eindeutiges Bild: Einerseits könnte im Vergleich zur abnehmenden Produktion von Roh- und Werkstoffen eine Tendenz zur Höherqualifikation abgeleitet werden. Andererseits liegen die Qualifikationsanforderungen im Investitionsgütergewerbe über denjenigen bei den sonstigen Dienstleistungen, was eine Tendenz zu geringeren Qualifikationsanforderungen nahe legen würde (vgl. Tabelle C-1 im Anhang). Vor dem Hintergrund der unsicheren Annahmen und gegenläufigen Effekte sind daher gerade in diesem Bereich empirische Arbeiten notwendig, um mögliche Auswirkungen auf die Arbeitsstrukturen abschätzen zu können.

3.3 **Zwischenfazit: Wissensstand und Forschungsbedarf hinsichtlich der ökonomischen Wirkungen von Umweltschutzstrategien**

In den vorangegangenen Abschnitten wurde – basierend auf den unterschiedlichen Wirkungsmechanismen – Hypothesen zu den Wirkungen unterschiedlicher Umweltschutzstrategien entwickelt, die genuin den durch die Umweltschutzstrategien hervorgerufenen technischen Änderungen zugerechnet werden können. Auf Einkommenskreislauffekte, durch eine Ökosteuer ausgelöste Faktorsubstitutionen oder Verminderungen des excess burden sowie auf die außerhalb der eigentlichen Umweltpolitik liegenden Aspekte wurde hierbei nicht eingegangen. Eine Zusammenfassung der entwickelten Hypothesen ist in Tabelle 3-3 enthalten. Folgendes **Zwischenfazit** lässt sich bezüglich der einzelnen Wirkdimensionen ziehen:

- Bei den *Beschäftigungswirkungen* gibt es bei allen betrachteten Umweltschutzstrategien gegenläufige Teileffekte, allerdings in unterschiedlicher Ausprägung. Sind bei den End-of-pipe-Technologien vor allem die Kosteneffekte bei den Anwendern und die Nachfrageeffekte bei den Herstellern zu beachten, müssen bei den umweltfreundlichen Produktionsverfahren auch weitere Nachfrage- sowie Innovationseffekte berücksichtigt werden. Insgesamt erscheinen bei allen Strategien moderate positive Beschäftigungswirkungen plausibel zu sein. Auch bei den Recyclingstrategien und den umweltfreundlichen Produktkonzeptionen treten die unterschiedlichsten gegenläufigen Teileffekte auf. Die höhere Arbeitsintensität und geringeren Importanteile der zunehmenden Sektoren sprechen für die These, dass insgesamt positive Beschäftigungswirkungen zu erwarten sind.
- Durch den Einsatz von End-of-pipe-Technologien und umweltfreundlichen Produktionsverfahren dürfte der *Investitionsgüterbereich*, der diese Umwelttechnologien herstellt, positiv und die Rohstoff- und Energiewirtschaft tendenziell negativ betroffen sein. Allerdings dürften die negativen Effekte bei den End-of-pipe-Technologien weniger ausgeprägt sein als bei den umweltfreundlichen Produktionsverfahren. Bei den Recyclingstrategien gehören die Hersteller von Grund- und Werkstoffen ebenfalls zu den negativ betroffenen Branchen, dafür gewinnt der sich mit Sammlung, Sortierung und Aufbereitung beschäftigende Recyclingsektor an Bedeutung. Die gravierendsten sektoralen Veränderungen sind von neuen Produktkonzeptionen zu erwarten. Zusätzlich zur Abnahme der Grund- und Werkstoffherstellung dürfte es hier auch zum Rückgang der Neuproduktion von Investitions- und Gebrauchsgütern kommen. Auf der anderen Seite ist eine Zunahme sowohl von Reparaturleistungen und Aufarbeitung als auch dienstleistungsähnlichen Tätigkeiten zu erwarten, die z. T. auch von einem - mit einem neuen Selbstverständnis operierenden - Investitions- und Gebrauchsgütergewerbe übernommen werden können.
- In Abhängigkeit des sektoralen Strukturwandels ergibt sich auch eine Änderung der *regionalen Verteilung der Wirtschaftsaktivitäten*. Einerseits dürften die Re-

gionen, in denen die Grund- und Werkstoffindustrie traditionell angesiedelt ist, überproportional von Produktionsabnahmen betroffen sein. Andererseits dürften in den Regionen, in denen die Umweltschutzindustrie verstärkt vertreten ist, mit überproportionalen Produktionssteigerungen zu rechnen sein. Bei den Recyclingstrategien und umweltfreundlichen Produktkonzeptionen gibt es Argumente, die auf eine gleichmäßige Regionalverteilung der hierdurch induzierten Wirtschaftsaktivitäten hindeuten.

- Die *Arbeitsstrukturen* werden von den einzelnen Umweltschutzstrategien in unterschiedlichem Ausmaß beeinflusst. Neben den direkten Effekten in den Anwenderbranchen sind hierbei auch die indirekten, durch den sektoralen Strukturwandel hervorgerufenen Wirkungen zu berücksichtigen. Verhältnismäßig geringe Wirkungen sind vom Einsatz von End-of-pipe-Technologien zu erwarten. Bei den umweltfreundlichen Produktionsverfahren könnte es in der Summe der Effekte zu einer verstärkten Nachfrage nach höher qualifizierten Arbeitnehmern kommen. Die Auswirkungen von Recyclingstrategien könnten unter Umständen in einer Tendenz zu geringeren Qualifikationsanforderungen bestehen, allerdings lassen zahlreiche Unsicherheiten die Stichhaltigkeit dieser These fraglich erscheinen. Bei den umweltfreundlichen Produktkonzeptionen legen einerseits die direkten Effekte eine Tendenz zur Höherqualifikation nahe, andererseits lassen sich aus den indirekten Effekten auch Argumente ableiten, die gegen eine solche Tendenz sprechen. Eine Generalisierung zum gegenwärtigen Erkenntnisstand ist schwierig, hier besteht die Notwendigkeit einer fallspezifischen Beurteilung.

Die Thesen zu den Wirkungen der einzelnen Umweltschutzstrategien sind in unterschiedlichem Maße mit Unsicherheiten verbunden. Versucht man den Erkenntnisstand und die daraus resultierenden **Forschungsprioritäten** zu charakterisieren, ergibt sich folgendes Bild:

- Bezüglich den *End-of-pipe-Technologien* sind die Hypothesen als verhältnismäßig plausibel einzustufen: Einerseits spielen relativ wenige Wirkungsmechanismen eine Rolle, andererseits wurden in der Vergangenheit bereits Forschungsarbeiten in diesem Bereich durchgeführt. Insgesamt erscheint daher der Forschungsbedarf in diesem Bereich weniger dringlich zu sein.
- Die Auswirkungen *umweltfreundlicher Produktionsverfahren* wurden in zahlreichen Forschungsarbeiten am Beispiel des Klimaschutzes und der rationellen Energienutzung untersucht, die als Prototyp für die Wirkungen umweltfreundlicher Produktionsverfahren herangezogen werden können. Neben den technikbezogenen Wirkungsmechanismen wurden hierbei oftmals auch diejenigen berücksichtigt, die von einer ökologischen Steuerreform angestoßen werden. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen eine Konvergenz der Ergebnisse in Richtung moderater positiver Beschäftigungswirkungen. Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich zum einen hinsichtlich der Frage, inwieweit diese Ergebnisse auch auf andere Umweltproblembereiche, in denen umweltfreund-

liche Produktionsverfahren eingesetzt werden, übertragen werden können. Zum anderen stellt sich die Frage, inwieweit die bestehenden Ergebnisse durch eine bessere Berücksichtigung der Innovationswirkungen, die durch die bisherige Modellierung doch weitgehend ausgeblendet bleiben, verändert werden.

- Erheblicher Forschungsbedarf besteht bei der Analyse der Auswirkungen von *Recyclingstrategien und neuen Produktionskonzepten*. Hier sind erstens zahlreiche Wirkungsmechanismen zu berücksichtigen, die zu gegenläufigen Teileffekten führen. Zweitens sind ganz erhebliche strukturelle Verschiebungen zu erwarten, da diese Strategien in weitaus stärkerem Ausmaß Änderungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette induzieren. Drittens liegen zu diesem Thema kaum empirische Untersuchungen vor, so dass über die Größenordnung der induzierten Teileffekte z. T. nur spekuliert werden kann.

Auch aus **methodischer Sicht** lassen sich Schlussfolgerungen aus den bisherigen Erfahrungen ziehen. So zeigt sich, dass die Berücksichtigung der unterschiedlichen Wirkungsmechanismen und Politikinstrumente auch *unterschiedliche Analyseinstrumentarien* erfordert. So ist es erforderlich, für problemübergreifende Politikmaßnahmen wie die Einführung einer Ökosteuer ein makroökonomisches Analyseinstrumentarium einzusetzen, das in der Lage ist, auch typische makroökonomische Wirkungsmechanismen wie die Veränderung von Einkommenskreislaufeffekten oder die Auswirkungen alternativer Steuersysteme auf den excess burden abzubilden.

Demgegenüber ist es gerade für die stärker durch strukturelle Änderungen gekennzeichneten Recyclingstrategien sowie umweltfreundliche Produktkonzeptionen erforderlich, ein stärker disaggregiertes, auf mesoökonomischer Ebene ansetzendes Analyseinstrumentarium einzusetzen. Die Herausforderung bei beiden Analyseinstrumentarien besteht gleichermaßen darin, im Sinne einer Mikro-Makro-Brücke eine ausreichende bottom-up Fundierung der implizierten Technikänderungen zu erreichen (vgl. Ostertag et al. 2000). Schließlich besteht eine weitere methodische Herausforderung darin, die unterschiedlichen Wirkdimensionen nach einer einheitlichen Vorgehensweise zu analysieren. Dies erfordert die Verwendung eines integrierten Analyseinstrumentariums, das sowohl Beschäftigungseffekte, sektorale und regionale Strukturwirkungen, die Auswirkungen auf die Arbeitsstrukturen als auch die erreichbaren Umweltentlastungen unter einheitlichen Rahmenbedingungen und Annahmen sowie unter Berücksichtigung der gleichen Wirkungsmechanismen analysiert.

Tabelle 3-1: Zusammenfassung der Hypothesen zu den ökonomischen Auswirkungen von Umweltschutzstrategien

	End-of-pipe-Technologien	Umweltfreundliche Produktionsverfahren	Recyclingstrategien	Umweltfreundliche Produktkonzeptionen
Beschäftigung	(kurzfristig) höhere Kostenbelastung; Keine direkten Freisetzungseffekte; höhere Nachfrage nach Investitionsgütern, verstärkt durch First-mover-advantage Studien kommen größtenteils zu positiven Gesamteffekten für die Vergangenheit	Kosteneffekte begrenzt, zudem vermutlich positive Effekte auf Produktivitätsentwicklung; vermutlich direkte Freisetzungseffekte durch höhere Produktivität; höhere Nachfrage nach Investitionsgütern, verstärkt durch First-mover-advantage; Importsubstitution wegen vermiedener Energie- und Rohstoffnachfrage Moderner positiver Gesamteffekt	Kosteneffekte unbestimmt; positive Gesamteffekte wegen höherer Arbeitsintensität und geringerer Importanteile der zunehmenden Sektoren denkbar; u. U. erhöhte Auslandsnachfrage wegen First-mover-advantage Gesamteffekt unbestimmt, aber positive Effekte plausibel	Kosteneffekte unbestimmt; positive Gesamteffekte wegen höherer Arbeitsintensität und geringerer Importanteile der zunehmenden Sektoren denkbar; u. U. erhöhte Auslandsnachfrage wegen First-mover-advantage Gesamteffekt unbestimmt, aber positive Effekte plausibel
Sektoraler Strukturwandel	Zunahme Investitionsgüterindustrie; Anwenderbranchen kurzfristig negativ betroffen	Zunahme Investitionsgüterindustrie; Abnahme Energiewirtschaft bzw. Rohstoffsektoren	Abnahme Grundstoffindustrie; Zunahme von Erfassungsleistungen bzw. Aufbereitung	Abnahme der Herstellung von Grund- und Werkstoffen sowie von Investitions- und Gebrauchsgütern; Zunahme von Reparatur, Aufarbeitung und dienstleistungsfählichen Tätigkeiten
Regionaler Strukturwandel	Regionen mit hohem Anteil Umweltschutzindustrie positiv, Regionen mit hohem Anteil Anwenderbranchen tendenziell negativ betroffen; z. T. intraregionaler Strukturwandel	Regionen mit hohem Anteil Umweltschutzindustrie positiv, Regionen mit hohem Anteil Energie- und Rohstoffwirtschaft tendenziell negativ betroffen; z. T. intraregionaler Strukturwandel	Regionen mit hohem Anteil an Grund- und Werkstoffindustrie negativ betroffen; Tendenz zu regionaler Gleichverteilung der zunehmenden Sektoren	abhängig von fallspezifischen Unterschieden zwischen zunehmenden und abnehmenden Sektoren
Tätigkeitsbilder; Qualifikation	Kaum direkte Effekte zur Höherqualifizierung; tendenziell höhere Qualifikationsanforderungen durch indirekte Effekte	Zunahme von Überwachungs-/Wartungstätigkeiten, Hilfstätigkeiten; Polarisierung der Qualifikationen; tendenziell höhere Qualifikationsanforderungen durch indirekte Effekte	Neue Tätigkeitsbilder (Sammlung, Sortierung) mit niedriger Qualifikation, die u. U. rationalisiert werden; Polarisierung der Qualifikationen bei der Aufbereitung; u. U. Tendenz zu geringeren Qualifikationsanforderungen durch indirekte Effekte, aber fallspezifische Differenzierung erforderlich	Zunahme handwerklicher Qualifikationsanforderungen; Erweiterung Anforderungsprofil um dispositive Tätigkeiten; indirekte Effekte abhängig von fallspezifischen Unterschieden zwischen zunehmenden und abnehmenden Sektoren

Teil B: Wirkungsanalyse für ausgewählte Fallbeispiele

4 Vorgehensweise bei der Analyse der Fallbeispiele

4.1 Erkenntnisinteresse und Auswahl der Fallbeispiele

Aus den in Abschnitt 3.3 skizzierten Schlussfolgerungen wird deutlich, dass bei den Recyclingstrategien sowie bei den umweltfreundlichen Produktstrategien erheblicher Forschungsbedarf bezüglich den Auswirkungen auf die Arbeitswelt besteht. Aus diesen Gründen wird die Durchführung der Fallstudien schwerpunktmäßig auf diese Strategien hin ausgerichtet.

Ziel dieser Analyse ist es, einen Beitrag zur *empirischen Prüfung der in Kapitel 3 aufgeführten Thesen* zu leisten. Das Erkenntnisinteresse liegt also bei den wirtschaftlichen Auswirkungen bestimmter Umweltschutzstrategien, nicht aber in der Optimierung umweltpolitischer Maßnahmen für die einzelnen Fallbeispiele. Die Auswahl der Fallbeispiele impliziert also nicht, dass der Einsatz der betrachteten Umweltschutzstrategie im Fallbeispiel gegenüber anderen umweltpolitischen Maßnahmen zu präferieren ist. Vielmehr ist hervorzuheben, dass die Erreichung einer dauerhaft umweltverträglichen Entwicklung die Kombination aller Umweltschutzstrategien erfordern wird.

Die betrachteten Fallbeispiele weisen einen *mittel- bis langfristigen Zeithorizont* auf. Dies wird auch durch die methodische Vorgehensweise unterstrichen, die in der Aufstellung von Szenarien besteht. **Zentrales Erkenntnisinteresse** derartiger Projektionsanalysen ist eine systematische Identifikation und Analyse der Auswirkungen, die bei der Einführung oder Modifikation von technischen Systemen entstehen können. Da sich diese Änderungen erst in der Zukunft einstellen werden, weisen Szenarienanalysen einen erheblichen Grad an Unsicherheit auf. Ähnlich wie Technikfolgenabschätzungen liegt ihr Ziel nicht in der exakten Prognose eines sich in Zukunft einstellenden Zustandes, sondern in der Steigerung des „Folgenbewusstseins“ politischen bzw. wirtschaftlichen Handelns (Gloede/Paschen 1992). Szenarienanalysen verdeutlichen einen Entwicklungspfad, der sich unter bestimmten Bedingungen einstellen kann, erheben jedoch nicht den Anspruch, die Zukunft zu beschreiben, wie sie sich einstellen wird (vgl. VDI 1991).

In den Analysen wird ein mittleres Aggregationsniveau auf Branchen- bzw. Stoffstromebene angestrebt. Der Aggregationsgrad ergibt sich aus den zu betrachtenden Wirkungen. Aufgrund der zahlreichen indirekten Effekte kann eine umfassende Analyse nicht auf einzelwirtschaftlicher Ebene ansetzen, sondern muss die Volkswirtschaft als ganzes betrachten. Andererseits stehen nicht die makroökono-

mischen Wirkungsmechanismen wie Einkommenskreislauffeffekte oder Ökosteuerereffekte etc. im Vordergrund der Analyse, sondern die durch technische Änderungen ausgelösten strukturellen Wirkungen. Entsprechend ist ein mesoökonomischer Ansatz notwendig, bei dem für ausgewählte Branchen/Stoffströme die Auswirkungen des Einsatzes einer Umweltschutzstrategie in ihren Auswirkungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette analysiert werden. Gleichzeitig baut die Analyse auf einer detaillierten Analyse der Fallstudien auf der Mikroebene auf, deren Ergebnisse im Sinne einer Mikro-Makro-Brücke für die Fundierung der Modellanalysen herangezogen werden. Aufgrund der technischen Fundierung ist diese Modellierungsstrategie vergleichsweise aufwendig, da ein relativ hoher Aufwand zur Beschaffung von Datenmaterial erforderlich ist. Hinzu kommt, dass bei den im Vordergrund stehenden Umweltschutzstrategien der Erkenntnisstand begrenzt ist. Um dennoch mehrere Fallbeispiele analysieren zu können, war es daher erforderlich, möglichst an bestehende Erfahrungen anknüpfen zu können. Dadurch wurde es möglich, im Rahmen dieses Vorhabens derartige Analysen für fünf Fallbeispiele durchzuführen.

Neben der Datenverfügbarkeit war ein wesentlicher Punkt für die Auswahl der Fallbeispiele die *Repräsentativität für die zu untersuchenden Umweltschutzstrategien*. Um die Identifikation von Unterschieden bzw. Gemeinsamkeiten zwischen den verschiedenen Teilstrategien der betrachteten Umweltschutzstrategien (vgl. Kapitel 2) zu ermöglichen, sollte ein breites Spektrum untersucht werden. Hierbei sollten die Fallbeispiele folgende Felder abdecken:

- Recycling von Produkten,
- Kombination von Produktrecycling und neuen Produktkonzeptionen,
- Lebensdauerverlängerung von Produkten,
- Nutzungsintensivierung durch gemeinsame Nutzung eines Produktes,
- Produktgestaltung zur Steigerung des Einsatzes erneuerbarer Energien.

Gleichzeitig sollten sich die ausgewählten Fallbeispiele durch ihre wirtschaftliche und umweltpolitische Bedeutung auszeichnen, d. h. die betrachteten Stoffströme und Branchen sollten keine Nischenprodukte darstellen. Auch wenn die betrachteten Umweltschutzstrategien z. T. deutliche Änderungen des Verbraucherverhaltens erfordern, sollten die ausgewählten Fallbeispiele zudem dadurch gekennzeichnet sein, dass es zu strukturellen Verschiebungen innerhalb der Erwerbstätigkeit kommt. Nicht im Vordergrund standen also ebenfalls denkbare Produktkonzeptionen, bei denen die Organisation von dienstleistungsähnlichen Tätigkeiten von den privaten Haushalten selbst übernommen wird (z. B. gemeinschaftliche Nutzung von Waschmaschinen in Mehrfamilienhäusern). Vor diesem Hintergrund wurden folgende **Fallbeispiele** für die empirischen Untersuchungen ausgewählt:

- **Verstärktes Recycling von Kunststoffen:** In den letzten Jahren ist das Recycling von Kunststoffen immer mehr in die abfallpolitische Diskussion geraten. Der Problemdruck bei der Verwertung und Entsorgung von Kunststoffabfällen dürfte eher noch ansteigen, da die Kunststoffbranche mit die höchsten Wachstumsraten aller Wirtschaftszweige in Deutschland realisiert und 1998 ein Volumen von 12,5 Mio. t erreichte (VKE 1999). Da die meisten Kunststoffprodukte langlebig sind, erfolgt der Anstieg des als Abfall zu verwertenden Kunststoffs zeitverzögert zum Kunststoffverbrauch (Patel 1999). Entsprechend den Wachstumsraten der vergangenen Jahre wird daher der Problemdruck im Abfallaufkommen in den nächsten Jahren massiv zunehmen. Bei der Diskussion um ein verstärktes Recycling kommt den Kunststoffen hierbei nicht nur wegen ihrer scheinbar unaufhaltsamen Marktdurchdringung eine hohe Bedeutung zu, sondern auch, weil sich bei ihnen das Recycling noch nicht in dem Ausmaß wie bei den alternativen Werkstoffen Metall und Glas hat etablieren können.
- **Nachhaltigerer Umgang mit Papier:** Die Papierindustrie zählt zu den energie- und abwasserintensiven Branchen und weist seit den achtziger Jahren überdurchschnittliche Wachstumsraten auf (vgl. Grefermann 1997). Gleichzeitig bildet der Stoffstrom Papier ein hervorragendes Beispiel für Möglichkeiten eines Stoffstrommanagements entlang der Wertschöpfungskette, das verstärkte Recyclingmaßnahmen mit neuen Produktkonzeptionen (z. B. Printing-on-Demand, Dematerialisierung von Informationsträgern) kombiniert (vgl. International Institute for Environment and Development 1996; Götsching et al. 1996; Lehner et al. 1997; Plätzer 1998).
- **Lebensdauerverlängerung von Produkten:** Bei diesem Fallbeispiel sollte ein langlebiges Gebrauchsgut analysiert werden. Um die Effekte eines verstärkten Übergangs von der Neuproduktion auf eine intensivierte Reparatur betrachten zu können, sollte das Fallbeispiel gleichzeitig durch die Existenz eines bedeutenden Reparatursektors gekennzeichnet sein. Zudem sollte die betrachtete Branche auch in erheblichem Ausmaß auf dem Weltmarkt erfolgreich sein, um die aus dem Außenhandel resultierenden Effekte einer Strategie der Lebensdauerverlängerung mit erfassen zu können. Ausgewählt wurde schließlich eine Lebensdauerverlängerung von PKW, zumal es in diesem Bereich erste Analysen zu Unternehmensbeispielen gibt, an die angeknüpft werden konnte (vgl. Fleig 2000).
- **Nutzungsintensivierung von Produkten:** In diesem Fallbeispiel sollten die Wirkungen untersucht werden, die sich aus der gemeinsamen Nutzung eines Gebrauchsgutes ergeben. Ausgewählt wurde das Car-Sharing, das zurzeit sicherlich am meisten sich in der Diskussion befindliche Beispiel für eine Nutzungsintensivierung. Da dieser Bereich zudem durch die Gründung und Expansion von Car-Sharing Unternehmen gekennzeichnet ist, konnten mit der Auswahl dieses Fallbeispiels gleichzeitig die Verschiebungen analysiert werden, die sich aus dem Übergang von der Neuproduktion des Gutes hin zu dienstleistungsähnlichen Tätigkeiten ergeben.

- **Produktgestaltung zur Steigerung des Einsatzes erneuerbarer Energien:**

Langfristig stellt der verstärkte Einsatz von erneuerbaren Energien einen unverzichtbaren Bestandteil einer Strategie dar, um den Ressourceneinsatz zu begrenzen und die CO₂-Emissionen um 80 % zu reduzieren. Entsprechend wird auch das Design von Produkten vor der Frage stehen, wie sich die Arbeitswelt verändert, wenn es zum Einsatz von langfristigen Gebrauchsgütern kommt, die durch den Einsatz von erneuerbaren Energien geprägt sind. Als Fallbeispiel ausgewählt wurde der Einsatz mobiler Brennstoffzellen, die mit aus erneuerbaren Energien gewonnenem Wasserstoff angetrieben werden. Hintergrund für diese Auswahl war, dass dieses Fallbeispiel sowohl bezüglich des Einsatzes der erneuerbaren Energien (Import von erneuerbaren Energien) als auch bezüglich des produzierten Produktes (Exporte von Brennstoffzellenantrieben) die Möglichkeit bietet, unterschiedliche Außenhandelseffekte zu betrachten. Zudem liegen bezüglich dieser Strategie durch die Erfahrungen von PKW-Herstellern auch erste Informationen zu den Änderungen im Design des Antriebsstrangs vor, an die bei der Analyse der Auswirkungen auf die Arbeitswelt angeknüpft werden konnte.

Die Vorgehensweise bei der Analyse der Fallbeispiele folgt einem dreistufigen Aufbau, wobei - entsprechend der o. g. Zielsetzungen – unterschiedliche Wirkdimensionen betrachtet werden:

- Beschreibung des Fallbeispiels und Konkretisierung der Umweltstrategie,
- Analyse der Auswirkungen auf der Mikroebene:
 - Einflüsse auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen
- Durchführung von Szenarienanalysen auf der Mesoebene:
 - direkte und indirekte Beschäftigungswirkungen,
 - sektorale Strukturwirkungen,
 - Wirkungen auf die Struktur der Arbeitsnachfrage,
 - regionale Strukturwirkungen,
 - erreichbares Umweltentlastungspotential.

4.2 Analyse der betrieblichen Arbeitsstrukturen auf der Mikroebene

Ziel der Analyse auf Mikroebene war es, die in Abschnitt 3.2 dargestellten Thesen über die Wirkung von Umweltstrategien auf die **betrieblichen Arbeitsstrukturen in den Anwenderbetrieben** für die gewählten Fallbeispiele zu untersuchen. Während der Einsatz von End-of-pipe-Technologien am wenigsten Veränderungen auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen erwarten lässt, haben umweltfreundliche Verfahren und stoffliches Recycling eine Reihe von primären und vor allem sekundären Effekten aufzuweisen. So teilen sich die Belegschaften in Arbeitnehmer mit vielen einfachen Tätigkeiten und hochqualifizierte Spezialisten (verstärkte Polarisierung der Qualifikationsstrukturen). Die meisten Veränderungen könnten sich bei der Realisierung der Strategie der umweltfreundlichen Produkte/Nutzenintensivierung ergeben. Diese Änderungen betreffen vor allem Aspekte wie erhöhte Arbeitszeitflexibilität, Dienstleistungskultur und anderes. Hierfür waren aber nach Analyse der Literatur die Hypothesen am wenigsten sicher. Zur Beurteilung der Wirkung auf die Arbeitsstrukturen sollten die Thesen mittels Interviews unter Wahrnehmung laufender empirischer Arbeiten im ISI untersucht und ihre Übertragbarkeit geprüft werden.

Einem grundsätzlichen Problem stehen die Thesendiskussion und die Modellierung der Industriestrukturen gegenüber, wenn – wie wahrscheinlich erforderlich – ein Zeitraum von 10 bis 20 Jahren für die Umsetzung der Umweltstrategien angesetzt wird. Dann nämlich müssen die sich in der Zukunft einstellenden Strukturen der Altersverteilung, der Beteiligung von Frauen an der Erwerbstätigkeit und der Qualifikationen mit den Anforderungen der industriellen Kreislaufwirtschaft hinsichtlich Kompetenzen, Arbeitszeit, Arbeitsorganisation und Technikeinsatz unter Maßgabe eines Leitbildes humaner Erwerbsarbeit in Einklang gebracht werden.

Für die untersuchten Fallstudien wurden die Unternehmen so ausgewählt, dass Paarvergleiche möglich waren. Außerdem wurde insbesondere auf kleine und mittlere Unternehmen Wert gelegt, die gerade für die neuen Entwicklungen typische Strukturen auswiesen. Um die breite Palette der Fallbeispiele abdecken zu können, wurden zusätzlich aus laufenden ISI-Projekten Erkenntnisse aus Fallstudien herangezogen. Dies sind die Projekte CURA (Cooperation für umweltschonenderen Ressourcenaustausch zur Nutzung von Kostenreduktion (Multimedia-Einsatz im Druckgewerbe)) und PROKREIS. Bei dem Projekt PROKREIS wurden zwölf Unternehmen aus der Industrie untersucht, die Konzepte zur Nutzungsintensivierung und Lebensdauerverlängerung einführen bzw. diese eingeführt haben. Des weiteren wurden die Fallanalysen aus der Vordringlichen Aktion *Produkte und Prozesse für nachhaltiges Wirtschaften* des BMBF – Rahmenkonzept *Forschung für die Produktion von morgen* – ebenfalls sekundäranalytisch herangezogen. Auch hier wurden Handlungsfelder für nachhaltige Nutzungsformen bzw. die Erweiterung des Produktnutzens durch Dienstleistungen untersucht.

Die Analyse der Unternehmensbeispiele richtete sich nach der für derartige Feldforschungen üblichen Vorgehensweise:

- Erstellung eines Interviewleitfadens,
- Vorrecherche des Unternehmens,
- Durchführung der Interviews,
- Protokollierung und Auswertung der Interviews,
- Nachrecherche sowie
- Erstellung der Dokumentation und Schlussfolgerungen.

Die betrieblichen Arbeitsstrukturen wurden hinsichtlich vier **Dimensionen** untersucht. Von Interesse waren einmal die Rationalisierungseffekte, die sich aus dem Einführen der unterschiedlichen Umweltstrategien ergeben. Diese beeinflussen in hohem Maße die quantitativen Wirkungen auf die Beschäftigung. Die Qualifikationsstruktur wird ebenfalls in der Analyse der Arbeitsstrukturen im Detail dargestellt. Hierbei war es Ziel, nicht nur die gesamtbetriebliche Unternehmensebene zu betrachten, sondern gegebenenfalls zwischen technischen Büros, Werkstatt und neuen Dienstleistungsaufgaben zu unterscheiden. Auch sollten zusätzlich notwendig gewordene Qualifikationen des Arbeitnehmers zur Erfüllung der Anforderungen der jeweiligen Umweltschutzstrategie erfasst werden. Weiter war von Interesse, inwieweit sich Arbeits- und Einsatzzeiten durch die Umsetzung der Umweltschutzstrategien ändern. Die Umstellung auf Schichtbetrieb, Rund-um-die-Uhr-Rufbereitschaften etc. haben Auswirkungen auf die Gestaltung der Arbeitsplätze. Da sich im gleichen Maße Lohnfindung und Entlohnungsstrategien der Unternehmen anpassen könnten, wurden auch diese Aspekte analysiert.

Tabelle 4-1: Auf der Mikroebene untersuchte Unternehmensbeispiele

Fallbeispiel Papier <ul style="list-style-type: none"> • Printing on demand • Sekundärrecherche von Fallbeispielen aus dem Projekt Cooperation für Umweltschonenden Ressourcenaustausch zur Nutzung von Kostenreduktionen (Möglichkeiten zwischenbetrieblicher Vernetzung von Stoff- und Energieströmen; Optimierung von Produktions-, Vertriebs- und Entsorgungsstrukturen durch Regionalisierung und dezentrale Organisation)
Fallbeispiel Kunststoffrecycling <ul style="list-style-type: none"> • Gegenwärtiger Stand des Kunststoffrecyclings • Automatisierte Werkstoffsortieranlagen
Fallbeispiel Pkw-Lebensdauererlängerung <ul style="list-style-type: none"> • Werkstatt/Reparatur • Sekundärrecherche von Unternehmensbeispielen aus dem Projekt „Industrielle Konzepte zur Nutzungsintensivierung und Lebensdauererlängerung von Produkten“ (PROKREIS)
Fallbeispiel Car-Sharing <ul style="list-style-type: none"> • Car-Sharing Unternehmen • Sekundärrecherche von Unternehmensbeispielen aus dem Projekt „Industrielle Konzepte zur Nutzungsintensivierung und Lebensdauererlängerung von Produkten“ (PROKREIS) • Sekundärrecherche von 14 Unternehmensbeispielen aus der Vordringlichen Aktion Produkte und Prozesse für nachhaltiges Wirtschaften des BMBF – Rahmenkonzept Forschung für die Produktion von morgen –
Fallbeispiel mobiler Einsatz von Brennstoffzellen <ul style="list-style-type: none"> • Sekundärrecherche der Beispiele aus dem Projekt „Innovationsprozess vom Verbrennungsmotor zur Brennstoffzelle. Chancen und Risiken für die baden-württembergische Industrie“ (Wengel/Schirrmeister, 2000)

4.3 Durchführung von Szenarienanalysen

4.3.1 Modellierungsansatz

Als Rahmenmethodik für die Durchführung der Projektionsanalysen wird die aus der angewandten Systemanalyse stammende **Szenarienanalyse** angewendet (vgl. Zangemeister 1992, Gausemeier et al. 1997). Für die Untersuchung der ökonomischen Wirkungen innerhalb der Szenarienanalysen wird mit der **Input-**

Output-Analyse eine Methodik aus der empirischen Wirtschaftsforschung angewandt. Die Wirkungen der untersuchten Fallbeispiele ergeben sich hierbei als Differenz eines Nachhaltigkeitsszenarios gegenüber einem Referenzszenario.

- Der Szenarienanalyse kommt in diesen Analysen die Rolle zu, explizit die Berücksichtigung von Unwissenheit zu verdeutlichen und mögliche Zukunftsprojektionen zu beschreiben. Szenarien sagen nicht, was sein wird, sondern was wäre, wenn bestimmte Bedingungen vorlägen (VDI 1991, S. 18). Sie verdeutlichen, dass es sich bei den Ergebnissen um vorläufiges, revidierbares Wissen handelt.
- Die Szenarienanalyse ist auf die Ergebnisse disziplinärer Methoden angewiesen. Entsprechend wird aus diesen umweltbezogenen Analysen auch die Kombination von systemanalytischen mit anderen fachspezifischen Methoden deutlich, z. B. wenn Lebenszyklusanalysen zur Abschätzung der ökologischen Wirkungen herangezogen werden (Böhm/Walz 1996) oder beim Einsatz von makro- oder mesoökonomischen Modellen zur Abschätzung der ökonomischen Folgen unterschiedlicher Szenarien (vgl. Enquete-Kommission 1994 sowie Walz 1995).
- Die Szenarienanalyse stellt einen Rahmen zur Verbindung von unterschiedlichen Disziplinen dar. Häufig kommt ihr die Funktion zu, als Mikro-Makro-Brücke die auf unterschiedlichen Aggregationsebenen arbeitenden disziplinären Methoden miteinander zu verbinden. Sie ist daher insbesondere geeignet, eine Kopplung von bottom-up Vorgehen (z. B. Unternehmensfallstudien) mit ökonomischen Ansätzen zu bewirken (vgl. Wilson/Swisher 1993; Walz 1995; Krause 1996).
- Als Instrument zur Durchführung der Wirkungsanalyse kommt innerhalb der Szenarienanalyse das ein um mehrere Module erweiterte volkswirtschaftliche Input-Output-Modell **ISIS** zum Einsatz.

Die Vorgehensweise bei der Durchführung der Szenarienanalysen ist schematisch in Tabelle 4-2 skizziert. In einem ersten Schritt werden die **Szenarien konkretisiert** und abgegrenzt. Hierbei muss zum einen der Gegenstandsbereich der Szenarien bestimmt werden. Für die einzelnen Fallbeispiele ist jeweils festzulegen, welche alternativen Techniklinien untersucht werden. Des weiteren ist eine Festlegung der zeitlichen Dimension erforderlich. Hier wird in allen Fallbeispielen angestrebt, die sich im Jahr 2020 ergebende Situation sowohl für den Referenz- wie auch den Nachhaltigkeitsfall zu beschreiben.

In einem zweiten Schritt erfolgt die **Spezifizierung der Szenarienannahmen**. Hierbei müssen die Rahmenannahmen wie wirtschaftliches Wachstum oder die Preisentwicklung spezifiziert werden, die das Umfeld der in den Szenarienanalysen behandelten Gegenstandsbereiche beschreiben. Zudem müssen spezifische Annahmen getroffen werden, die den Einsatz der Umweltstrategie in den Szenarien quantifizieren.

Ein weiterer wichtiger Teilschritt ist die **Generierung von Inputdaten** für die Spezifizierung des Gegenstandsbereichs. So ist es erforderlich, für die durch die Umweltstrategie direkt betroffenen Sektoren, die nicht im Grundmodell der Input-Output-Analyse enthalten sind (z. B. Kunststoffrecycling und –aufbereitung, Car-Sharing-Branche), Annahmen bezüglich Kosten, Investitionsbedarf, Arbeitseinsatz, Qualifikationsbedarf, Regionalverteilung und Umweltbelastungen zu treffen. Hierbei kommt ein Mix an Untersuchungsmethoden zum Einsatz, der von der Auswertung von Literatur und der Durchführung von Expertengesprächen über die Auswertung von statistischem Material bis hin zum Einsatz von Stofffluss-Modellen reicht. Folgende Schwerpunkte sind für die einzelnen Fallbeispiele anzuführen:

- Papier: Einsatz eines Stoffflussmodells; Auswertung von Literatur und Statistiken, Expertengespräche, Unternehmensfallbeispiele.
- Kunststoff: Einsatz eines Stoffflussmodells; Unternehmensfallbeispiele.
- Pkw-Lebensdauerverlängerung, Car-Sharing, Brennstoffzellen: Unternehmensfallbeispiele, Auswertung von Literatur und Statistiken; Anknüpfen an bestehende Arbeiten; Expertengespräche

Die **Ableitung der ökonomischen Impulse** bildet das unmittelbare Bindeglied zur Wirkungsanalyse. Entsprechend ist es erforderlich, den sich aus den Szenarienannahmen ergebenden Nachfrageimpuls abzuleiten, der sich aus der Differenz zwischen Referenz- und Nachhaltigkeitsfall ergibt. Hierbei müssen auch sich verändernde Kostenstrukturen abgebildet werden, die sich entweder auf die Endnachfrage oder die Vorleistungsbeziehungen auswirken. Zusätzlich muss jeweils mitentschieden werden, welche der in Abschnitt 4 angesprochenen Kompensationseffekte mitberücksichtigt werden. Folgende allgemeine Leitlinien wurden hierbei befolgt:

- Es wird davon ausgegangen, dass eine auf den Kreislaufzusammenhängen beruhende Kaufkraftkompensation stattfindet, so dass der Nachfrageimpuls in seiner gesamtwirtschaftlichen Summe aller Sektoren im Vergleich zum Referenzfall unverändert bleibt. Wenn also die Kosten im Nachhaltigkeitsfall gegenüber dem Referenzfall ansteigen, muss eine Kompensation durch eine Reduktion der Nachfragesumme an anderer Stelle erfolgen. Entsprechend kommt es zu einer Kompensation von verringerten Kosten durch einen Anstieg der Nachfragesumme an anderer Stelle. Bei der Ermittlung der Kompensationswerte wurde eine Unabhängigkeit von Veränderungen der relativen Preise in Referenz- und Nachhaltigkeitsszenario unterstellt.
- Die Erweiterung der Endnachfrage durch Produktinnovation in dem Sinne, dass hierdurch die Sättigungsgrenzen hinausgeschoben werden und sich die Endnachfrage im Saldo erhöht, wurde nicht berücksichtigt. Eine Einbeziehung dieses Kompensationsmechanismus würde die Analyseergebnisse dahingehend beeinflussen, dass die Beschäftigungswirkungen im Nachhaltigkeitsfall positiver, die Umweltwirkungen weniger positiv ausfallen würden.

- In der klassischen Argumentation bezieht sich das Maschinenherstellungsargument auf eine Substitution von Arbeit durch Kapital. Für die gewählten Fallbeispiele hingegen stellt sich die Situation anders dar: die neuen Technologien müssen zwar ebenfalls hergestellt werden (Investitionsimpuls), dem steht aber eine Reduktion der Technologien gegenüber, die substituiert werden (Beispiel: Kunststoff-Sortieranlage substituiert Müllverbrennung). Von daher ist zu vermuten, dass dem modifizierten Maschinenherstellungsargument keine sehr große Bedeutung zukommt. In Sensitivitätsanalysen wurde untersucht, inwieweit dies zutrifft.
- Durch den technischen Wandel kann sich die internationale Wettbewerbsfähigkeit durch neue Qualitäten steigern, wodurch eine erhöhte Exportnachfrage und damit eine Beschäftigungssteigerung resultieren kann. Dieser Effekt wurde in Sensitivitätsanalysen untersucht.

Tabelle 4-2: Überblick über die Vorgehensweise bei der Durchführung der Szenarienanalysen

Definition und Abgrenzung der Szenarien <ul style="list-style-type: none"> • Abgrenzung Bilanzraum • Definition von Referenzfall und Maßnahme
Szenarienannahmen <ul style="list-style-type: none"> • Annahmen Umfeldbereich (Rahmenannahmen) • Annahmen Gegenstandsbereich (Spezifizierung Referenz- und Nachhaltigkeits-szenario) • Ableitung ökonomischer Impulse
Wirkungsanalyse (erweitertes Input-Output-Modell ISIS) <ul style="list-style-type: none"> • Gesamtwirtschaftliche und sektorale Beschäftigung und Produktion • Qualifikationsstrukturen und Arbeitsbedingungen • Regionalwirkungen • Umweltbelastungen

4.3.2 Modell ISIS

Bei der Wahl geeigneter Instrumente zur Modellierung der ökonomischen Wirkungen (Wirkungsanalyse) ist die gewählte Analyseebene zu berücksichtigen. So drehte sich die Diskussion der Folgewirkungen von Strategien des Einsatzes neuer technischer Verfahren in der Vergangenheit vor allem um die Wirkungen der zusätzlichen Investitionskosten bzw. die dadurch ausgelösten Nachfrage- und Einkommenskreislauf-Effekte. Derartige Fragestellungen werden auf aggregierter gesamtwirt-

schaftlicher Ebene typischerweise mittels ökonometrischer oder allgemeiner Gleichgewichtsmodelle analysiert.

Im Unterschied zu diesen makroökonomisch orientierten Fragestellungen handelt es sich bei den ausgewählten *Fallbeispielen* um eine **mesoökonomische Analyse**, bei der makroökonomische Wirkungen wie die Veränderungen der Einkommenskreislaufeffekte nur eine untergeordnete Rolle spielen. Im Vordergrund stehen vielmehr die durch Strukturverschiebungen ausgelösten Wirkungen. Hierbei kommt den Auswirkungen auf den sektoralen Strukturwandel eine besondere Bedeutung zu, da sie ganz wesentlich auch die indirekten Effekte bei den anderen Wirkdimensionen beeinflussen.

Diese Fragestellungen sind ein klassischer Anwendungsbereich für ein **Input-Output-Modell**, das die Güterströme zwischen den Wirtschaftssektoren für einen Wirtschaftsraum wie die Bundesrepublik Deutschland auf einem mesoökonomischen Aggregationsniveau vollständig abbildet (Petit 1995; Meyer-Krahmer 1999). Die Erweiterung dieses Input-Output-Modells um Module, die neben sektorialem Strukturwandel auch Umweltwirkungen, quantitative und qualitative Arbeitsplatzeffekte sowie regionale Wirkungen in einem konsistenten Modellrahmen erfassen, erlaubt eine modellgestützte Analyse dieser zusätzlichen Dimensionen im Sinne eines ganzheitlichen Verständnisses von Nachhaltigkeit. Entsprechend wurde im Rahmen dieses Projekts ein derartiges Modell für die Untersuchung der ausgewählten Fallbeispiele entwickelt und erstmalig eingesetzt.

Ausgehend von den im Input-Output-Modell abgebildeten Branchenverflechtungen, die den Status quo abbilden, können die von den Kreislaufwirtschaftsstrategien ausgehenden Impulse modelliert werden. Diese wirken sich entweder auf Produktionsvorleistungen aus (z. B. erhöhter Bezug von Sekundärrohstoffen und paralleler Rückgang des Einsatzes von Primärrohstoffen) oder sind mit Veränderungen in der Endnachfrage nach Gütern verbunden (z.B. Rückgang des Produktionsniveaus der Endprodukte durch die Einführung langlebiger Produkte, aber verstärkte Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten). Mit Hilfe der im Input-Output-Modell enthaltenen Verflechtungsinformationen können die durch diese Impulse ausgelösten Effekte auf vorgelagerten Ebenen bis hin zu den Rohstofflieferanten ermittelt werden.

Zur Analyse der Auswirkungen der Umweltstrategien auf die verschiedenen Dimensionen der Nachhaltigkeit (Strukturwandel, Produktion, Arbeitsplätze, Qualifikationsstruktur und Arbeitsbedingungen, Regionalwirkungen, Umweltwirkungen) wurde im Rahmen des Projekts das **Modell ISIS** (Integrated Sustainability Assessment System) entwickelt und auf die ausgewählten Fallbeispiele angewendet. Die wesentlichen Elemente von ISIS werden hier kurz beschrieben, eine detaillierte Darstellung des Modells findet sich in Anhang A.

Den Kern für ISIS bildet ein statisches Input-Output-Modell (IO-Modell), anhand dessen insbesondere die strukturellen Auswirkungen der verschiedenen Umweltstrategien untersucht werden. Zur Analyse der anderen Nachhaltigkeitsdimensionen wurden weitere Module für Beschäftigungseffekte, Qualifikationsstruktur und Arbeitsbedingungen, Regionalwirkungen und Umwelteffekte entwickelt beziehungsweise angekoppelt. Die Ergebnisse der Szenarienrechnungen aus dem IO-Modell, d. h. Produktionsänderungen infolge der unterschiedlichen Strategien, dienen als Inputs für die anderen Module.

Input-Output-Modell

Das für ISIS verwendete IO-Modell basiert auf den aktuellsten Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 1995 und ist der Gruppe der statischen, offenen Leontief-Modelle zuzuordnen. Darin wird die deutsche Volkswirtschaft in 58 produzierende und 6 Endnachfragesektoren unterteilt, wobei die Lieferungen von Waren und Dienstleistungen zwischen den produzierenden Sektoren (Zwischennachfrage) sowie von diesen an die Endnachfragesektoren abgebildet werden. Dieses IO-Modell wird verwendet, um sektorale Unterschiede in der Produktion zwischen Referenz- und Nachhaltigkeitsszenario zu berechnen. Diese Ergebnisse bilden die Basis für die weiteren Analysen in den zusätzlichen Modulen. In diesen zusätzlichen Analysen werden daher nicht nur die direkten, sondern auch die sich unter Berücksichtigung sämtlicher Vorleistungsbeziehungen ergebenden indirekten Effekte der Umweltschutzstrategien berücksichtigt.

Modul Beschäftigung

Unter der Annahme, dass sich der Zusammenhang zwischen dem sektoralen Beschäftigungsniveau und dem sektoralen Produktionsniveau linear approximieren lässt, werden mittels Arbeitsplatzkoeffizienten die quantitativen Auswirkungen auf die Beschäftigung berechnet. Dabei wird einerseits ausgewertet, welche Beschäftigungswirkungen in den einzelnen Sektoren zu verzeichnen sind. In einem weiteren *impulsbezogenen Ansatz* wurden die gesamten Beschäftigungswirkungen jeweils den auslösenden ökonomischen Impulsen zugeordnet. Diese Impulse bestehen aus den Nachfrageverschiebungen, die durch das Nachhaltigkeitsszenario ausgelöst werden, z. B. die Erhöhung von Sortier- und Aufbereitungsaktivitäten von recycelten Kunststoffen einerseits (positiver Impuls) und dem Rückgang nach der Produktion von Neukunststoffen andererseits (negativer Impuls). Die einem ökonomischen Impuls zugeordneten Beschäftigungswirkungen umfassen dabei die Beschäftigten, die direkt und indirekt an der Herstellung der mit dem Impuls verbundenen Güter beteiligt sind. Sie beziehen damit die Vorleistungsproduktion mit ein. Die Kennzahl, die die Veränderung der Zahl der Beschäftigten auf den auslösenden Impuls bezieht, wird als **spezifischer Gesamtbeschäftigungseffekt** bezeichnet. Dieser lässt sich in drei getrennt interpretierbare Komponenten zerlegen:

$$\text{Gesamteffekt} = \frac{\text{Produktionsmultiplikator}}{\text{Produktionsmultiplikator}} * (1 - \text{Importanteil}) * \frac{\text{Beschäftigungsintensität}}{\text{Beschäftigungsintensität}}$$

- Der *Produktionsmultiplikator* gibt an, in welchem Umfang ein ausgelöster Impuls durch den Bezug notwendiger Vorleistungen zur Produktionssteigerung beiträgt. Je höher der Produktionsmultiplikator, desto höher sind die ausgelösten Produktionseffekte eines Impulses. In die Berechnung des Produktionsmultiplikators geht als Nenner der direkte Nachfrageimpuls ein. Im Zähler ist der Gesamtwert der Güter aufgeführt, die direkt und indirekt für die Produktion des direkten Nachfrageimpulses benötigt werden. Dabei werden die importierten Güter mit eingeschlossen.
- Der *Importanteil* gibt an, welcher Anteil der durch die Impulse insgesamt ausgelösten Gesamtproduktion auf Importe entfällt. Je höher der Importanteil, desto geringer ist der Anteil, der auf die Inlandsproduktion entfällt.
- Die durchschnittliche *Beschäftigungsintensität* gibt an, wie viele Personen pro Million DM inländischer Produktion, die aus dem Impuls resultiert, beschäftigt werden.

Modul Qualifikationsstruktur und Arbeitsbedingungen

Zur Analyse der Auswirkungen der unterschiedlichen Umweltstrategien auf die Qualifikationsstruktur der Beschäftigten und die betrieblichen Arbeitsbedingungen werden die Ergebnisse aus dem IO-Modell mit Daten des Mikrozensus gekoppelt. Zur Beurteilung der Auswirkungen auf die Qualifikationsstruktur werden Änderungen bezüglich den Qualifikationsanforderungen sowie Tätigkeitsfeldern untersucht. Die Analyse der Arbeitsbedingungen erfolgt anhand der Merkmale *Teilzeit- und befristete Arbeitsverhältnisse, Wochenend- und Feiertagsarbeit* sowie *Abend-, Nacht- und Schichtarbeit*.

Modul Regionalwirkungen

Die Untersuchung der regionalen Effekte der Umweltstrategien erfolgt durch Verknüpfen der Ergebnisse des IO-Modells mit einem Datensatz der Bundesanstalt für Arbeit. Dieser Datensatz enthält für jeden der 181 Arbeitsamtsbezirke Deutschlands die Aufteilung der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten nach Wirtschaftszweigen.

Als Messgrößen für die regionalen Auswirkungen einer Umweltstrategie werden prinzipiell zwei Kriterien verwendet:

- Welche Auswirkungen hat die Umweltstrategie auf die gesamtwirtschaftliche regionale Konzentration der Wirtschaftszweige?
- Welche Regionen sind von der jeweiligen Umweltstrategie am stärksten betroffen?

Zur Beantwortung dieser Fragen werden zunächst Konzentrationsmaße (Herfindahl-Hirschmann-Indices) für die Regionalverteilung sämtlicher Wirtschaftszweige berechnet. Diese werden über alle Wirtschaftszweige zu einem gesamtwirtschaftlichen Konzentrationsmaß aggregiert. Zur Bewertung der Auswirkung einer Umweltstrategie auf die Regionalverteilung werden die aggregierten Konzentrationsmaße von Referenz- und Nachhaltigkeitsszenario verglichen. Zum anderen werden für sämtliche Arbeitsamtsbezirke folgende Größen berechnet:

- Veränderung der absoluten Beschäftigung
- Veränderung der absoluten Beschäftigung in Relation zur Gesamtbeschäftigung im jeweiligen Arbeitsamtsbezirk (relativer Netto-Beschäftigungseffekt)
- Anzahl der Arbeitsplatzwechsel in Relation zur Gesamtbeschäftigung im jeweiligen Arbeitsamtsbezirk (relativer Brutto-Beschäftigungseffekt)

Insbesondere die beiden letztgenannten Größen sind Indikatoren für den Anpassungsdruck, der sich innerhalb der Arbeitsamtsbezirke infolge des durch die Umweltschutzstrategien ausgelösten Strukturwandels einstellt (intraregionaler Anpassungsdruck). Daher wird den relativen Brutto- und Netto-Beschäftigungseffekten bei der Darstellung der Ergebnisse ein höheres Gewicht als den absoluten Beschäftigungsänderungen beigemessen.

Modul Umwelt

Ausgehend von den Ergebnissen der Szenarienrechnungen mit dem IO-Modell werden die Umweltwirkungen mittels sektoraler Emissionskoeffizienten berechnet. Die Umweltbelastungen ergeben sich durch Multiplikation der Koeffizienten mit den durch die ökonomischen Impulse ausgelösten sektoralen Bruttoproduktionswerte. Durch die Geschlossenheit des Modells und der Berücksichtigung aller zur Deckung der Endnachfrage notwendigen Vorproduktionen werden die ausgewiesenen Umweltbelastungen in besonderer Weise dem Gedanken eines Life-Cycle-Assessment auf aggregierter Branchenebene gerecht. Als Umweltbelastungsindikatoren wurden in der Analyse der Primärenergiebedarf, die wichtigsten Treibhausgase und Luftschadstoffe sowie verschiedene Abwassermengen- und Abfallaufkommenskategorien einbezogen (zu den einzelnen Indikatoren vgl. Anhang A.5). Um mögliche Verzerrungen in den Ergebnissen abzumildern, die aus der Bildung eines Durchschnittswerts für jeden Sektor resultieren, wurden einige direkte und bedeutsame Umweltbelastungen nicht mit der erweiterten IO-Modell berechnet, sondern aus bottom-up Berechnungen bzw. bestehenden Ökobilanzergebnissen übernommen (zur Kopplung von Ökobilanz und erweiterter IO-Analyse vgl. Nathani/Walz 1997).

Anpassungen des Modells an die Fallbeispiele

Neue Technologien oder wirtschaftliche Aktivitäten, die im IO-Modell nicht adäquat erfasst sind, können durch die Bildung neuer IO-Sektoren und deren

Integration in das Modell in die Analyse einbezogen werden (vgl. Miller/Blair 1985; Holub/Schnabl 1994). Analog zu den übrigen Sektoren der IO-Tabelle sind die neuen Aktivitäten durch entsprechende neue Spalten und Zeilen, d.h. ihre Vorleistungen und primären Inputs sowie durch ihre Lieferungen an die übrigen Produktionsbereiche und die Sektoren der Endnachfrage quantitativ zu beschreiben. Gleichzeitig ist es erforderlich, die bei der Erweiterung des I/O-Modells um weitere Module betrachteten Größen auch für die neu generierten I/O-Sektoren abzuleiten

Für die Ermittlung der Vorleistungs- und Lieferstrukturen neuer Aktivitäten liegen in der Regel Primärstatistiken oder Erhebungen nicht vor. Zum Einen ist daher zu prüfen, ob die Input- und Outputstrukturen eines bestehenden, ähnlichen Sektors als Grundgerüst für den neuen Sektor verwendet werden können. Zum Anderen ist es notwendig, alle zugänglichen Datenquellen wie z. B. amtliche Statistiken, Verbandsdaten, Ergebnisse von Forschungsvorhaben, technische Spezifikationen oder Marktanalysen heranzuziehen. Die Informationen aus diesen Quellen sind häufig nicht direkt nutzbar, da sie mit jeweils unterschiedlichen Zielsetzungen und Methoden sowie abweichenden Systematiken erhoben werden. Wichtige Unterschiede können die Repräsentativität der Daten, den Zeit- und Ortsbezug oder etwa die Datenklassifikation betreffen. Es ist daher erforderlich, die vorhandenen Daten so zu überarbeiten und zu harmonisieren, dass eine möglichst weitgehende Kompatibilität mit der Systematik des IO-Modells erreicht wird, wobei angesichts von Datenlücken und zeitlicher Restriktionen Kompromisse häufig unvermeidlich sind.

In den Kapiteln zu den einzelnen Fallbeispielen sind die Aktivitäten aufgeführt, für die neue IO-Sektoren definiert wurden und die dabei verwendeten Methoden und Datengrundlagen beschrieben. Zusätzlich zu den vorhandenen Informationsquellen wurden die im Rahmen der Unternehmensfallbeispiele durchgeführten Interviews mit Unternehmen und Branchenexperten zur Generierung der neuen IO-Sektoren herangezogen. Exemplarisch wird die Vorgehensweise bei der Generierung eines neuen I/O-Sektors am Beispiel „Instandhaltung von Pkw“ für das Fallbeispiel „Lebensdauerverlängerung von Pkw“ in Anhang A erläutert.

Der gewählte Zeithorizont für die Szenarienrechnungen ist das Jahr 2020. Bis dahin werden sich aber sowohl die sektorale Entwicklung als auch die Arbeitsproduktivitäten gegenüber den Werten, die in den I/O-Tabellen für 1995 ausgewiesen werden, deutlich verändern. Um diese Änderungen einzubeziehen, wurden Projektionen der sektoralen Entwicklung und der Arbeitsproduktivitäten im Modell berücksichtigt. Für die **Projektion der sektoralen Entwicklung** bis zum Jahr 2020 wurde auf Ergebnisse des dynamischen IO-Modells MIS zurückgegriffen, mit dem im Rahmen des für das Umweltbundesamt durchgeführten Projekts „Politiksszenarien für den Klimaschutz“ (DIW et al., 1999) ein Referenzszenario für die Entwicklung der deutschen Volkswirtschaft erarbeitet wurde. Die Ergebnisse dieser Modell-

läufe wurden dabei auf die 58er-Sektorgliederung des hier verwendeten IO-Modells umgesetzt.

Um eine Überschätzung der Beschäftigungseffekte zu vermeiden, ist es erforderlich, den bis dahin eintretenden **Produktivitätszuwachs** zu berücksichtigen. Hierzu wurden sektorspezifische Produktivitätskennziffern ermittelt, die das Verhältnis von spezifischer Beschäftigung (d. h. Beschäftigung/Bruttoproduktionswert) im Prognosejahr zur spezifischen Beschäftigung im Basisjahr angeben. Neben Abschätzungen aus der Literatur wurden bei den neu zu generierenden Sektoren hierbei auch Informationen aus Experteninterviews herangezogen.

5 Nachhaltige Produktion und Nutzung von Papier

5.1 Möglichkeiten einer ökologisch nachhaltigen Gestaltung der Produktion und Nutzung von Papier

5.1.1 Beschreibung des Stoffstroms Papier und der beteiligten Branchen

Papier stellt einen bedeutenden Werkstoff in unserer Industrie- und Wissensgesellschaft dar, der in der Vergangenheit hohe Wachstumsraten aufwies. Zwischen 1978 und 1998 ist der Papierverbrauch in Deutschland von rund 8.750 kt auf 16.860 kt gewachsen, d. h. überdurchschnittlich im Vergleich zum Wachstum des Bruttoinlandsprodukts.

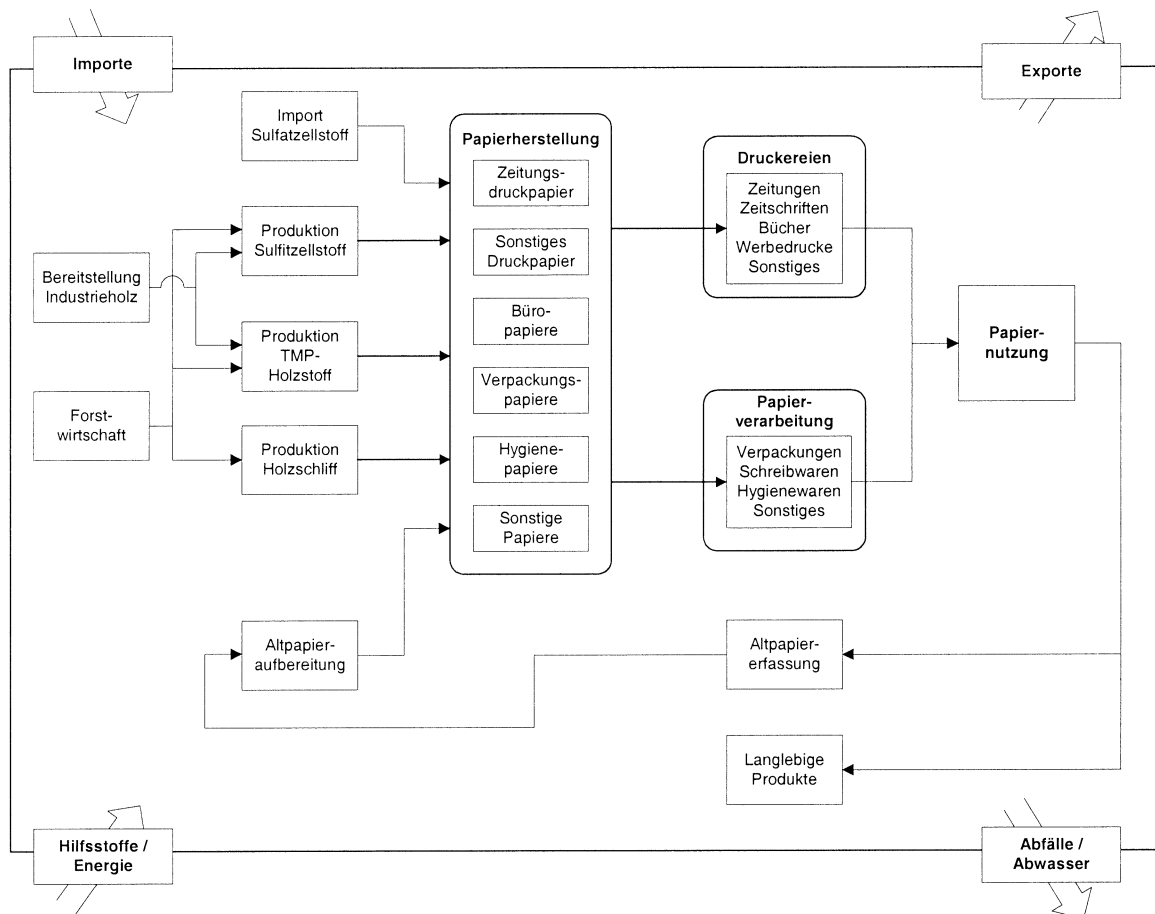
Abbildung 5-1 zeigt eine schematische **Übersicht über den Stoffstrom „Papier“** (vgl. Nathani 2000). Eine wesentliche Rohstoffquelle für die Papierherstellung bildet Holz, das jeweils ungefähr zur Hälfte als Waldschwachholz aus der Forstwirtschaft und in Form von Holzreststoffen aus der Holz be- und verarbeitenden Industrie (sog. Industrierestholz) stammt. Das Holz wird zunächst zu Primärfaserstoffen verarbeitet, wobei zwischen mechanischen und chemischen Verfahren unterschieden wird. Zu den mechanisch zerkleinerten Faserstoffen gehören Holzschliff und TMP-Holzstoff, bei den chemisch aufgeschlossenen Faserstoffen unterscheidet man Sulfite- und Sulfatzellstoff (vgl. Tabelle 5-1). Sulfatzellstoff stellt den mengenmäßig dominierenden Primärfaserstoff dar, wird in Deutschland jedoch bisher nicht hergestellt, sondern komplett importiert. Dies wird sich jedoch in naher Zukunft ändern, da derzeit in Ostdeutschland ein Werk zur Herstellung von Sulfitezellstoff für die Sulfatzellstoffproduktion umgerüstet wird.

Tabelle 5-2: Produktion, Verbrauch und Außenhandel von Primärfaserstoffen in der deutschen Papierindustrie im Jahr 1998

	Produktion kt	Ausfuhr kt	Einfuhr kt	Verbrauch kt
Holzschliff	924	6	31	949
TMP	267	0	5	272
Sulfitezellstoff	759	193	155	721
Sulfatzellstoff	0	135	3544	3409

Quelle: VDP, 1999 eigene Berechnungen

Abbildung 5-1: Schematische Übersicht über den Stoffstrom „Papier“



Quelle: Nathani (2000)

Der mengenmäßig wichtigste Rohstoff für die Papierherstellung in Deutschland ist inzwischen jedoch Altpapier, dessen Einsatzquote im Verhältnis zur Papier- und Pappenproduktion von 43 % im Jahr 1978 auf rund 61 % im Jahr 1998 (entspricht ca. 9,9 Mio. t) gestiegen ist. Es fällt zum einen bei der Herstellung und Distribution von Papier und Papierprodukten an, zum anderen wird es bei den Verbrauchern im Anschluss an die Nutzungsphase erfasst. Die Haupteinsatzbereiche für Altpapier liegen in der Herstellung von Verpackungspapieren und –kartons, Hygienepapieren und Zeitungsdruckpapier.

Neben Primär- und Sekundärfaserstoffen werden bei der Papierherstellung noch Füllstoffe, Streichpigmente und eine Vielzahl von Hilfsstoffen zugesetzt (Baumann/Herberg-Liedtke 1994; Auhorn/Linhart 1990). 1998 betrug der Verbrauch von Füllstoffen, Streichpigmenten und Hilfsstoffen 3.417 kt, was einem Anteil von ca. 18 % des Rohstoffeinsatzes in der Papierproduktion entspricht (Verband Deutscher Papierfabriken (VDP) 1999).

Die Einsatzverhältnisse von Faserstoffen, Füllstoffen und Streichpigmenten unterscheiden sich je nach hergestellter Papiersorte deutlich. In Anlehnung an die Klassifikation des VDP können sechs wichtige Klassen von Papiersorten unterschieden werden (vgl. Tabelle 5-2). Die ersten drei Sortengruppen werden zu den grafischen Papieren zusammengefasst. Sie machen knapp die Hälfte des gesamten Papierverbrauchs aus und werden vorwiegend für Informations- und Kommunikationszwecke verwendet. Gut 38 % des Papierverbrauchs dienen der Herstellung von Verpackungen. Die restlichen 12 % verteilen sich auf Hygienepapiere (Taschentücher, Küchentücher und Toilettenpapier) sowie technische und Spezialpapiere. Letztere umfassen so heterogene Papiersorten wie Kondensatorpapier für die Elektroindustrie, Karosseriepappe für die Automobilproduktion oder auch hochwertige Banknoten- und Dokumentenpapiere (Götttsching 1990). Die Papierproduktion lag 1998 bei ungefähr 16,3 Mio. t. Insgesamt ist bei Papier ein starker Außenhandel zu verzeichnen, wobei sich im Saldo ein Einfuhrüberschuss von ca. 0,5 Mio t ergibt.

Tabelle 5-3: Verbrauch, Produktion und Außenhandel von Papier in Deutschland im Jahr 1998 nach Sortengruppen

Papiersorten	Produktion (kt)	Einfuhr (kt)	Ausfuhr (kt)	Verbrauch (kt)
Grafische Papiere				
- Zeitungsdruckpapier	1.630	1.316	561	2.385
- Sonstige Druck-/Pressepapiere	6.452	3.716	4.131	6.037
Verpackungspapiere /-pappen	6.142	2.730	2.495	6.377
Hygienepapiere	931	111	107	935
Spezialpapiere	1.155	120	154	1.121
Summe	16.311	7.993	7.448	16.856

Quelle: VDP (1999); eigene Berechnungen

Papier, Karton und Pappe stellen zum großen Teil Zwischenprodukte dar, die in anderen Branchen weiterverarbeitet werden. Nur ein geringer Teil der Produktion wird ohne weitere Verarbeitung an Endverbraucher geliefert. Im Wesentlichen dürften das Format- oder Endlospapiere sein, die zum Kopieren oder Drucken verwendet werden. Die wichtigsten industriellen Branchen zur Verarbeitung von Papier sind die Papier- und Pappeverarbeitung und die Druckereien.

Ein Teil der unter dem Begriff „Technische und Spezialpapiere“ zusammengefassten Papiersorten wird ebenfalls in anderen Branchen weiterverarbeitet. Beispiele dafür sind die Verwendung von Dachpappe im Baubereich, Kondensatorpapieren in der Elektrotechnischen Industrie, Zigarettenpapier in der Tabakverarbeitung oder Dekorpapiere in der Möbelfurnierherstellung.

Über jeweils eigene Distributionswege, die Transportunternehmen, Groß- und Einzelhandel einschließen können, gelangen die Papierprodukte zu den Nutzern in Wirtschaft und privaten Haushalten. Verpackungen stellen insofern eine Besonderheit dar, als sie nur dazu dienen, die Bereitstellung anderer Güter ohne Schaden und in einer bestimmten Qualität zu gewährleisten und i. d. R. selbst nicht Zweck eines Kaufs sind. Unverkäufliche Zeitungen, Zeitschriften und Bücher werden von den Verlagen als Remittenden zurückgenommen und als Altpapier verwertet.

Der überwiegende Teil der Papierprodukte wie z. B. Zeitungen, Zeitschriften, Verpackungen oder Hygienepapierwaren hat eine sehr kurze Nutzungsdauer und wird danach zu Abfall. Ausnahmen sind Bücher und andere archivierte Papierprodukte, Tapeten oder auch einige technische Papiersorten. Der Anteil der langlebigen Produkte wird auf 7 % geschätzt. Der überwiegende Teil der Papierabfälle kann als Altpapier erfasst werden, während der Rest über das Abwasser entsorgt wird oder aus anderen Gründen nicht erfassbar ist.

Unter dem Aspekt der **Umweltbelastungen** ist der mit der Papierherstellung verbundene hohe spezifische Energiebedarf hervorzuheben, der überwiegend bei den mechanischen Holzaufschlussverfahren und der eigentlichen Papierherstellung (Antriebe, Trocknung der Papierbahn) anfällt. Die Zellstoffherstellung ist zwar auch ein sehr energieintensiver Prozess, kann den Energiebedarf jedoch komplett aus Prozessrückständen decken. Die Energiebereitstellung erfolgt in der Papierindustrie zu einem hohen Anteil durch effiziente Kraft-Wärme-Kopplung. Untersuchungen gehen jedoch von einem noch höheren KWK-Potenzial aus. Die Zellstoffherstellung und -bleiche sind schwerpunktmäßig für die Abwasserbelastung in der Papierkette verantwortlich, auch wenn der Einsatz von Elementarchlor zur Papierbleiche in der Vergangenheit deutlich zurückgegangen ist. Neben diesen wesentlichen spezifischen Umweltbelastungen ist auch das mit dem Papierverbrauch verbundene absolute Niveau des Ressourcenverbrauchs (u. a. Holzverbrauch) und der Emissionen zu sehen. In der Druckindustrie sind vor allem die VOC-Emissionen und die Inhaltsstoffe einiger Druckfarben als problematisch anzusehen (Zöller 1998).

Zur **Papierwirtschaft** werden üblicherweise die Papierindustrie, die Papier- und Pappeverarbeitung und das Druckgewerbe gezählt (vgl. Tabelle 5-4). In der Wertschöpfungskette nimmt die Papierindustrie eine zentrale Stellung ein, da hier die Produktion von Faserstoffen und Papier erfolgt. Sie zeichnet sich auf Grund der aufwendigen maschinellen Ausstattung durch eine sehr hohe Kapitalintensität aus. Der Faktor Arbeit spielt hinsichtlich der Kostenbelastung keine große Rolle. Die Papier und Pappe verarbeitende Industrie ist, abgesehen von einigen Ausnahmen, eher durch kleine und mittlere Unternehmen geprägt. Die Arbeitsintensität entspricht ungefähr dem Durchschnitt der Gesamtindustrie (Grefermann 1986). Die Druckindustrie zeichnet sich durch eine sehr heterogene Struktur aus, in der Großdruckereien, die Druckerzeugnisse in Millionenaufgaben herstellen, neben einer Vielzahl von Kleinunternehmen existieren (Grefermann 1990).

Tabelle 5-4: Zahl der Betriebe, Umsatz und Beschäftigte in den Branchen der Papierwirtschaft im Jahr 1998

	Betriebe*	Umsatz (Mio. DM)	Beschäftigte
Papierindustrie	255	23.737	46.762
Papier-/ Pappeverarbeitung	1.438	28.550	105.483
Druckgewerbe	9.676	36.373	177.908
Summe	11.369	88.660	330.153

* Betriebe und industrielle Kleinbetriebe

Quelle: StBA (1999), StBA (2000)

5.1.2 Konkretisierung der Umweltstrategie

Die im Fallbeispiel betrachteten Umweltentlastungsmaßnahmen setzen in den folgenden Bereichen an:

- Schließung von Stoffkreisläufen: **verstärkter Einsatz von Altpapier in der Papierherstellung,**
- Erhöhung der Materialeffizienz: **effizientere Nutzung von Papier,** z. B. im Bürobereich und bei der Herstellung von Verpackungen,
- Dematerialisierung: **Umweltentlastungen in der Papierkette und Verringerung des Papierverbrauchs durch Nutzung von IuK-Techniken.**

Darüber hinaus werden auch Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz in den einzelnen Prozessen sowie bei der Energiebereitstellung (z. B. durch verstärkte Kraft-Wärme-Kopplung) einbezogen.

5.1.2.1 Verstärkter Einsatz von Altpapier in der Papierherstellung

Durch den Einsatz von Altpapier in der Papierherstellung sinkt der Bedarf an Holzstoff und Zellstoff und führt damit zur Verringerung der mit der Herstellung dieser Stoffe verbundenen Umweltbelastungen vor allem hinsichtlich Holzbedarf, Energieverbrauch und Abwasseremissionen. Zudem fällt weniger Altpapier zur Entsorgung an. Bereits in der Vergangenheit ist die Altpapiereinsatzquote in der Papierherstellung gestiegen (vgl. Abb. 5-2), vor allem bei der Herstellung von Zeitungsdruckpapieren, Verpackungspapieren und -pappen und Hygienepapieren. Seit kurzem ist auch eine Zunahme des Altpapiereinsatzes bei weiteren grafischen Papiersorten, abgesehen von Zeitungsdruckpapieren, zu verzeichnen.

Eine weitere substanzielle Steigerung des Altpapiereinsatzes ist nur bei Papiersorten wie z. B. Zeitschriftenpapieren oder Kopierpapier möglich. Dies sind Bereiche, in

denen hohe Qualitätsanforderungen hinsichtlich Festigkeit, Bedruckbarkeit und Weißegrad gestellt werden. 1995 lag die Altpapiereinsatzquote für die sonstigen grafischen Papiere (d. h. grafische Papiere ohne Zeitungsdruckpapier) bei 9 %, bis 1998 konnte sie bereits auf 17 % fast verdoppelt werden (VDP 1999). Bei einigen Papiersorten ist ein weiter steigender Altpapiereinsatz bis zu einer Quote von 20 – 30 % wahrscheinlich (Göttsching et al. 1996), bei anderen, insbesondere den holz-freien Papiersorten wird keine nennenswerte Steigerung erwartet. Allerdings können die entsprechenden Papierprodukte zu einem gewissen Anteil durch altpapierhaltige Produkte ersetzt werden, falls sie von den Verbrauchern akzeptiert werden.

Abbildung 5-2: Entwicklung des Altpapiereinsatzes in der Papierherstellung (gemessen an der Quote von Altpapiereinsatz zu Papierproduktion)



Quelle: VDP (1999)

5.1.2.2 Effizientere Nutzung von Papier

Beispiele für den effizienteren Umgang mit Papier im Büro- und Haushaltsbereich sind:

- die Weiterverwendung einseitig beschrifteten oder bedruckten Papiers,
- die zunehmende Verwendung von Kopierern und Druckern mit der Option des doppelseitigen Ausdrucks,
- organisatorische Veränderungen zur Verringerung von Fehldrucken etc.,
- Verwendung von Papier mit geringerem spezifischen Papiergewicht.

Anstrengungen bei der British Telecom und AT&T führten innerhalb weniger Jahre zur Senkung ihres spezifischen Papierverbrauchs um 15 % bzw. 30 % (Robins/Roberts 1996; Robins 1996). Untersuchungen zum Verpackungsverbrauch zeigen, dass Unternehmen, die sich dieser Thematik annehmen, in relativ kurzer Zeit spezifische Verringerungen des Verpackungsverbrauchs um 20 – 30 % erreichen können (IIED 1996).

Zudem ist auch ein geringerer Einsatz von Papier zu Werbungszwecken, dem Einsatzbereich mit den momentan höchsten Wachstumsraten, als umweltentlastende Maßnahme denkbar, bedingt durch verstärkte Werbung über Fernsehen oder neue elektronische Medien wie das Internet (vgl. auch folgendes Kapitel).

5.1.2.3 Umweltentlastungen in der Papierkette und Verringerung des Papierverbrauchs durch Nutzung von IuK-Techniken

Ein Einfluss neuer Informations- und Kommunikationstechnologien auf den Verbrauch grafischer Papiere ist in zweierlei Hinsicht denkbar. Zum einen ist mit einer Verschiebung des Papiersorten-Mix zu rechnen, bei der es zu einer Verbrauchszunahme von Formatpapieren (Kopierpapier etc.) und einer Abnahme von Briefpapier, Formularen und Vordrucken kommt (van den Reek 1999). Zum anderen ist auch die Reduktion des Papierverbrauchs als Folge denkbar, beispielsweise weil zunehmend

- elektronisches Dokumentenmanagement die Papierablage verdrängt,
- über E-Mail oder ähnliche Kommunikationskanäle kommuniziert wird,
- der Zugang zu Informationen aller Art (Zeitung-, Zeitschriften- oder Kataloginhalte, Nachschlagewerke) über elektronische Medien wie CD-ROMs oder vor allem das Internet (Electronic Publishing) stattfindet.

Bisher haben elektronische Medien weitgehend den Zuwachs des Informations- und Kommunikationsbedarfs abgedeckt, bisher allerdings nicht zu einer Verdrängung von Papier geführt. Ein Hindernis für eine derartige Substitution sind die wenig ergonomischen Displaytechniken. Der Übergang vom Informationsträger „Papier“ zu elektronischen Informationsträgern könnte in Zukunft jedoch einen deutlichen Schub durch neue Entwicklungen wie das „elektronische Papier“ (Heise 1999a) oder die „elektronische Tinte“ (Heise 1999b) erfahren, die sich wie Papier handhaben lassen, jedoch elektronisch wiederbeschreibbar sind. Ebenfalls in der Entwicklung sind farbige hochflexible und ebenfalls elektronisch ansteuerbare Polymerdisplays (Siemens 2000). Experten, die in der letzten Delphi-Umfrage befragt wurden, rechnen mit einer Kommerzialisierung dieser Techniken um das Jahr 2010 (ISI 1998).

Eine weitere Entwicklung, die bereits in der Anfangsphase der Marktentwicklung steht, ist das sogenannte Printing-on-demand. Dieses Konzept sieht vor, Druckerzeugnisse in digitalem Format vorzuhalten und bei Bedarf möglichst direkt vor Ort auszudrucken. Es eignet sich vor allem für Druckerzeugnisse (z. B. Bücher) mit geringer oder unsicherer Auflagenhöhe oder hoher Aktualisierungsrate und ermöglicht die Vermeidung der Produktion überschüssiger Auflagen, d. h. nur tatsächlich benötigte Druckerzeugnisse werden hergestellt. Daneben werden Transporte der Druckerzeugnisse zu den Verbrauchern verringert.

5.2 Szenarienanalyse

5.2.1 Annahmen und Dateninput

5.2.1.1 Annahmen zur Szenarienbildung

Annahmen zur Entwicklung der Papierkette

Die Entwicklung der Papierkette vom Basisjahr 1995 bis zum Jahr 2020 wird in zwei Szenarien betrachtet. Das Referenzszenario enthält die Annahmen für die Referenzentwicklung und greift bereits absehbare Trends auf. Die Annahmen beziehen sich auf die Entwicklung des inländischen Papierverbrauchs und der Papierproduktion sowie der Energieeffizienz und der Energiebereitstellung in der Papierindustrie. Referenzannahmen werden auch für die absehbare weitere Erhöhung des Altpapiereinsatzes in der Papierherstellung getroffen. Das Szenario „Nachhaltige Produktion und Nutzung von Papier“ (Nachhaltigkeitsszenario) basiert auf der Grundannahme eines nachhaltigeren Umgangs mit Papier, der auf einem stärkeren Bewusstsein für die mit dem Papierverbrauch verbundenen Umweltbelastungen gründet, und unterstellt die Bereitschaft, den Nutzen von Papierprodukten stärker zu hinterfragen, den Verbrauch von Papier effizienter zu gestalten und geringere Qualitätsstandards (z. B. hinsichtlich des Weißgrads) bei bestimmten Papierprodukten zu akzeptieren. Auch wird hier mit einer stärkeren Ausschöpfung von Dematerialisierungspotenzialen durch IuK-Technologien gerechnet, aus der ein geringerer Papierverbrauch und ein veränderter Papiersorten-Mix resultiert. Darüber hinaus wird von einer stärkeren Kreislaufführung von Papier und somit einem höheren Einsatz von Altpapier in der Produktion grafischer Papiere ausgegangen. Außerdem wird auch eine effizientere Bereitstellung und Nutzung von Energie unterstellt. Die für beide Szenarien im Einzelnen getroffenen Annahmen werden nachfolgend erläutert.

Annahmen zum Referenzszenario

Im Referenzszenario wird von einem jährlichen Wachstum des inländischen Papierverbrauchs um ca. 2 % pro Jahr bis 2005 und ca. 1,8 % pro Jahr bis 2020 ausgegangen, was ungefähr dem angenommenen Wachstum des Bruttoinlandsprodukts entspricht. Diese Annahme folgt den Ergebnissen verschiedener Untersuchungen, in

denen sich die Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts als geeigneter Indikator für die Entwicklung des Papierverbrauchs herausgestellt hat (vgl. z. B. FAO, 1994). Im Vergleich zur Wachstumsrate zwischen 1978 und 1998, die im Schnitt bei rund 3,3 % pro Jahr lag, liegt das prognostizierte Wachstum deutlich niedriger. Der Pro-Kopf-Verbrauch steigt von 194 kg 1995 auf 312 kg in 2020 (vgl. Tabelle 5-5) und liegt damit knapp über dem heutigen Pro-Kopf-Verbrauch in den USA.

Bezüglich des Außenhandels wird angenommen, dass sich die Importe proportional zum Verbrauch entwickeln, die Importquote zwischen 1995 und 2020 also konstant bleibt. Demgegenüber wird von einer weiter steigenden Exportorientierung der deutschen Papierindustrie ausgegangen, eine Tendenz, die bereits in der Vergangenheit mit Wachstumsraten von durchschnittlich 8,5 % pro Jahr zwischen 1978 und 1998 zu beobachten war. Hier wird für die Periode zwischen 1995 und 2005 von einem jährlichen Wachstum in Höhe von 5 % und zwischen 2005 und 2020 in Höhe von 3 % ausgegangen. Damit ergibt sich für die Papierproduktion ein stärkeres Wachstum im Vergleich zur inländischen Papiernachfrage.

Die Annahmen zur Entwicklung der **Altpapiereinsatzquote** im Referenzszenario unterscheiden sich je nach Papiersorte sehr stark (vgl. Tabelle 5-6). Weitgehend ausgeschöpft sind die Einsatzpotenziale aus technischen Gründen bereits bei Zeitungsdruck-, Verpackungs- und Spezialpapieren. Im Referenzszenario wird noch ein leichter Anstieg bei Verpackungspapieren erwartet sowie ein Anstieg um 10 % bis 2020 bei Hygienepapieren. Ein deutlich steigerungsfähiges Einsatzpotential liegt bei den sonstigen Druckpapieren sowie den Büro- und Administrationspapieren vor, dessen Realisierung weitgehend von der Akzeptanz entsprechender altpapierhaltiger Erzeugnisse abhängt. Hier wird im Referenzszenario ein moderater Anstieg der Einsatzquote auf durchschnittlich 30 % im Jahr 2020 angenommen, und ein forciert Anstieg auf 70 % im Nachhaltigkeitsszenario, der den technischen Grenzen schon recht nahe kommen dürfte.

Tabelle 5-5: Papierproduktion und des inländischer Papierverbrauch im Referenz- und im Nachhaltigkeitsszenario

		Referenz	Nachhaltigkeit
	1995	2020	2020
Papierproduktion (kt)	14.827	29.357	26.698
Papierverbrauch (kt)	15.897	25.371	19.720
Verbrauch pro Kopf (kg)	193,8	312,2	242,7

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 5-6: Szenarienannahmen zur Entwicklung der Altpapiereinsatzquote

	1995	Referenz 2020	Nachhaltigkeit 2020
Zeitungsdruckpapiere	113 %	115 %	115 %
Sonstige Druckpapiere	8 %	30 %	70 %
Büro-/Admin.-papiere	15 %	30 %	70 %
Verpackungspapier	95 %	98 %	98 %
Hygienepapiere	70 %	80 %	80 %
Spezialpapiere	46 %	45 %	45 %

Quelle: VDP (1995); Eigene Annahmen

Verhältnis von Altpapiereinsatzmenge zur Papierproduktion; Quoten über 100 % sind auf Verluste bei der Altpapieraufbereitung, die nicht in das Papier eingehen, zurückzuführen.

Annahmen zum Nachhaltigkeitsszenario

Wie oben erwähnt, wird im Nachhaltigkeitsszenario gegenüber dem Referenzszenario von einem effizienteren Papiereinsatz und einer höheren Ausschöpfung von Dematerialisierungspotenzialen durch IuK-Technologien ausgegangen, die sich je nach Papierproduktgruppe gegenüber dem Referenzszenario durch einen um 20 – 30 % geringeren Papierverbrauch im Jahr 2020 ausdrückt (s.u. für eine Übersicht über produktspezifische Maßnahmen, die zu einem Verbrauchsrückgang führen können). Dadurch ergibt sich ein Pro-Kopf-Verbrauch von ca. 205 kg in 2005 und von ca. 243 kg in 2020.

Bezüglich des Außenhandels wird ebenfalls von einer im Vergleich zum inländischen Verbrauch proportionalen Entwicklung der Importe ausgegangen. Die Entwicklung der Exporte ist dieselbe wie im Referenzszenario. Hier könnte man einen ähnlichen Verbrauchsrückgang wie im Inland unterstellen, der sich dann auch negativ auf die Exportentwicklung der deutschen Papierindustrie auswirken würde. Eine derartige Annahme wäre allerdings stark vom Verbraucherverhalten in den Abnehmerländern abhängig, deren Prognose mit hohen Unsicherheiten behaftet wäre. Daher wird der Exporteffekt im vorliegenden Fallbeispiel ausgeblendet.

Die folgenden Entwicklungstendenzen führen im Nachhaltigkeitsszenario zu einer Verringerung der Papiernachfrage:

Zeitungen und Zeitschriften werden verstärkt online angeboten und genutzt. Auch bei bestimmten Büchersparten, vor allem Nachschlagewerken, Telefonbüchern oder beruflich genutzten Fachbüchern werden elektronische Medien, sei es offline (CD-ROM, DVD) oder online, zunehmend die Papierversionen ersetzen. Diese Tendenz ist bereits heute erkennbar. Bei Lexika und Enzyklopädien beispielsweise liegt der Marktanteil elektronischer Medien bei ca. 30 %. Das angesehene Nachschlagewerk „Encyclopaedia Britannica“ wird seit 1999 nicht mehr als gebundenes Werk, son-

dern nur noch auf CD-ROM bzw. DVD und per Online-Zugang angeboten. Im Nachhaltigkeitsszenario wird weiter für 15 % der Buchproduktion eine Herstellung im Printing-on-demand-Verfahren angenommen, so dass die Produktion und Distribution unverkaufter Exemplare vermieden werden können.

Die Verwendung von Papier für **Werbezwecke** weist derzeit die höchsten Wachstumsraten auf. Im Nachhaltigkeitsszenario wird davon ausgegangen, dass sich zwei Tendenzen verstärken, die zu einem Rückgang des Papierverbrauchs in diesem Einsatzfeld führen. Zum einen wird angenommen, dass sich gegenüber dem Referenzszenario Werbung stärker in elektronischen Medien abspielt, insbesondere im Internet, wo ein zielgruppenspezifischerer Zugang möglich ist. Durch die zunehmende Bedeutung von Electronic Commerce wird die Darstellung von Produkten im Internet an Bedeutung gewinnen. Dadurch kommt es zu einer geringeren Verwendung von Papier für Kataloge. Zum anderen wird eine stärkere Ablehnung der Haushalte gegenüber zunehmender Werbung im Briefkasten unterstellt. Insgesamt wird ein Rückgang des Papierverbrauchs für Werbedruckerzeugnisse um 30 % angenommen.

Bereits in der Vergangenheit konnten innovative Unternehmen Effizienzsteigerungen beim Einsatz von Papier für **Verpackungen** erzielen, sei es durch die Verringerung des spezifischen Papiergewichts oder durch ein intelligenteres Verpackungsdesign (vgl. o. g. Beispiele). Im Nachhaltigkeitsszenario wird angenommen, dass derartige Anstrengungen bei der Mehrheit der Unternehmen Nachahmer finden, so dass bis zum Jahr 2020 eine Reduktion des Verpackungspapierbedarfs um 20 % erfolgt.

Im Nachhaltigkeitsszenario wird auch von einer effizienteren Papiernutzung im **geschäftlichen Bereich** ausgegangen. Die verstärkte Kommunikation sowie eine weitgehende Abwicklung amtlicher und geschäftlicher Vorgänge über elektronische Medien führen zu einer geringeren Nachfrage z. B. nach Briefpapier, Briefumschlägen, Formularen und Vordrucken. Dieser Nachfragerückgang gegenüber dem Referenzszenario wird auf 30 % im Jahr 2020 geschätzt.

Der zukünftige Verbrauch von DIN A4 **Formatpapieren** für Kopierer und PC-Drucker ist besonders schwer abzuschätzen, da er stark vom Nutzungsverhalten der einzelnen Verbraucher abhängt. Bei einer zunehmenden Information und Kommunikation über elektronische Medien ist ein hoher Papierverbrauch denkbar, wenn Papier seine Bedeutung als Medium zur Speicherung von Korrespondenz und geschäftlichen Vorgängen bzw. zum Ausdruck vielfältiger Informationen beibehält. In diesem Fall käme es lediglich zu Verschiebungen zwischen den Papiersorten. Im Nachhaltigkeitsszenario wird davon ausgegangen, dass dies nicht erfolgt, da die effiziente Nutzung von Papier im Verhalten der Verbraucher ein stärkeres Gewicht als im Referenzszenario erhält. Zu dieser Annahme gehört auch der verstärkte Einsatz von Duplexfunktionen bei Kopierern und Druckern, d. h. der beidseitige Aus-

druck. Insgesamt wird im Jahr 2020 mit einer Verringerung der Papiernachfrage in diesem Segment gegenüber dem Referenzszenario um 30 % gerechnet.

Die Annahmen zur Entwicklung der **Energieeffizienz** der Prozesse und der Energiebereitstellung richten sich nach den entsprechenden Angaben der IKARUS-Datenbank für die Papierindustrie. Hier wird im Unterschied zum Referenzfall, bei dem von einer Standardentwicklung ausgegangen wird, im Nachhaltigkeitsfall eine stärkere Diffusion energiesparender Technologien unterstellt. Ein deutlich steigerungsfähiges Einsatzpotential liegt auch beim **Altpapiereinsatz** bei den sonstigen Druckpapieren sowie den Büro- und Administrationspapieren vor. Hier wird ein forciert Anstieg auf 70 % im Nachhaltigkeitsszenario angenommen, der den technischen Grenzen schon recht nahe kommen dürfte (vgl. Tabelle 5-6).

Annahmen zu weiteren betroffenen Branchen

Während die Veränderungen innerhalb der Papierkette relativ gut abgebildet werden können, ist dies für die Bereiche, die im Gegenzug an Bedeutung gewinnen, nicht so einfach. Insbesondere **Verlage und Druckereien** sehen sich durch die aufkommenden Entwicklungen in der IuK-Technik vor große Herausforderungen gestellt. Wie die Einbindung neuer Informations- und Mediendienstleistungen in die Wertschöpfungskette erfolgen wird und wie sich die Arbeitsteilung der betroffenen Akteure (vor allem Verlage, Druckereien, EDV- und Mediendienstleister) entwickelt, ist auf Grund der hohen Innovationsgeschwindigkeit derzeit schwierig zu prognostizieren. Eine weitere, nicht zu unterschätzende Unbekannte liegt bei der Akzeptanz und dem **Nutzerverhalten der Verbraucher** in Bezug auf neue Techniken und medienorientierte Dienstleistungen. Auf Grund der Dynamik der technischen Entwicklung insbesondere im IuK-Bereich erscheint es plausibel, davon auszugehen, dass die Kostenbelastung der Verbraucher von Papierprodukten im Referenz- und im Nachhaltigkeitsfall im Wesentlichen unverändert bleibt. Dies dürfte auch für die Akzeptanz elektronischer Informationsträger eine nicht unbedeutende Rolle spielen. Für die Modellrechnungen wird daher angenommen, dass die Einsparungen, die im Nachhaltigkeitsfall mit dem reduzierten Papierverbrauch sowie der vermiedenen Produktion und Distribution von Papiererzeugnissen einhergehen, als oberes Limit für die Nachfrage nach anderen Vorleistungen bzw. zusätzlicher Endnachfrage zur Verfügung stehen.

Die Tabellen 5-7 und 5-8 enthalten Übersichten zu den mit den verschiedenen in Kapitel 5.1.2 beschriebenen Maßnahmen realisierten Einsparungen sowie die Annahmen zur Verteilung der eingesparten Mittel. Hierbei spielen folgende Überlegungen eine Rolle:

- Für Informationsanbieter wie z. B. Verlage ergeben sich Einsparungen durch den geringeren Bezug von Papier sowie die vermiedene Herstellung und Distribution der Druckerzeugnisse. Auf der anderen Seite müssen zusätzliche **Investitionen in IuK-Technologien** zur Bereithaltung und Bereitstellung der Informationen

getätigt werden. Zusätzlich werden **EDV- und medienorientierte Dienstleistungen** spezialisierter Unternehmen benötigt, wie z. B. Internet-Service-Provider, Multimedia- und Internet-Agenturen oder Hard- und Software-Beratungsunternehmen. Denkbar und in der Diskussion ist auch, dass diese Aktivitäten zunehmend in den Druckereien selbst erfolgen, die sich damit von eher industriell geprägten Unternehmen zu Mediendienstleistern entwickeln. Die Nutzer der online angebotenen Informationen müssen die dafür nötigen Endgeräte kaufen. Bestimmte Buchinhalte werden zunehmend über Offline-Medien wie CD-ROMs oder DVD vertrieben. Zudem wird ebenfalls ein höherer Stromverbrauch zum Lesen am PC angenommen.

- Die zunehmende Werbung über elektronische Medien erfordert ebenfalls Medien- und EDV-bezogene Dienstleistungen und Investitionen.
- Die Erhöhung der Materialeffizienz bei der Herstellung von Verpackungen, insbesondere die Handhabung von dünneren Papieren und Pappen erfordert Investitionen in entsprechende Anlagen.
- Beim effizienten Einsatz von Papier in Haushalten und Büros wird zum einen angenommen, dass vermehrt IuK-Technik zur Organisation der Büro-internen Dokumentation und Kommunikation zum Einsatz kommt, zum anderen aber auf Grund des sparsameren Umgangs mit Papier echte Einsparungen realisiert werden, die für eine **zusätzliche Endnachfrage** zur Verfügung stehen. Auch hier entfallen die mit der Distribution von Papierprodukten verbundenen Handels- und Transportkosten. Im Sinne einer konsistenten Szenarienbildung können diese Kosteneinsparungen auch als Kompensation für die Akzeptanz teilweise geringerer Qualitätsanforderungen interpretiert werden.

Zur Abschätzung der Einsparungen, die sich aus den Simulationsrechnungen mit dem Stoffstrommodell „Papier“ zunächst nur in physischen Einheiten ergeben, wurden Preisinformationen aus amtlichen und Verbandsstatistiken herangezogen. Darüber hinaus mussten die eingesparten Distributionskosten ebenfalls geschätzt werden, da spezifische Angaben für die Papierkette nicht zur Verfügung standen. Hierfür wurden mittlere Angaben aus den Input-Output-Tabellen sowie Daten aus den amtlichen Handelsstatistiken verwendet.

Tabelle 5-7: Einsparungen im Nachhaltigkeitsfall durch eine geringere Nachfrage nach Papierprodukten

Papierproduktgruppe	Einsparungen bei	Wert (Mio. DM)
Verpackungen	Papier	1.951
Geschäftlicher/ Privater Verbrauch	Papier, Papierwaren, Handel, Transport	3.498
Druckerzeugnisse	Papier, Handel, Transport	6.521
Werbedrucksachen	Papier, Druckerzeugnisse	9.810
Insgesamt		21.781

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 5-8: Prozentuale Verteilung der realisierten Kosteneinsparungen bei Papierprodukten auf Verwendungszwecke

	Offline-Medien	Strom-erzeugung	Dienst-leistungen	IuK-Technik	End-nachfrage	Investitionen
Verpackungen						100 %
Geschäftlicher/ Privater Verbrauch				14 %	86 %	
Druckerzeugnisse	1.5 %	6 %	74 %	18 %		
Werbedrucksachen			80 %	20 %		
Absolut in Mio. DM						
Summe	97	416	12.654	3.655	5.207	1.951

Quelle: Eigene Berechnungen

5.2.1.2 Annahmen und Vorgehensweise bei der Modellierung

Um die Entwicklung der Papierkette und die sich daraus ergebenden Auswirkungen auf sektorale Struktur, Qualifizierung und Arbeitsbedingungen sowie Umweltbelastungen zu quantifizieren, wurde ein **Stoffstrommodell der Papierkette** mit dem Modell ISIS gekoppelt. Die vorliegende Untersuchung baut dabei auf methodischen und empirischen Vorarbeiten am Fraunhofer ISI auf (Nathani 2000). Die dort beschriebene Modellkopplung wurde für dieses Vorhaben auf das mit 58 Sektoren detailliertere ISIS-Modell übertragen. Im Stoffstrommodell sind die wichtigsten an der Papierkette beteiligten Prozesse in ihrer Vernetzung detailliert abgebildet. Sie reichen von der Rohstoffgewinnung über verschiedene Produktionsstufen bis zur Herstellung der Papierprodukte, bilden deren Distribution und Nutzung ab und beziehen auch deren Entsorgung bzw. Recycling ein. Die Auswirkungen der verschiedenen technik- und nachfragebezogenen Maßnahmen des Nachhaltigkeitsszenarios auf die Stoff- und Energieströme der Papierkette werden innerhalb des Stoffstrom-

modells ermittelt. Bestimmte exogene Vorgaben hinsichtlich der Papiernachfrage oder des Außenhandels werden zuvor aus dem IO-Modell übernommen. Im Anschluss an die Modellläufe des Stoffstrommodells werden die Ergebnisse wiederum in das ISIS-Modell überführt, wo die sektoralen Auswirkungen der Maßnahmen errechnet werden können.

Die **EDV-orientierten Dienstleistungen** sind nicht als eigener Sektor im I/O-Modell enthalten und mussten daher gesondert modelliert werden. Die Quantifizierung der Vorleistungen dieses Sektors sowie die regionale Verteilung der Wirtschaftsleistungen auf die Arbeitsamtsbezirke erfolgte in Anlehnung an den Sektor „Sonstige marktbestimmte Dienstleistungen“. Hinsichtlich der Qualifikationsstruktur, der Arbeitsbedingungen sowie der Tätigkeitsschwerpunkte konnten spezifische Angaben aus dem Mikrozensus herangezogen werden.

5.2.1.3 Nachfrageimpulse

Aus den im vorigen Abschnitt gemachten Ausführungen ergeben sich die in Tabelle 5-9 aufgeführten ökonomischen Veränderungen zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario. Zusätzlich zu den bereits erläuterten Tatbeständen, die sich auf die Einsparungen der Abnehmer von Papierprodukten beziehen (vgl. Tabelle 5-8), sind noch die Effekte zu berücksichtigen, die im Nachhaltigkeitsszenario auf Grund der veränderten Produktionstechnik in der Papierindustrie entstehen. Durch den effizienteren Einsatz von Energie und das verstärkte Altpapierrecycling kommt es hierbei zu Kostenersparnissen in Höhe von ca. 2,2 Mrd. DM.

Tabelle 5-9: Nachfrageimpulse im Nachhaltigkeitsszenario (Differenz zum Referenzszenario)

	Impulse in Mio. DM
Rückgang Papier, Papierwaren, Druckereien	-16.486
weniger Transporte/Handel	-5.290
Einsparungen Papierindustrie	-2.205
Zunahme Offline-Medien	97
Zunahme Stromerzeugung	416
Zunahme Dienstleistungen	12.654
Zunahme IuK-Technik	3.655
Zunahme Investitionen	1.951
kompensationsbedingte Zunahme Endnachfrage*	5.207
Bilanz	0

* Entsprechend den Annahmen zur Kompensation (vgl. S. 59) beträgt die Bilanz 0.

Quelle: Eigene Berechnungen

5.2.2 Arbeitsplätze und sektorale Wirkungen

Ausgehend von den Nachfrageimpulsen lassen sich mit dem ISIS-Modell die Auswirkungen auf sektorale Produktion und Höhe der Beschäftigung ermitteln. Die nachfolgend erläuterten Ergebnisse beziehen sich dabei jeweils auf die Abweichungen im Nachhaltigkeitsszenario gegenüber dem Referenzszenario im Jahr 2020.

Die nachhaltige Produktion und Nutzung von Papier führt im Nachhaltigkeitsszenario insgesamt zu einer **positiven Produktions- und Beschäftigungsbilanz** (vgl. Abbildungen 5-3 und 5-4). Die Inlandsproduktion steigt um gut 3,7 Mrd. DM, während die Importe um knapp 2,0 Mrd. DM zurückgehen. Die Beschäftigung wird um gut 27.000 Erwerbspersonen erhöht.

Zwischen den Sektoren ergeben sich jedoch ganz erhebliche **Verschiebungen**. Auf Grund der Nachfragerückgänge sinken Produktion und Beschäftigung im Nachhaltigkeitsszenario im Papiergewerbe und in den Druckereien. Innerhalb des Papiergewerbes, das die Papierherstellung und –verarbeitung umfasst, ist dabei ganz überwiegend die Papierherstellung betroffen. Die Produktion im Druckereigewerbe wird um über 10 Mrd. DM reduziert, die Beschäftigung verringert sich um über 35.000 Erwerbstätige. Im Papiergewerbe findet ein Rückgang der Inlandsproduktion um knapp 8 Mrd. DM statt. Wegen der hohen Importquoten gehen darüber hinaus die Importe von Papier (inklusive Pappen und Kartons), Primärfaserstoffen und Papierwaren um weitere 5,3 Mrd. DM zurück. Die Beschäftigung sinkt um ca. 10.500 Erwerbstätige. Darüber hinaus ist eine rückläufige Produktion und Beschäftigung im Transportgewerbe sowie im Groß- und Einzelhandel auf die verringerte Distribution von Papierprodukten zurückzuführen.

Die Gewinner im Nachhaltigkeitsszenario sind die Dienstleistungs- und Investitionsgütersektoren. Insbesondere die EDV- und medienorientierten Dienstleistungen erhalten einen starken Schub. Hier steigen die Inlandsproduktion um gut 12,2 Mrd. DM und die Beschäftigung um über 48.000 Erwerbstätige. In der Investitionsgüterindustrie, insbesondere den IuK-relevanten Branchen, aber auch in dem durch die Endnachfrage getriggerten Straßenfahrzeugbau steigt die Inlandsproduktion um knapp 4 Mrd. DM, während die Importe um gut 2,5 Mrd. DM wachsen. Die Beschäftigung erhöht sich um fast 9.000 Erwerbstätige. Die oben erwähnten Rückgänge in einigen Dienstleistungssektoren (Handel, Transport) werden durch Zuwächse in anderen Dienstleistungssektoren überkompensiert, so dass der Nettoeffekt für diesen Bereich positiv ausfällt.

Der Übergang zu einer nachhaltigen Papiernutzung muss nicht unbedingt auf Kosten der Druckereien gehen, wenn diese die neu entstehenden Mediendienstleistungen zu einem großen Teil selbst anbieten und damit ihre Abhängigkeit vom Informationsträger „Papier“ überwinden. Insofern ist die Trennung zwischen „traditio-

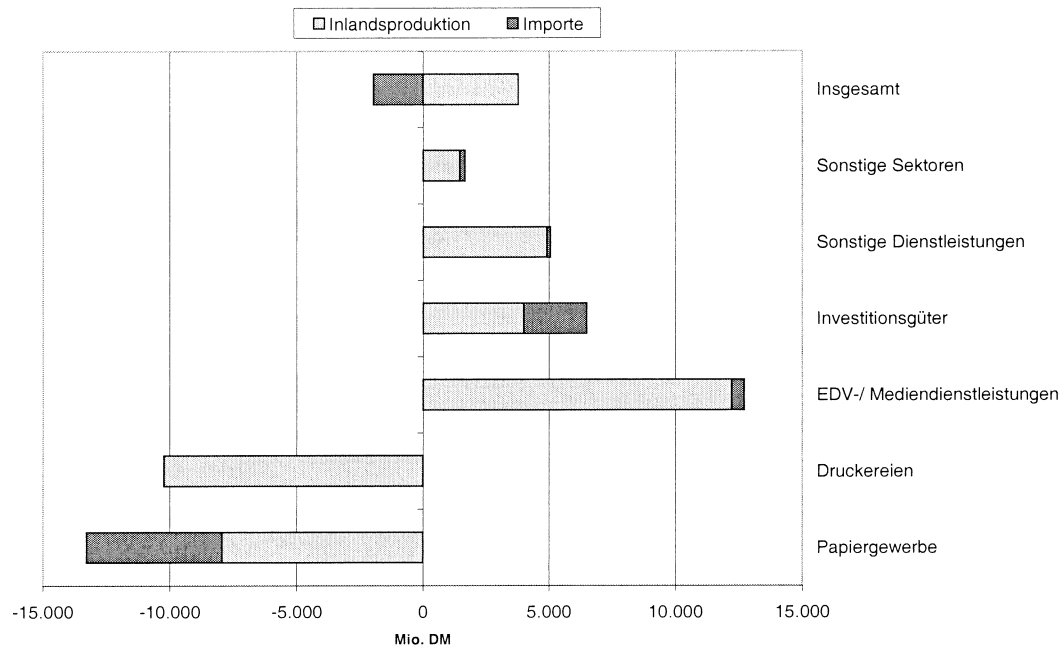
nellen“ Druckereien und Mediendienstleistern in der Ergebnisdarstellung eher funktional als institutionell zu verstehen.

Von Interesse ist auch, wie stark die einzelnen **Nachfrageimpulse** zu diesen Entwicklungen beitragen (vgl. Tabelle 5-10). Im Unterschied zu den in den Abbildungen 5-3 und 5-4 aufgeführten sektoralen Wirkungen werden hierbei sowohl die direkten als auch die indirekten Effekte (in Vorleistungssektoren) dem verursachenden Nachfrageimpuls zugeordnet (vgl. Kapitel 4.3).

Unter den negativen Nachfrageimpulsen ist der Rückgang der Nachfrage nach Papierprodukten der wesentlichste Faktor. Hier löst der Impuls (Nachfragerückgang nach Papierprodukten in Höhe von ca. 16,5 Mrd. DM) Rückgänge der Inlandsproduktion von über 22 Mrd. DM, der Importe von knapp 6 Mrd. DM und der Beschäftigung um fast 54.500 Erwerbstätige aus. Von diesem Beschäftigungsrückgang fällt mit ca. 45.000 Erwerbstätigen der größte Teil in den Sektoren der Papier- und der Druckindustrie an, der übrige Teil des Beschäftigungsrückgangs erfolgt in den Vorleistungssektoren. Der Nachfragerückgang nach Papierprodukten hat auch eine relativ hohe Auslandswirkung, da rund 21 % des insgesamt ausgelösten Produktionsrückgangs im Ausland erfolgt. Dies zeigt der spezifische Indikator „Importanteil“ in Tabelle 5-10. Der Rückgang von Handel und Transporten mit Papierprodukten weist eine relativ hohe spezifische Beschäftigungswirkung auf, die mit 7,09 Erwerbstätigen pro Mio. DM Nachfrageimpuls (spezifischer Gesamteffekt) mehr als doppelt so groß ist wie die von Papiergewerbe und Druckindustrie. Unter den positiven Nachfrageimpulsen ragt die Zunahme nach Dienstleistungen hervor. Hierbei kommt es zu einem erheblichen Beschäftigungszuwachs von über 70 000 Erwerbstätigen, der u.a. auf die vergleichsweise hohe Beschäftigungsintensität der betroffenen Sektoren (3,79 P/Mio. DM) zurückgeführt werden kann.

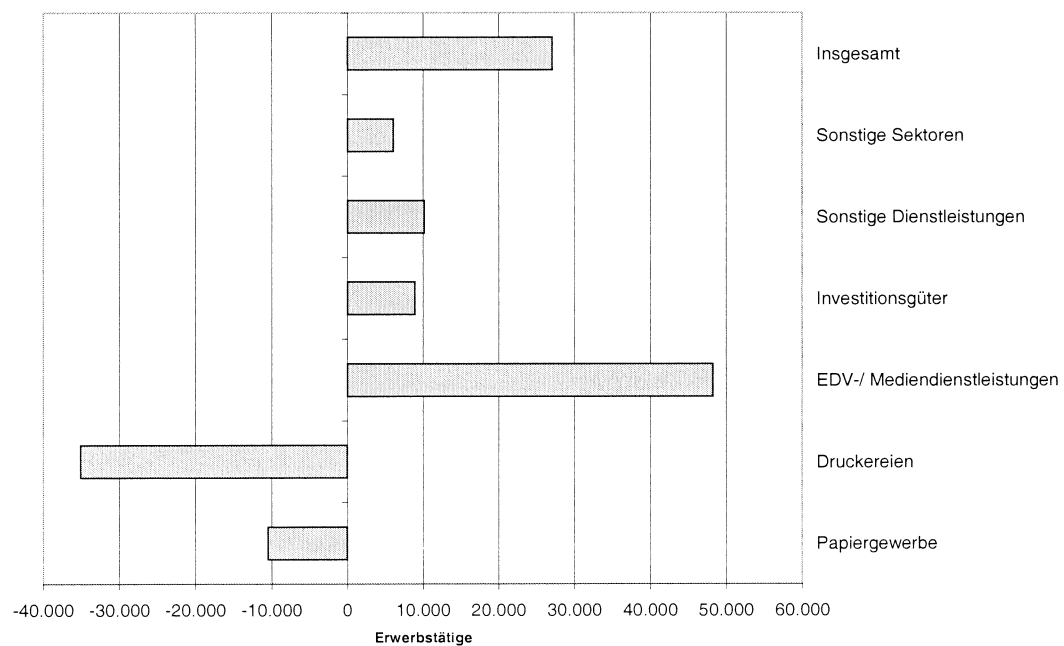
Zu einer **Erklärung** der im Saldo positiven Beschäftigungseffekte kommt man, wenn man die negativ und positiv wirkenden Impulse insgesamt miteinander vergleicht. Es wird deutlich, dass der positive Gesamteffekt vor allem auf eine spezifisch höhere Beschäftigungsintensität der positiven Impulse (3,53 gegenüber 3,07 P/Mio. DM) und einen deutlich geringeren Importanteil (12 % gegenüber 18 %) bei der von den positiven Nachfrageimpulsen ausgelösten Güterproduktion zurückzuführen ist.

Abbildung 5-3: Nettoproduktionswirkungen durch nachhaltige Papiernutzung (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 5-4: Nettobeschäftigungswirkungen durch nachhaltige Papiernutzung (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 5-10: Produktions-, Import- und Beschäftigungswirkungen einer nachhaltigen Produktion und Nutzung von Papier in 2020
(Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)

	Auslösende Nachfrageimpulse	Folgewirkungen			Spezifische Effekte			
		Inlandsproduktion	Importe	Erwerbstätige	Gesamteffekt	Produktionsmultiplikator	Importanteil	Beschäftigungstendenz
	Mio. DM	Mio. DM	Mio. DM	P	P/Mio. DM	Mio. DM/Mio. DM	Mio. DM/Mio. DM	P/Mio. DM
Rückgang Papier, Papierwaren, Druckereien	-16.486	-22.261	-5.992	-54.433	3,30	1,71	0,21	2,45
weniger Transporte/Handel	-5.290	-7.708	-548	-37.482	7,09	1,56	0,07	4,86
Mehr Offline-Medien	97	136	41	347	3,57	1,82	0,23	2,56
Mehr Stromerzeugung	416	726	43	1.422	3,42	1,85	0,06	1,96
Mehr Dienstleistungen	12.654	18.624	1.201	70.530	5,57	1,57	0,06	3,79
Mehr IuK-Technik	3.655	3.465	2.023	9.161	2,51	1,50	0,37	2,64
Mehr Endnachfrage	5.207	7.774	824	28.030	5,38	1,65	0,10	3,61
Mehr Investitionen	1.951	2.955	440	9.537	4,89	1,74	0,13	3,23
nachtr.: Einspar. der Papierindustrie ¹⁾	-2.205							
Summe	0	3.710	-1.968	27.113				
Positive Impulse	23.981	33.679	4.572	119.027	4,96	1,60	0,12	3,53
Negative Impulse	-23.981	-29.969	-6.540	-91.914	3,83	1,52	0,18	3,07

¹⁾ Die mit den Einsparungen in der Papierindustrie verbundenen Effekte werden modellendogen durch die Änderungen in der Zeile „Rückgang Papier, Papierwaren und Druckereien“ erfasst.

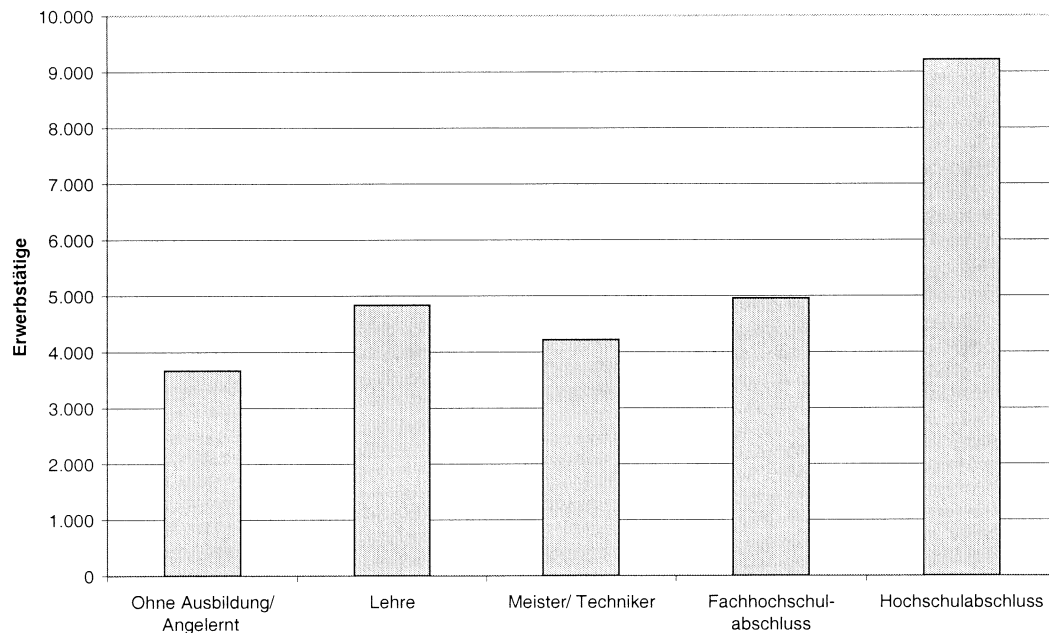
5.2.3 Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen

Hinsichtlich der Qualifikationsanforderungen ergeben sich **überdurchschnittliche Zuwächse bei den höheren Qualifikationen**, insbesondere Hochschulabgängern (vgl. Abbildung 5-5). Diese werden vor allem in den neu entstehenden EDV- und Mediendienstleistungsunternehmen benötigt (vgl. Abbildung B-1 im Anhang). Insgesamt zeichnen sich die an Bedeutung gewinnenden Sektoren im Vergleich zu den verlierenden Sektoren durch vergleichsweise höhere Qualifikationsanforderungen aus (vgl. Abbildung 5-6).

Deutliche Verschiebungen finden auch bei den **Tätigkeitsschwerpunkten** der Erwerbstätigen statt (vgl. Abbildung 5-7). In den neuen EDV- und medienorientierten Dienstleistungen haben Arbeitsinhalte wie Softwareentwicklung, Gestaltung von Webseiten oder auch Beratungstätigkeiten eine hohe Bedeutung, aber auch allgemeine Verwaltungstätigkeiten wie Schreib-, Rechen- und Buchungsarbeiten. Demgegenüber verringern sich eher industriell geprägte Arbeiten im Papier- und Druckereigewerbe sowie Tätigkeiten, die mit Transport und Handel von Papiererzeugnissen zu tun haben. Die Zunahme von bildungsorientierten, herberglichen oder auch gesundheitsorientierten Tätigkeiten lassen sich mit der steigenden privaten Endnachfrage erklären.

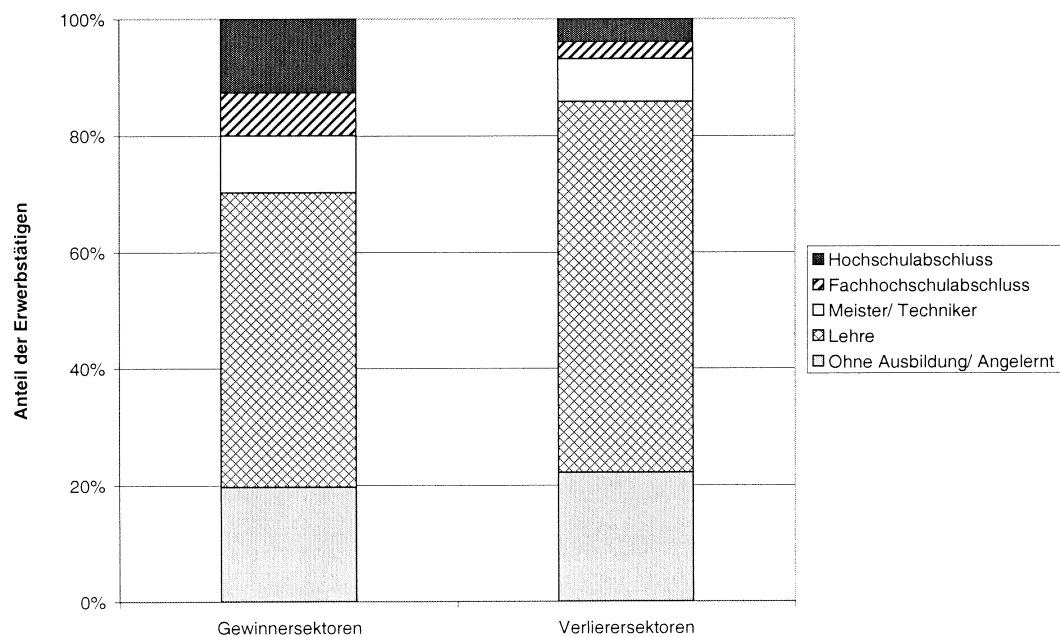
Die Mehrzahl der geschaffenen Stellen sind als Vollzeitstellen ausgelegt und ohne Befristung (vgl. Tabelle B-6 im Anhang). Teilzeitstellen und befristete Arbeitsverträge haben in den Gewinner- und Verlierersektoren anteilmäßig ungefähr die gleiche Bedeutung (vgl. Abbildung 5-8). Hinsichtlich der **Flexibilisierungsanforderungen** wird in Abbildung 5-9 zwischen Sektoren, die im Nachhaltigkeitsszenario an Bedeutung zunehmen (Gewinnersektoren) und solchen, deren Bedeutung abnimmt (Verlierersektoren) unterschieden. Bei den Gewinnersektoren haben insbesondere die Mediendienstleister sowie das Gastgewerbe ausgeprägte Flexibilisierungsanforderungen an ihre Beschäftigten (hinsichtlich Wochenendarbeit). Auf der anderen Seite sinkt die Bedeutung von Nachtarbeit und Schichtarbeit insgesamt sehr deutlich. Diese werden bei den Verlierersektoren vor allem in der häufig rund um die Uhr arbeitenden Papierindustrie und der Druckindustrie gefordert. Hingegen spielen diese Flexibilisierungsanforderungen in den Gewinnersektoren kaum eine Rolle. Insgesamt ergibt sich eine zunehmende Bedeutung der gelegentlichen und eine leicht abnehmende Bedeutung von regelmäßiger Wochenend- und Feiertagsarbeit (vgl. auch Tabelle B-7 im Anhang).

Abbildung 5-5: Veränderungen der Qualifikationsanforderungen durch nachhaltige Papiernutzung (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



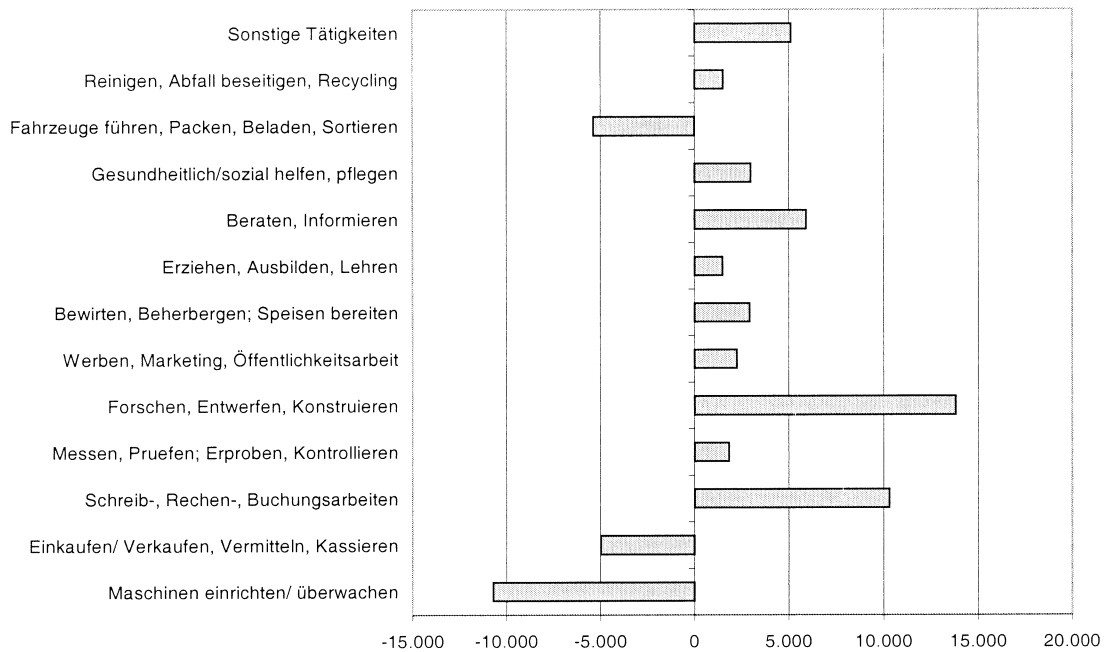
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 5-6: Qualifikationsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersektoren einer nachhaltigen Papiernutzung



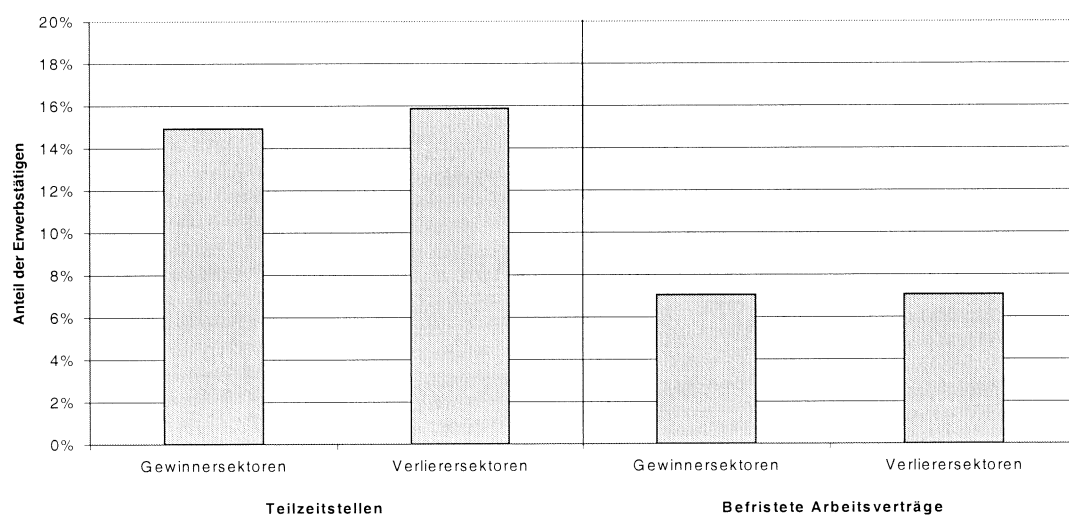
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 5-7: Nettowirkungen einer nachhaltigen Papiernutzung auf die Tätigkeitsfelder (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



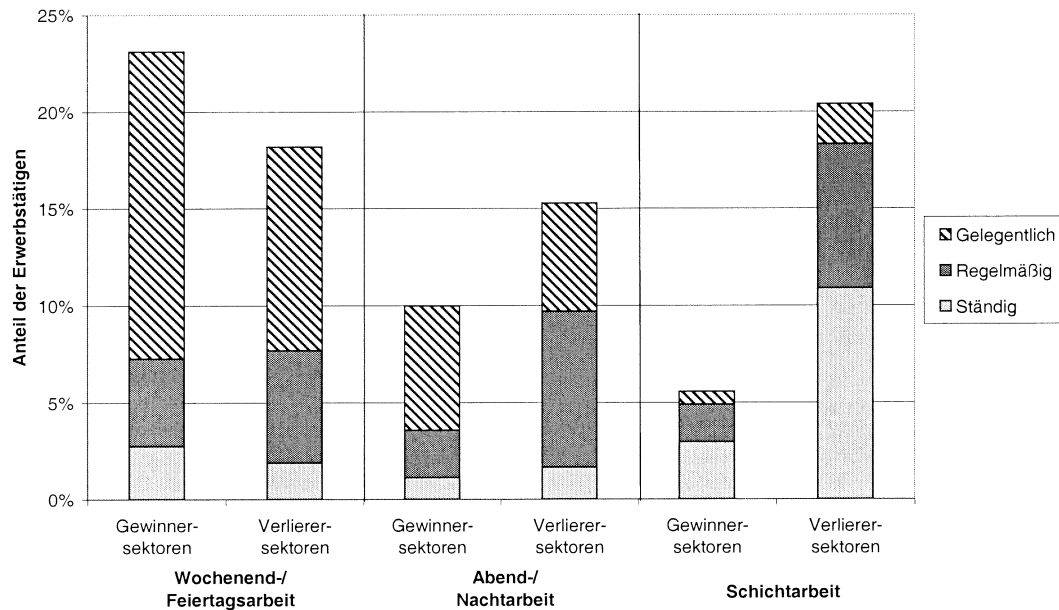
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 5-8: Teilzeitstellen und befristete Arbeitsverträge in den Gewinner- und Verlierersektoren einer nachhaltigen Papiernutzung



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 5-9: Flexibilisierungsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersectoren einer nachhaltigen Papiernutzung



Quelle: Eigene Berechnungen

5.2.4 Regionale Wirkungen

Entsprechend der detaillierten Beschreibung der zur Analyse der Regionalwirkungen angewandten Methodik (vgl. Abschnitt 4.3 sowie Anhang A.4) werden zunächst die Auswirkungen einer nachhaltigen Papiernutzung auf die regionale Konzentration der Wirtschaftszweige betrachtet. Dazu werden zunächst Herfindahl-Hirschman Indices als Konzentrationsmaße für die Regionalverteilung sämtlicher Wirtschaftszweige berechnet. Diese werden über alle Wirtschaftszweige zu einem gesamtwirtschaftlichen Konzentrationsmaß aggregiert, wobei die Anteile der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in den einzelnen Wirtschaftszweigen als Gewichtungsfaktoren fungieren. Zur Bewertung der Auswirkung einer nachhaltigen Papiernutzung auf die Regionalverteilung werden die aggregierten Konzentrationsmaße von Nachhaltigkeits- und Referenzszenario, \bar{H}^R und \bar{H}^N , berechnet und deren Differenz $\Delta\bar{H} = \bar{H}^N - \bar{H}^R$ gebildet. Für das Fallbeispiel nachhaltige Papiernutzung lautet der errechnete Wert für $\Delta\bar{H} = -0,747$, d. h. eine Strategie der nachhaltigen Papiernutzung bewirkt im Modell eine **Verringerung der regionalen Konzentration**.

Zur Interpretation dieses Gesamteffekts werden die Herfindahl-Hirschman Indices derjenigen Wirtschaftszweige, die durch diese Strategie besonders starke Beschäfti-

gungsgewinne aufweisen, mit den Indices derjenigen Wirtschaftszweige, die die höchsten Verluste erleiden, verglichen. In Tabelle 5-11 sind die entsprechenden Herfindahl-Hirschman Indices H aufgeführt. Hier zeigt sich, dass diejenigen Wirtschaftszweige, die die stärksten Beschäftigungszuwächse erzielen, schwächer als der Durchschnitt aller Branchen (17,851) konzentriert sind. Insbesondere der Anteil des Sektors EDV- und Mediendienstleistungen hat sich infolge der Umweltstrategie erhöht. Die abnehmenden Sektoren sind zwar, mit Ausnahme des Sektors Zellstoff, Holzschliff, Papier und Pappe, ebenfalls unterdurchschnittlich stark konzentriert, aber insgesamt sind die Beschäftigungsänderungen geringer als bei den zunehmenden Wirtschaftszweigen.

Für die Beantwortung der Frage, in welchen Regionen der sektorale Strukturwandel zu besonders hohen Anpassungserfordernissen führt, ist die absolute Veränderung der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (absolute Beschäftigungsänderung), ihr Anteil an den insgesamt Beschäftigten (Netto-Beschäftigungsänderung) sowie der Anteil der Arbeitsplatzwechsel an den insgesamt Beschäftigten (Brutto-Beschäftigungsänderung) zu betrachten. Gemessen an der absoluten Beschäftigtenzahl profitieren vor allem die großen Arbeitsamtsbezirke wie München, Hamburg, Frankfurt/M., Stuttgart und Düsseldorf. Nettobeschäftigungsverluste entstehen vor allem auch in kleineren Arbeitsamtsbezirken mit vielen Beschäftigten in den Sektoren Druckerzeugnisse sowie Zellstoff, Holzschliff, Papier und Pappe, was insbesondere auf Bielefeld, Offenburg, Elmshorn und Düren zutrifft (eine Auflistung der Einzelergebnisse für jeden der 181 Arbeitsamtsbezirke findet sich in Tabelle B-1 im Anhang B).

Tabelle 5-11: Herfindahl-Hirschman-Koeffizienten zur regionalen Konzentration für am stärksten betroffene Wirtschaftszweige einer nachhaltigen Papiernutzung

Wirtschaftszweige	Beschäftigung	H^*
EDV- und Mediendienstleistungen	+48264	14,19
Sonstige marktbestimmte Dienstleistungen	+5101	14,19
Elektrotechnische Erzeugnisse	+4456	13,97
Hoch- u. Tiefbauleistungen u.ä.	+3735	7,54
Marktbestimmte Dienstleist. Gastgewerbe u. Heime	+3422	10,00
Erzeugnisse der Druckerei u. Vervielfältigung	-35086	12,50
Dienstleistungen des Einzelhandels	-15406	8,13
Zellstoff, Holzschliff, Papier, Pappe	-9785	18,94
Dienstleistungen des sonstigen Verkehrs	-3393	13,83

Zum Vergleich: Im Durchschnitt aller Branchen beträgt das Konzentrationsmaß H 17,851.

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 5-12: Arbeitsamtsbezirke mit den relativen höchsten Netto-Beschäftigungsgewinnen und –verlusten bei einer nachhaltigen Papier-nutzung

Arbeitsamtsbezirke mit höchsten prozentualen Verlusten	Relative Netto-Beschäftigungs-Änderung*	Arbeitsamtsbezirke mit höchsten prozentualen Gewinnen	Relative Netto-Beschäftigungs-Änderung*
Düren	-0,57 %	Berlin West	0,49 %
Donauwörth	-0,41 %	Wiesbaden	0,31 %
Bad Oldesloe	-0,37 %	Münster	0,30 %
Rastatt	-0,37 %	Dresden	0,30 %
Offenburg	-0,33 %	Stralsund	0,29 %
Elmshorn	-0,33 %	Berlin Mitte	0,28 %
Leer	-0,32 %	Halle	0,27 %
Bielefeld	-0,20 %	Frankfurt/M.	0,27 %

Quelle: Eigene Berechnungen

*Relative Nettobeschäftigungsänderungen für einen Arbeitsamtsbezirk: Differenz der (sozialversicherungspflichtig) Beschäftigten zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario, bezogen auf die Gesamtzahl der im Referenzszenario Beschäftigten.

Tabelle 5-13: Arbeitsamtsbezirke mit dem höchsten und geringsten strukturellen Anpassungsdruck bei einer nachhaltigen Papiernutzung

Arbeitsamtsbezirke mit höchsten prozentualen Änderungen	Relative Brutto-Beschäftigungs-Änderung*	Arbeitsamtsbezirke mit geringsten prozentualen Änderungen	Relative Brutto-Beschäftigungs-Änderung*
Düren	1,14 %	Korbach	0,35 %
Rastatt	0,97 %	Stendal	0,35 %
Bad Oldesloe	0,95 %	Weiden	0,37 %
Elmshorn	0,95 %	Weißenburg	0,37 %
Donauwörth	0,90 %	Sangerhausen	0,38 %
Bielefeld	0,85 %	Helmstedt	0,38 %

Quelle: Eigene Berechnungen

*Relative Bruttobeschäftigungsänderungen für einen Arbeitsamtsbezirk: Summe der absoluten Beschäftigungsänderungen im Nachhaltigkeits- gegenüber dem Referenzszenario, bezogen auf die Gesamtzahl der im Referenzszenario Beschäftigten.

In den Tabellen 5-12 und 5-13 sind diejenigen Arbeitsamtsbezirke aufgelistet, die die stärksten positiven und negativen relativen Netto - bzw. Brutto Beschäftigungsänderungen aufweisen. Die relativ am stärksten negativ betroffenen Regionen sind kleine, eher ländliche Arbeitsamtsbezirke mit einem hohen Beschäftigtenanteil in den Bereichen Druckerzeugnisse sowie Zellstoff, Holzschliff, Papier und Pappe. Ebenso wie die Beschäftigungsabnahmen, fallen die Beschäftigungszunahmen pro-

zentual gesehen relativ gering aus, und Unterschiede zwischen den einzelnen Regionen sind nicht sehr ausgeprägt. Bezirke mit positiven relativen Netto-Beschäftigungseffekten weisen insbesondere einen hohen Anteil an Beschäftigten in der EDV-Beratung auf. Ein Vergleich der Tabellen 5-12 und 5-13 zeigt, dass sich der Anpassungsdruck durch starke intersektorale Arbeitsplatzverschiebungen gerade in denjenigen Regionen noch verstärkt, die durch Beschäftigungsverluste besonders beeinträchtigt sind. Die Arbeitsamtsbezirke mit dem geringsten Anpassungsdruck befinden sich tendenziell in ländlichen Gebieten mit vergleichsweise geringen Beschäftigtenanteilen in der EDV-Beratung.

5.2.5 Umweltwirkungen

Die Unterschiede in der Umweltbelastung zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario wurden bezüglich Energieverbrauch, Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen sowie Abfall- und Abwasseraufkommen untersucht. In allen Bereichen findet eine **deutliche Umweltentlastung** statt (vgl. Tabelle 5-14). Der Energieverbrauch beispielsweise reduziert sich um fast 70 PJ, die CO₂-Emissionen sinken um rund 4 Mio. Tonnen. Nachrichtlich ist noch das durch die geringere Papierproduktion vermiedene Altpapieraufkommen aufgeführt, das zwar nicht zur Kategorie „Abfall zur Beseitigung“ zählt, aber doch eine nennenswerte Größenordnung aufweist.

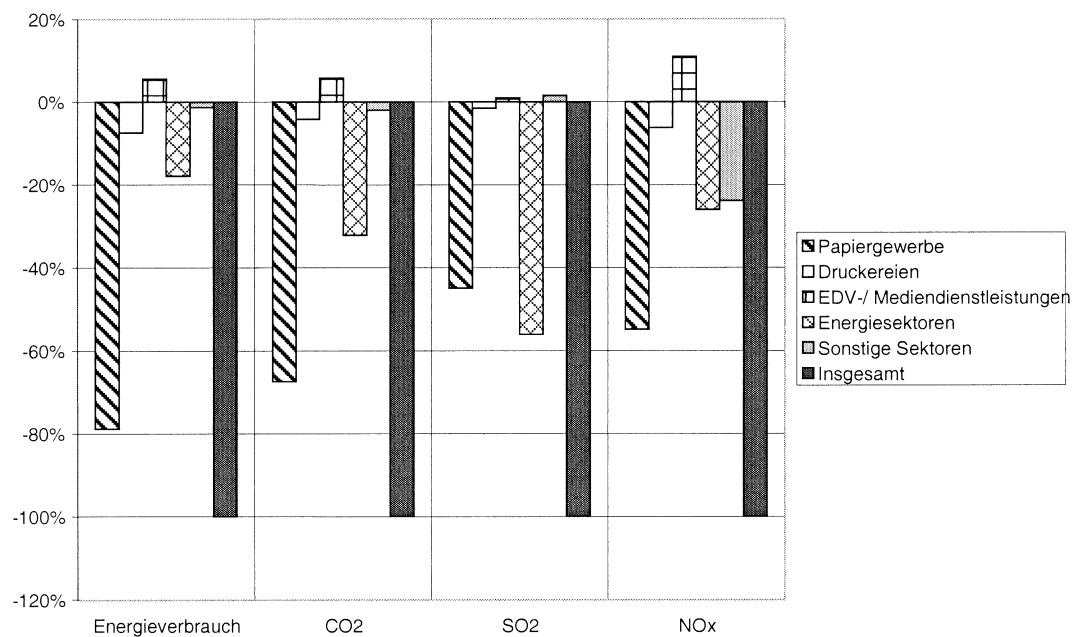
In einer sektoralen Betrachtungsweise wurde analysiert, welche **Sektoren** hauptsächlich zur Veränderung der Umweltbelastung beitragen. Hierzu wurde die Veränderung der Umweltbelastung, die sich in den einzelnen Sektoren ergibt, ins Verhältnis zu den – mit dem Indexwert 100 bewerteten – gesamten Umweltentlastungen zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario gesetzt. Es zeigt sich, dass die Produktionszunahme in den Gewinnersektoren mit deutlich weniger Umweltbelastungen einhergeht als durch die Produktionsabnahme in den Verlierersektoren vermieden wird (vgl. Abbildungen 5-10 und 5-11). Insbesondere der Rückgang der Umweltbelastungen bei der sehr energie-, abwasser- und abfallintensiven Papierindustrie ist hervorzuheben. Beim Aufkommen von Abfällen zur Beseitigung stammen nennenswerte zusätzliche Mengen aus der in den sonstigen Sektoren subsummierten Bauindustrie, die durch die zusätzliche Endnachfrage angekurbelt wird. Hierbei handelt es sich jedoch überwiegend um Bauschutt und andere Bauabfälle.

Tabelle 5-14: Umweltauswirkungen einer nachhaltigen Papiernutzung (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)

Umweltindikator	absolute Menge	Einheit
Energieverbrauch	-68.968	TJ
CO ₂	-4.001	kt
SO ₂	-8.552	t
NO _x	-4.733	t
NMVOG	-707	t
Abwasser ohne Kühlwasser	-91.782	1000 m ³
Abfall zur Beseitigung	-631.141	t
Sonderabfall zur Beseitigung	-341.570	t
nachr.: vermiedenes Altpapier-aufkommen	-2.162.328	t

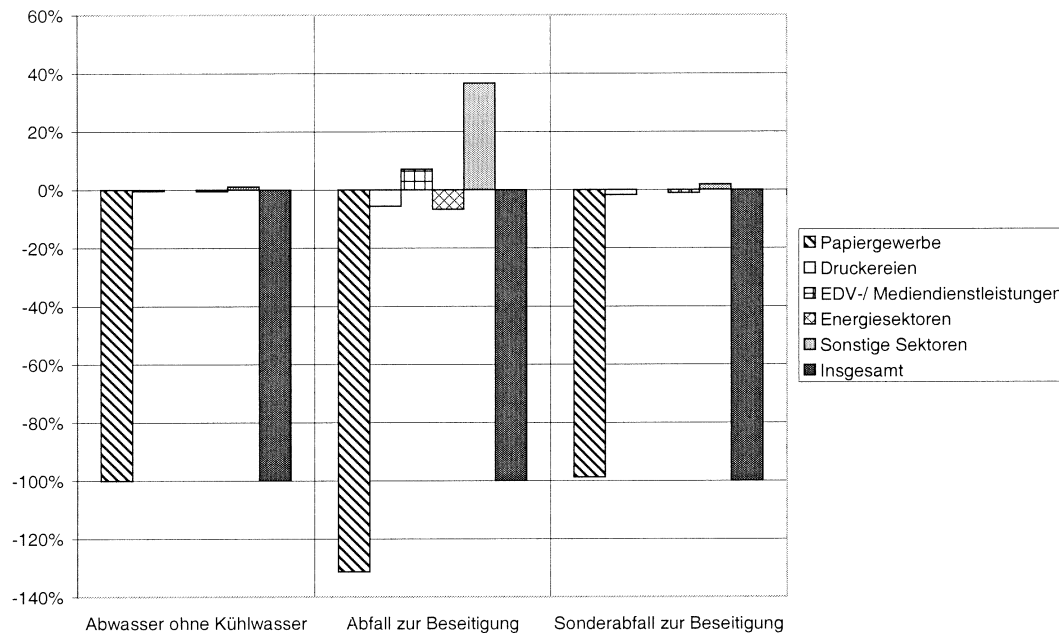
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 5-10: Veränderung der Umweltauswirkungen in einzelnen Sektoren im Verhältnis zu den gesamten Umweltauswirkungen einer nachhaltigen Papiernutzung – Energieverbrauch und Luftemissionen



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 5-11: Veränderung der Umweltauswirkungen in einzelnen Sektoren im Verhältnis zu den gesamten Umweltauswirkungen einer nachhaltigen Papiernutzung – Abwassermengen und Abfälle



Quelle: Eigene Berechnungen

5.3 Auswirkungen auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen

Neben den quantitativen Effekten für die Gesamtwirtschaft, die in den Szenarienanalysen abgeschätzt wurden, kann es auch zu betrieblichen Anpassungsproblemen bei den Anwendern der Umweltschutzstrategien kommen, die möglicherweise hohe sozialpolitische Relevanz haben. Diese qualitativen Aspekte wurden im Rahmen von Interviews erfasst. Dabei wurde keine repräsentative Erhebung durchgeführt, sondern vielmehr eine Abschätzung auf der Basis heutiger Ist-Zustände und Erwartungen der Anwenderbetriebe angestrebt.

Für das Fallbeispiel der Papiernutzung wurde der Wertschöpfungsbereich der Druckereien detailliert betrachtet. Das Verlagswesen und die Handhabung der Restauflagen wurden zusätzlich ansatzweise betrachtet, da diese bei einer Umstellung vom Offsetdruck zum Printing-on-demand ebenfalls betroffen sind.

Die betrachtete Prozesskette des **herkömmlichen Druckverfahrens** von Büchern beginnt mit der Bewertung und Auswahl von Vorlagen durch den Lektor. Diese Prozessschritte sind beim herkömmlichen Druckverfahren von großer Bedeutung, da eine wirtschaftliche Fertigung mit dieser Technologie nur bei größeren Stückzahlen möglich ist. An die Auswahl schließt sich die Erstellung der Druckvorlagen und der eigentliche Druckprozess an. Dieser ist durch einen sehr hohen Kapitalein-

satz gekennzeichnet. Die Handhabung der Technologie erfordert umfangreiche technische Kenntnisse bei den Betreibern, die nur durch die Ausbildung zum Drucker und Druckingenieur sichergestellt werden können. Die gedruckten Bücher werden bis zu ihrem Verkauf beim Verlag oder bei den Händlern gelagert. Restexemplare, bei denen eine weitere Lagerung nicht mehr wirtschaftlich wäre, werden nach einigen Jahren vernichtet.

Die alternativ betrachtete Wertschöpfungskette des **Printing-on-demand** umfasst nur in geringerem Umfang eine Auswahl und Aufbereitung der Informationen, da kleinere Stückzahlen wirtschaftlich gefertigt werden können. Die Aufbereitung der Informationen ist weitgehend standardisiert und erfordert daher einen geringeren Aufwand als dies bei einem herkömmlichen Druckverfahren der Fall ist. Beim untersuchten Fallbeispiel werden nur fünf unterschiedliche Standardformate mit einem Standardpapier angeboten. Der eigentliche Druckprozess ist für kleinere Stückzahlen ausgelegt. Er basiert auf dem Computer-to-Plate Druckverfahren und erfordert daher nur sehr kurze Rüstzeiten. Der Druck erfolgt auf kleineren Druckstraßen, die eine geringere Kapazität haben und ein Investitionsvolumen von ca. 2,5 Mio. DM erfordern (Drucken inkl. Cover und Binden von ca. 1.000 Büchern mit je ca. 200 Seiten pro Tag). Auf Grund der geringeren Rüstkosten wird i. d. R. nur eine geringere Stückzahl gedruckt, die innerhalb von wenigen Monaten verkauft werden kann. Die Lagerbestände und die zu vernichtenden Restexemplare reduzieren sich durch dieses Vorgehen insbesondere bei Büchern mit einem geringen monatlichen Absatz (Langsamdreher). Der Druck erfolgt daher in mehreren kleinen Druckaufträgen, die sich nach den Verkaufszahlen eines Buches richten. Alle Druckvorlagen müssen als Dateien abgespeichert sein und kurzfristig für einen erneuten Druck zur Verfügung stehen. Bei dem untersuchten Fallbeispiel rechnet man jährlich mit ca. 3.000 neuen Buchvorlagen, die vorgehalten werden. Dies erfordert ein umfangreiches Datenmanagement, das über die bisherigen Anforderungen hinausgeht.

Neben dem herkömmlichen Druckverfahren für Bücher werden durch das Printing-on-demand Konzept auch andere Prozesse substituiert. So können z. B. auch sehr kleine Auflagen gedruckt werden, die bisher privat kopiert wurden oder gar nicht zur Verfügung standen. Dies gilt z. B. für alte Bücher, die überwiegend in Bibliotheken kopiert wurden, da sich eine Neuauflage bei einer kleinen Stückzahl bisher nicht gelohnt hat. Durch ein vollautomatisches Scannen und das Printing-on-demand Konzept ist es in Zukunft möglich, diese Bücher wirtschaftlich zu drucken und damit einen Teil des Kopier Volumens zu ersetzen. Eine ähnliche Entwicklung ist auch bei sehr spezieller Fachliteratur oder Büchern mit stark regionalem Bezug (z. B. regionale Krimis) zu erwarten, da sie nur in sehr geringen Stückzahlen nachgefragt werden und bisher überwiegend über Kopien hergestellt wurden.

Im Folgenden sollen die Auswirkungen der beiden unterschiedlichen Strategien auf die betriebliche Arbeitsstruktur dargestellt werden. Dabei werden insbesondere die

Aspekte Qualifikationsstruktur, Arbeits-/Einsatzzeiten, Entlohnungs- und Rationalisierungseffekte betrachtet.

Qualifikationsstruktur

Die Qualifikationsstruktur weist besonders große Unterschiede bei den verschiedenen Konzepten auf. Bereits während der Bewertung und Auswahl ergeben sich Abweichungen. Während bei einem herkömmlichen Verlagswesen Lektoren mit einem hohen Ausbildungsniveau tätig sind, verlagert sich diese Tätigkeit beim Printing-on-demand oftmals zum Autor, da ein Großteil der Kunden Selbstverleger sind. Beim untersuchten Fallbeispiel sind ca. 50 % der Kunden Verlage und 50 % Selbstverleger. Die Auswahl und die Beurteilung entfällt bei den Selbstverlegern vollständig, da sich die Anzahl der gedruckten Bücher weitgehend nach der Nachfrage richtet und daher keine Prognosen über die zukünftigen Verkaufszahlen notwendig sind. Auch bei den Selbstverlegern ist es weiterhin erforderlich, eine Druckvorlage zu erstellen. Der Prozess des Mastering wird durch standardisierte Formate und durch Softwareunterstützung vereinfacht. Die Kosten für das Mastering liegen in der Regel unter zwei DM pro Seite. Die digital vorliegenden Buchvorlagen werden abgespeichert und stehen für weitere Druckaufträge kurzfristig zur Verfügung. Im Vergleich zum herkömmlichen Druckverfahren erfordert das Datenmanagement eine zusätzliche Qualifikationen der Mitarbeiter im EDV-Bereich.

Auch während des eigentlichen Druckprozesses verändern sich Anforderungen an die Qualifikation der Mitarbeiter in erheblichem Umfang. Während die Bedienung einer herkömmlichen Druckmaschine eine spezielle Ausbildung zum Druckingenieur oder Drucker erfordert, können die Druckmaschinen beim Printing-on-demand mit einer sehr kurzen Einarbeitungszeit (Training on the job) auch ohne eine besondere Ausbildung bedient werden. Die Bedienung lässt sich mit der Handhabung einer Kopiermaschine vergleichen, so dass eine sehr umfangreiche Automatisierung möglich erscheint. Bei den heutigen Printing-on-demand Druckstraßen ist die Verkettung der einzelnen Maschinen (Papier schneiden, Cover drucken, Buch binden etc.) noch nicht vollständig automatisiert. Auf Grund der Standardisierung der Produkte erfolgt jedoch bereits heute eine automatische Papiauswahl und eine automatische Überprüfung aller Vorgaben. Die manuellen Tätigkeiten beschränken sich weitgehend auf die Bestückung der Automaten. Im untersuchten Beispielunternehmen werden fast ausschließlich ungelernte Arbeiter für diese Tätigkeiten eingestellt, und es wird eine Zusammenarbeit mit einer Behindertenwerkstatt angestrebt.

Arbeits-/Einsatzzeiten

Hinsichtlich der Arbeitszeiten ergeben sich kaum allgemeine Verschiebungen. Insbesondere während der Einführungsphase der neuen, teuren Technologien werden die Unternehmen eine möglichst hohe Maschinenauslastung anstreben und daher bei ausreichender Nachfrage einen Mehrschichtbetrieb mit Nachtarbeit einführen. Ähnliche Tendenzen finden sich jedoch auch bei den herkömmlichen Druckverfahren auf Grund der hohen Kapitalintensität. Langfristig ist ein vollautomatischer Nacht-

betrieb der Printing-on-demand Druckmaschinen vorstellbar. Diese Technologie scheint im Vergleich zu herkömmlichen Druckverfahren auf Grund ihrer einfacheren Handhabung besser für eine vollständige Automatisierung geeignet zu sein. Allgemein ist es möglich, dass auf Grund der kleineren Losgrößen und der geringeren Lagerbestände beim Printing-on-demand ein flexiblerer Arbeitseinsatz erforderlich sein wird, um durch eine hohe Termintreue und geringe Durchlaufzeiten wettbewerbsfähig zu sein.

Entlohnung

Sowohl beim herkömmlichen Druckverfahren als auch beim Printing-on-demand dominiert der Zeitlohn, da bei beiden Konzepten die Arbeitsgeschwindigkeit weitgehend durch die Maschinen vorgegeben wird. Unterschiede bei der Entlohnung ergeben sich jedoch auf Grund der Abweichungen in der Qualifikationsstruktur und der Unternehmensgröße. In Abhängigkeit von den jeweiligen Arbeitsmarktverhältnissen können sich z. B. für Experten im Bereich des Datenmanagements besondere Entlohnungsformen ergeben, die von der Entlohnung eines Druckingenieurs mit vergleichbarem Ausbildungsniveau abweichen. Inwieweit es zu einer unterschiedlichen Größenstruktur der Unternehmen kommen wird, ist zum heutigen Zeitpunkt schwierig zu beurteilen. Es ist jedoch vorstellbar, dass es sich bei den Printing-on-demand Unternehmen überwiegend um kleine und mittlere Unternehmen handeln wird. Die Entlohnungsformen dieser kleineren Unternehmen unterliegen i. d. R. nicht im gleichen Umfang wie Großunternehmen den Tarifverträgen, und im Durchschnitt ist ein geringeres Lohnniveau zu erwarten.

Rationalisierungseffekte

Die Rationalisierungseffekte sind zum heutigen Zeitpunkt nur schwer abzuschätzen, da es noch keine Unternehmen im Bereich Printing-on-demand gibt, die das Rationalisierungspotenzial bereits weitgehend ausgeschöpft haben. Die Unternehmen befinden sich noch in der Gründungsphase und benötigen daher überproportional viele Mitarbeiter für den Aufbau der Datenbanken zur Speicherung der digitalen Druckvorlagen. Beim untersuchten Beispielunternehmen geht man davon aus, dass man in den nächsten Jahren die Produktivität je Mitarbeiter um den Faktor fünf steigern kann.

Obwohl die Mitarbeiterzahl je produziertem Buch im Durchschnitt beim Offsetdruck voraussichtlich auch in Zukunft niedriger liegen wird als bei Printing-on-demand Verfahren, gilt diese Aussage tendenziell nicht für das substituierte Marktsegment, das durch besonders kleine Stückzahlen und hohe Restbestände gekennzeichnet ist. Tendenziell ist davon auszugehen, dass es beim Printing on-demand zu einer geringeren Beschäftigungsintensität kommen wird, als dies beim herkömmlichen Druckprozess für das gleiche Marktsegment der Fall wäre. Insbesondere die Rüstvorgänge sind beim herkömmlichen Druckverfahren sehr viel arbeitsintensiver als beim Printing-on-demand. Dennoch ist eine Prognose hinsichtlich der Rationalisierungsmöglichkeiten sehr schwierig, da auch bei den herkömmlichen

Druckverfahren Technologiesprünge zu erwarten sind und sich auch hier durch den Einsatz von Computer-to-Plate Verfahren eine Reduzierung des Zeit- und Arbeitsaufwands für das Rüsten ergibt. So erwartet z. B. Heidelberger Druckmaschinen grundlegende Technologiesprünge in der Drucktechnik in den nächsten fünf bis zehn Jahren.

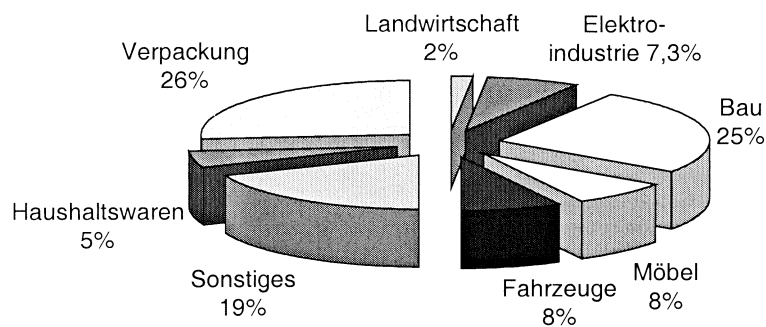
6 Kunststoffrecycling

6.1 Möglichkeiten einer ökologisch nachhaltigen Gestaltung der Kunststoffverwertung und -entsorgung

6.1.1 Beschreibung der Kunststoffindustrie

Im Jahre 1998 wurden in Deutschland etwa 12,5 Mio. Tonnen Kunststoffe produziert, von denen ca. 80 % im Inland verbraucht wurden. Hauptanwendungsgebiete dieser Werkstoffe sind vor allem der Verpackungssektor und der Baubereich mit jeweils 25 %, darüber hinaus sind Möbel, Fahrzeugbau, Elektroindustrie und Haushaltswaren von Bedeutung (vgl. Abbildung 6-1).

Abbildung 6-1: Einsatzbereiche von Kunststoffen im Jahr 1998



Quelle: VKE (1999)

Die **Kunststoffindustrie** gliedert sich in die drei Bereiche Erzeugung von Kunststoff, Verarbeitung von Kunststoff und Kunststoffmaschinenbau. In diesen Bereichen arbeiteten im Jahre 1998 ca. 368.000 Beschäftigte, davon mit ca. 280.000 der weitaus größere Teil in der Kunststoffverarbeitung. Während die Kunststofferzeugung eher zu den Bereichen der Großindustrie gehört, ist die Kunststoffverarbeitung eine eher mittelständisch strukturierte Branche, in der es auch zahlreiche Betriebe mit weniger als 20 Beschäftigten gibt (vgl. Tabelle 6-1).

Die erzeugten Kunststoffprodukte haben z. T. Verweilzeiten von über 50 Jahren in der Technosphäre, wie z. B. vergrabene Abwasserrohre aus PVC im Bausektor. Entsprechend kommt es bei insgesamt steigenden Einsatzmengen zu einer Zeitverzögerung, bis die produzierten Kunststoffmengen als Abfall anfallen. So wurden z. B. im Jahr 1995 zwar 10,4 Mio. t Kunststoffe produziert, es fielen aber nur ca. 4,6 Mio. t als Abfall an. Derzeit gelangen Altkunststoffe größtenteils in den Hausmüll und werden mit diesem verbrannt oder deponiert. Bisher werden lediglich gut 20 % der Altkunststoffe recycelt.

Tabelle 6-1: Struktur der Kunststoffindustrie im Jahr 1998

	Zahl der Unternehmen	Beschäftigte	Umsatz in Mrd. DM
Kunststofferzeugung	55	60.660	31,7
Kunststoffverarbeitung *	6.000	280.000	71,5
Kunststoffmaschinenbau	180	27.500	11,1 **
Summe	6.235	368.160	114,3

*) Die amtliche Statistik, die sich auf Betriebe mit mehr als 20 Beschäftigten beschränkt, weist 2.712 Betriebe mit 274.599 Beschäftigten aus.

**) Kunststoff-/Gummimaschinen inkl. Kunststoffwerkzeuge, Kunststoffformen und Kunststoffdruckmaschinen

Quelle: VKE (1999)

Bei der **Kunststoffverwertung** kann zwischen dem "Grünen Punkt" für **Verpackungskunststoffe** und dem freien Markt unterschieden werden. Die Deutsche Gesellschaft für Kunststoff-Recycling mbH (DKR) dient derzeit als Garantiegeber für das Kunststoffrecycling gegenüber dem Dualen System (DS), um den Vorgaben der Verpackungsverordnung nachzukommen. Die DKR hat 1997 insgesamt 559.000 t Kunststoffe aufbereitet bzw. verwertet. Der Umsatz betrug knapp 500 Mio. DM, mithin waren ca. 835 DM pro Tonne Kunststoff für die Verwertung erforderlich (DKR 1998). Bei der DKR sind ca. 80 Mitarbeiter beschäftigt. Derzeit gibt es etwa 56 Firmen, die für die DKR Kunststoffe recyceln, eine CD mit Produktionsbeispielen (ProRec) der DKR (Stand 1998) nennt 37 Hersteller von Kunststoffprodukten aus Kunststoffverpackungsabfällen des DS.

Zusätzlich gibt es etwa 200 deutsche Recyclingfirmen (Verwerter, Entsorger, Lohnaufbereiter und Händler), die auf dem **freien Markt** agieren und Produkte und Produktionsabfälle wieder zu Kunststoffprodukten oder Regranulaten aufarbeiten (Datenbank Kunststoff-Recycling des Forschungsinstituts Kunststoff und Recycling). Ebenso wie bei den Verwertern innerhalb der DKR sind es eher kleinere Unternehmen mit fünf bis fünfzehn Mitarbeitern.

6.1.2 Konkretisierung der Umweltstrategie

Die Umweltproblematik bei gebrauchten Kunststoffen ergibt sich einmal auf Grund der anfallenden großen Abfallmengen, die zukünftig noch weiter steigen werden. Zudem ist zu berücksichtigen, dass bei der Produktion der Vorprodukte zusätzlich weitere Umweltbelastungen anfallen, die durch einen ressourcenschonenden Umgang mit Kunststoffen reduziert werden könnten.

Gegenwärtig wird noch ein erheblicher Anteil der Kunststoffabfälle zusammen mit den anderen Bestandteilen des Restmülls deponiert. Nach den Vorgaben der TA Siedlungsabfall ist allerdings abzusehen, dass dieser Anteil nach Ablauf der Über-

gangsfristen mengenmäßig keine allzu große Rolle mehr spielen wird. Bei der Verwertung bzw. Entsorgung von Altkunststoffen werden in Zukunft drei unterschiedliche Bereiche miteinander konkurrieren:

- die thermische Verwertung,
- die rohstoffliche Verwertung sowie
- die werkstoffliche Verwertung.

Bei der thermischen Verwertung¹ wird der Heizwert der Kunststoffe genutzt. Dies erfolgt derzeit mit den Anteilen an Altkunststoffen, die sich im Hausmüll befinden. Dieser wird zur Erzeugung von Dampf/Strom in Müllverbrennungsanlagen (MVA) verbrannt. Diskutiert wird aber auch der Einsatz von Altkunststoffen als Brennstoff in Zementöfen (Lepper et al. 2000). Die durch die thermische Verwertung direkt ausgelösten Umweltbelastungen hängen sehr stark von den direkten Emissionen aus Müllverbrennungsanlagen ab. Während die Umweltbelastung der MVA in der Vergangenheit vor allem in ihren hohen Dioxinemissionen bestanden, haben sich diese seit Einführung der 17. BImSchV (17. BImSchV, 1990) Anfang der 90er Jahre sehr stark reduziert. Wichtige Schadstoffemissionen sind heute die kontinuierlich zu messenden Emissionen Staub, anorganische Fluor- und Chlorverbindungen, Schwefel- und Stickoxide sowie Kohlenmonoxid. Deren Konzentrationen sind dank moderner Abgasreinigungsanlagen zwar gering, auf Grund der hohen Rauchgasmengen ergeben sich aber dennoch bedeutende Frachten.

Die ökologische Beurteilung der MVA wird aber auch durch den Wirkungsgrad bestimmt, mit dem die in MVA erzeugte Energie genutzt und durch die in konventionellen Energieerzeugungsanlagen produzierte Energie substituiert werden kann. Wird ein hohes Ausmaß an Energie aus der MVA genutzt, z. B. wenn eine optimale Abnehmerstruktur auch hinsichtlich der im Sommer anfallenden Wärme besteht, werden mehr Emissionen an anderer Stelle vermieden, als wenn ein erheblicher Teil der Energie ungenutzt in die Umwelt abgegeben wird. Auf Grund der Emissionsproblematik wurden viele MVA außerhalb von Ortschaften gebaut, so dass keine optimale Nutzung der erzeugten Wärme erfolgen kann. Nach einer kürzlichen Erhebung des Öko-Instituts liegt daher der mittlere Wirkungsgrad der deutschen MVA bei 39 %, wobei Schwankungsbreiten zwischen 11 % und 73 % auftreten (Dehoust et al. 1999).

Die **rohstofflichen Verfahren** werden durch große Unternehmen wie die Bremer oder die ECO-Stahlwerke und das Sekundärrohstoff-Verwertungszentrum Schwarze

¹ Nach den Bestimmungen des Kreislaufwirtschafts-/Abfallgesetzes ist eigentlich der Begriff „Beseitigung“ zu benutzen. Der Begriff „Verwertung“ wird bei der derzeit praktizierten Auslegung des Gesetzes durch einige Bundesländer jedoch auch für den Fall der Mitverbrennung in Müllheizkraftwerken verwendet.

Pumpe (SVZ) angewandt. Der Kunststoff wird stofflich genutzt. In den Stahlwerken werden die zerkleinerten Kunststoffabfälle als Reduktionsmittel eingesetzt und ersetzen Schweröl, welches üblicherweise in den Hochofen eingeblasen wird (Janz et al. 1996; Lepper et al. 2000). Beim SVZ wird der Kunststoff zusammen mit anderen Stoffen durch Vergasung zu Synthesegas umgesetzt, welches dann zu Methanol verarbeitet wird (Buttker 1996). Durch die rohstofflichen Verfahren wird nicht nur der Energieinhalt genutzt, sondern es erfolgt auch eine stoffliche Nutzung der Altkunststoffe. Während das Vergasungsverfahren des SVZ in absehbarer Zukunft als Zuschussgeschäft Kosten für die Entsorgung verursacht, ist beim Hochofenverfahren durch die Substitution des eingekauften Schweröls ein Erlös für die Altkunststoffe denkbar.

Bei der **werkstofflichen Verwertung** werden die Kunststoffabfälle von den Kunststoffverarbeitern abgenommen und zur Herstellung von Kunststoffprodukten eingesetzt. Das werkstoffliche Recycling hat die höchste Wertschöpfung und lohnt sich vor allem bei hochwertigen technischen Kunststoffen, es benötigt aber einen möglichst sortenreinen Input an Kunststoff (z. B. Stoßfänger beim Auto).

Während die Wiederverwendung von Kunststoffen problemlos bei sortenreinen Abfällen, etwa aus der Industrie, möglich ist, bereitet die Verwertung der Mischung aus Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS), Polyethylenterephthalat (PET), Polyvinylchlorid (PVC) und technischen Kunststoffen im Hausmüll derzeit noch große Schwierigkeiten. Hier sind vor allem bessere Sortiertechniken zu entwickeln. Zurzeit sind beschäftigungsintensive Sortieranlagen mit Handsortierung am weitesten verbreitet. Die am Fließband stehenden Arbeiter sind ungelernt und beziehen einen geringen Lohn. Moderne optische Sortiertechniken werden nur zu einem geringen Teil in den Sortieranlagen eingesetzt. Dieses Bild wird sich aber in den kommenden Jahren drastisch ändern: Dann laufen die Verträge der derzeitigen Sortieranlagen mit dem Dualen System aus, und es wird erwartet, dass in den bestehenden bleibenden Anlagen in modernere Sortiertechnik investiert wird. Auch die Kunststoffkennzeichnung, ein recyclinggerechteres Design und die Normen für Kunststoffprodukte müssen verbessert werden, um ein höherwertiges Recycling zu ermöglichen.

Der Frage, wie Kunststoffabfälle am sinnvollsten genutzt werden können, ist in mehreren Studien in Deutschland nachgegangen worden. Abhängig von den Rahmenbedingungen sind die Ergebnisse sehr unterschiedlich. Sie reichen von einer Empfehlung für die thermische Verwertung (Heyde et al. 1999) bis hin zu ihrer Ablehnung zugunsten des rohstofflichen Recyclings (Dehoust et al. 1999) bzw. einem Plädoyer für werkstoffliches Recycling (Pilz et al. 1999).

6.2 Szenarienanalyse

6.2.1 Annahmen und Dateninput

6.2.1.1 Annahmen zur Szenarienbildung

Für die Aufstellung von Szenarien ist es zunächst erforderlich, Rahmenannahmen bezüglich der Entwicklung von Kunststoffproduktion und -einsatz festzulegen. Hierzu wurde im Rahmen dieses Projektes auf ein am Fraunhofer ISI entwickeltes **Stoffflussmodell** zum nichtenergetischen Verbrauch (Primärenergieträger, die stofflich und nicht energetisch genutzt werden) zurückgegriffen. Das Modell hat den in Abbildung 6-2 skizzierten Aufbau. Es ist in einzelne Module aufgebaut, um den vielfältigen Verflechtungen Rechnung zu tragen, die durch Handel mit Grundstoffen, Vorprodukten, Zwischen- und Endprodukten entstehen. Im Abfallmodul sind die verschiedenen Entsorgungs- und Recyclingtechniken enthalten. Besonders viel Wert wurde auf eine gute Darstellung der Kunststoffrecyclingtechniken gelegt.

Mit dem Stoffflussmodell wurde die Produktion der verschiedenen Kunststoffsorten und ihre Verwendung analysiert. Auf der Basis dieser detaillierten Daten wurde die zukünftige Entwicklung des Verbrauchs modelliert und das zukünftige Abfallaufkommen an Kunststoffen untersucht.

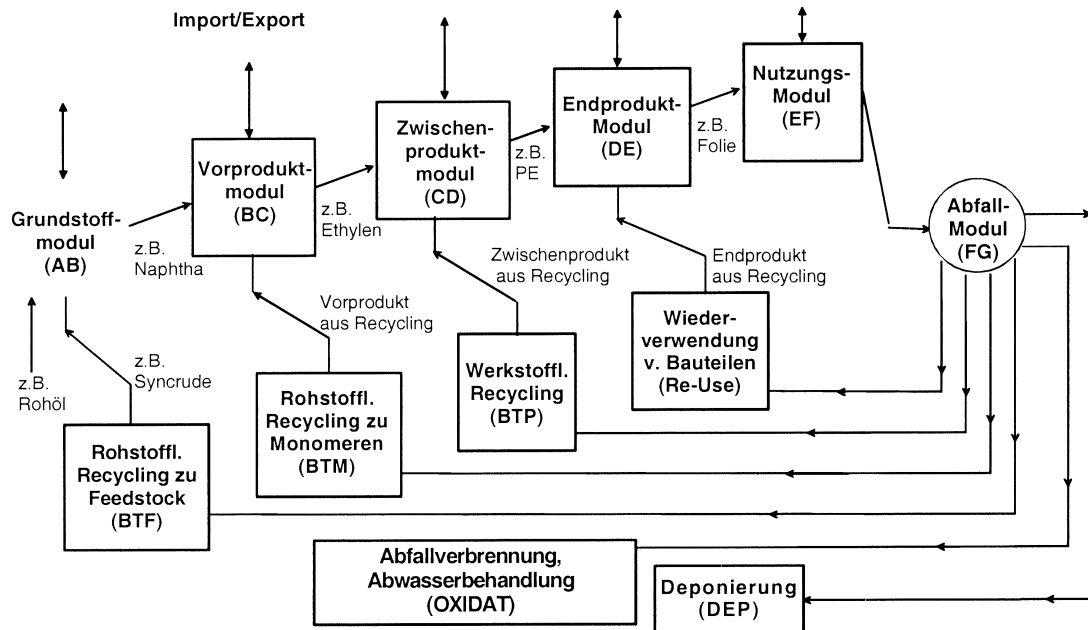
Auf Grund dieser Arbeiten wurde als Rahmenannahme für die vorliegende Untersuchung davon ausgegangen, dass der Verbrauch von Kunststoffserzeugnissen in Mengeneinheiten in der Periode 1994 bis 2020 um durchschnittlich 3,0 % pro Jahr zunimmt; das hiermit angenommene Wachstum ist etwas höher, als es dem linearen Trend der vergangenen 15 Jahre entspricht, der für den Zeitraum von 1994 bis 2020 bei 2,3 % pro Jahr läge (nach Patel et al. 1999). Der Inlandsverbrauch an Kunststoffen würde sich bei diesen Annahmen bis 2020 um 115 % erhöhen, d. h. gegenüber 1994 mehr als verdoppeln. Mit diesen Produktionssteigerungen verbunden ist auch ein stetiges Wachstum der anfallenden Kunststoffabfälle auf über 14,2 Mio. t im Jahr 2020 (vgl. Tabelle 6-2).

Tabelle 6-2: Daten zum derzeitigen und zukünftigen Kunststoff-Stoffstrom

		Zukunftsprojektion			
		1995 Mio. t	2005 Mio. t	2015 Mio. t	2020 Mio. t
Inlandsnachfrage		8,2	12,6	16,3	18,2
Kunststoffabfälle		4,6	7,2	10,7	14,2

Quelle: in Anlehnung an Patel et al. (1999)

Abbildung 6-2: Struktur des Stoffflussmodells "C-Ströme"



Quelle: Patel et al. (1999)

Die derzeitige Diskussion zur optimalen Kunststoffverwertung ist von einem Nebeneinander sehr verschiedener Optionen geprägt. Entsprechend sind die politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen der künftigen Kunststoffverwertung nur schwer zu prognostizieren. Um die mögliche Spannweite der ökonomischen Auswirkungen abzubilden, wurden daher deutlich abweichende Szenarien festgelegt. Für das **Referenzszenario** wurde angenommen, dass der Gesetzgeber keine eindeutige Verwertungspräferenz festlegt und die Abfallverbrennung als ein ökologisch und ökonomisch gleichwertiges Verfahren angesehen wird. Es erfolgen keine langfristigen Investitionen in die FuE der Sortierung, so dass keine großen Mengen an Polymer-Substitut zur Verfügung stehen.

Im Gegensatz hierzu wurde für das **Nachhaltigkeitsszenario** eine deutlich höhere Recyclingquote unterstellt. Die zusätzlich recycelten Kunststoffmengen fließen zum einen in die Kunststoffverarbeitung, so dass eine hohe Quote des werkstofflichen Recyclings erreicht wird. Dies erfordert eine Verbesserung der Sortiertechniken, so dass fast sortenreine Kunststofffraktionen in großen Mengen hergestellt werden. Diese können von Kunststoffverarbeitern als hochwertiges Einsatzmaterial, etwa wie heutige Ware 2. Wahl, zu 70 % der Neuware-Kosten bezogen werden. Des Weiteren wurde davon ausgegangen, dass die rohstoffliche Verwertung in der Stahlindustrie mengenmäßig eine erhebliche Bedeutung erlangen wird.

Diese Annahmen führen zu den in Tabelle 6-3 dargestellten Verhältnissen der Verwertungsarten zueinander. Im Referenzfall erfolgt hauptsächlich eine energetische Verwertung in der Müllverbrennungsanlage. Eine großflächige getrennte Sammlung

von auch kleinteiligen Kunststoffen findet nicht statt. Ein Anteil von 22 % an Altkunststoffen gelangt in das werkstoffliche Recycling; dies entspricht etwa dem heutigen Wert. Etwas mehr als die Hälfte dieser 22 % ersetzt neue Kunststoffe (Polymer-Substitute), etwas weniger als die Hälfte sind qualitativ minderwertig, so dass sie nicht Kunststoffe, sondern andere Werkstoffe ersetzen (z. B. Holz in Palisaden oder Beton als Platten). Aber auch diese "Non-Polymer Substitutes" werden vom Markt aufgenommen, so dass keine aussortierten Kunststoffe mehr zum rohstofflichen Recycling zur Verfügung stehen.

Im Nachhaltigkeitsszenario werden gegenüber dem Referenzszenario deutlich mehr Altkunststoffe in getrennten Sammlungen erfasst und effektiver sortiert. Daher gelangen nur 32 % mit dem Restmüll oder als Sortierreste in die Müllverbrennung. Auf Grund erhobener Technikinformationen erscheint es plausibel anzunehmen, dass - bedingt durch verbesserte Sortieranlagen und konstruktive Änderungen im Produktdesign (Einsatz sortenreiner Kunststoffe etc.) - 32 % der Altkunststoffe zu sortenreinen Polymer-Substituten verwertet werden können. Die restlichen Altkunststoffe werden zu vermischten Kunststoffen sortiert. Im Rahmen der Marktaufnahmefähigkeit werden sie in Produkten als Non-Polymer Substitute eingesetzt, der Rest wird rohstofflich recycelt.

Tabelle 6-3: Szenarienannahmen zur Verwertung der Kunststoffabfälle

	Referenzfall	Nachhaltigkeitsfall
Müllverbrennung ¹	78 %	32 %
Polymer-Substitute	12 %	32 %
Non-Polymer Substitute	10 %	10 %
Rohstoffliches Recycling	0 %	26 %

¹ Die Quote der in Wertstoffsammlungen erfassten Kunststoffe beträgt im Referenzfall 28 % und im Nachhaltigkeitsfall 73 %; hiervon gelangt ein kleiner Teil als Sortierreste in die MVA. Die nicht in Wertstoffsammlungen erfassten Kunststoffabfälle werden über den Restmüll entsorgt.

6.2.1.2 Annahmen und Vorgehensweise bei der Modellierung

Für die Modellierung des Referenz- und Nachhaltigkeitsfalls mussten einzelne Sektoren detaillierter abgebildet werden, als es die Standard-IO-Tabellen vorsehen. Für diese Sektoren war es erforderlich, eigenständige Subsektoren innerhalb der IO-Analyse zu bilden. Hierzu mussten eine Vielzahl von Annahmen bezüglich Vorleistungsstrukturen, Wertschöpfung und Beschäftigungsinput herangezogen werden. Auch bezüglich der Umweltbelastungen aus diesen Sektoren und der Regionalverteilung mussten jeweils Annahmen getroffen werden. Hierzu wurden eine Vielzahl von Datenquellen ausgewertet bzw. in Interviews zusätzliche Daten erhoben. Folgende Annahmen sind hervorzuheben:

- Es wird eine Müllverbrennungsanlage mit guten Emissionswerten und einem mittleren energetischen Wirkungsgrad unterstellt (vgl. Dehoust et al. 1999; Schön et al., 2000). Einen energetischen Wirkungsgrad anzunehmen, wie er bei den besten Anlagen in Deutschland zu erreichen ist, erscheint demgegenüber als unplausibel, da es in Deutschland nur wenige Standorte geben wird, die eine so gute Wärmeintegration der MVA zur Abgabe von großen Dampfmengen erlauben. Die in eine Müllverbrennungsanlage eingehenden Vorleistungen bzw. Investitionen wurden aus konkreten Fallstudien abgeleitet.
- In den deutschen IO-Tabellen ist die Kunststoffherzeugung Teil des Chemiesektors. Bei der Herauslösung der Kunststoffherstellung aus der Chemiebranche konnte auf Patel et al. (1999), Verbandsangaben, Hinweise aus amerikanischen IO-Tabellen, in denen die Kunststoffherzeugung separat ausgewiesen ist, sowie auf bottom-up Informationen einzelner Hersteller zurückgegriffen werden. Die Bestimmung der Qualifikationsstruktur erfolgte in Anlehnung an die Angaben aus dem Mikrozensus für die Grundstoffchemie.
- Bezüglich der Regionalverteilung der neu modellierten Sektoren wurde angenommen, dass sich die Kunststoffherstellung in der Regionalverteilung proportional zur Grundstoffchemie verhält. Der neue Sektor Energiebereitstellung folgt der Verteilung des Sektors Elektrizität, Dampf, und Warmwasserherzeugung. Für die anderen neuen Sektoren Wertstoffsammlung, moderne und konventionelle Sortieranlagen sowie Müllverbrennung wurde angenommen, dass ihre Regionalverteilung der durchschnittlichen Verteilung der Beschäftigten in allen Wirtschaftszweigen entspricht.
- Ökonomische sowie beschäftigungsorientierte Daten zur Wertstoffsammlung wurden aus Statistiken (z. B. VKS-Leistungsdaten, Verkehrsstatistiken) und der Literatur (Dehoust et al. 1999, Schön et al. 2000) übernommen sowie durch Informationen von Fachleuten aus Verbänden und Entsorgungsbetrieben und eigene Schätzungen ergänzt. Zur Berechnung der Emissionen bei der Wertstoffsammlung und den Transporten wurden Daten zum Dieserverbrauch und Emissionen aus der Literatur entnommen (Böhm 1996; Schön et al. 2000; BUWAL 1998).
- Als Basis für die Referenz-Sortieranlage werden Daten aus dem "SORTEchnology 3.0"-Verfahren übernommen, das vom DS als neuste Sortiertechnologie im November 1999 vorgestellt wurde. Die Kosten für die Wertstoffsammlung im Jahr 2020 orientieren sich an Dehoust et al. (1999). Angaben zum Energieverbrauch beim Betrieb von Sortieranlagen stammen aus Schön et al. (2000). Ergänzt wurden diese Angaben durch Interviews mit Betreibern von Sortieranlagen. Bei einer dieser Anlagen erfolgt eine rein manuelle Sortierung ohne jegliche optische Sortier- und Trenntechnik. Bei einer zweiten Firma waren Teile der manuellen Sortierung durch automatische Trennverfahren ersetzt, so dass diese mit deutlich weniger Personal gefahren werden konnte. Da durch Einsatz von optischen Sortierprozessen die Reinheit der erhaltenen Kunststofffraktionen höher

als bei händischem Klauben ist, können aus diesen höherwertige Produkte hergestellt und damit Primärkunststoffe im höheren Ausmaß ersetzt werden. Die im Nachhaltigkeitsfall betrachtete Sortieranlage verfügt über mehr Aggregate zur sortenreineren Weitersortierung.

- In einer Analyse der Sensitivität der Ergebnisse wurde auch eine heute betriebene beschäftigungsintensive Sortieranlage untersucht. Die Entwicklung geht zwar derzeit eindeutig in Richtung technologisch verbesserter Sortieranlagen, bei sehr niedrigen Löhnen ist aber auch der weitere Einsatz von rein händischer Sortierung nicht ausgeschlossen.

6.2.1.3 Nachfrageimpulse

Durch die oben skizzierten Szenarienannahmen verändern sich die Güterströme im Nachhaltigkeitsszenario gegenüber dem Referenzszenario. Wenn man diese Veränderungen in die Systematik der Input-Output-Analyse übersetzt, ergeben sich die folgenden ökonomischen Impulse (vgl. Tabelle 6-4):

- Durch die im Nachhaltigkeitsfall angenommene höhere Recyclingquote erhöhen sich die getrennt erfassten Kunststoffmengen um ca. 6,5 Mio. t. Im gleichen Umfang sinken diejenigen Mengen, die als Fraktion des Restmülls erfasst und in Müllverbrennungsanlagen thermisch verwertet werden.
- In der Aufbereitung und Sortierung der erfassten Kunststoffabfälle werden modernere Anlagen als im Referenzfall eingesetzt. Von den zusätzlich gegenüber dem Referenzfall aufbereiteten und sortierten Kunststoffen fließen gut 2,8 Mio. t qualitativ hochwertige Kunststoffe (Polymer-Substitute) an die Kunststoffverarbeitung, knapp 3,7 Mio. t an die Eisen- und Stahlerzeugung zur Verwertung in Hochöfen.
- Auf Grund der zusätzlichen Aufnahme von aufbereiteten Altkunststoffen als Polymer-Substitute wird die Produktion von gut 2,8 Mio. t Kunststoffen in der Kunststoffherstellung reduziert.
- Die zusätzlichen Kunststoffmengen, die von der Kunststoffaufbereitung zur rohstofflichen Verwertung in die Hochöfen fließen, substituieren schweres Heizöl. Entsprechend sinken die Lieferungen von Mineralölerzeugnissen von den Raffinerien an die Stahlindustrie um 3,7 Mio. t.
- Durch den Rückgang der in Müllverbrennungsanlagen thermisch verwerteten Kunststoffmengen sinkt die Energieerzeugung in Müllverbrennungsanlagen, die in Form von Strom, Prozessdampf oder Fernwärme genutzt werden kann, um 25,6 PJ.
- Um diese verminderte Energieerzeugung auszugleichen, ist eine um 25,6 PJ erhöhte Energiebereitstellung aus anderen Prozessen wie z. B. Dampferzeugern oder Kraftwerken erforderlich.

Tabelle 6-4: Veränderungen der Kunststoffströme im Nachhaltigkeitsszenario
(Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)

	Kunststoff- verarbeiter	Hochofen	Haushalte	Energie- erzeugung	Summe
Wertstoffsammlung			+6,52 Mio. t		+6,52 Mio. t
Aufbereiter/ Sortier- anlagen	+2,84 Mio. t	+3,69 Mio. t			+6,52 Mio. t
Kunststoffhersteller	-2,84 Mio. t				-2,84 Mio. t
Raffinerien		-3,69 Mio. t			-3,69 Mio. t
Restmüllsammlung/ Müllverbrennung			-6,52 Mio. t	-25,6 PJ	-6,52 Mio. t/ -25,6 PJ
Energieerzeugung in Kraftwerken etc.				+25,6 PJ	+25,6 PJ
Summe	0	0	0	0	0

Quelle: Eigene Berechnungen

Da die Input-Output-Analyse mit monetären Größen arbeitet, ist es erforderlich, die Veränderungen der physischen Stoffströme durch Bewertung mit Preisen in Veränderungen der monetären Güterströme zu überführen. Im vorliegenden Fall zeigte sich, dass die Summe der monetären Nachfrageimpulse negativ ist, d. h. also eine Einsparung von Kosten vorliegt (vgl. Tabelle 6-5). Dies kann zu einem erheblichen Teil darauf zurückgeführt werden, dass der Bezug von hochwertigem recycelten Kunststoff für die kunststoffverarbeitende Industrie kostengünstiger ist als der von Primärkunststoff. Diese Einsparungen stehen für Kompensationen zur Verfügung, um entweder höhere Investitionen abzudecken oder als zusätzliche Endnachfrage wirksam zu werden. Entsprechend der in Kapitel 4 erläuterten Methodik wurde die Summe der Gesamtnachfrage aus Konsistenzgründen konstant gehalten, d.h. im Saldo ergibt sich keine Veränderung der monetären Gesamtnachfrage.

Die veränderten (monetären) Güterströme wirken sich zunächst direkt auf die Produktion in den betroffenen Bereichen aus und damit auch auf die erforderliche Beschäftigung mit den in den einzelnen Sektoren vorliegenden Qualifikationsstrukturen und Arbeitsbedingungen. Mit Veränderungen in der Produktion sind weiterhin Veränderungen bei den Umweltauswirkungen verbunden. Zu den direkten Produktions-, Beschäftigungs- und Umweltauswirkungen kommen indirekte hinzu, die sich aus Verschiebungen in der Vorleistungsnachfrage der Sektoren ergeben. Geht beispielsweise die Neuproduktion von Kunststoffen zurück, so hat dies Rückwirkungen auf die Herstellung chemischer Grundstoffe wie Ethylen oder Propylen und weiter auf die Nachfrage nach Mineralöl zur Produktion dieser Einsatzstoffe usw. Auf der anderen Seite steigen Sammlung und Transport sowie Aufbereitung von Altkunststoffen, die im Vergleich zur industriell geprägten Kunststoffneuproduktion völlig andere Vorleistungsstrukturen aufweisen und damit andere Nachfrageimpulse an die

übrigen Sektoren weitergeben. Die Produktion in diesen Sektoren ist wiederum mit jeweils eigenen Arbeitsintensitäten und Qualifikationsstrukturen verbunden, so dass per Saldo Unterschiede bei Beschäftigung, Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen auftreten.

6.2.2 Arbeitsplätze und sektorale Wirkungen

Die Auswirkungen eines verstärkten Kunststoffrecyclings auf die inländische Produktion, Importe und Beschäftigung sind in den Abbildungen 6-3 und 6-4 enthalten. Insgesamt kommt es im Nachhaltigkeitsfall zu einem **Rückgang der Inlandsproduktion** um rund 3 Mrd. DM, die Importe sinken um gut 1,1 Mrd. DM. Dem steht jedoch eine **leicht positive Beschäftigungsbilanz** mit über 2.500 Erwerbstätigen gegenüber.

Analysiert man die Nettoproduktionseffekte nach den Sektoren, in denen sie stattfinden (vgl. Abbildung 6-3), so dominieren die Effekte in den direkt betroffenen Sektoren und der Grundstoffindustrie, hier vor allem in der Chemischen Industrie und im Mineralölsektor. Bei den übrigen Sektoren heben sich positive und negative Auswirkungen in der Summe weitgehend auf.

Die wesentlichen Nettobeschäftigungseffekte spielen sich ebenfalls vorwiegend in den direkt betroffenen Sektoren ab. Beschäftigungsrückgänge haben vor allem die Kunststoffherstellung, die Grundstoffindustrie und in geringem Ausmaß Müllverbrennungsanlagen zu verzeichnen. Diese werden allerdings überkompensiert durch den Beschäftigungszuwachs in den arbeitsintensiveren Bereichen der Wertstoffsammlung und der Wertstoffsortierbetriebe.

Von Interesse ist auch, wie stark die einzelnen **Nachfrageimpulse** zu diesen Entwicklungen beitragen (vgl. Tabelle 6-5). Im Unterschied zu den in den Abbildungen 6-3 und 6-4 aufgeführten sektoralen Wirkungen werden hierbei sowohl die direkten als auch die indirekten Effekte, die aus der Veränderung der Vorleistungen herrühren, dem verursachenden Nachfrageimpuls zugeordnet.

Unter den negativen Nachfrageimpulsen ist der Rückgang der Nachfrage nach Primärkunststoffen der wesentlichste Faktor. Hier löst der Impuls (Nachfragerückgang nach Primärkunststoffen in Höhe von ca. 4,8 Mrd. DM) Rückgänge der Inlandsproduktion von über 9,7 Mrd. DM, der Importe von gut 1,2 Mrd. DM und der Beschäftigung um 19.500 Erwerbstätige aus. Von diesem Beschäftigungsrückgang fällt nur ca. ein Drittel in der Kunststoffproduktion selbst an, der übrige Teil des Beschäftigungsrückgangs erfolgt in der Vorleistungskette der Kunststoffproduktion, vor allem in der Produktion chemischer Vorprodukte und im Dienstleistungsbereich.

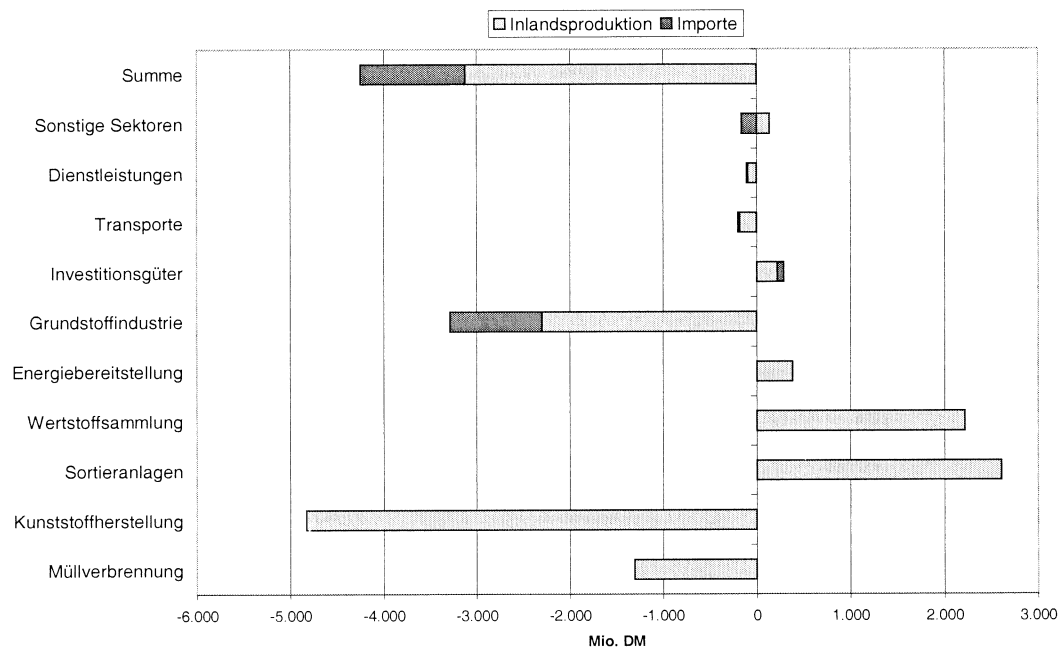
Wesentliche positive Impulse bei Produktion und Beschäftigung ergeben sich aus der zunehmenden Wertstoffsammlung sowie in den Wertstoffsortierbetrieben. Dennoch sind Produktions- und Beschäftigungsbilanz bei Betrachtung der primären Nachfrageimpulse negativ. Erst die Ausgabe der mit dem Übergang zu verstärktem Kunststoffrecycling verbundenen Kosteneinsparungen (Kompensationseffekt), der als Zunahme der Endnachfrage modelliert wurde, hebt die Beschäftigungsbilanz in den positiven Bereich.

Welche Faktoren für die insgesamt negative Produktions-, aber positive Beschäftigungsbilanz verantwortlich sind, lässt sich ebenfalls Tabelle 6-5 entnehmen. Eine Zusammenfassung der Einzeleffekte ist aus dem unteren Bereich der Tabelle ablesbar. Hierbei wurden die positiven und negativen Impulse jeweils zusammengefasst und in ihrer aggregierten Wirkung betrachtet. Es ist zu erkennen, dass der Produktionsmultiplikator bei den negativen Nachfrageimpulsen höher ist als bei den positiven. Dies führt insgesamt zu Produktionsrückgängen. Der Importeffekt ist bei den negativen Nachfrageimpulsen mit 11 % ebenfalls stärker ausgeprägt als bei den positiven mit 5 %. Daher liegt die Summe der Importe, die auf Grund der negativen Nachfrageimpulse vermieden werden, über den Importen, die auf Grund der positiven Nachfrageimpulse zusätzlich induziert werden. Im Saldo ergibt sich damit ein Rückgang der Importe. Dies führt dazu, dass der Rückgang der Inlandsproduktion weniger stark ausfällt als derjenige der Gesamtproduktion. Die durch die positiven Nachfrageimpulse ausgelöste inländische Produktion weist eine deutlich höhere Arbeitsintensität auf als der Produktionsrückgang, der aus den negativen Nachfrageimpulsen resultiert. Dieser Unterschied ist so bedeutend, dass es trotz insgesamt gesunkener Inlandsproduktion zu einem Beschäftigungsanstieg kommt.

In Kapitel 3 wurde erläutert, dass in der Diskussion um die Kompensationswirkungen des technischen Fortschritts dem **Maschinenherstellungsargument** eine nicht unerhebliche Bedeutung zugemessen wird. Um die Bedeutung dieses Arguments für den vorliegenden Fall zu überprüfen, wurde für das Fallbeispiel des verstärkten Kunststoffrecyclings auch die sekundären Investitionseffekte in Form einer **Sensitivitätsanalyse** untersucht.

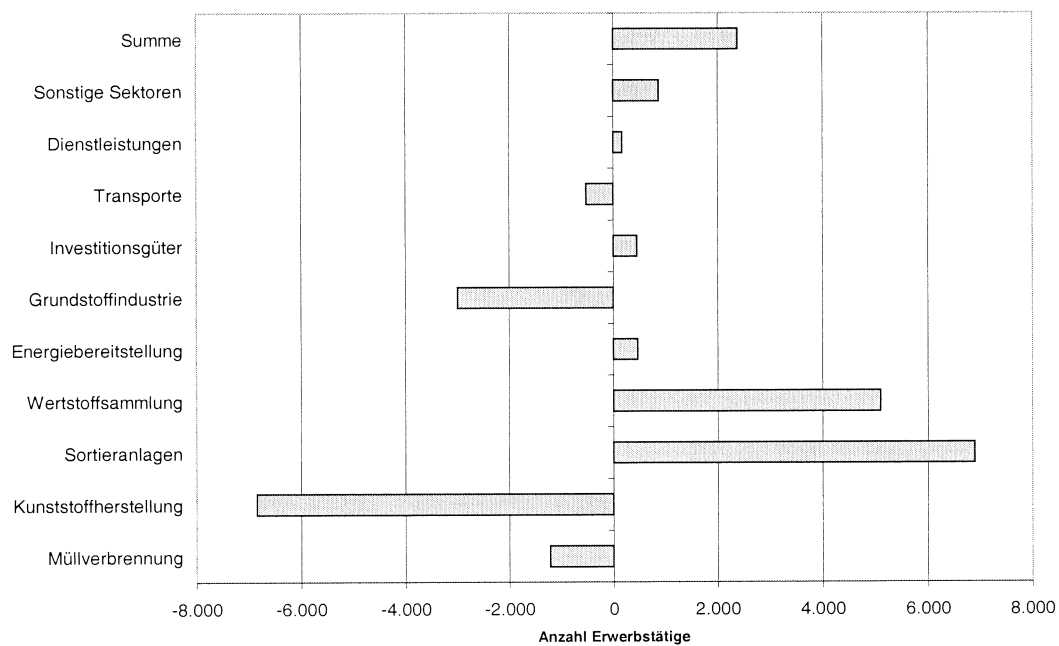
Betrachtet wurden die Veränderungen bei der Nutzung des Kapitalstocks, die durch die positiven und negativen Produktionswirkungen hervorgerufen werden. Diese Veränderungen der Nutzung des Kapitalstocks rufen wiederum Veränderungen beim Bedarf an Ersatzinvestitionen hervor, deren gütermäßige Zusammensetzung quantitativ abgeschätzt wurde. Im Ergebnis ergibt sich ein leicht positiver Nettoinvestitionsbedarf (+59 Mio. DM), d. h. der durch die Produktionssteigerungen hervorgerufene Investitionsbedarf liegt etwas über den vermiedenen Investitionen, die aus den Produktionsrückgängen resultieren.

Abbildung 6-3: Nettoproduktionswirkungen durch verstärktes Kunststoffrecycling (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 6-4: Nettobeschäftigungswirkungen durch verstärktes Kunststoffrecycling (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 6-5: Produktions-, Import- und Beschäftigungswirkungen durch verstärktes Kunststoffrecycling

	Auslösende Nachfrageimpulse	Folgewirkungen			Spezifische Effekte			
		Inlandsproduktion	Importe	Erwerbstätige	Gesamteffekt	Produktionsmultiplikator	Importanteil	Beschäftigungsintensität
	Mio. DM	Mio. DM	Mio. DM	P	P/ Mio. DM	Mio. DM/ Mio. DM	Mio. DM/ Mio. DM	P/ Mio. DM
Weniger MVA	-1.306	-1.999	-98	-3.161	2,42	1,61	0,05	1,58
Weniger Primärkunststoffe	-4.828	-9.734	-1.224	-19.501	4,04	2,27	0,11	2,00
Weniger Heizöl in Hochöfen	-676	-614	-330	-409	0,61	1,40	0,35	0,67
Weniger alte Sortierung	-1.562	-2.132	-91	-7.222	4,62	1,42	0,04	3,39
Mehr neue Sortierung	4.169	5.408	208	15.806	3,79	1,35	0,04	2,92
Mehr Wertstofftransporte	2.216	3.076	138	7.668	3,46	1,45	0,04	2,49
Mehr Energie als Substitution für MVA	386	688	34	1.342	3,47	1,87	0,05	1,95
Summe Primärimpulse	-1.601	-5.307	-1.362	-5.477				
Kompensationseffekt								
Veränderung Endnachfrage	1.601	2.188	233	7.865	4,91	1,51	0,10	3,60
Insgesamt	0	-3.001	-1.113	2.561				
Summe Nachfragerückgänge	-8.372	-14.478	-1.743	-30.293	3,62	1,94	0,11	2,09
Summe Nachfrageresteigerungen	8.372	11.359	614	32.681	3,90	1,43	0,05	2,88

Quelle: Eigene Berechnungen

Die Auswirkungen dieses Nettoinvestitionsbedarfs auf Produktion und Beschäftigung wurden ebenfalls mit dem IO-Modell ermittelt. Sie sind allerdings - verglichen mit den übrigen Effekten - vernachlässigbar. Daraus kann geschlossen werden, dass die durch das Maschinenherstellungsargument ausgelösten Kompensationseffekte im vorliegenden Fall einen geringen Stellenwert haben.

In einer zweiten Sensitivitätsanalyse wurde der **Einfluss des technischen Fortschritts bei den Sortieranlagen** auf die Beschäftigung betrachtet. Hintergrund hierfür war die Fragestellung, inwieweit der technische Fortschritt bei der Sortierung zu einer Rationalisierung und damit in der Zukunft zu geringeren Beschäftigungsgewinnen führt, als dies die heute eingesetzten Sortieranlagen intuitiv erwarten ließen.

In den oben beschriebenen Szenarienrechnungen wurde sowohl im Referenz- als auch im Nachhaltigkeitsszenario jeweils ein zwar unterschiedlicher, aber in beiden Fällen zukünftiger Stand der Technik bei den Sortieranlagen unterstellt, der gegenüber den heute üblichen Anlagen durch eine höhere Automation und damit einen geringeren Arbeitseinsatz gekennzeichnet ist. Zur Verdeutlichung der arbeitssparenden Wirkung des technischen Fortschritts wurde in der Sensitivitätsrechnung betrachtet, welche Beschäftigungseffekte sich ergeben, wenn sowohl im Referenz- als auch im Nachhaltigkeitsszenario die heute bestehenden durchschnittlichen Sortieranlagen zum Einsatz kommen. Damit werden die durch zunehmende Rationalisierungen erzielten Produktivitätsfortschritte ausgeblendet. Die Ergebnisse zeigen, dass dann in den Sortieranlagen rund 6.150 Beschäftigte mehr benötigt würden, als in der Standardvariante berechnet.

6.2.3 Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen

Der Übergang zu einem verstärkten Kunststoffrecycling führt per Saldo zu einem **wachsenden Bedarf an gering qualifizierten, un- oder angelernten Arbeitnehmern**, während der Arbeitskräftebedarf bei allen übrigen Qualifikationsstufen zurückgeht (vgl. Abbildungen 6-5 und 6-6). Der Zuwachs bei gering qualifizierten Arbeitnehmern resultiert vor allem aus den gestiegenen Aktivitäten der Wertstoffsammlung und der Sortierbetriebe, die im Vergleich zu den übrigen Sektoren einen hohen Anteil an Beschäftigten dieser Qualifikationsstufe aufweisen. Im Gegenzug verringert sich der Bedarf an höher qualifizierten Erwerbstätigen vornehmlich in der Kunststoff erzeugenden Industrie und anderen Grundstoffbranchen und z. T. auch im Dienstleistungsbereich, allerdings nur in geringem Ausmaß.

Für die Gesamtwirtschaft ist damit festzuhalten, dass es nicht zu einer Polarisierung der Qualifikationsanforderungen kommt. Vielmehr ist davon auszugehen, dass eine forcierte Strategie des Kunststoffrecyclings im Gesamteffekt eine bescheidene Verschiebung hin zu Arbeitsplätzen mit geringeren Qualifikationsanforderungen mit

sich bringen würde. Dieser Effekt wird hauptsächlich dadurch hervorgerufen, dass das Qualifikationsniveau bei der Sortierung und Aufbereitung geringer ist als bei der Herstellung von Kunststoff. Er fällt vergleichsweise gering aus, da bei den angenommenen Sortieranlagen bereits ein hoher Automationsgrad angenommen wurde, der im Nachhaltigkeitsszenario noch über dem im Referenzfall liegt. Insgesamt ist damit festzuhalten, dass der Effekt des sektoralen Strukturwandels den direkten Effekt bei den Anwenderbetrieben überkompensiert.

Die alleinige Betrachtung der Nettoeffekte ergibt allerdings kein vollständiges Bild der Qualifikationsanforderungen, da sich innerhalb eines Qualifikationsniveaus gegenläufige Tendenzen teilweise neutralisieren (vgl. Abbildung B-2 im Anhang). Obwohl die Veränderungen in der Nachfrage nach Beschäftigten mit Lehrausbildung im Saldo eher gering sind, zeigen sich innerhalb dieses Qualifikationsniveaus erhebliche Unterschiede zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario. So kommt es zu einer deutlichen Steigerung nach Beschäftigten mit Lehrausbildung in den beschäftigungsintensiven Bereichen Wertstoffsammlung und –sortierung. Dem steht ein erheblicher Rückgang an Beschäftigten mit Lehrausbildung in der Kunststoffherstellung und der Grundstoffindustrie gegenüber. Insgesamt ist also eine erhebliche Verschiebung von Beschäftigten mit beruflicher Ausbildung in der Kunststoffherzeugung hin zu solchen mit einer Ausbildung, die für die Sortierung und Aufbereitung notwendig ist, zu beobachten.

Diese Verschiebungen werden auch aus den deutlichen **Verlagerungen der Tätigkeitsschwerpunkte** sichtbar, die mit einem Übergang zu verstärktem Kunststoffrecycling verbunden sind (vgl. Abbildung 6-7). Während die mit der Wertstoffsammlung und –sortierung verbundenen Tätigkeiten wie Fahrzeuge führen, Beladen und Sortieren deutlich zunehmen, verlieren auf der anderen Seite industriell geprägte Tätigkeiten wie Maschinen einrichten und überwachen, Messen und Prüfen oder Entwicklungs- und Konstruktionstätigkeiten an Bedeutung. Schreib-, Rechen- und Buchungsarbeiten nehmen ebenfalls ab.

Die aufgezeigten Strukturwirkungen haben auch Auswirkungen auf die **Arbeitsbedingungen**. Insgesamt lassen sich folgende Tendenzen erkennen (vgl. Abbildungen 6-8 und 6-9 sowie Tabellen B-6 und B-7 im Anhang):

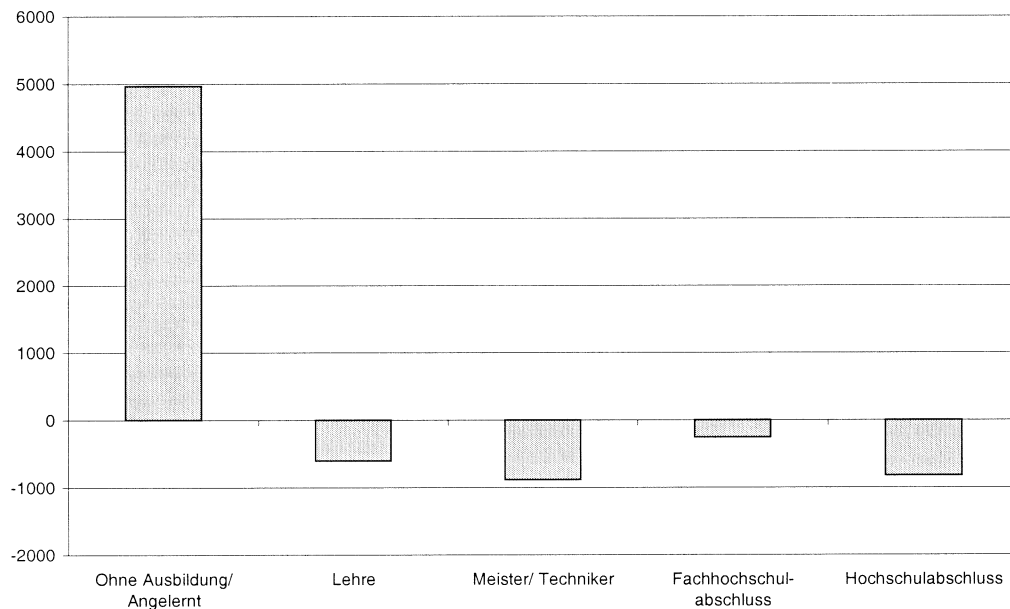
Die meisten der zusätzlich geschaffenen Stellen sind unbefristet und Vollzeitstellen, die Bedeutung befristeter Arbeitsverträge ist in den Verlierersektoren etwas höher als in den Gewinnersektoren;

- es kommt zu einer starken Zunahme von Schichtarbeit, vor allem in den Sortierbetrieben;
- die Mehrzahl der zusätzlich geschaffenen Stellen beinhalten keine Abend- und Nachtarbeit, Ausnahmen bestehen wiederum in den Sortierbetrieben;

- die Gewinnersektoren sind zu einem höheren Anteil mit Wochenend- und Feiertagsarbeit verbunden.

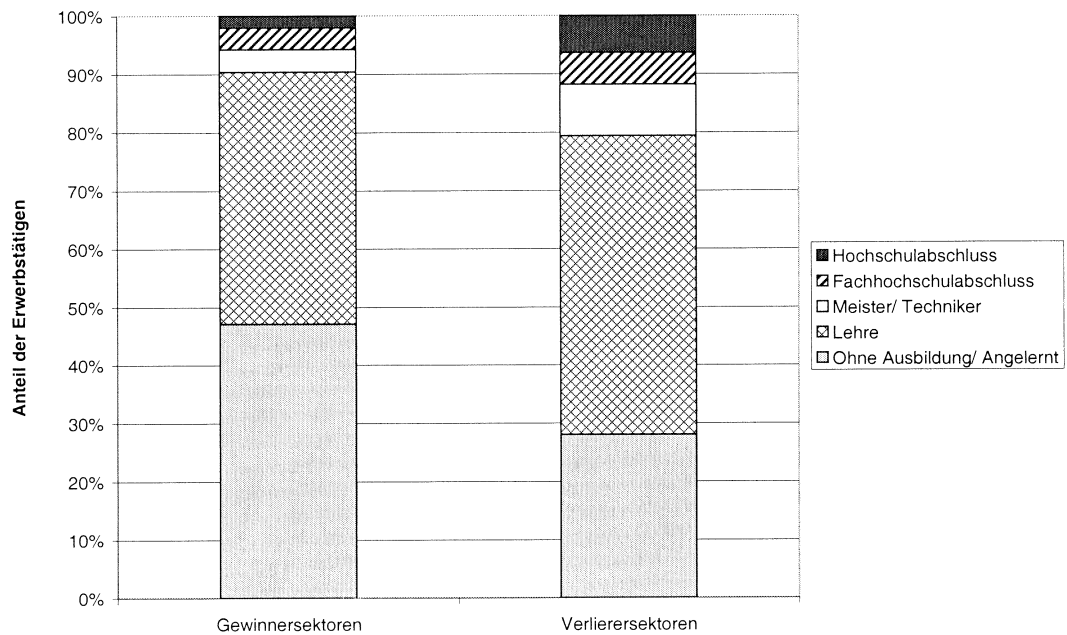
Insgesamt kann daher festgehalten werden, dass die im Saldo zusätzlich geschaffenen Stellen insbesondere hinsichtlich der Arbeitszeiten von den Beschäftigten eine höhere Flexibilität erfordern. Dieser Effekt ist vorwiegend darauf zurückzuführen, dass die zusätzlichen Arbeitsplätze im Bereich der Sortierung und Aufbereitung vergleichsweise ungünstigere Arbeitsbedingungen aufweisen als die Arbeitsplätze in den Bereichen, die zurückgefahren werden.

Abbildung 6-5: Veränderungen der Qualifikationsanforderungen durch verstärktes Kunststoffrecycling (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



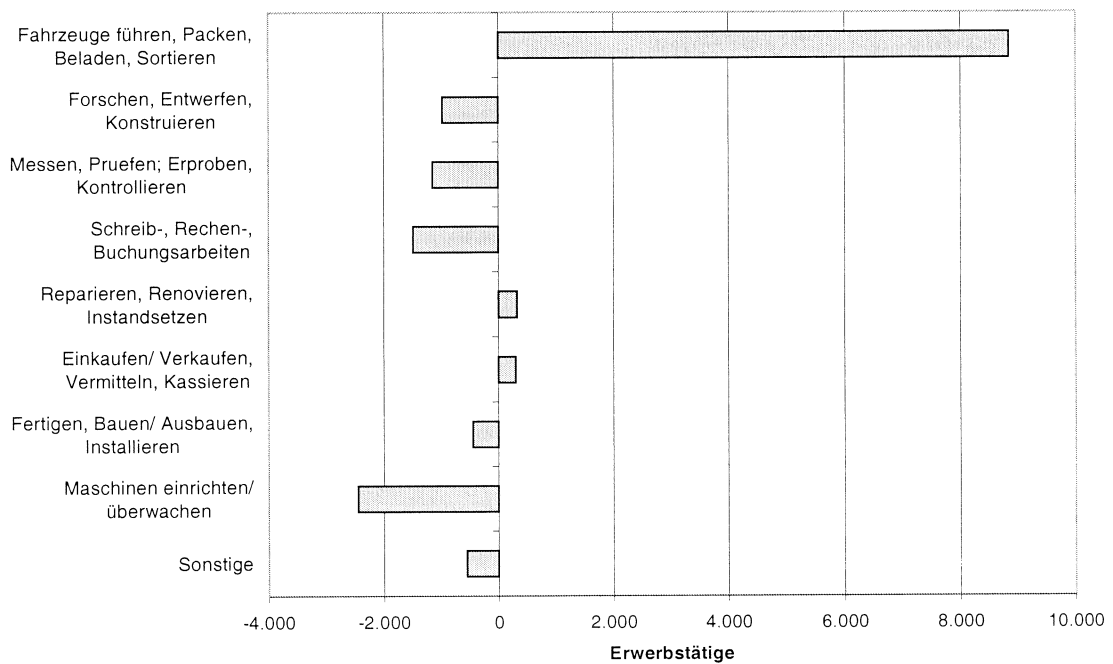
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 6-6: Qualifikationsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersektoren eines verstärkten Kunststoffrecyclings



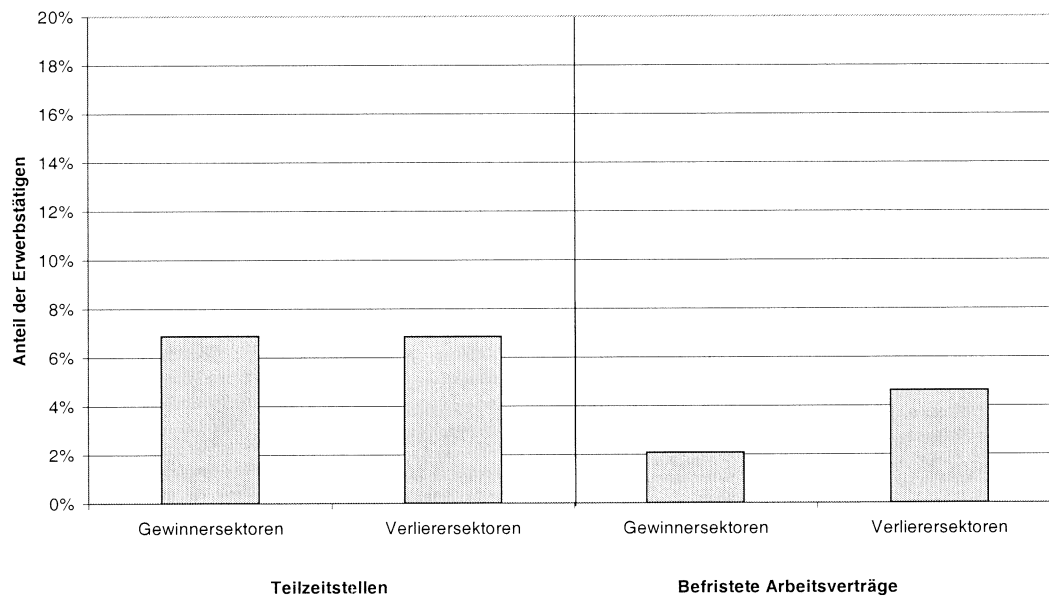
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 6-7: Auswirkungen eines verstärkten Kunststoffrecyclings auf Tätigkeitsfelder (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



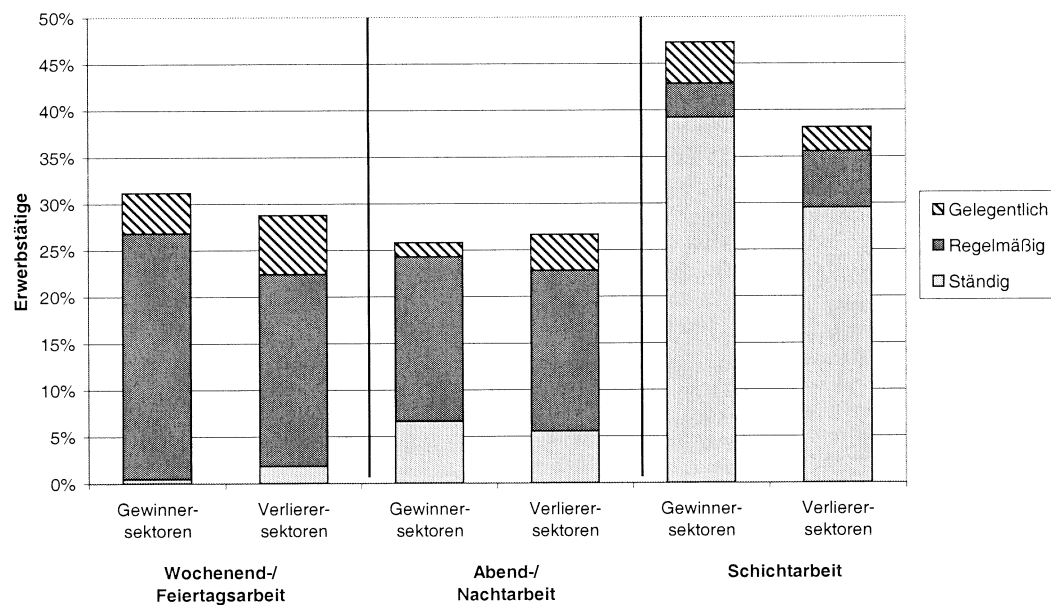
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 6-8: Teilzeitstellen und befristete Arbeitsverträge in den Gewinner- und Verlierersectoren eines verstärkten Kunststoffrecyclings



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 6-9: Flexibilisierungsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersectoren eines verstärkten Kunststoffrecyclings



Quelle: Eigene Berechnungen

6.2.4 Regionale Wirkungen

Zunächst werden, wie detailliert in Anhang A.4 erläutert, die Auswirkungen eines verstärkten Kunststoffrecyclings auf die gesamtwirtschaftliche regionale Konzentration der Wirtschaftszweige betrachtet. Dazu werden Herfindahl-Hirschman Indices als Konzentrationsmaße für die Regionalverteilung sämtlicher Wirtschaftszweige berechnet. Diese werden über alle Wirtschaftszweige zu einem gesamtwirtschaftlichen Konzentrationsmaß aggregiert, wobei die Anteile der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in den einzelnen Wirtschaftszweigen als Gewichtungsfaktoren eingehen. Zur Bewertung der Auswirkung auf die Regionalverteilung werden die aggregierten Konzentrationsmaße von Nachhaltigkeits- und Referenzszenario, \bar{H}^R und \bar{H}^N , gebildet und deren Differenz $\Delta\bar{H} = \bar{H}^N - \bar{H}^R$ berechnet. Für das Fallbeispiel Kunststoffrecycling lautet der errechnete Wert für $\Delta\bar{H} = -0,772$, d. h. eine Strategie verstärkten Kunststoffrecyclings bewirkt im Modell eine **Verringerung der regionalen Konzentration**.

Zur Interpretation dieses Ergebnisses werden in Tabelle 6 die Herfindahl-Hirschman Indices H derjenigen Wirtschaftszweige, die durch diese Nachhaltigkeitsstrategie besonders starke Beschäftigungsgewinne aufweisen, mit den Indices derjenigen Wirtschaftszweige verglichen, die die höchsten Verluste erleiden. Es wird deutlich, dass die regionale Konzentration in denjenigen Wirtschaftszweigen, in denen Arbeitsplätze verloren gehen, im Durchschnitt wesentlich höher ist als in denjenigen Wirtschaftszweigen, in denen neue Arbeitsplätze entstehen. Dies gilt insbesondere für den regional hochkonzentrierten Sektor „Kunststoffherstellung“.

Tabelle 6-6: Herfindahl-Hirschman-Koeffizienten zur regionalen Konzentration für am stärksten betroffene Wirtschaftszweige eines verstärkten Kunststoffrecyclings

Wirtschaftszweige	Beschäftigung	H*
Sortieranlagen (modern)	+12.645	17,85
Wertstoffsammlung	+5.101	17,85
Dienstleistungen des Einzelhandels	+1.393	12,04
Kunststoffherstellung	-6.848	84,77
Sortieranlagen (konventionell)	-5.753	17,85
Chemische Erzeugnisse	-2.452	19,50
Müllverbrennung	-1.216	17,85
Sonstige marktbestimmte Dienstleistungen	-1.123	18,45

*Zum Vergleich: Im Durchschnitt aller Branchen beträgt das Konzentrationsmaß H 17,851.

Quelle: Eigene Berechnungen

Zur Beantwortung der Frage, welche Regionen durch verstärktes Recycling von Kunststoffen besonders stark betroffen sind, werden die absoluten und relativen Veränderungen der Beschäftigung, sowie die Summe aus negativen und positiven relativen Beschäftigungsänderungen betrachtet. Bei den absoluten Veränderungen zeigt sich, dass die meisten der knapp 2.400 zusätzlichen Arbeitsplätze in den Arbeitsamtsbezirken München, Nürnberg, Hamburg, Stuttgart und Berlin-Südwest entstehen, während der zahlenmäßig stärkste Stellenabbau in den Bezirken Ludwigshafen, Bergisch Gladbach, Krefeld, Pfarrkirchen und Mönchengladbach erfolgt (vgl. Tabelle B-2 im Anhang B mit einer Auflistung der Einzelergebnisse für alle 181 Arbeitsamtsbezirke). Die Arbeitsamtsbezirke mit den meisten Zuwächsen sind ausschließlich große Bezirke, die von der Beschäftigtenzunahme in den regional eher gleich verteilten Sektoren Sortieranlagen, Wertstoffsammlung und Einzelhandelsdienstleistungen besonders profitieren und in denen chemische Erzeugnisse oder Kunststoffherstellung eher eine vergleichsweise untergeordnete Rolle spielen. Die Arbeitsamtssektoren, in denen Beschäftigung besonders stark abgebaut wird, sind ausnahmslos diejenigen, in denen die meisten der in Deutschland in den Bereichen Kunststoffherstellung bzw. chemische Erzeugnisse sozialversicherungspflichtig Beschäftigten tätig sind.

In Tabelle 6-7 sind diejenigen Arbeitsamtsbezirke aufgeführt, in denen im Zuge der Strategie Kunststoffrecycling die stärksten negativen und positiven relativen Nettobeschäftigungseffekte auftreten. Tabelle 6-8 enthält die Arbeitsamtsbezirke mit den stärksten relativen Bruttobeschäftigungseffekten, d. h. den meisten Arbeitsplatzwechseln im Vergleich zur Beschäftigtenzahl im Arbeitsamtsbezirk.

Tabelle 6-7: Arbeitsamtsbezirke mit den relativen höchsten Nettobeschäftigungsgewinnen und –verlusten bei verstärktem Kunststoffrecycling

Arbeitsamtsbezirke mit höchsten prozentualen Verlusten	Relative Netto- beschäftigungs- Änderung*	Arbeitsamtsbezirke mit höchsten prozentualen Gewinnen	Relative Netto- beschäftigungs- Änderung*
Ludwigshafen	-1,01 %	Helmstedt	0,05 %
Bergisch Gladbach	-0,45 %	Landshut	0,05 %
Pfarrkirchen	-0,29 %	Saarlouis	0,05 %
Krefeld	-0,18 %	Annaberg	0,05 %
Goslar	-0,15 %	Flensburg	0,05 %

Quelle: Eigene Berechnungen

*Relative Nettobeschäftigungsänderungen für einen Arbeitsamtsbezirk: Differenz der (sozialversicherungspflichtig) Beschäftigten zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario, bezogen auf die Gesamtzahl der im Referenzszenario Beschäftigten.

Tabelle 6-8: Arbeitsamtsbezirke mit dem höchsten und geringsten strukturellen Anpassungsdruck bei verstärktem Kunststoffrecycling

Arbeitsamtsbezirke mit höchsten pro- zentualen Änderun- gen	Relative Brutto- beschäftigungs- Änderung*	Arbeitsamtsbezirke mit geringsten pro- zentualen Änderun- gen	Relative Brutto- beschäftigungs- Änderung*
Ludwigshafen	1,16 %	Berlin Südwest	0,12 %
Bergisch Gladbach	0,61 %	Annaberg	0,12 %
Pfarrkirchen	0,45 %	Rottweil	0,12 %
Krefeld	0,35 %	Suhl	0,12 %
Goslar	0,32 %	Villingen-Schwenn.	0,12 %
Heide	0,31 %	Soest	0,12 %
Merseburg	0,28 %	Flensburg	0,12 %
Mönchengladbach	0,27 %	Solingen	0,12 %

Quelle: Eigene Berechnungen

*Relative Bruttobeschäftigungsänderungen für einen Arbeitsamtsbezirk: Summe der absoluten Beschäftigungsänderungen im Nachhaltigkeits- gegenüber dem Referenzszenario, bezogen auf die Gesamtzahl der im Referenzszenario Beschäftigten.

Bei der Betrachtung der beiden Tabellen fällt zunächst auf, dass infolge verstärkten Kunststoffrecyclings sowohl die positiven relativen Netto- als auch die positiven Bruttobeschäftigungsänderungen vernachlässigbar gering ausfallen. Der Grund dafür liegt in der relativ gleichmäßigen regionalen Verteilung der Branchen mit positiven Beschäftigungseffekten. Demgegenüber fallen die Auswirkungen bei den negativ betroffenen Arbeitsamtsbezirken, insbesondere in Ludwigshafen, deutlich stärker aus, was auf die höhere regionale Konzentration der Verlierersektoren zurückgeführt werden kann.

Unter dem Kriterium der relativen Netto- und Bruttobeschäftigungswirkungen finden sich diejenigen Arbeitsamtsbezirke, die bereits die höchsten absoluten Beschäftigungsveränderungen zu verkraften haben. In diesen Bezirken dominieren demnach die Bereiche Kunststoffherstellung und chemische Erzeugnisse nicht nur absolut, sondern auch im Verhältnis zu den anderen Wirtschaftssektoren. Dazu kommen noch kleinere Bezirke mit einem hohen Beschäftigtenanteil in diesen beiden Sektoren. Da sich die Sektoren mit Beschäftigungszuwächsen regional eher gleichmäßig verteilen, stimmen diejenigen Arbeitsamtsbezirke mit den höchsten negativen relativen Nettobeschäftigungseffekten mit den Arbeitsamtsbezirken mit dem höchsten Anpassungsdruck überein.

6.2.5 Umweltauswirkungen

Die Unterschiede in der Umweltbelastung zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario wurden bezüglich Energieverbrauch, Emissionen von Treibhausgasen und wichtigen Luftschadstoffen sowie Abfall und Abwasseranfall untersucht. Durch die Strategie des verstärkten Kunststoffrecyclings und der Substitution von Primärkunststoffen durch Sekundärkunststoffe sowie der Ausweitung des rohstofflichen Recyclings wird die **Umwelt** im Nachhaltigkeitsszenario in allen betrachteten Bereichen **deutlich entlastet** (vgl. Tabelle 6-9).

In einer sektoralen Betrachtungsweise wurde analysiert, welche Sektoren hauptsächlich zur Veränderung der Umweltbelastung beitragen (vgl. Abbildungen 6-10 und 6-11). Es zeigt sich, dass vor allem der Rückgang der Primärkunststoffherstellung zur Umweltentlastung beiträgt. Daneben sind aber auch die Primärkunststoffvorkette und die reduzierte Verbrennung von Kunststoffabfällen in Müllverbrennungsanlagen anzuführen. Demgegenüber wirkt vor allem die Erzeugung der Energiemengen umweltbelastend, die die im Referenzszenario aus den Müllverbrennungsanlagen ausgekoppelten Energiemengen substituieren. Zudem trägt die Zunahme der Wertstoffsammlung vor allem auf Grund der mitbilanzierten Transportvorgänge in nicht unerheblichem Ausmaß zu den NO_x -Emissionen bei. Auffällig ist der vergleichsweise hohe Beitrag der sonstigen Sektoren zum Abfallaufkommen. Dahinter steht vor allem das Baugewerbe, das trotz relativ geringer wirtschaftlicher Bedeutung ein hohes Aufkommen an Bauabfällen aufweist. Die Nachfrage nach Bauaktivitäten stammt vor allem aus der Investitionsnachfrage als Teil der kompensatorisch angenommenen Endnachfrage.

Die ausgewiesenen Daten beziehen sich auf die Umweltbelastungen, die durch Veränderungen der inländischen Produktion hervorgerufen werden. Sie sind damit als in Deutschland anfallende Umweltentlastung zu interpretieren. Wollte man – im Sinne einer Bilanzierung der „ökologischen Rucksäcke“ – die Veränderungen der Umweltbelastung unabhängig vom Entstehungsort beurteilen, müssten die auf die Importe entfallenden Umweltbelastungen mit berücksichtigt werden.

Eine derartige Vorgehensweise würde es erfordern, die sich zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario ergebenden Veränderungen der Importe länder- und sektorspezifisch aufzuschlüsseln und hinsichtlich der damit verbundenen Umweltbelastungen zu analysieren. Dies konnte im Rahmen des hier beschriebenen Forschungsvorhabens nicht durchgeführt werden. Als Hinweis, in welche Richtung sich der Einbezug der auf die Importe entfallenden Umweltbelastungen auswirkt, kann die Gesamtentwicklung der Importe herangezogen werden. In Kapitel 6.2.2 wurde darauf hingewiesen, dass im Nachhaltigkeitsszenario die Importe sinken. Daraus kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass sich im Nachhaltigkeitsfall auch die auf die Importe

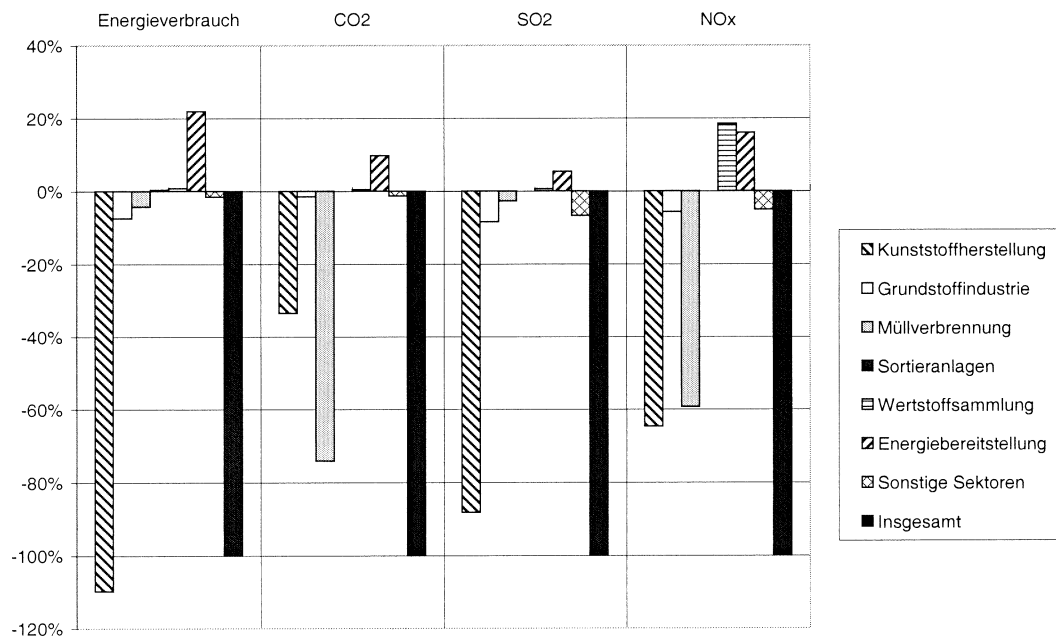
entfallenden Umweltbelastungen reduzieren. Insofern stellen die in Tabelle 6-9 ausgewiesenen Umweltbelastungen eine Untergrenze der Umweltentlastung dar.

Tabelle 6-9: Umweltauswirkungen eines verstärkten Kunststoffrecyclings in Deutschland (Differenzen zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)

Umweltindikator	absolute Menge	Einheit
Energieverbrauch	-179.022	TJ
CO₂	-21.854	kt
SO₂	-12.884	t
NO_x	-7.661	t
NMVOC	-10.147	t
Abwasser ohne Kühlwasser	-23.099	1000 m ³
Abfall zur Beseitigung	-150.371	t
Sonderabfall zur Beseitigung	-109.650	t

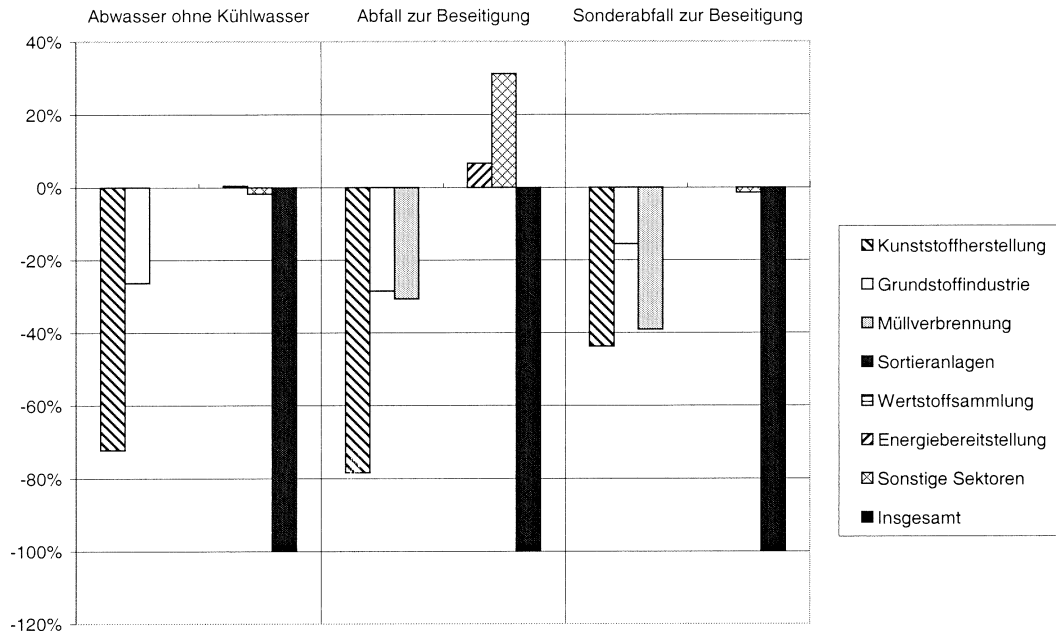
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 6-10: Veränderung der Umweltbelastung in einzelnen Sektoren im Verhältnis zur gesamten Umweltentlastung eines verstärkten Kunststoffrecyclings-Energieverbrauch und Luftemissionen



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 6-11: Veränderung der Umweltbelastung in einzelnen Sektoren im Verhältnis zur gesamten Umweltentlastung eines verstärkten Kunststoffrecyclings – Abwassermengen und Abfälle



Quelle: Eigene Berechnungen

6.3 Auswirkungen auf betriebliche Arbeitsstrukturen

Neben den quantitativen Effekten, die über die Input-Output-Analyse dargestellt werden, sind weitere Effekte bei der Darstellung der Umweltstrategien zu berücksichtigen. Diese betrieblichen Wirkungen haben möglicherweise hohe sozialpolitische Relevanz und wurden daher im Rahmen der Interviews ebenfalls erfasst. Zusammen mit den Gesprächspartnern in den Betrieben wurden die Ist-Zustände erhoben und Erwartungen über zukünftige Entwicklungen aufgegriffen.

Für das Fallbeispiel Kunststoff-Recycling wurde exemplarisch die **Sortierung** als der Wertschöpfungsprozess gesehen, der durch eine Erhöhung der verarbeiteten Mengen im Kunststoffrecycling am stärksten betroffen ist. Nachgelagerte Prozessstufen, wie das Einschmelzen und Regranulieren sind davon in weniger starkem Maße betroffen. Ebenfalls nicht betrachtet wurden grundsätzliche Alternativen zum Recycling des Kunststoffs, wie z. B. die energetische Verwertung.

Der zugrunde gelegte Prozess stellt sich in den besuchten Betrieben grundsätzlich ähnlich dar: die Anlieferung erfolgt durch beauftragte Unternehmen des Dualen System Deutschlands (DSD), Gemeinden oder Betriebe, die die Wertstoffe unsor-

tiert anliefern. Der erste Schritt ist die Wägung des Materials, da sich hieraus die Rechnungsstellung ableitet. Hiernach wird die Entladung und Materialaufgabe in die maschinelle Vorsortierung durch das Personal der Sortieranlage vorgenommen. Im Anschluss (siehe Abbildung 6-12) erfolgt durch Siebmaschinen eine Vorsortierung nach Größe und Gewicht des Materials. Die sortierten Materialien werden auf verschiedene Förderbänder ausgebracht, an denen dann die Handsortierung vorgenommen wird.

An diesen Abläufen ist die Aufbauorganisation und die Verteilung der Mitarbeiter auf die Arbeitsplätze ausgerichtet. Neben der Geschäftsleitung, Fachkräften für Arbeitssicherheit und Qualitätsmanagement sowie Verwaltungsfunktionen (siehe auch Abbildung 6-13) ist die erste Anlaufstation die Waage, die i. d. R. durch Betriebsleitung, Schichtführer oder bei größeren Anlagen durch kaufmännisches Personal benutzt und überwacht wird. Die untersuchten Betriebe unterscheiden weiter zwischen „Bodenpersonal“ und „Sortierpersonal“. Das Bodenpersonal führt die maschinellen Anlagen, bedient Pressen und Be- und Entladestationen und führt die Fahrzeuge, wie Abrollkipper, Gabelstapler etc. Vom ihm werden auch erste Wartungsarbeiten durchgeführt, die i. d. R. durch Wartungsverträge mit Externen oder den Maschinenanlagen-Lieferanten ergänzt werden. Das Sortierpersonal arbeitet an den Bändern.

Beide besuchten Betriebe rechnen mit einer weiteren Automatisierung der Sortieraufgaben bis hin zur sortenreinen Ausbringung des Materials. Das heißt, der in Abbildung 6-12 dargestellte maschinelle Bereich dehnt sich (weiter) in den Handsortierbereich aus. Allerdings wird nicht davon ausgegangen, dass eine vollständige, hundertprozentige Automatisierung des Prozesses erreicht werden kann. Entscheidendes Kalkül zur Fortführung von Automatisierungsaktivitäten scheinen ausschließlich die als hoch angesehenen Arbeitskosten des Sortierpersonals zu sein. Offenbar gibt es eine Reihe ungelöster technischer Probleme, etwa bei der Trennung gleich schwerer bzw. gleich großer Kunststoffarten wie auch beim Handling biegeschlaffer Teile. Auch ist eine optische Erkennung vielfach durch die Verschmutzung des Materials und der Kameralinsen erschwert. Im Folgenden werden die Ausgangsbedingungen und Auswirkungen der Veränderungen dargestellt. Dabei werden insbesondere die Aspekte Qualifikationsstruktur, Arbeits-/Einsatzzeiten, Entlohnungs- und Rationalisierungseffekte betrachtet.

Qualifikationsstruktur

In den beiden untersuchten Betrieben ist eine ähnliche, branchentypische Qualifikationsstruktur vorzufinden. Etwa zwei Drittel des Personals ist ungelernt oder angelernt und wird für die Sortieraufgaben am Band eingesetzt. Diese Mitarbeiter verfügen bisher über eine feste Anstellung im Betrieb, nur teilweise werden Saisonkräfte angestellt oder Arbeitsvermittlungsfirmen beauftragt. Ein Drittel des Personals ist in der Verwaltung bzw. als Bodenpersonal beschäftigt. Die Verteilung gewerbliche Fachkräfte zu An-/ Ungelernten ist etwa 1 zu 2,5 und die Facharbeiterquote (Mitar-

beiter mit abgeschlossener Berufsausbildung) beträgt 25 %. Der Anteil der Mitarbeiter mit höherer Ausbildung (Meister, Fachschul- und Hochschulabschluss) an der Belegschaft ist verschwindend gering, betrifft bei größeren Anlagen ein oder zwei Mitarbeiter im Wartungspersonal und ansonsten die Betriebs- bzw. die Geschäftsleitung.

Im Einzelnen sind für das Bodenpersonal weitere Qualifikationen, wie Flurförderscheine, Führerscheine und herstellerbezogene Zertifikate erforderlich; dezidierte Facharbeiterausbildung, wie Maschinenschlosser oder Mechaniker, sind Voraussetzung für das Wartungspersonal. Bei größeren Anlagen wird die Waage von einem kaufmännisch ausgebildeten Angestellten bedient. Auch die Mitarbeiter in Buchhaltung und Personalbereich weisen kaufmännische Ausbildungen auf.

Bei der erwarteten Rationalisierung mittels erweiterter automatisierter Sortieranlagen werden insbesondere die Arbeitsplätze beim Sortierpersonal betroffen sein. Hieraus ergibt sich mittelfristig ein relativ höheres Qualifikationsniveau. Dieses wird aber ausschließlich durch den Wegfall von Arbeitsplätzen mit geringen Qualifikationsanforderungen beim Sortierpersonal erreicht.

Arbeits- und Einsatzzeiten

In den beiden betrachteten Betrieben wiesen die Arbeitnehmer jeweils feste Arbeitsverhältnisse auf. Das Verhältnis Lohn- zu Gehaltsstellen beträgt etwa 8 zu 1. Als Angestellte werden die kaufmännischen Bereiche und Geschäftsleitung geführt. Die anderen Arbeitnehmer sind als Arbeiter auf Lohnstundenbasis angestellt und arbeiten in Schichten. In einem Betrieb wird in zwei Schichten, in den anderen in drei Schichten gearbeitet, wobei alle zwei Stunden i. d. R. 15 Minuten Pause, einmal 30 Minuten Pause, gewährt werden. Bei weiterer Automatisierung ist von einem Rund-um-die-Uhr-Betrieb auszugehen, der dann für die restlichen Sortieraufgaben einen Drei-Schicht-Betrieb erfordert. Ebenfalls müsste Bodenpersonal in ausreichendem Maße vorhanden und die Waage besetzt sein.

Entlohnung

Dadurch, dass nur wenige Mitarbeiter im Angestelltenverhältnis geführt werden, werden Stundenlöhne gezahlt. Dabei erhalten die Fachkräfte des Bodenpersonals etwas über 20 DM pro Stunde, während das Sortierpersonal in beiden Fällen dem BDE-Tarif angelehnt 17 DM plus Schichtzulage plus Arbeitskleidung erhält. Hierin soll sich bei den untersuchten Betrieben im Grundsatz nichts ändern, solange die Mitarbeiter im direkten Beschäftigungsverhältnis stehen.

Arbeitsbedingungen

Beide untersuchte Betriebe weisen leicht überdurchschnittliche Krankenstände gegenüber dem durchschnittlichen Krankenstand von 5,1 % (laut AOK-Statistik von 1997) auf. Dabei scheinen weniger Unfallrisiken die Ursache zu sein, obwohl Ver-

letzungen gelegentlich noch vorkommen, z. B. durch gebrauchte Spritzen. Die Lärmbelastung ist in den Maschinenbereichen der Sortieranlage hoch. Die Sortierbänder für die Handsortierung sind gegenüber diesen abgeschirmt. Um Staubbelastungen zu vermeiden, erfolgt eine Absaugung über die Bänder, verbunden mit einer Frischluftzufuhr, die im Winter vorgewärmt wird. Auf Grund der konkaven Verformung der Bänder durch schwere Teile sind Bückhaltungen erforderlich. Die Tätigkeiten werden stehend ausgeführt. Die psychischen Arbeitsbelastungen ergeben sich durch eine relativ hohe Bandgeschwindigkeit, die bei manchen Mitarbeitern auch zu Gleichgewichtsstörungen führen kann (der Eindruck beim Mitarbeiter entsteht, dass das Band stehen bleibt und man selbst am Band entlang fährt, was zu Übelkeit führen kann). Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht sind die Belastungen insgesamt als sehr hoch einzustufen.

Rationalisierungseffekte

Beide besuchten Betrieben rechnen mit einem Fortschreiten der technischen Entwicklung, die mehr und mehr Sortieraufgaben an den Bändern durch Maschinen durchführen lässt. Allerdings ist mit einem kompletten Wegfall der Handsortierung in absehbarer Zeit nicht zu rechnen, ihr Anteil wird aber sinken. Damit wären – vorausgesetzt, dieser Automatisierungstrend hält an – die Sortieraufgaben bis auf Restaufgaben ersetzt und damit insbesondere die ungelernten Tätigkeiten, die hauptsächlich von Frauen und auch von vielen Ausländern ausgeführt werden, wegfallen. Die höher qualifizierten Aufgaben des Bodenpersonals im Hofbereich wie auch die Anlagenführung bleiben erhalten.

Vor dem Hintergrund steigender Materialströme bestimmen einzig und allein die Arbeitskosten das Rationalisierungskalkül der Betriebe. Bei höherem Mengendurchsatz und Rund-um-die-Uhr-Betrieb der Anlagen werden die jetzt anzusetzenden Arbeitskosten gegenüber den Kosten einer neuen Anlage aufgerechnet. In den Gesprächen wurden allerdings auch Alternativszenarien angedeutet, die jenseits einer Automatisierungsstrategie liegen. Diese betreffen das Outsourcing der Handsortierungsaufgaben an Arbeitskolonnen oder Leasingfirmen, die offenbar weniger zahlen als im Tarifvertrag des BDE festgelegt. Eine weitere Möglichkeit wäre die Verlagerung der Sortieraufgaben oder ganzer Sortieranlagen an ausländische Standorte, die geringere Arbeitskosten aufweisen. Hierzu müssten aber die Transportkosten mit in die Kalkulation einbezogen werden.

Insgesamt werden die in Kapitel 3.2 aufgestellten Hypothesen bestätigt, und die Sortierbetriebe würden bei einem Fortschreiten des technischen Trends insbesondere angelernte und ungelernte Arbeit durch den Maschineneinsatz substituieren. Das Qualifizierungsniveau würde sich zwar prozentual erhöhen (mehr Fachkräfte), dies würde aber durch eine geringere Gesamtbeschäftigung erkaufte.

Abbildung 6-12: Ablauf der Sortierung in einer Wertstoffsortieranlage

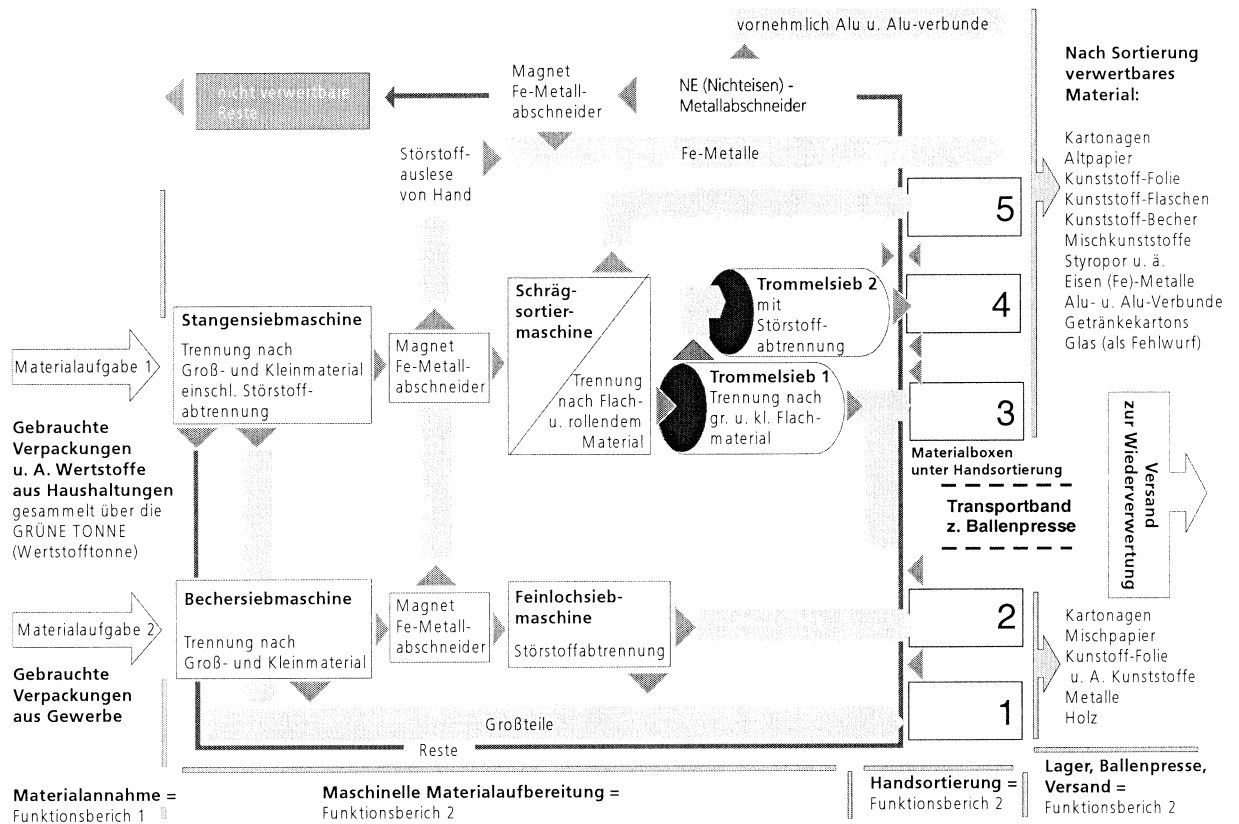
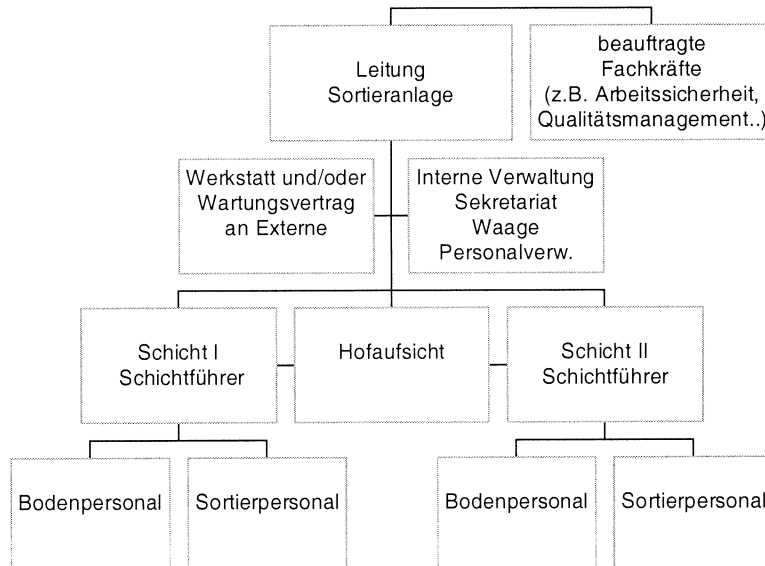


Abbildung 6-13: Aufbauorganisation einer Sortieranlage für Recyclingmaterial



7 Produkt-Lebensdauererlängerung am Beispiel Pkw

7.1 Möglichkeiten einer Lebensdauererlängerung von Pkw

7.1.1 Beschreibung des Pkw-Sektors

Kraftfahrzeuge gehören sicherlich zu den bedeutendsten langlebigen Gebrauchsgütern in Deutschland. So stieg der Bestand an Pkw und Kombifahrzeugen in Deutschland seit 1990 um gut 19 % auf rund 42,3 Mio. im Jahre 1999 an. Die Werte für die Jahre 1990 bis 1993 sind teilweise geschätzt, da bis 1990 in der DDR zugelassene Fahrzeuge nicht vollständig in der Bestandsstatistik des Kraftfahrtbundesamtes erfasst sind. Im Jahr 2000 dürfte die 43-Mio.-Marke überschritten worden sein (vgl. Tabelle 7-1). Nach Schätzungen des ifeu-Instituts (Knörr 2000) stieg die Fahrleistung im gleichen Zeitraum indes um nur knapp 13 % an (vgl. Tabelle 7-1). Hierin spiegelt sich auch ein gewisser Trend zum Besitz von Zweit- und Drittfahrzeugen wider.

Tabelle 7-1: Bestandsentwicklung und Fahrleistung von Pkw und Kombi in Deutschland

Jahr	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Bestandsentwicklung in Mio. Fahrzeugen	35.452	36.664	37.556	38.763	39.765	40.404	40.988	41.372	41.674	42.324
Fahrleistung in Mrd. Fzg-km	520,3	531,6	546,6	546,6	546,4	555,3	560,2	566,2	575,9	587,3

Quelle: Knörr (2000)

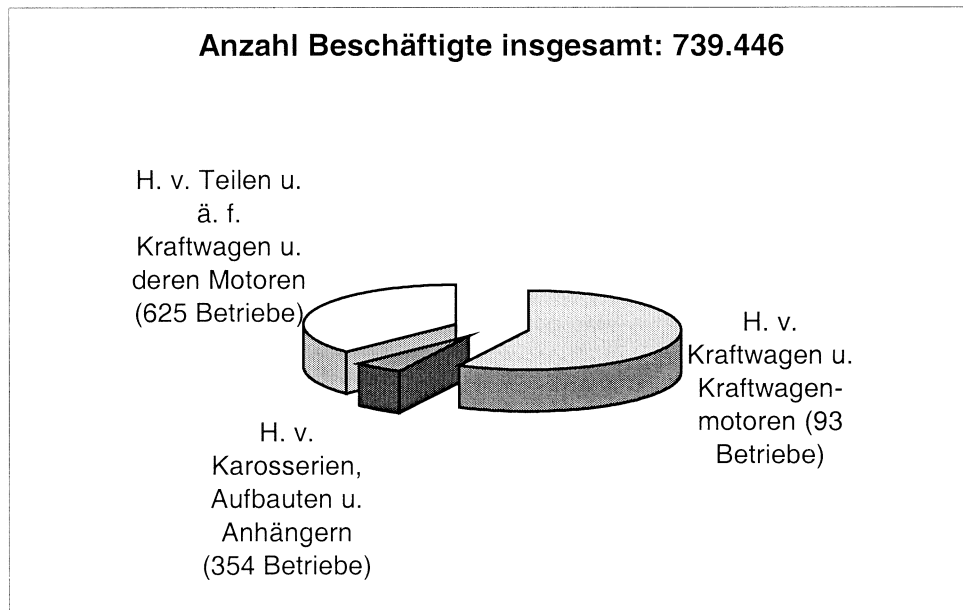
Entsprechend der Anzahl der Pkw gehört auch die Automobilbranche zu den wichtigsten Wirtschaftssektoren in Deutschland. Hierbei können der Kraftfahrzeugbau und das Kraftfahrzeuggewerbe unterschieden werden:

Im Kraftfahrzeugbau waren im Jahr 1998 in Deutschland rund 739.000 Personen, davon knapp $\frac{3}{4}$ (74 %) Arbeiter, mit der Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen beschäftigt. Das entspricht einem Zuwachs von 5,9 % gegenüber dem Vorjahr. Die Anzahl der Betriebe betrug 1.072 (+1,6 % gegenüber 1997). In der überwiegenden Anzahl der Betriebe werden Fahrzeugteile hergestellt, wohingegen die überwiegende Zahl der Beschäftigten direkt auf die Herstellung von Kraftwagen und Motoren entfällt (vgl. Abbildung 7-1).

In den 48.700 Betrieben des Kraftfahrzeuggewerbes waren im Jahr 1998 537.000 Personen beschäftigt (VDA 1999). 1997 waren von den 48.750 Kfz-Betrieben nur knapp 2.000 (4,1 %) dem Kfz-Elektro-Handwerk zuzuordnen, der weitaus

größte Anteil umfasste Vertragshändler-Werkstätten und freie Werkstätten. Auch in den Jahren zuvor lag der Anteil der Elektrobetriebe jeweils bei 4 bis 5 %. Ab 1998 werden Mechaniker und Elektriker zusammen ausgewiesen (VDA 1999).

Abbildung 7-1: Betriebe und Beschäftigte im Kraftfahrzeugbau (Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen) 1998



Quelle: Statistisches Bundesamt (1999)

7.1.2 Konkretisierung der Umweltstrategie

Die Anzahl der jährlich zu produzierenden Pkw hängt ganz entscheidend vom Reinvestitionsbedarf und damit der durchschnittlichen Lebensdauer der Pkw ab. Das durchschnittliche Alter gelöschter Pkws in Deutschland hat sich bis Mitte der 90er-Jahre kontinuierlich erhöht, um danach wieder leicht abzufallen. Nach der Statistik des Kraftfahrtbundesamtes (KBA) stieg es in den 70er-Jahren von gut 9,1 (1970) auf 9,6 Jahre (1979), Ende der 80er-Jahre waren es bereits 10,6 Jahre (1989; Angaben jeweils für die alten Bundesländer). Derzeit liegt das Durchschnittsalter nochmals um rund ein Jahr höher, wie die in Tabelle 7-2 dargestellte Entwicklung seit 1989/1992 zeigt, wonach mittlerweile gut 11,5 Jahre erreicht worden sind.

Aussagen über die eigentliche Lebensdauer von Pkw lassen sich daraus allerdings nur unter Vorbehalten ableiten. Es gibt nämlich drei Gründe für die Stilllegung von Kraftfahrzeugen:

- Verschrottung,
- Ausfuhr ins Ausland,

- automatische Löschung wegen Überschreiten der Frist für vorübergehende Stilllegungen.

Eine genaue Aufteilung der Stilllegungen auf diese drei Größen ist nicht möglich. Das bundesdeutsche Aufkommen an Altfahrzeugen, die zur Entsorgung anstehen, ist nicht exakt bekannt. In der amtlichen Abfallstatistik wird diese Abfallart bisher nur sehr unzureichend erfasst. Auch der Anteil der als Gebrauchtfahrzeuge ausgeführten Pkw kann auf Grund der unzureichenden Datenlage nach Auskunft der ARGE Altauto bislang nicht exakt bestimmt werden (Schenk 2000). Hierbei ist zu bedenken, dass insbesondere eine gesteigerte Ausfuhr von noch fahrtüchtigen Altfahrzeugen z.B. nach Osteuropa dazu führt, dass die aus Tabelle 7-2 ableitbare Steigerung der Lebensdauer eher unterschätzt wird.

Tabelle 7-2: Durchschnittsalter gelöschter Pkw in Jahren

Jahr	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Alte Bundesländer	10,58	10,00	10,33	11,17	11,42	11,58	11,75	11,57	11,58
Deutschland *	k. A.	k. A.	k. A.	11,25	11,58	11,83	11,75	11,58	11,50

*Angaben verfügbar ab 1992

Quelle: KBA (1998)

Trotz dieser Unsicherheiten deutet der Vergangenheitstrend darauf hin, dass eine weitere Steigerung der Lebensdauer durchaus realisierbar ist, zumal wenn man dies gezielt als Strategie angeht. Entsprechend der in Abschnitt 2.4 aufgelisteten Möglichkeiten stehen hierfür folgende Möglichkeiten zur Verfügung, die alle bei Pkw Anwendung finden könnten:

Langzeitgüter durch Design

Wiederverwendung, Reparatur, Instandhaltung

Aufarbeitung bzw. Hochrüstung

Rückführung von Einzelteilen und Wiederverwendung beim Produzenten (Re-Marketing)

Für die Produktgestaltung von Pkw könnte die erste Teilstrategie vor allem durch eine Lebensdauererlängerung derjenigen Komponenten umgesetzt werden, die sich bislang als begrenzend für die Lebensdauer des Gesamtfahrzeuges erwiesen haben. Eingeschlossen ist die Qualitätsverbesserung derjenigen Komponenten, die auf Grund einer starken Streuung der Lebensdauer zu den hinsichtlich der Gesamtlebensdauer als kritisch einzustufenden Komponenten zählen. Designverbesserungen könnten auch hinsichtlich eines erleichterten Austausches von anfälligen bzw. besonders stark dem technischen Fortschritt unterliegenden Komponenten zielführend sein.

Die zweite quasi triviale Strategie würde bedeuten, dass die bereits heute stattfindende Reparatur noch intensiviert wird. Hierbei ist eine Kombination mit dem Ziel einer Wiederverwendung von aufgearbeiteten Komponenten (z. B. „Austauschaggregate“) plausibel. Darüber hinaus ist auch eine Aufarbeitung von Fahrzeugen zum Zwecke einer Sekundärnutzung, z. B. für Märkte mit geringeren Anforderungen, denkbar. Eine solche „Kaskadennutzung“ könnte mehrere Nutzungszyklen umfassen, die durch eine komplette Aufarbeitung im Werk nach einer definierten, im Vergleich zur Gesamtlebensdauer wesentlich kürzeren, Nutzungszeit gekennzeichnet ist.

Für die Umsetzung der Konzepte sind für alle beteiligten Akteure – Lieferanten von Vorprodukten und Komponenten (Zulieferer), Hersteller, Nutzer (auch, je nach Konzept, „Flottenbetreiber“) und Instandsetzer – Informationen über Ausfallhäufigkeiten, Ausfallgründe, Verschleißteile und optimale Wartungsintervalle von zentraler Bedeutung. Für den Hersteller lassen sich daraus auch Informationen über konstruktive Veränderungen ableiten. Ein **zentrales Hemmnis** für die Durchführung von Konzepten zur Lebensdauerverlängerung besteht darin, dass bisher erhebliche Informationsdefizite über diese Sachverhalte bestehen. Die z.B. für die Erfüllung der Produkthaftung und Qualitätssicherung erforderlichen Informationen über werkstoffliche Zusammensetzung der Produkte und Komponenten, Aufbau und Alterungszustand/Abnutzung der Produkte bzw. Komponenten stehen bislang i. d. R. nicht oder nicht in ausreichendem Umfang zur Verfügung, weil die Informationsflüsse entlang der Wertschöpfungs- und Entwertungskette (im Rahmen des Produktlebenszyklus) entweder nicht vorhanden oder nicht durchgängig sind.

Eine effektive und effiziente Umsetzung der Konzepte zur Nutzungsintensivierung und Lebensdauerverlängerung lässt sich dann realisieren, wenn gleichzeitig **produktbegleitende Informationssysteme** eingesetzt werden. Diese sind mittels Sensor- und Speichersystemen in der Lage, die real anfallenden Betriebsbelastungen zu erfassen und zu dokumentieren sowie u. a. Problemlösungen für eine bedarfsgerechte Wartung und Aufarbeitung (z. B. auch im Falle einer Kaskadennutzung) darzustellen. Darüber hinaus erlauben produktbegleitende Informationssysteme bei künftigen Produktgenerationen eine intensivere und längere Nutzung, letztlich aber auch eine effizientere stoffliche Verwertung der Produkte. Durch die bereits eingetretene und in Zukunft zu erwartende technische Entwicklung bei den produktbegleitenden Informationssystemen werden sich die Realisierungschancen einer Lebensdauerverlängerung erheblich verbessern (vgl. Lang 2000).

Die zunehmende Bedeutung von Strategien der Lebensdauerverlängerung zeigte sich auch im Rahmen der im Jahr 1998 vom Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung durchgeführten **Delphi-Umfrage** (ISI 1998). Es wurden über 200 Experten zur Entwicklung der Kreislaufwirtschaft befragt. Bezüglich der

für eine Lebensdauerverlängerung relevanten **Thesen** ergab sich folgendes Bild (vgl. auch Fleig et al. 2000):

- Die überwiegende Zahl der Experten erwartet eine Umkehrung der Tendenz zu immer kürzeren Produktlebenszyklen zu Gunsten einer Nutzungsdauerverlängerung. Sie terminieren die Umsetzung auf den Zeitraum zwischen 2004 und 2010, was bedeutet, dass das Umdenken bereits in den nächsten Jahren einsetzen müsste.
- Die überwiegende Zahl der Experten erwartet ferner, dass an die Stelle der Neuprodukte die Aufbereitung und Wiederverwendung gebrauchter Produkte tritt und einen Umsatzanteil von 50 % erreicht. Der Zeitraum der Realisierung wird auf 2008 bis 2016 eingegrenzt, die Experten mit speziellen Kenntnissen grenzen etwas stärker auf 2008 bis 2013 ein.

Insgesamt wird also eine zunehmende Bedeutung der Lebensdauerverlängerung erwartet, wobei die Experten davon ausgehen, dass sich die Teilstrategie der Aufbereitung und Wiederverwendung erst später durchsetzen wird. Hinzuzufügen ist, dass die Experten auch davon ausgehen, dass diese Entwicklungen durch politische Maßnahmen zur Lösung ökologischer Probleme unterstützt werden.

7.2 Szenarienanalyse

7.2.1 Annahmen und Dateninput

7.2.1.1 Annahmen zur Szenarienbildung

Im Unterschied zu den vorangegangenen Szenarienberechnungen gibt es keine Untersuchungen, die das Potenzial einer Lebensdauerverlängerung von Pkw für die Zukunft genau abschätzen. Auf Grund der hohen Komplexität der einzeltechnisch durchzuführenden Maßnahmen konnte eine derartige Potenzialabschätzung auch nicht im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführt werden. Die Modellierung der Strategie einer Nutzungsdauerverlängerung von Pkw weist daher ein höheres Unsicherheitsmoment auf als die vorangegangenen Untersuchungen zur Papiernutzung und dem Kunststoffrecycling.

Für das Referenzszenario wurde in Anlehnung an Prognos/EWI (1999) angenommen, dass ein erheblicher Anstieg des gesamten Pkw-Bestandes in Deutschland auf über 48 Mio. zu erwarten ist. Für die Aufteilung auf Inlandsproduktion sowie auf Export- und Importströme konnte auf Projektionen zurückgegriffen werden, die im Rahmen des Projektes „Politiksznarien für den Klimaschutz“ im Auftrag des Umweltbundesamtes erarbeitet wurden (DIW et al. 1998).

Im Einklang mit den Ergebnissen der Delphi-Umfrage besteht der Leitgedanke des hier untersuchten Nachhaltigkeitsszenarios darin, dass die Lebensdauerverlängerung z. T. aus einem veränderten Design der Fahrzeuge, z. T. aus einer intensiveren Instandsetzung resultiert. Eine derartige Strategie verlangt von den Nutzern, auch ältere Fahrzeuge zu nutzen. Eine verlängerte Fahrzeugnutzungsdauer kann bei den Kunden nur dann auf Interesse stoßen, wenn diese insgesamt nicht mit höheren Kosten konfrontiert werden bzw. sogar Kosten sparen. Dies führt zu der Grundbedingung, dass sich die lebenszyklusweiten Fahrzeug- und Instandhaltungskosten nicht erhöhen.

Bezüglich der Diffusion der lebensdauerverlängerten Fahrzeuge wird davon ausgegangen, dass es auch im Nachhaltigkeitsszenario Käufer von Neuwagen gibt, die nicht bereit sind, ihre Fahrzeuge länger zu nutzen, sondern sie nach wie vor in sehr kurzem Turnus erneuern. Auf der anderen Seite wird angenommen, dass die verbesserte Qualität der Fahrzeuge einen Teil der Käufer dazu bewegt, auf den Erwerb eines Neufahrzeugs zu verzichten und stattdessen einen Gebrauchtwagen zu erwerben, der auf Grund der Lebensdauerverlängerung eine höhere Qualität aufweist. Eine derartige Verhaltensänderung hat zur Voraussetzung, dass im Nachhaltigkeitsszenario für Gebrauchtwagenmärkte typische Probleme wie z. B. Informationsasymmetrien zumindest teilweise abgebaut werden können. Es wird angenommen, dass der umfassende Einsatz von produktbegleitenden Informationssystemen auch hierzu einen Beitrag leisten kann.

Die Festlegung von Nachhaltigkeits- und Referenzszenario ging von den folgenden Überlegungen aus:

- Im Jahr 2020 wird eine **Verlängerung der Nutzungsdauer** von Pkw um 30 % realisiert. Gegenüber der heute üblichen durchschnittlichen Nutzungsdauer von 12 Jahren bedeutet dies eine Steigerung um etwas mehr als 3,5 Jahre. Es wird ebenfalls angenommen, dass die Strategie der Nutzungsdauerverlängerung bereits so frühzeitig eingeführt wird, dass sich die verlängerte Lebensdauer auf eine entsprechende Verringerung der Pkw-Neuproduktion in 2020 auswirkt. Dies bedeutet, dass bereits vor dem Jahr 2020 lebensdauerverlängerte Fahrzeuge auf den Markt gebracht werden, was sich mit den Aussagen der Delphi-Studie, nach der sich Tendenzen zur Lebensdauerverlängerung bereits vor dem Jahr 2010 durchsetzen können (vgl. ISI 1998), deckt.
- Es wird im Nachhaltigkeits- und Referenzszenario von einem durchschnittlichen **Benzinverbrauch** ausgegangen, wie er sich nach Prognos/EWI (1999) für das Jahr 2020 ergibt. Da sich die Abnahme gegenüber dem heutigen Benzinverbrauch der Pkw größtenteils bereits deutlich vor dem Jahr 2020 durchsetzen dürfte, erscheint es plausibel, keinen Unterschied im Benzinverbrauch zwischen lebensdauerverlängerten und „normalen“ Pkw anzunehmen.

- Ein Teil der Lebensdauererlängerung wird durch konstruktive Anpassungen erreicht, die im Vergleich zum Referenzszenario eine **Preisanhebung** der Neufahrzeuge um 15 % erforderlich machen.
- Teil der Strategie zur Nutzungsdauererlängerung ist auch eine **intensivierte Wartung und Instandhaltung** bzw. eine Aufarbeitung der Fahrzeuge nach einer bestimmten Nutzungsdauer; dies ist für die Kfz-Besitzer mit erhöhten Instandhaltungsaufwendungen verbunden.
- Damit das Konzept für Pkw-Besitzer einen ausreichenden Anreiz hat, wird angenommen, dass sich über den gesamten Pkw-Lebenszyklus für die Besitzer Einsparungen ergeben, die sie für eine **zusätzliche Güternachfrage** zur Verfügung haben (Kompensation). Diese zusätzliche Endnachfrage wird entsprechend der Struktur der Endnachfrage des Jahres 2020 auf die einzelnen Güter aufgeteilt (zur Methode vgl. Abschnitt 4.3).
- Zur Abschätzung der Höhe der zusätzlichen Instandhaltungskosten bzw. der für die zusätzliche Endnachfrage zur Verfügung stehenden Mittel wird die Methode der anlegbaren Kosten eingesetzt. Nach Berücksichtigung der Preisanhebung für Neuwagen, die die konstruktiven Anpassungsmaßnahmen der Fahrzeughersteller abdecken, verbleiben den Fahrzeugkäufern noch eingesparte Neuwagenkosten, da die Preiserhöhung nur 15 % ausmacht, die Lebensdauererlängerung aber 30 %. Im Sinne anlegbarer Kosten können diese verbleibenden Finanzmittel zwischen erhöhten Instandhaltungsaufwendungen und zusätzlichem Konsum (zur Steigerung der Attraktivität der Strategie) aufgeteilt werden. Für die Modellierung wurde angenommen, dass von diesen eingesparten Neuwagenkosten 70 % in die Instandhaltung fließen und 30 % für eine zusätzliche Güternachfrage zur Verfügung stehen. Die Höhe der zusätzlichen Güternachfrage beträgt damit ungefähr 4 % des ursprünglichen Neuwagenpreises (zu Ab-Werk-Preisen).
- Es wird angenommen, dass die Strategie der Nutzungsdauererlängerung auf Grund des globalen Fahrzeugmarkts von **allen wichtigen Fahrzeugherstellern** verfolgt wird. Sie betrifft daher sowohl die importierten als auch die exportierten Fahrzeuge. Gleichzeitig wird angenommen, dass die erhöhten Kosten der Neuwagen jeweils in die Länder fließen, in denen die Pkw produziert wurden, während die erhöhten Instandhaltungskosten in den Ländern anfallen, in denen die Pkw genutzt werden. Für ein Land wie Deutschland, das ein Nettoexporteur von Pkw ist, bedeutet dies, dass im Saldo ein Teil der erhöhten Instandhaltungskosten wegen des Exportüberschusses nicht in Deutschland, sondern im Ausland anfallen.

Auf Grund der höheren Unsicherheiten, die mit der Modellierung dieser Strategie verbunden sind, kommt der Durchführung von Sensitivitätsanalysen eine besondere Rolle zu. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist der Außenhandel. Der Fahrzeugbau ist eine der Branchen, die durch hohe Import- und Exportströme gekennzeichnet ist. Hierbei kann es auf Grund unterschiedlicher Reaktionsweisen zu unterschiedlichen

Effekten kommen. Aus diesem Grunde wurden bezüglich der Reaktionen des Auslandes **zwei Sensitivitätsanalysen** durchgeführt, die die Annahmen der Basisvariante verändern:

- In einer Sensitivitätsrechnung wird der **reine Struktureffekt** untersucht, der Außenhandelseinflüsse komplett ausblendet. Er verdeutlicht den generischen Effekt einer Lebensdauerverlängerung unabhängig davon, ob ein Land Nettoexporteur oder –importeur von Fahrzeugen ist.
- In einer zweiten Sensitivitätsrechnung wird für die deutschen Fahrzeughersteller ein **First-mover-advantage** angenommen, der aus der frühzeitigen Realisierung von Strategien zur Lebensdauerverlängerung resultiert und dem deutschen Fahrzeugbau zu einer Verbesserung der Weltmarktstellung verhilft. Für das Jahr 2020 wird in dieser Sensitivitätsanalyse daher eine Steigerung der projizierten Nettoexporte um 10 % angenommen.

Zusätzlich zu den Sensitivitätsanalysen zum Außenhandel wird in einer weiteren Sensitivitätsanalyse untersucht, welchen Einfluss es hätte, wenn die Instandhaltung der Fahrzeuge nicht in Form einer Reparaturstrategie, sondern durch **stärker industriell geprägte Aufarbeitung** erfolgt.

In der Basisvariante reduziert sich auf Grund der getroffenen Annahmen der Pkw-Inlandsabsatz (inländisch produzierte plus importierte Fahrzeuge) gegenüber dem Referenzszenario um rund 24,2 Mrd. DM (vgl. Tabelle 7-3). Im Gegenzug erhöht sich die Inanspruchnahme von Instandhaltungsleistungen im Inland durch die Pkw-Nutzer um 16,9 Mrd. DM. Der verbleibende Betrag von 7,3 Mrd. DM steht für eine zusätzliche Endnachfrage zur Verfügung.

Tabelle 7-3: Wichtige Veränderungen im Nachhaltigkeitsszenario (Basisvariante) gegenüber dem Referenzszenario

	Differenz
Steigerung der Lebensdauer	30 %
Steigerung der Neuwagenpreise	15 %
Reduktion des Pkw-Inlandsabsatzes inkl. MWSt.	24,2 Mrd. DM
Erhöhung Kosten für Instandhaltung im Inland	16,9 Mrd. DM
Erhöhung Konsumnachfrage im Inland	7,3 Mrd. DM

Zusätzlich muss bedacht werden, dass sich in der Basisvariante des Nachhaltigkeitsszenarios auch die Nachfrage nach importierten und exportierten Fahrzeugen verändert. Aus Tabelle 7-4 ist ersichtlich, wie sich die Pkw-Produktion im In- und Ausland ändert. Insgesamt kommt es im Nachhaltigkeitsszenario zu einer jährlichen Reduktion der Pkw-Produktion um gut 40 Mrd. DM. Hiervon entfallen auf die in-

ländische Pkw-Produktion gut 32 Mrd. DM, darunter knapp 19 Mrd. DM verringerter Exporterlöse.

Tabelle 7-4: Veränderung der Produktion von Pkw durch eine Strategie der Nutzungsdauerverlängerung im Jahr 2020

	Inlands- absatz	Exporte	Summe
	Mio. DM	Mio. DM	Mio. DM
Referenzszenario			
Pkw-Inlandsproduktion	114.514	164.451	278.965
Import-Pkw	66.037	4.335	70.372
Nachhaltigkeitsszenario			
Pkw-Inlandsproduktion	101.300	145.476	246.776
Import-Pkw	58.418	3.835	62.253
Differenz			
Pkw-Inlandsproduktion	-13.214	-18.975	-32.189
Import-Pkw	-7.619	-500	-8.119
Summe	-20.833	-19.475	-40.308

Quelle: Eigene Berechnungen

7.2.1.2 Annahmen und Vorgehensweise bei der Modellierung

Für die Modellierung des Fallbeispiels wurde ein eigenständiger Sektor „Instandhaltung von Kfz“ gebildet und aus dem Sektor „Straßenfahrzeugbau“, dem die Instandhaltungsaktivitäten in der sektoralen Systematik der Input-Output-Tabellen zugeordnet sind, herausgelöst. Da für diesen Subsektor jedoch keine öffentlich zugänglichen Daten in der Input-Output-Klassifikation existieren, war es notwendig, Produktionswert sowie Input- und Outputstruktur aus anderen Datenquellen abzuleiten. Die genaue Vorgehensweise ist in Anhang A.6 erläutert.

7.2.1.3 Nachfrageimpulse

Der sich für das Inland ergebende Nachfrageimpuls setzt sich aus der Erhöhung der Instandhaltungsaufwendungen und der Endnachfrage einerseits und der sich reduzierenden Inlandsproduktion von Pkw andererseits zusammen. Hierbei ergibt sich insgesamt ein negativer Inlandsnachfrageimpuls in Höhe von gut 11 Mrd. DM (ohne MWSt.). Dieser Impuls ist negativ, weil in den Szenarien Deutschland auch im Jahr 2020 ein Nettoexporteur von Fahrzeugen ist. Daher liegt auch der Nachfrageimpuls, der aus den Instandhaltungskosten für die deutschen Pkw-Exporte resultiert, aber nicht in Deutschland, sondern im Ausland wirksam wird, über dem Nachfrageimpuls, der aus den Instandhaltungskosten für die von Deutschland importierten Pkw stammt. Im Saldo ergibt sich daher ein Nachfragerückgang für Deutschland,

dem ein Nachfragezuwachs in gleicher Höhe im Ausland gegenübersteht (vgl. Tabelle 7-5).

7.2.2 Arbeitsplätze und sektorale Wirkungen

In der **Basisvariante des Nachhaltigkeitsszenarios** führt die Lebensdauerverlängerung von Pkw zu einer Verringerung des Güteraufkommens um 35,7 Mrd. DM (vgl. Abbildung 7-2). Davon entfallen 24,6 Mrd. DM auf die Inlandsproduktion und 11,1 Mrd. DM auf Importe. Ein großer Teil des Rückgangs des inländischen Bruttoproduktionswerts ist auf die Verringerung der Produktion von für den Export bestimmten Fahrzeugen zurückzuführen, für die im Gegenzug keine produktionswirksame Kompensation im Inland erfolgt, da sowohl die Instandhaltungsaufwendungen als auch die kompensierende Endnachfrage im Ausland anfallen. Auf der anderen Seite wirkt sich der Kauf lebensdauerverlängerter Importfahrzeuge nachfragesteigernd auf Instandhaltungsleistungen und Endnachfrage aus. Auf Grund der Stellung Deutschlands als Nettoexporteur ergibt sich im Saldo dennoch ein negativer Außenhandelseffekt.

Die **Beschäftigungsbilanz** ist insgesamt positiv mit einem Nettobeschäftigungszuwachs um knapp 13.100 Erwerbstätige (vgl. Abbildung 7-3). Allerdings finden starke Verschiebungen zwischen dem Straßenfahrzeugbau und dem Reparatursektor statt. Die Zahl der im Straßenfahrzeugbau Beschäftigten reduziert sich um knapp 44.000, während fast 62.000 Personen zusätzlich eine Beschäftigung im Reparatursektor finden. Rückläufig ist auch die Beschäftigung in der Grundstoffindustrie und im Investitionsgüterbereich als Vorleistungslieferanten für den Straßenfahrzeugbau. Der Dienstleistungsbereich gewinnt netto hinzu, da die rückläufigen Lieferungen an den Straßenfahrzeugbau durch die zunehmenden Lieferungen an Reparatursektor und Endnachfrage überkompensiert werden.

Die **Zuordnung der Produktions- und Beschäftigungseffekte zu den auslösenden Nachfrageimpulsen** ist in Tabelle 7-6 aufgeführt. Die spezifischen Effekte verdeutlichen, warum es trotz negativem Inlandsnachfrageimpuls im Saldo zu einer Erhöhung der Beschäftigung kommt. So ist der Produktionsmultiplikator des negativen Impulses (Reduktion Fahrzeugbau) geringer und sein Importmultiplikator höher als die entsprechenden Werte der positiven, im Inland wirksam werdenden Nachfrageimpulse. Dies führt dazu, dass in der Summe der Rückgang des Inlandsnachfrageimpulses um 19,5 Mrd. DM zu einem Rückgang der Inlandsproduktion von nur 24,6 Mrd. DM führt. Auf Grund der deutlichen höheren Arbeitsintensität in den Bereichen, die durch die positiven Nachfrageimpulse angestoßen werden, kommt es dann in der Summe der Erwerbstätigen zu einer Erhöhung um immerhin rund 13.100 Beschäftigte. In diesen Zahlen ist der positive Nachfrageimpuls im Ausland nicht berücksichtigt, der aus den eingesparten Neuwagenkosten der ins Ausland exportierten deutschen Pkw resultiert. Die Ausgabe dieser eingesparten

Mittel für verbesserte Instandhaltung bzw. zusätzliche Konsumnachfrage würde zu weiteren, allerdings nicht in Deutschland entstehenden Arbeitsplätzen führen.

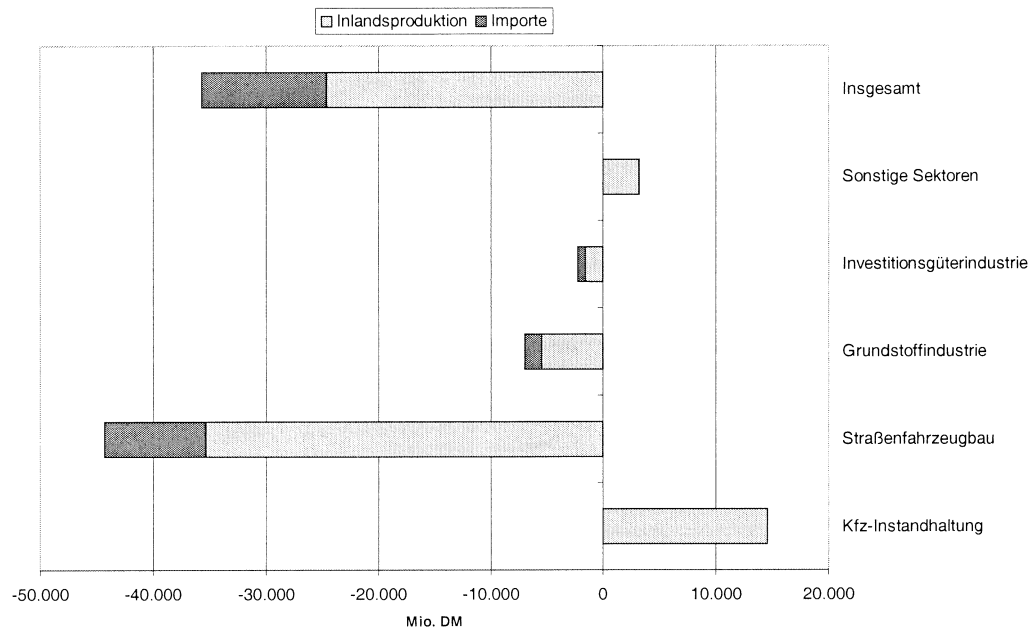
Aus den Berechnungen der Beschäftigungswirkungen ist auch das **Ausmaß der Anpassungserfordernisse** zu erkennen, die mit dieser Strategie verbunden sind. Auch wenn die Gesamtwirkung nicht sehr ausgeprägt ist, sind vom Rückgang der Pkw-Nachfrage insgesamt, d. h. auf allen Produktionsebenen, über 136.000 Erwerbstätige betroffen. Die Zunahme der Reparaturleistungen und der Endnachfrage wirkt sich sogar auf fast 150.000 Erwerbspersonen aus. Die Anpassungsleistung, die von den Arbeitsmärkten erwartet wird, ist damit erheblich höher, als es der Nettoeffekt erwarten lässt.

Sensitivitätsanalysen

In der Basisvariante kommt es wegen des Exportüberschusses der deutschen Fahrzeugindustrie insgesamt zu einem negativen Inlandsnachfrageimpuls. Um die aus dem Außenhandel herrührenden Effekte analytisch auszublenden, wurde in einer Sensitivitätsanalyse der **Struktureffekt einer Lebensdauerverlängerung** von Pkw herausgearbeitet. Er zeigt die gesamtwirtschaftlichen Effekte auf, die für die Gesamtheit aller Länder bzw. ein Land, das eine ausgeglichene Außenhandelsbilanz für Pkw aufweist, gelten.

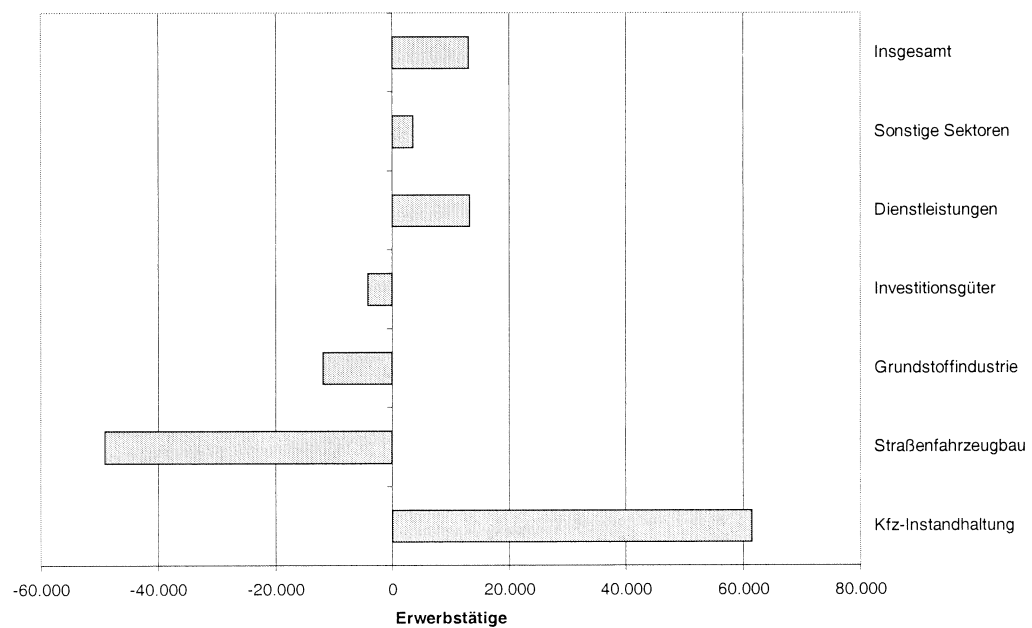
Modelltechnisch wurden hierzu die importierten und exportierten Fahrzeuge gedanklich von der Lebensdauerverlängerungsstrategie ausgenommen. Betrachtet wurde also nur eine Lebensdauerverlängerung bei den Pkw, die sowohl im Inland produziert als auch abgesetzt werden. In diesem Fall ergibt sich ein Nachfragerückgang im inländischen Straßenfahrzeugbau von rund 13,2 Mrd. DM (vgl. Tabelle 7-6). Die Reparaturleistungen steigen um gut 9 Mrd. DM an, die Endnachfrage um knapp 4 Mrd. DM. Im Ergebnis kommt es in dieser Sensitivitätsanalyse zu einer Verringerung der Inlandsproduktion um rund 950 Mio. DM, die Importe sinken um 440 Mio. DM. Der Nettobeschäftigungseffekt ist mit 38.800 zusätzlichen Erwerbstätigen dreimal höher als in der Basisvariante.

Abbildung 7-2: Nettoproduktionswirkungen durch Lebensdauerverlängerung von Pkw in 2020 (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 7-3: Nettobeschäftigungswirkungen durch Lebensdauerverlängerung von Pkw in 2020 (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 7-5: Produktions-, Import- und Beschäftigungswirkungen der Basisvariante einer Lebensdauerverlängerung von Pkw

	Auslösende Nachfrageimpulse	Folgewirkungen			Spezifische Effekte			
		Inlandsproduktion	Importe	Erwerbstätige	Gesamteffekt	Produktionsmultiplikator	Importanteil	Beschäftigungsintensität
	Mio. DM	Mio. DM	Mio. DM	P	P/ Mio. DM Impuls	Mio. DM/ Mio. DM	Mio. DM/ Mio. DM	P/Mio. DM
Kfz-Instandhaltung	14.583	30.119	2.363	110.355	7,57	2,23	0,07	3,66
Straßenfahrzeugbau*	-40.308	-65.582	-14.612	-136.288	3,38	1,99	0,18	2,08
Endnachfrage	7.250	10.824	1.147	39.030	5,38	1,65	0,10	3,61
Nachfrageimpuls Inland	-19.475							
Nachfrageimpuls Ausland	19.475							
Veränderung MWSt.	-1.000							
Insgesamt	0	-24.639	-11.102	13.097				

* ohne Kfz-Instandhaltung; umfasst Inlandsproduktion plus importierte Fahrzeuge; der Direktimport von Fahrzeugen ist unter den Importen mitbilanziert.

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 7-6: Sensitivitätsanalyse der Produktions-, Import- und Beschäftigungswirkungen für den reinen Struktureffekt bei einer Lebensdauererlängerung von Pkw

	Auslösende Nachfrage- impulse	Folgewirkungen		
		Inlands- produktion	Importe	Erwerbstätige
	Mio. DM	Mio. DM	Mio. DM	P
Kfz-Instandhaltung	9.249	19.103	1.499	69.992
Straßenfahrzeugbau*	-13.213	-26.921	-2.665	-55.945
Endnachfrage	4.598	6.865	727	24.755
Veränderung MWSt.	-634			
Insgesamt	0	-953	-439	38.801

* ohne Kfz-Instandhaltung

Quelle: Eigene Berechnungen

In einer weiteren Sensitivitätsanalyse wurde, ausgehend von der Basisvariante, der Fall eines **First-mover-advantages** für die deutsche Pkw-Industrie angenommen, die sich in einer Steigerung des Nettoexports um 10 % ausdrückt. In diesem Fall würde die Fahrzeugindustrie Pkw im Wert von ca. 7,1 Mrd. DM zusätzlich produzieren und exportieren (vgl. Tabelle 7-7). Auf Grund des Produktionsmultiplikators würde dies den in der Basisvariante berechneten Rückgang der Inlandsproduktion um rund 16,1 Mrd. DM abmildern. Die Importe sanken um rund 0,7 Mrd. DM weniger. Bei der Zahl der Erwerbstätigen ergäbe sich eine deutliche Steigerung der in der Basisvariante bereits positiven Bilanz auf über 47.000.

In Abschnitt 7.1 wurde aufgezeigt, dass eine mögliche Variante der Lebensdauererlängerung von Pkw auch in einer Aufarbeitung von gebrauchten Pkw liegen kann. Hierbei dürfte eine derartige **Aufarbeitung stärker industriell geprägt** sein als der in der Basisvariante abgebildete Reparatursektor. Gleichzeitig ist es auch denkbar, dass der Kfz-Reparatursektor noch stärker durch Produktivitätsschübe gekennzeichnet sein könnte, als es in der Basisvariante angenommen wurde. Basierend auf den Ergebnissen der durchgeführten Interviews (vgl. Abschnitt 7.3) sind auch Tendenzen vorstellbar, die zu deutlich größeren Betriebseinheiten, einer stärkeren maschinellen Unterstützung der Reparaturarbeiten und einem geringeren Personalbedarf führen.

Tabelle 7-7: Sensitivitätsanalyse der Produktions-, Import- und Beschäftigungswirkungen einer Lebensdauerverlängerung von Pkw bei Annahme eines First-mover-advantage für die deutsche Fahrzeugindustrie

	Auslösende Nachfrage- impulse	Folgewirkungen		
		Inlands- produktion	Importe	Erwerbstätige
	Mio. DM	Mio. DM	Mio. DM	ET
Kfz-Instandhaltung	14.583	30.119	2.363	110.355
Straßenfahrzeugbau*	-33.207	-49.465	-13.868	-102.060
Endnachfrage	7.250	10.824	1.147	39.030
Nachfrageimpuls Inland	-12.374			
Nachfrageimpuls Ausland	12.374			
Veränderung MWSt.	-1000			
Nachfrageimpuls gesamt	0	-8.522	-10.358	47.325

* ohne Kfz-Instandhaltung; umfasst Inlandsproduktion plus importierte Fahrzeuge; der Direktimport von Fahrzeugen ist unter den Importen mitbilanziert.

Quelle: Eigene Berechnungen

Um die Auswirkungen derartiger alternativer Zukunftsentwicklungen auf die Beschäftigung abzuschätzen, wurde in einer weiteren Sensitivitätsanalyse von einer deutlich stärkeren Steigerung der Arbeitsproduktivität im Reparatursektor ausgegangen, wie sie im industriellen Bereich angesetzt wird. Dann würde die Arbeitsintensität im Reparatursektor fallen und damit die Beschäftigungssteigerung deutlich geringer als in der Basisvariante ausfallen. Die Beschäftigungssteigerungen würden dann nicht mehr ausreichen, um die aus dem Rückgang des Fahrzeugbaus resultierenden Beschäftigungsrückgänge zu kompensieren, so dass es in dieser Sensitivitätsanalyse zu einer Abnahme von über 2.500 Beschäftigten käme.

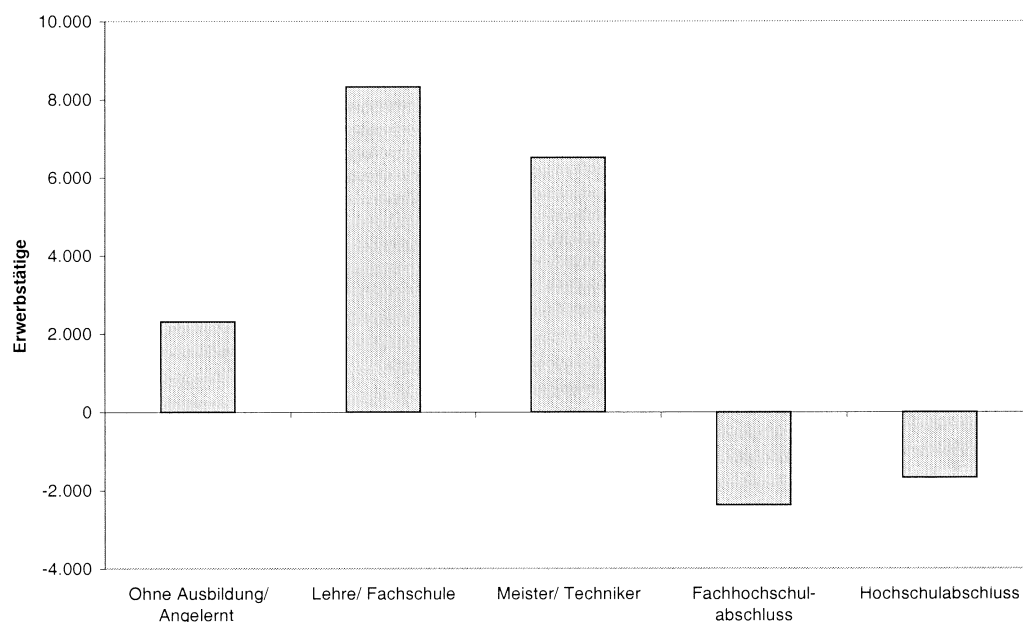
7.2.3 Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen

Durch die Strategie der Lebensdauerverlängerung wächst der Bedarf an Personen mit unteren bis mittleren Qualifikationen, während der Bedarf an höher qualifizierten Mitarbeitern sinkt (vgl. Abbildung 7-4). Vergleicht man die relative Struktur der Qualifikationen in den Gewinner- und Verlierersektoren, so zeigt sich eine Zunahme des Anteils mittlerer Qualifikationen zu Lasten der höheren Qualifikationsstufen (vgl. Abbildung 7-5). Diese **Tendenz zu geringeren Qualifi-**

kationsanforderungen wird vor allem durch die Entwicklung des Straßenfahrzeugbaus und des Reparatursektors bestimmt. Der Rückgang des Bedarfs an Personen ohne Ausbildung oder mit Lehr- bzw. Meisterausbildung im Straßenfahrzeugbau und in der Grundstoffindustrie wird durch den zusätzlichen Bedarf im Reparatursektor sowie im Dienstleistungsbereich überkompensiert, so dass das Ergebnis für diese Qualifikationsstufen per Saldo positiv ausfällt (vgl. Abbildung B-3 im Anhang). Der Rückgang des Bedarfs an Arbeitskräften mit Fachhochschul- und Hochschulabschluss im Straßenfahrzeugbau wird hingegen in anderen Sektoren nicht vollständig ausgeglichen, so dass hier die Bilanz negativ bleibt.

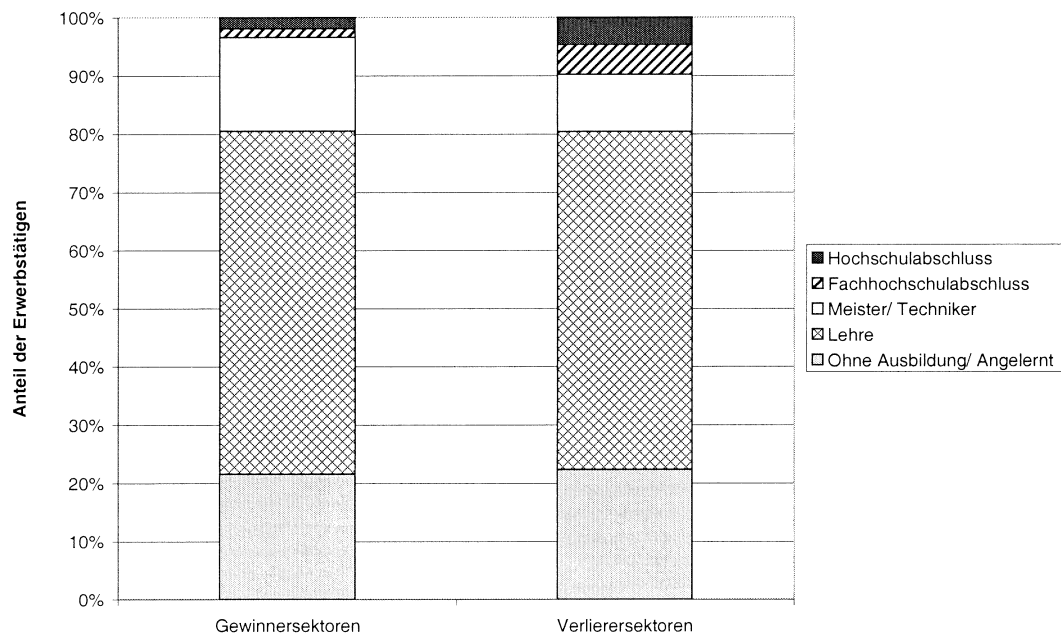
Auch wenn sich negative und positive Qualifikationsanforderungen z. T. ausgleichen, so unterscheiden sich die benötigten **Tätigkeitsprofile** in beiden Szenarien dennoch deutlich. Abbildung 7-6 verdeutlicht die Auswirkungen der Lebensdauerverlängerung auf die Tätigkeitsprofile. Danach steigt, wie zu erwarten ist, die Zahl der mit Reparaturtätigkeiten befassten Erwerbstätigen deutlich an. Fertigungsorientierte Tätigkeiten, aber auch hochqualifizierte FuE-Tätigkeiten verlieren hingegen an Bedeutung. Die geringe Steigerung bei dienstleistungsorientierten Berufen wie z. B. im Gastgewerbe kann auf die steigende Konsumnachfrage zurückgeführt werden.

Abbildung 7-4: Veränderungen der Qualifikationsanforderungen bei einer Pkw-Lebensdauerverlängerung (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



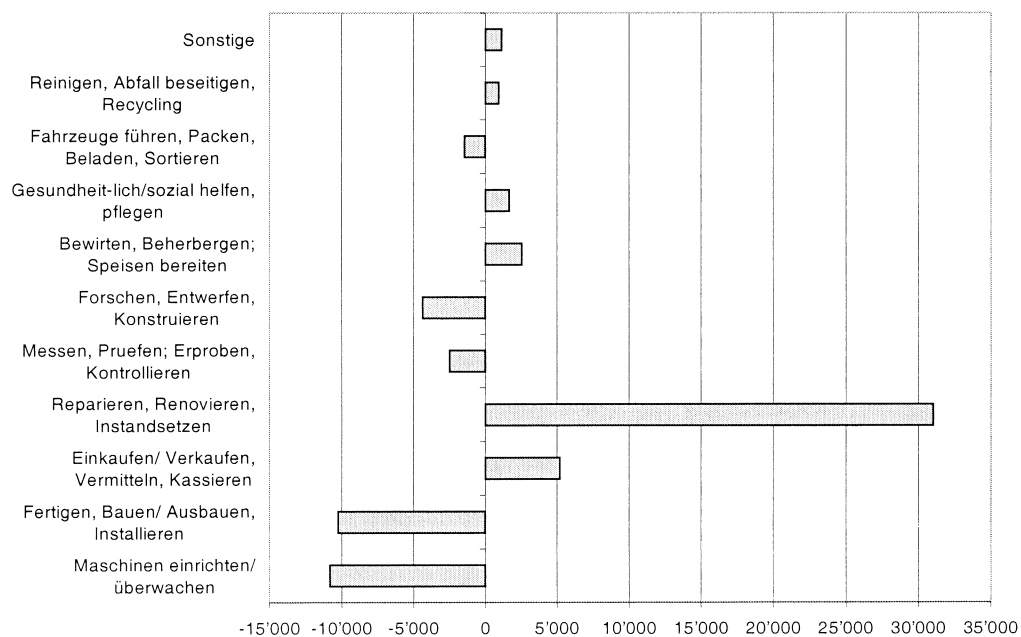
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 7-5: Qualifikationsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersectoren einer Pkw-Lebensdauererlängerung



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 7-6: Auswirkungen einer Pkw-Lebensdauererlängerung auf Tätigkeitsfelder (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 7-7: Teilzeitstellen und befristete Arbeitsverträge in den Gewinner- und Verlierersectoren einer Lebensdauer Verlängerung von Pkw

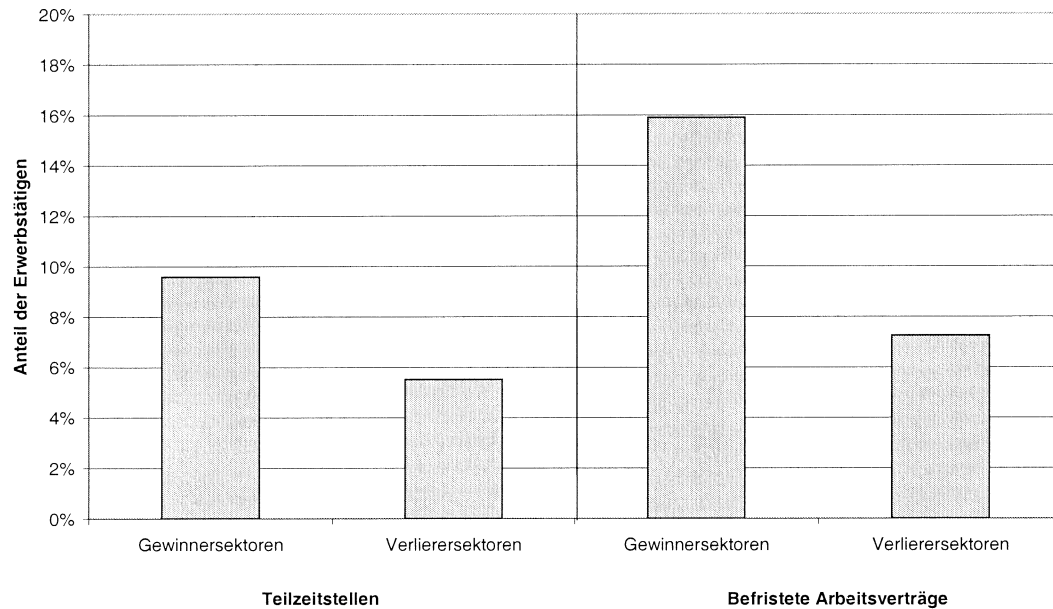
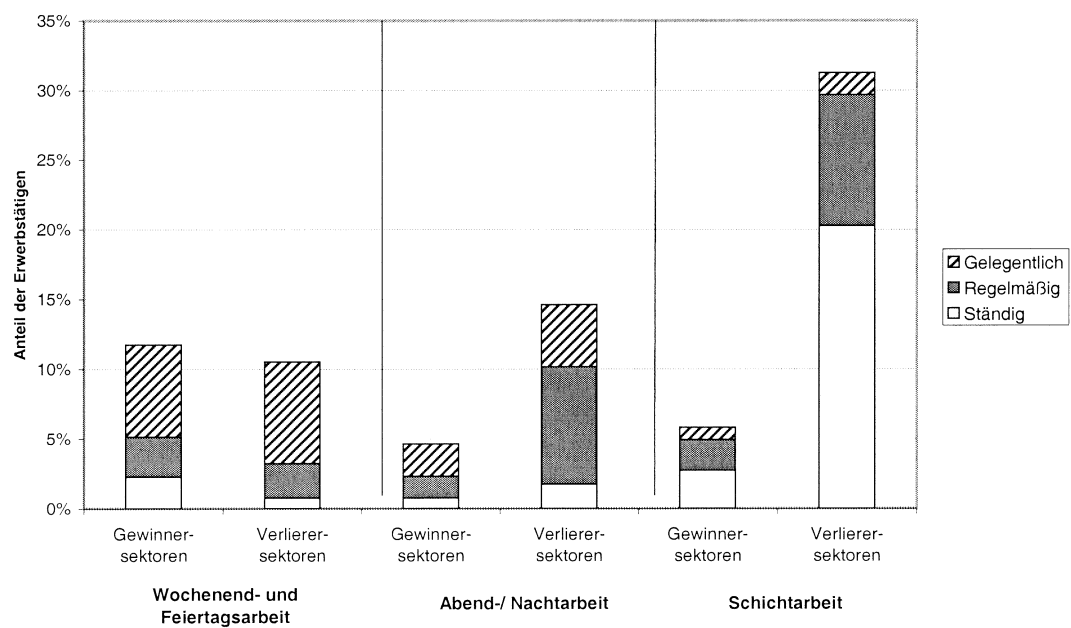


Abbildung 7-8: Flexibilisierungsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersectoren einer Pkw-Lebensdauer Verlängerung



Quelle: Eigene Berechnungen

Mit der Nachhaltigkeitsstrategie sind auch Veränderungen der **Arbeitsbedingungen** verbunden. Folgende Aussagen können getroffen werden:

- Sowohl Vollzeit- als auch Teilzeitstellen nehmen gegenüber dem Referenzszenario zu (vgl. Tabelle B-6 im Anhang). Allerdings ist in den Sektoren, die durch die Nachhaltigkeitsstrategie an Bedeutung gewinnen, der Anteil der Teilzeitstellen etwas höher als in den Sektoren, die an Bedeutung verlieren (vgl. Abbildung 7-7). Insgesamt ist also eine leichte Tendenz hin zu Teilzeitstellen zu beobachten.
- Der überwiegende Teil der zusätzlich zum Referenzszenario geschaffenen Stellen ist befristet. Vor allem im Reparatursektor ist von einer relativ hohen Anzahl befristeter Stellen auszugehen (vgl. Tabelle B-6 im Anhang). In den Sektoren, die im Nachhaltigkeitsfall zusätzlichen Bedarf an Beschäftigten haben, sind 16 % der Stellen befristet, gegenüber 7 % in den Verlierersektoren (vgl. Abbildung 7-7). Insgesamt kommt es also zu einem deutlichen Anstieg befristeter Arbeitsverhältnisse.

Hinsichtlich der mit den zusätzlichen Stellen verbundenen Flexibilitätsanforderungen fällt auf, dass insbesondere die mit Nacht- bzw. Abendarbeit sowie Schichtarbeit verbundenen Stellen reduziert werden (vgl. Abbildung 7-7 sowie Tabelle B-7 im Anhang). Hierbei zeigt der Vergleich zwischen Gewinner- und Verlierersektoren, dass insbesondere der Straßenfahrzeugbau und die Grundstoffindustrie einen relativ hohen Anteil an Schichtarbeit aufweisen. Auf der anderen Seite liegt der Anteil der Wochenend- und Feiertagsarbeit in den Gewinnersektoren höher.

7.2.4 Regionale Wirkungen

Zur Analyse der regionalen Auswirkungen einer Strategie der Lebensdauerverlängerung werden zunächst die Veränderungen in der regionalen Konzentration untersucht (vgl. Abschnitt 4.1 sowie Anhang A.4). Dazu werden Herfindahl-Hirschman Indices als Konzentrationsmaße für die Regionalverteilung sämtlicher Wirtschaftszweige berechnet. Diese werden über alle Wirtschaftszweige zu einem gesamtwirtschaftlichen Konzentrationsmaß aggregiert, wobei die Anteile der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in den einzelnen Wirtschaftszweigen als Gewichtungsfaktoren eingehen. Zur Bewertung der Auswirkung auf die Regionalverteilung werden die aggregierten Konzentrationsmaße von Nachhaltigkeits- und Referenzszenario, \bar{H}^R und \bar{H}^N , gebildet und deren Differenz $\Delta\bar{H} = \bar{H}^N - \bar{H}^R$ berechnet. Für dieses Fallbeispiel ergibt sich ein Wert von $\Delta\bar{H} = -0,82$, d. h. eine Strategie der Lebensdauerverlängerung von PKW bewirkt im Modell eine **Verringerung der regionalen Konzentration**.

Zur detaillierteren Analyse dieses Gesamteffekts werden in Tabelle 7-8 die Herfindahl-Hirschman Indices H derjenigen Wirtschaftszweige, die einen bedeutenden Beschäftigungszuwachs erfahren, mit der regionalen Konzentration derjenigen Wirtschaftszweige verglichen, in denen die Beschäftigung relativ stark abgebaut wird. Im Fallbeispiel Lebensdauerverlängerung werden vor allem im Sektor Kfz-Reparaturen sowie – allerdings nicht im gleichen Ausmaß – in den Dienstleistungssektoren Einzelhandel, Gastgewerbe und private Organisationen ohne Erwerbszweck und häusliche Dienste zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen. Hingegen gehen vorwiegend im Straßenfahrzeugbau, in Gießereien, Ziehereien, Kaltwalzwerken etc., in der Elektrotechnik und im Maschinenbau Arbeitsplätze verloren. Tabelle 7-8 gibt einen Überblick über die Herfindahl-Hirschman Indices H als Konzentrationsmaß für die Regionalverteilung der Wirtschaftszweige (gemessen an der Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in den 181 Arbeitsamtsbezirken) in diesen Branchen.

Es wird deutlich, dass die regionale Konzentration in denjenigen Wirtschaftszweigen, in denen Arbeitsplätze abgebaut werden, wesentlich höher ist als in denjenigen, in denen neue Arbeitsplätze geschaffen werden. Der dominante Einfluss in Richtung Dekonzentration geht vom Sektor Straßenfahrzeuge aus, der nicht nur relativ stark konzentriert ist sondern auch vergleichsweise hohe Beschäftigungsverluste aufweist. Die Veränderungen in den Bereichen Kfz-Reparaturen und Dienstleistungen des Einzelhandels weisen ebenfalls stark in Richtung Dekonzentration, da sie, wie im Fall des Sektors Kfz-Reparaturen, starke Beschäftigungszunahmen mit schwacher regionaler Konzentration verbinden, oder, wie in den hauptsächlich betroffenen Sektoren des Dienstleistungsgewerbes, relativ schwach konzentriert sind.

Tabelle 7-8: Herfindahl-Hirschman-Koeffizienten zur regionalen Konzentration für am stärksten betroffene Wirtschaftszweige im Fallbeispiel Lebensdauerverlängerung Pkw

Wirtschaftszweige	Beschäftigung	H*
Kfz-Reparaturen	+61.577	8,73
Dienstleistungen des Einzelhandels	+7.366	12,04
Marktbestimmte Dienstlsg. Gastgewerbe u. Heime	+3.173	10,80
Dienstleistungen priv. Org. ohne Erwerbszweck etc.	+2.769	11,85
Straßenfahrzeuge	- 49.089	40,47
Erzeugnisse aus Ziehereien, Kaltwalzwerke usw.	-3.535	13,59
Gießereierzeugnisse	-3.000	18,88
Elektrotechnische Erzeugnisse	-2.448	19,17
Maschinenbauerzeugnisse	-2.121	13,69

* Zum Vergleich: Im Durchschnitt aller Branchen beträgt das Konzentrationsmaß H 17,851.

Quelle: Eigene Berechnungen

Zur Beantwortung der Frage **welche Regionen** durch die Umweltstrategie **besonders stark betroffen** sind, werden die absoluten und relativen Veränderungen der Beschäftigung sowie ein Indikator für den induzierten intraregionalen Anpassungsdruck in den Arbeitsamtsbezirken in Deutschland herangezogen. Gemessen an der Absolutzahl der Arbeitsplätze sind die Arbeitsamtsbezirke Stuttgart, Helmstedt, Ingolstadt, Landshut, München und Köln am stärksten negativ betroffen, während die Arbeitsamtsbezirke Hamburg, Leipzig, Bautzen, Schwerin, Rostock, Gießen und Neuruppin am meisten profitieren (vgl. Tabelle B-3 im Anhang). Die Gewinner sind entweder große Arbeitsamtsbezirke, und/oder solche mit wenig Arbeitsplätzen in der Fahrzeugherstellung, so dass die positiven Beschäftigungseffekte vor allem in den Bereichen Kfz-Reparatur und Dienstleistungen, die - wie aus Tabelle 7-9 ersichtlich – regional nur schwach konzentriert sind, besonders zum Tragen kommen. Die Hauptverlierer sind ausnahmslos Bezirke, in denen die Produktionsstätten zur Herstellung von Straßenfahrzeugen liegen.

In den Tabellen 7-9 und 7-10 sind diejenigen Arbeitsamtsbezirke aufgelistet, die in Bezug auf die relativen Netto- bzw. Bruttobeschäftigungsänderung die meisten Verluste bzw. Gewinne aufweisen. Gemessen am Nettobeschäftigungseffekt sind diejenigen Arbeitsamtsbezirke am stärksten belastet, in denen der Anteil des Straßenfahrzeugbaus an den Beschäftigten vergleichsweise hoch ist. Die Hauptgewinner liegen überwiegend in ländlicheren Gebieten.

Tabelle 7-9: Arbeitsamtsbezirke mit den relativen höchsten Nettobeschäftigungsgewinnen und -verlusten bei einer Pkw-Lebensdauerverlängerung

Arbeitsamtsbezirke mit höchsten prozentualen Verlusten	Relative Nettobeschäftigungsänderung*	Arbeitsamtsbezirke mit höchsten prozentualen Gewinnen	Relative Nettobeschäftigungsänderung*
Helmstedt	-2,46 %	Bremerhaven	0,47 %
Landshut	-1,27 %	Heide	0,43 %
Ingolstadt	-1,05 %	Celle	0,43 %
Stuttgart	-0,92 %	Pirna	0,41 %
Rastatt	-0,77 %	Stade	0,40 %
Landau	-0,64 %	Traunstein	0,39 %
Emden	-0,59 %	Uelzen	0,39 %
Bochum	-0,43 %	Verden	0,36 %
Braunschweig	-0,43 %	Plauen	0,36 %
Kassel	-0,43 %	Wilhelmshaven	0,36 %

Quelle: Eigene Berechnungen

*Relative Nettobeschäftigungsänderungen für einen Arbeitsamtsbezirk: Differenz der (sozialversicherungspflichtig) Beschäftigten zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario, bezogen auf die Gesamtzahl der im Referenzszenario Beschäftigten.

Tabelle 7-10: Arbeitsamtsbezirke mit dem höchsten und geringsten strukturellen Anpassungsdruck bei einer Pkw-Lebensdauerverlängerung

Arbeitsamtsbezirke mit höchsten prozentualen Änderungen	Relative Brutto-Beschäftigungs-Änderung	Arbeitsamtsbezirke mit geringsten prozentualen Änderungen	Relative Brutto-Beschäftigungs-Änderung
Helmstedt	2,93 %	Berlin Mitte	0,18 %
Landshut	1,89 %	Berlin Südwest	0,19 %
Ingolstadt	1,63 %	Frankfurt/M.	0,27 %
Rastatt	1,41 %	Stralsund	0,28 %
Landau	1,28 %	Essen	0,29 %
Stuttgart	1,19 %	Eberswalde	0,30 %
Emden	1,17 %	Stendal	0,31 %
Neunkirchen	1,16 %	Münster	0,32 %
Braunschweig	1,10 %	Halle	0,32 %
Heilbronn	1,06 %	Duisburg	0,32 %

Quelle: Eigene Berechnungen

*Relative Bruttobeschäftigungsänderungen für einen Arbeitsamtsbezirk: Summe der absoluten Beschäftigungsänderungen im Nachhaltigkeits- gegenüber dem Referenzszenario, bezogen auf die Gesamtzahl der im Referenzszenario Beschäftigten.

Während gegenüber dem Referenzszenario im Nachhaltigkeitsszenario netto lediglich rund 13.100 neue Arbeitsplätze geschaffen werden, kommt es insgesamt brutto zu mehr als 154.000 Arbeitsplatzwechseln. Was die relative Bruttobeschäftigungsänderung als Indikator für den intraregionalen strukturellen Anpassungsdruck betrifft, ergibt folgendes Bild: Den höchsten Anpassungsdruck müssen die Arbeitsamtsbezirke bewältigen, die zugleich die höchsten relativen Nettobeschäftigungsrückgänge aufweisen. Arbeitsamtsbezirke mit sehr geringem Anpassungsdruck sind vorwiegend solche, in denen Fahrzeugbau keine Rolle spielt. Diese Bezirke sind zum Großteil aber nicht etwa durch eine ausgeglichene Wirtschaftsstruktur gekennzeichnet, sondern z. T. von nur wenigen Wirtschaftszweigen abhängig, die aber durch die Strategie der Lebensdauerverlängerung für Pkw nur vergleichsweise schwach tangiert werden.

7.2.5 Umweltwirkungen

Die Strategie der Lebensdauerverlängerung von Pkw führt zu **Umweltentlastungen** in allen untersuchten Bereichen (vgl. Tabelle 7-11). Verantwortlich für die Umweltentlastungen sind vor allem die Produktionsrückgänge des Straßenfahrzeugbaus und der vorgelagerten Grundstoffindustrien (insbesondere die Chemieindustrie und die metallerzeugenden und -verarbeitenden Sektoren). Bei den CO₂-, und SO₂-Emissio-

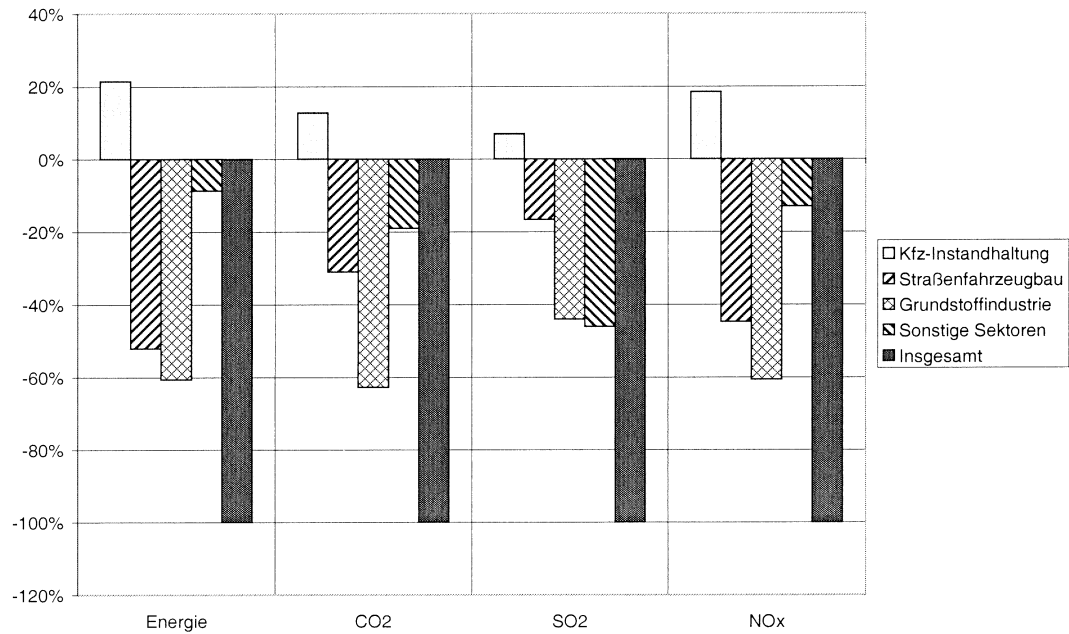
nen spielt auch die reduzierte Stromerzeugung eine Rolle (vgl. Abbildung 7-9). Diese Rückgänge sind so bedeutsam, dass sie auch nicht durch die zunehmenden Umweltbelastungen aus dem Reparatursektor kompensiert werden. Die deutliche Zunahme der sonstigen Sektoren bei den Abfällen zur Beseitigung (vgl. Abbildung 7-10) ist vor allem auf den Bausektor zurückzuführen, dessen Produktion zwar nur leicht zunimmt, der jedoch ein hohes spezifisches Abfallaufkommen aufweist.

Tabelle 7-11: Veränderung der Umweltbelastung in Deutschland bei Durchführung einer Strategie zur Pkw-Lebensdauererweiterung

Umweltindikator	Absolute Menge	Einheit
Energieverbrauch	-34.826	TJ
CO₂	-1.982	kt
SO₂	-3.524	t
Nox	-1.863	t
CO	-20.945	t
Abwasser ohne Kühlwasser	-7.155	1000 m ³
Abfall zur Beseitigung	-194.770	t
Sonderabfall zur Beseitigung	-199.618	t

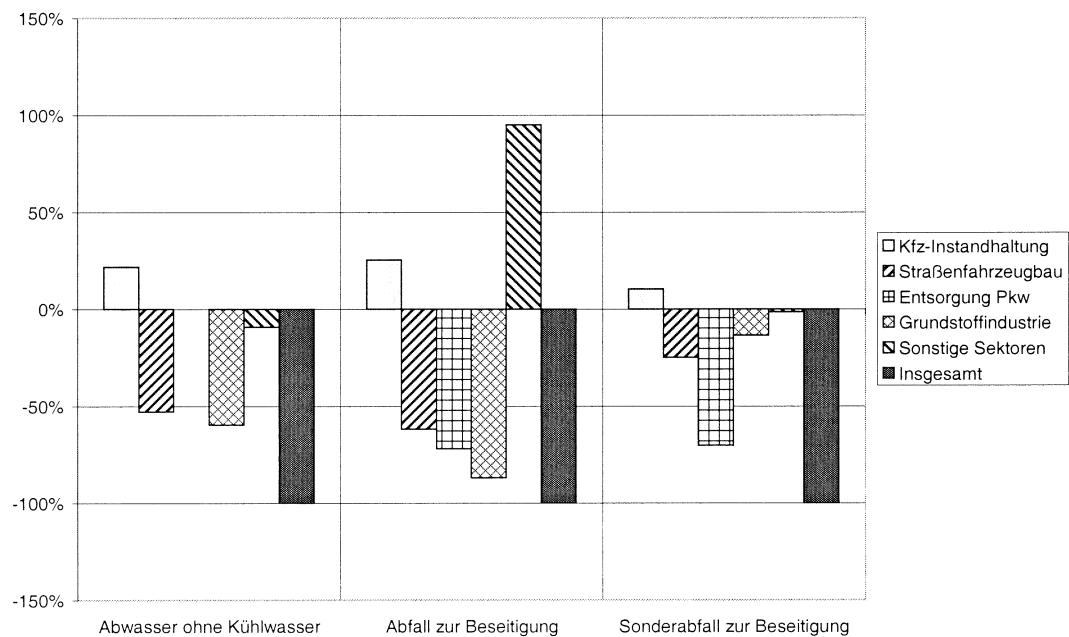
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 7-9: Veränderung der Umweltbelastung in einzelnen Sektoren im Verhältnis zur gesamten Umweltentlastung einer Pkw-Lebensdauerverlängerung – Energieverbrauch und Luftemissionen



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 7-10: Veränderung der Umweltbelastung in einzelnen Sektoren im Verhältnis zur gesamten Umweltentlastung einer Pkw-Lebensdauerverlängerung – Abwassermengen und Abfälle



Quelle: Eigene Berechnungen

7.3 Auswirkungen auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen

Das Nachhaltigkeitsszenario basiert auf der Annahme, dass sich eine Lebensdauerverlängerung entweder auf Grund eines veränderten Designs der Fahrzeuge oder auf Grund einer intensiveren Instandsetzung ergibt. Veränderungen des Designs der Fahrzeuge zur Verlängerung der Lebensdauer (Preisanhebung im Vergleich zum Referenzszenario von 15 %) wirken sich nur in geringem Umfang auf die Arbeitsstrukturen bei den Automobilherstellern aus, da sie zum großen Teil durch den Einsatz neuer Materialien und Oberflächentechniken realisiert werden. Es dürften sich jedoch erhebliche Unterschiede hinsichtlich der betrieblichen Arbeitsstrukturen im Reparatursektor ergeben. Durch den Einsatz von produktbegleitenden Informationssystemen, durch konstruktive Anpassungen und durch Rationalisierungsmaßnahmen innerhalb der Reparaturbetriebe wird es zu einer Rationalisierung der Instandhaltungsmaßnahmen kommen. Durch den vermehrten Einsatz von Elektronik im Pkw ist eine Instandhaltung und Reparatur zukünftig nur noch mit speziellen Prüfgeräten für die jeweilige Automarke möglich. Die gestiegenen Investitionskosten führen zu einer Konzentration auf größere Reparaturbetriebe, die in enger Abstimmung mit den Automobilherstellern arbeiten. Die Bedeutung der Diagnose wird ansteigen, während sich die Montagetätigkeiten reduzieren, da es überwiegend zu einem Austausch ganzer Module kommt, die teilweise durch die Automobilhersteller weitgehend automatisiert wieder aufgearbeitet werden.

Qualifikationsstruktur

Die Qualifikationsstruktur des heutigen Kfz-Gewerbes ist nach den Ergebnissen des Mikrozensus durch vergleichsweise hohe Anteile von Facharbeitern (59 %) und Meistern (19 %) gekennzeichnet. Während die Anzahl von Beschäftigten mit Hochschulabschluss gering ist, ist der Anteil der Ungelernten/Angelernten mit gut 20 % nach wie vor bedeutsam. Allerdings geht aus der Statistik nicht hervor, wie sich dieses Qualifikationsniveau auf Reparaturtätigkeit im eigentlichen Sinne oder Angestelltentätigkeiten wie Kassieren etc. aufteilt.

Die Qualifikationsstruktur größerer Reparaturwerkstätten wurde durch eine betriebliche Falluntersuchung analysiert (vgl. Tabelle 7-12). Danach zeigt sich, dass überwiegend Facharbeiter beschäftigt werden, hingegen keine ungelernten Arbeitskräfte. Die Zahl der Angestellten macht mehr als 10 % der Arbeitnehmer aus, der Anteil der Meister und Techniker über 6 %.

Zusätzlich zu den mechanischen Kenntnissen werden im Reparatursektor zukünftig Kenntnisse der Elektrotechnik und Elektronik von besonderer Bedeutung sein. Trotz dieser Veränderung in den technischen Inhalten dürfte das Qualifikationsniveau aber in etwa konstant bleiben, da auch zukünftig für die Diagnose mit Prüfgeräten eine mehrjährige praktische Ausbildung erforderlich sein wird. Die betrieblichen Arbeitsstrukturen des weitgehend automatisierten Produktionsprozesses der Automobilherstellung werden sich weiterhin erheblich von den Arbeitsstrukturen bei der

Instandhaltung unterscheiden. Manuelle Tätigkeiten bei der Automobilproduktion konzentrieren sich weitgehend auf den Montageprozess, und diese erfordern keine mehrjährige Ausbildung, sondern nur eine sehr kurze Anlernzeit.

Arbeits-/Einsatzzeiten

Die Arbeitszeiten in der traditionellen Werkstatt sind durch vergleichsweise geringe Anteile an Schichtarbeit etc. gekennzeichnet. Demgegenüber konnten im besuchten Fallbeispiel versetzte Arbeitszeiten ausgemacht werden, um einen 24-Stunden-Betrieb zu ermöglichen. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass auch die Reparaturbetriebe in der Zukunft verstärkt durch flexiblere Arbeitszeiten geprägt sein werden, da intensivere Instandhaltungen vom Kunden nur akzeptiert werden, wenn diese ohne Ausfallzeiten durchgeführt werden.

Entlohnung

Während bei der Automobilproduktion die Arbeitsgeschwindigkeit weitgehend durch die Maschinen vorgegeben wird und daher der Zeitlohn dominiert, können beim Reparaturssektor auch andere Entlohnungssysteme zum Einsatz kommen. Auch nach einer Konzentration des Reparaturssektors werden diese Unternehmen nur in geringerem Umfang an Tarifverträge gebunden sein, als dies bei Fahrzeugherstellern der Fall ist. Auf Grund der höheren Qualifikationsanforderungen an die Mitarbeiter wird das Lohnniveau jedoch voraussichtlich, unabhängig von Tarifverträgen, höher liegen als bei der Automobilherstellung.

Rationalisierungseffekte

Personalintensive Montagetätigkeiten bei der Instandhaltung lassen sich durch den Austausch von Modulen reduzieren. Auch die Diagnose von Instandhaltungsmaßnahmen kann durch den Einsatz produktbegleitender Informationssysteme verbessert werden. Diese Maßnahmen und der Einsatz kostenintensiver Prüfgeräte im Reparaturssektor werden zu erheblichen Rationalisierungseffekten im Instandhaltungssektor führen. Es erscheint plausibel anzunehmen, dass es bei einer verstärkten Konzentration im Reparaturssektor auch zu einer verstärkten Rationalisierung kommt. Dennoch ist auch für diesen Fall anzunehmen, dass Instandhaltungsmaßnahmen personalintensiver sein werden als eine weitgehend automatisierte Großserienfertigung von Pkw.

Tabelle 7-12: Überblick über die Ergebnisse der Unternehmensanalyse im Pkw-Reparatursektor

	Große Kfz-Werkstatt
Anzahl der Beschäftigten	861 Personen
Qualifikationsstruktur	
- Ungelernt	-
- Facharbeiter	707
- Angestellte	99
- Techniker/Meister	52
- Hochschule	3
Arbeitseinsatzzeiten; Schichtbetrieb	Versetzte Arbeitszeiten, um 24-Stunden-Betrieb zu ermöglichen
Entlohnung	Leistungslohn in Abhängigkeit von Zeit und Qualität

8 Nutzungsintensivierung von Produkten am Beispiel Car-Sharing

8.1 Möglichkeiten des Car-Sharing

8.1.1 Hintergrund

Seit 1960 hat sich der Energieverbrauch im Straßen- und Luftverkehr mehr als verdreifacht, seit 1980 mehr als verdoppelt. Im Jahr 1997 entfielen etwa 28 % des Endenergieverbrauchs in Deutschland auf den Verkehrssektor, der damit nach dem Haushaltssektor den größten Anteil am Endenergieverbrauch aufweist (BMWI 1999). Dabei hat der motorisierte Individualverkehr (MIV) zu etwa 80 % Anteil am Sektor Verkehr (Wagner 2000). Die dadurch ausgelösten negativen Umwelteinflüsse sind beträchtlich. Der Straßenverkehr allein ist für rund 52 % der Kohlenmonoxidemissionen, fast die Hälfte der Stickoxidemissionen und knapp 20 % der CO₂-Emissionen in Deutschland verantwortlich (BMWI 1999). Die Gründe für den Anstieg des Energieverbrauchs liegen nicht nur in der gestiegenen Verkehrsleistung und der abnehmenden Besetzungsdichte, sondern auch in der höheren Motorleistung, besserer Fahrzeugausstattung, dem höheren Gewicht und einer Veränderung der Präferenzen in Richtung Minivans und sogenannten Sports Utility Vehicles. Diese verbrauchssteigernden Einflüsse konnten durch technische Fortschritte in der Motor- und Fahrzeugtechnik abgeschwächt, aber bei weitem nicht ausgeglichen werden. Auch für die Zukunft ist zu erwarten, dass sich diese Tendenzen fortsetzen, so dass langfristig nicht mit einem Sinken des Energieverbrauchs im Verkehrssektor zu rechnen ist (Prognos/EWI 1999).

8.1.2 Konkretisierung der Umweltstrategie

Die in Kapitel 8.1.1 skizzierten Entwicklungen machen deutlich, dass gerade im Bereich des motorisierten Individualverkehrs neue Strategien gefunden und realisiert werden müssen, die zu einer Verminderung der Umweltbelastungen führen. Ein solcher Ansatz stellt das Car-Sharing dar. Beim Car-Sharing teilen sich mehrere Personen ein Auto. Die Organisation des reibungslosen Ablaufs übernimmt meist ein gemeinnütziger Verein in der Rechtsform einer Gesellschaft des bürgerlichen Rechts (GbR) bzw. eines eingetragenen Vereins (e.V.). Für die Nutzer des Car-Sharing entsteht ein ökonomischer Vorteil dadurch, dass der Zeit- und Kilometertarif nur dann berechnet wird, wenn auch tatsächlich gefahren wird. Insbesondere für Pkw-Halter mit unterdurchschnittlicher Fahrleistung, bei denen die Fixkosten des Fahrzeugbesitzes (Abschreibungen, Steuern, Versicherungsprämien) im Vergleich zu den variablen Kosten (Brennstoff, Reparaturen, Materialabrieb) relativ hoch sind, ist es daher ökonomisch vorteilhaft, auf den eigenen Fahrzeugbesitz zu verzichten

und statt dessen Mitglied einer Car-Sharing-Organisation zu werden. Die erzielbare Kostenersparnis fällt noch größer aus, wenn man bedenkt, dass zusätzliche Kosten wie z. B. teure Stellplätze durch Car-Sharing vermieden werden. Hinzu kommt, dass die Nutzer die gesamte Vielfalt der Pkw-Flotte entsprechend den jeweils anfallenden Bedürfnissen nutzen können. Jedes Mitglied kann auf die unterschiedlichsten Fahrzeugtypen vom Kleinwagen über Kastenwagen bis zu Minibussen und Transportern zugreifen.

Car-Sharing stellt im Spektrum der Möglichkeiten zur Befriedigung von Mobilitätsbedürfnissen, die nicht durch den eigenen Pkw erfolgen, eine Mittelposition zwischen Taxifahren und Automieten dar. Während Taxifahren vor allem bei kurzen Fahrten in nur eine Richtung vorteilhaft ist, sind die (bisherigen) Angebote der professionellen Autovermieter vor allem bei langen, mehrtägigen Fahrten attraktiv. Für Mobilitätsbedürfnisse, die zwischen diesen beiden Alternativen liegen, wie z. B. kurze Hin- u. Rückfahrten zum Einkaufen oder dem Besuch von Veranstaltungen, oder für Wochenendfahrten, ist Car-Sharing i. d. R. die ökonomisch sinnvollere Alternative. Für die Funktionalität von Car-Sharing ist zu beachten, dass es – im Unterschied zur privaten Pkw-Nutzung – überwiegend komplementär zu anderen Transportformen, wie ÖPV, Taxifahren, Automieten, Fahrradfahren oder Zufußgehen ist.

Erste Car-Sharing-Ansätze lassen sich bis in die sechziger Jahre zurückverfolgen. In Deutschland wurde erstmals 1988 in Berlin eine Car-Sharing-Organisation gegründet (Petersen 1995). Heute verfügt jede größere Stadt über ein Car-Sharing-Angebot. Dennoch fristen sie, gemessen an der Gesamtverkehrsleistung, die durch Pkw befriedigt wird, ein Nischendasein. Hintergrund hierfür sind auch die Barrieren, die einer Nutzungsintensivierung entgegenstehen (vgl. Zanger 1999). Viele Konsumenten brauchen die Gewissheit, jederzeit auf ein Gut zugreifen zu können. Für sie bedeutet die gemeinsame Nutzung mit anderen eine Einschränkung der persönlichen Freiheit. Die Tatsache, dass die Nutzung des Gutes geplant werden muss, sowie der Zeitaufwand, der für das Buchen des Pkw aufzubringen ist, wird durch die potenziellen ökonomischen Vorteile nicht vollständig aufgewogen. Darüber hinaus ist der Zusatznutzen, den viele Konsumenten aus dem Eigentum von Gütern ziehen, nicht zu unterschätzen, zumal die soziale Abgrenzung durch Prestigekonsum noch immer eine wichtige Determinante des Konsumentenverhaltens darstellt. Schließlich kann eine negative Bewertung durch das soziale Umfeld eine Umstellung vom Besitz eines eigenen Pkw auf die Teilnahme am Car-Sharing erschweren.

Trotz dieser Hemmnisse ist davon auszugehen, dass das Car-Sharing ein **erhebliches Potenzial** besitzt. In einer jüngeren empirischen Studie in Österreich schätzen die Autoren dieses Potential auf ca. 9 % der Haushalte (Prettenthaler/Steininger 1999). Bei einer Befragung von Haushalten waren 1,5 % spontan bereit, Mitglied einer Car-Sharing-Organisation zu werden. In welchem Ausmaß es gelingen kann,

das Potenzial des Car-Sharing auszuschöpfen, hängt von einer Anzahl unterschiedlicher Faktoren ab:

- einer hohen Verfügbarkeit und einem einfachen Zugang zu den Car-Sharing Pkw; hier ist ein selbstverstärkender, sogenannter Netzwerkeffekt, zu vermuten, da mit zunehmender Verbreitung des Car-Sharing auch die räumliche Dichte steigt und damit der Zugang vereinfacht wird;
- der Zuverlässigkeit, die den Car-Sharing-Organisationen zugesprochen wird; insbesondere zur Erschließung von Nutzergruppen außerhalb des alternativen Milieus wird von Bedeutung sein, inwieweit die Car-Sharing-Organisationen ein professionelles Image erreichen können;
- dem Ausmaß, in dem es gelingt, das Car-Sharing-Angebot mit zusätzlichen Dienstleistungen zu koppeln, wie z. B. besondere Vorteile für Mitglieder von Car-Sharing-Organisationen bei Bahnfahrten (z. B. spezielle Bahncard), bahnhofsnahe Parkplätze für Car-Sharing Pkw, Kooperation mit Autovermietern und Taxiunternehmen, spezielle Versicherungsleistungen (z. B. spezielle Fahrrad-diebstahlversicherung für Car-Sharing-Mitglieder), Kooperation und Koordination mit anderen in- und ausländischen Car-Sharing-Organisationen, Kooperation mit Mitwohnzentralen etc.;
- den Änderungen gesellschaftlicher Werte; das Car-Sharing wird um so leichter Fuß fassen können, je höher das soziale Prestige ist, das einem umweltfreundlichen Verhalten zugesprochen wird, und je geringer die Bedeutung des Besitzes von Fahrzeugen als soziales Statussymbol ausfällt.

Umfangreiche Studien zu Verkehrs- und Umweltentlastungen durch Car-Sharing wurden Mitte der neunziger Jahre veröffentlicht (Baum/Pesch 1994; Petersen 1995). Inzwischen wurde auch ein Umweltzeichen für Car-Sharing vergeben (UBA 1999). In den Studien wird eine Reduktion der Fahrleistung zwischen 42 und 50 %, berechnet als Fahrstrecke in km pro Person, ausgewiesen. Diese Reduktion setzt sich aus gegenläufigen Effekten durch zwei Nutzergruppen zusammen: Einerseits Nutzer, die beim Car-Sharing durch einen besseren Zugriff auf einen Pkw mehr fahren als zuvor, und andererseits Nutzer, die auf Grund von Car-Sharing einen eigenen Pkw abgeschafft oder dessen Anschaffung vermieden haben und infolgedessen weniger fahren. Die Car-Sharing Fahrzeuge erzielen pro Zeiteinheit eine erheblich höhere Laufleistung als individuell genutzte Fahrzeuge. Dadurch kommt es auch zu einer Reduktion der Fahrzeuge, die zur Erfüllung der Mobilitätsdienstleistungen produziert werden müssen. Neben den auf Grund der reduzierten Fahrleistungen direkt bei der Nutzung der Fahrzeuge vermiedenen Umweltbelastungen werden auch die Umweltbelastungen reduziert, die bei der Produktion der Fahrzeuge entstehen. So beläuft sich beispielsweise der gesamte kumulierte Energieaufwand, der bei der Herstellung, Instandhaltung, Infrastruktur, Nutzung und Entsorgung eines Mittelklassefahrzeugs mit 7,4 l/100 km Benzinverbrauch, 10 Jahre Nutzungsdauer und 159.000 km Gesamtfahrleistung

entsteht auf 637 GJ pro Pkw (Ebersperger et al. 1998). Rund 60 % davon entfallen auf den reinen Kraftstoffverbrauch.

8.2 Szenarienanalyse

8.2.1 Annahmen und Dateninput

8.2.1.1 Annahmen zur Szenarienbildung

Für die Aufstellung von Szenarien ist es erforderlich, Rahmenannahmen bezüglich der Entwicklung von Fahrzeugbestand und Fahrleistungen zu entwickeln. Hierzu wurde im Rahmen dieses Projektes auf die in der Energieprognose von Prognos/EWI (1999) aufgeführten Angaben zurückgegriffen. Danach kann davon ausgegangen werden, dass die Anzahl der privaten Haushalte bis 2020 von gegenwärtig gut 37 Mio. auf über 39 Mio. ansteigt. Des Weiteren ist ein erheblicher Anstieg des gesamten Pkw-Bestandes in Deutschland auf über 48 Mio. zu erwarten. Der weitaus überwiegende Teil hiervon, nämlich knapp 43,5 Mio., wird von den privaten Haushalten benutzt. Damit einher geht eine Zunahme der zurückgelegten Personenkilometer auf etwa 1.140 Mrd. km.

Für das Referenzszenario wurde angenommen, dass 2,5 % der Führerscheinbesitzer die Car-Sharing-Angebote nutzen. Im Nachhaltigkeitsszenario führt der anhaltende Problemdruck gerade im Verkehrsbereich dazu, dass Car-Sharing durch eine Reihe von Maßnahmen deutlich attraktiver wird. Hierzu gehören einmal die Unterstützung durch politische und planerische Maßnahmen. Anzuführen sind z. B. eine erhöhte Attraktivität des öffentlichen Personenverkehrs, das Zur-Verfügung-Stellen von Stellflächen für Car-Sharing-Organisationen durch Kommunen und Unternehmen, der Einbezug von Car-Sharing-Organisationen in betriebliche Angebote des job tickets oder Ausnahmeregelungen für den Nachweis von Stellflächen für Pkw in der Bauleitplanung, wenn sich die Bewohner zur Teilnahme am Car-Sharing verpflichten. Darüber hinaus werden aber auch Änderungen bei den Car-Sharing-Organisationen selbst angenommen. Ausgegangen wird von einer erheblichen Professionalisierung der Arbeit von Car-Sharing-Organisationen, der sich in einem Wandel hin zu kommerziellen Anbietern ähnlich den Autovermietern äußert.

Die durch diese Maßnahmen gesteigerte Attraktivität des Car-Sharing macht eine deutliche Steigerung der Verbreitung gegenüber dem Referenzszenario plausibel. Es wird davon ausgegangen, dass der Anteil der Führerscheinbesitzer, die am Car-Sharing teilnehmen, im Nachhaltigkeitsszenario auf 10 % ansteigt. Damit würde Deutschland einen Anteil erreichen, der in neuen Abschätzungen für Österreich (Prettenthaler/Steininger 1999) für denkbar gehalten wird, aber immer noch deutlich unter dem für die Schweiz abgeschätzten Potenzial bleibt, das von Mul-

heim/Inderbitzin (1992) auf über 28 % beziffert wurde. Auf der anderen Seite wird der von Prognos (1999) für das Jahr 2020 genannte Wert von knapp 6 % deutlich überschritten.

Auf Basis der durchgeführten Gespräche mit Car-Sharing-Organisationen sowie in Anlehnung an die Literatur wurden folgende **Annahmen** zur Spezifizierung des Car-Sharing-Fallbeispiels getroffen:

Im Durchschnitt teilen sich 20 Nutzer einen Car-Sharing-Pkw.

- Von den im Nachhaltigkeitsszenario neu gewonnen Car-Sharing-Nutzern substituieren 70 % einen eigenen Pkw; hingegen besitzen 30 % keinen eigenen Pkw im Referenzszenario.
- In Anlehnung an Baum/Pesch (1994) weisen die zusätzlichen Car-Sharing-Nutzer im Referenzfall (inkl. der Fahrzeugkilometer, die auf von Bekannten oder Verwandten geliehene Fremdfahrzeuge bzw. Mietfahrzeuge oder Taxis entfallen) eine jährliche Fahrleistung von durchschnittlich 8000 km auf. Bedingt durch die Reduktion der Fahrleistung derjenigen Car-Sharing-Teilnehmer, die ihr eigenes Fahrzeug substituieren, sinkt diese durchschnittliche Fahrzeugleistung im Nachhaltigkeitsfall auf gut 4.600 km. Hiervon werden im Durchschnitt 2.500 km mit Car-Sharing-Pkw zurückgelegt, der andere Teil durch geliehene Fremdfahrzeuge bzw. Mietfahrzeuge oder Taxis. Die Differenz in der Fahrleistung wird zu 95 % durch den öffentlichen Personenverkehr gedeckt, zu 5 % durch Fahrrad und Fußgänge.
- Der Personenbesetzungsgrad pro Pkw beträgt nach Baum/Pesch (1994) 1,6 Personen.
- Die Lebensdauer eines Car-Sharing-Pkw beträgt 5 Jahre.
- Für die Modellierung wurde in Anlehnung an Prognos/EWI (1999) eine Reduktion des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs für Pkw von 8,9 l/100 km im Jahr 1995 auf 6,2 l/100 km im Jahr 2020 angenommen. Car-Sharing-Organisationen setzen im Vergleich zu Privatpersonen effizientere Pkw ein, da sie tendenziell kleinere Fahrzeuge verwenden und zudem auf Grund ihrer Tarifstruktur einen besonderen Anreiz zur Einsparung von Kraftstoffkosten haben. Nach Aussagen eines Car-Sharing-Dienstleisters liegt der Durchschnittsverbrauch in seiner Flotte bereits heute bei 6,5 l/100 km. Für die Modellierung wurde für Car-Sharing-Pkw ein Verbrauch von 5,2 l/100 km Durchschnittsverbrauch angenommen.

Mit den getroffenen Annahmen steigt die Anzahl der Car-Sharing-Nutzer im Nachhaltigkeitsszenario um mehr als 3 Mio. auf gut 4,3 Mio. an. Unter Berücksichtigung der Fahrzeuge, die von den Car-Sharing-Organisationen betrieben werden, reduziert sich der gesamte Fahrzeugbestand um gut 2,1 Mio. Pkw. Die Fahrleistung sinkt insgesamt um ca. 11 Mrd. *Fahrzeugkilometer*, gleichzeitig kommt es zu einer Zunahme des öffentlichen Personenverkehrs (ÖPV) um ca. 16,6 Mrd.

Personenkilometer. Der verminderte Fahrzeugbestand schlägt sich in einer geringeren Produktion an Fahrzeugen nieder.

Tabelle 8-1: Wichtige Veränderungen im Nachhaltigkeitsszenario gegenüber dem Referenzszenario

	Differenz
Abnahme an Privat-Pkw-Bestand (Mio.)	2,12
Zunahme an Car-Sharing-Nutzern (Mio.)	3,26
Zunahme der Pkws von Car-Sharing Organisationen (Mio.)	0,16
Reduktion Fahrzeugkilometer (Mrd. km)	11,0
Zunahme ÖPV (Mrd. Personen-km)	16,6

8.2.1.2 Annahmen und Vorgehensweise bei der Modellierung

Bei der Umsetzung der Veränderungen im Nachhaltigkeitsszenario in ökonomische Impulse wurden die betroffenen Bereiche wie folgt abgebildet:

- Der Bereich der Car-Sharing-Organisationen wurde durch einen neuen Input-Output-Sektor modelliert, dessen Inputstruktur, spezifische Emissionen und Beschäftigungsstruktur auf Interviews mit Betreibern, Literaturrecherchen und statistischen Quellen aufbaut. Bezüglich der Regionalverteilung wurde angenommen, dass sie der regionalen Verteilung aller Beschäftigten entspricht.
- Vorleistungen, Emissionen und Beschäftigung im Zusammenhang mit der Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel lehnen sich an den IO-Sektor „Dienstleistungen der Eisenbahnen“ an, wurden allerdings in wichtigen Feldern durch Primärdaten angepasst.
- Die Abbildung von Kauf und Nutzung privater Pkw erfolgte direkt über die Zuordnung der entsprechenden ökonomischen Impulse zu bestehenden IO-Sektoren bzw. zu dem für das Szenario „Pkw-Lebensdauerverlängerung“ neu gebildeten Sektor „Kfz-Reparatur“ und die Einspeisung in das IO-Modell.
- Energieverbräuche und direkte Emissionen, die mit dem Betrieb der Pkw bzw. der öffentlichen Verkehrsmittel verbunden sind, wurden auf der Basis von Daten berechnet, die vom Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt wurden (Gohlisch, 2000) und aus dem Verkehrsmodell TREMOD stammen. Diese Werte stellen Schätzungen für das Jahr 2020 dar.

Im Einzelnen wurden die folgenden Annahmen bei der Ableitung der monetären Impulse getroffen:

Für die modellmäßige Abbildung des **Car-Sharing-Sektors** im Jahr 2020 wird angenommen, dass die Rentabilität eines professionellen Autovermieters erreicht werden kann. Zur Berechnung des Umsatzes wurden fortgeschriebene Daten kommerzieller Autovermieter verwendet. Die Anteile der Lohnkosten, der Abschreibungen und des Gewinns am Umsatz wurden ebenfalls in Anlehnung an die Verhältnisse kommerzieller Autovermieter bestimmt. Die übrigen Vorleistungen (u. a. Instandhaltung, Versicherungen, Dienstleistungen) wurden auf der Basis der Angaben von Car-Sharing-Unternehmen sowie statistischer Angaben zu Fahrzeughaltungskosten festgelegt und den zugehörigen IO-Sektoren zugeordnet.

In den amtlichen IO-Tabellen werden die Dienstleistungen des öffentlichen Personenverkehrs sowohl dem Eisenbahn-Sektor als auch dem Mischsektor „Sonstiger Verkehr“ zugerechnet. Die **Modellierung des ÖPV** ging vom Eisenbahn-Sektor aus, der zugleich hinsichtlich der Vorleistungs- und Beschäftigungsstruktur eine gewisse Nähe zum ÖPV aufweist, während der "Sonstige Verkehr" u. a. den Lkw-Verkehr und Flugverkehr sowie die gesamte Reisevermittlung enthält und daher nicht ausreichend repräsentativ ist. Zur Anpassung ausgewählter Vorleistungen wurden vorliegende statistische Unterlagen zum ÖPV (DIW 1997) herangezogen. Energieverbrauch und Emissionen wurden auf der Basis der UBA-Modellrechnungen für das Jahr 2020 mit dem Modell Tremod angepaßt. Dadurch konnte insbesondere der Busverkehr besser berücksichtigt werden. Die Bestimmung der Beschäftigungsverhältnisse erfolgte in Anlehnung an die Angaben des Mikrozensus für den Eisenbahn-Sektor. Zur Bestimmung des Umsatzes wurde von einem für den Bahn-Personenverkehr angegebenen spezifischen Wert ausgegangen (DIW 1997). Die in der gleichen Quelle für den ÖPNV angegebenen spezifischen Einnahmen liegen etwas unter diesem Wert, beinhalten jedoch nur einen Teil der Kosten, da die in den Kommunen übliche Quersubventionierung des ÖPNV innerhalb der Stadtwerke nicht enthalten ist. In den Angaben für den Bahn-Personenverkehr hingegen sind Ausgleichszahlungen des Bundes enthalten. Bei der Abschätzung der Beschäftigungsintensität wurden entsprechend der in Kapitel 4 aufgeführten Vorgehensweise künftige Produktivitätszuwächse berücksichtigt.

Im Nachhaltigkeitsszenario verringert sich die private **Pkw-Nachfrage** der Car-Sharing-Teilnehmer, während die der Car-Sharing-Unternehmen steigt. Für diese vermiedenen Pkw wurde der durchschnittliche Ab-Werk-Preis für in Deutschland produzierte Fahrzeuge von 28.595 DM angesetzt (VDA 1997). Für den Kfz-Handel wurde, basierend auf der Einzelhandelsstatistik des Statistischen Bundesamtes, ein durchschnittlicher Rohertrag von 20 % des Ab-Werk-Preises angenommen. Aus diesen beiden Komponenten setzt sich der geschätzte Anschaffungspreis (ohne MWSt.) der Pkw zusammen, die substituiert werden. Die Nachfrage der Car-Sharing-Dienstleister nach Neufahrzeugen wurde über die Abschreibungen abgebildet.

Neben den Anschaffungskosten für Neufahrzeuge können die Car-Sharing-Teilnehmer zudem Einsparungen bei der **Haltung eigener Fahrzeuge** realisieren. Die Haltungskosten (ohne Kraftstoffe) setzen sich aus Kfz-Versicherungen und Steuern, Aufwendungen für die Instandhaltung sowie weiteren Kosten zusammen, die regelmäßig vom Statistischen Bundesamt im Rahmen ihrer Einkommens- und Verbrauchsstichprobe erhoben werden (StBA 1998). Diese Angaben wurden herangezogen und von monatlichen haushaltsbezogenen Angaben auf jährliche, fahrzeug- und km-bezogene Angaben umgerechnet.

Der Übergang zum verstärkten Car-Sharing führt außerdem zu einer **reduzierten Nachfrage nach Kraftstoffen**. Dazu trägt zum einen die verringerte Pkw-Fahrleistung im Nachhaltigkeitsszenario bei (vgl. Tabelle 8-1). Zum anderen wird davon ausgegangen, dass Car-Sharing-Unternehmen im Vergleich zu Privatpersonen effizientere Pkw einsetzen.

8.2.1.3 Nachfrageimpulse

Durch den Übergang zu verstärktem Car-Sharing ergeben sich im Nachhaltigkeitsszenario gegenüber dem Referenzszenario die folgenden ökonomischen **Impulse**:

- Die Car-Sharing-Teilnehmer verzichten auf den Kauf und die Haltung eigener Fahrzeuge.
- Stattdessen werden sie Mitglied in Car-Sharing-Organisationen und buchen dort bei Bedarf Fahrzeuge zu den jeweiligen Tarifen.
- Insgesamt findet eine Verringerung der Pkw-Fahrleistung statt, und es kommt zu einer Verschiebung des Modal Split der Car-Sharing-Teilnehmer hin zu öffentlichen Verkehrsmitteln.

In Tabelle 8-2 sind die Veränderungen der Güterströme im Nachhaltigkeitsszenario gegenüber dem Referenzszenario zusammengestellt. Nachfragerückgänge ergeben sich bei der Pkw-Produktion, der Pkw-Haltung sowie den Kraftstoffen. Demgegenüber erzielen die Car-Sharing-Dienstleister und der ÖPV Nachfragezuwächse. Insgesamt können die Beteiligten Einsparungen in Höhe von 690 Mio. DM realisieren, die zu einer Erhöhung des privaten Konsums in gleicher Höhe führen. Diese Einsparungen können als Ausgleich für den mit dem Übergang zum Car-Sharing verbundenen Bequemlichkeitsverlust interpretiert werden und tragen zur Akzeptanzsteigerung des Car-Sharing bei.

Tabelle 8-2: Veränderung der Güterströme durch verstärktes Car-Sharing im Nachhaltigkeitsszenario gegenüber dem Referenzszenario

	Veränderungen	Zugeordnete IO-Sektoren
	Mio. DM	
Pkw-Nachfrage	-4.033	Straßenfahrzeugbau, Kfz-Handel
Pkw-Haltung	-3.268	verschiedene Sektoren, u.a. Kfz-Reparaturen, Versicherungen
Benzinverbrauch	-1.014	Mineralölverarbeitung, Einzelhandel
Car-Sharing-Dienstleister	4.075	Neuer Sektor „Car-Sharing“
ÖPV	3.564	Neuer Sektor „ÖPV“
Summe (o. MWSt.)	-675	
Saldo Mehrwertsteuer*	-15	
Summe	-690	
Kompensation durch Endnachfrage	690	Private Haushalte

* Für die IO-Modellrechnungen sind Werte ohne MWSt. relevant, für die Ermittlung der Kompensationshöhe muss sie mitberücksichtigt werden.

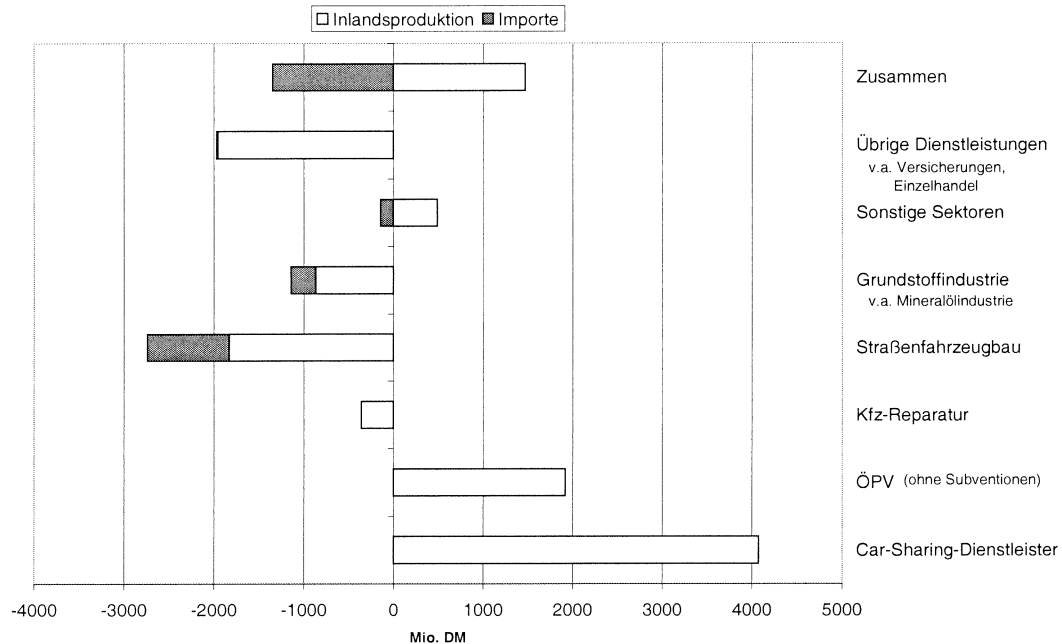
Quelle: Eigene Berechnungen

8.2.2 Arbeitsplätze und sektorale Wirkungen

Der Übergang zu verstärktem Car-Sharing ist netto mit **leicht positiven Produktions- und Beschäftigungseffekten** verbunden. Im Nachhaltigkeitsszenario steigt die Inlandsproduktion um rund 1,5 Mrd. DM, während ein Rückgang der Importe um 1,35 Mrd. DM zu verzeichnen ist (vgl. Abbildung 8-1). Die Zahl der Erwerbstätigen wächst um gut 15.850 Personen (vgl. Abbildung 8-2).

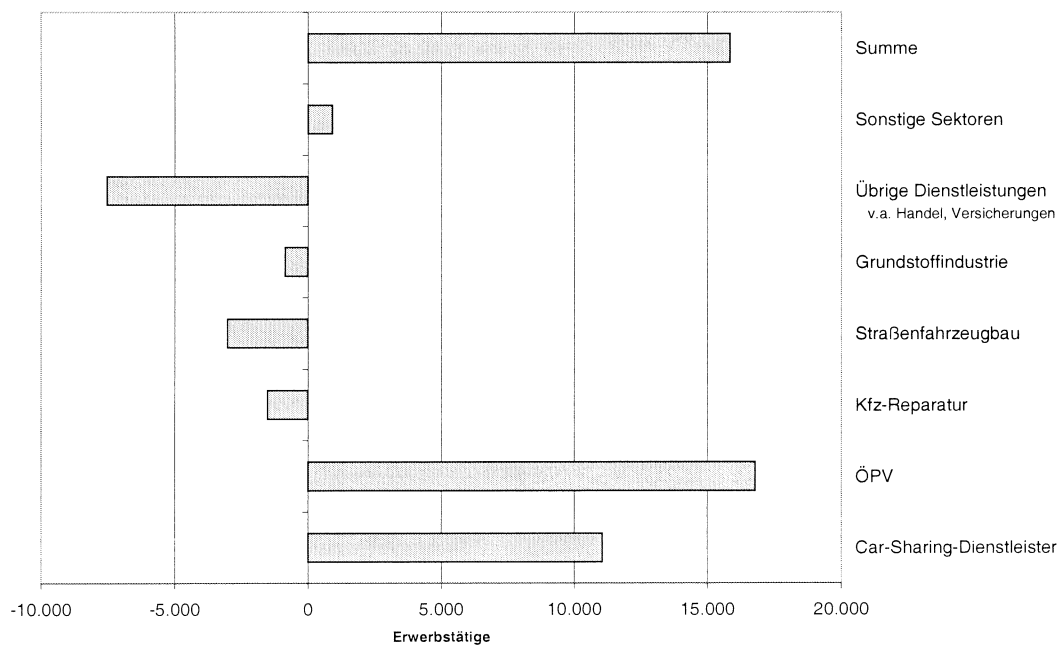
In der sektoralen Betrachtung weisen u. a. der Straßenfahrzeugbau, die Mineralölverarbeitung und der Dienstleistungsbereich (Versicherungen) sowie der Einzelhandel Produktionsrückgänge auf. Die hohe Importabhängigkeit der ersten beiden Sektoren ist dabei auch für sinkende Importe verantwortlich. Die Produktionsrückgänge werden allerdings überkompensiert von der Zunahme bei Car-Sharing-Unternehmen und dem öffentlichen Personenverkehr sowie einer leichten Nettozunahme bei den übrigen Sektoren der Volkswirtschaft.

Abbildung 8-1: Nettoproduktionswirkungen durch verstärktes Car-Sharing in 2020 (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 8-2: Nettobeschäftigungswirkungen durch verstärktes Car-Sharing in 2020 (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



Quelle: Eigene Berechnungen

Die positiven Beschäftigungswirkungen entstehen vor allem im Car-Sharing-Sektor sowie dem öffentlichen Personenverkehr. Demgegenüber kommt es zu Beschäftigungsrückgängen vor allem bei den übrigen Dienstleistungen (u. a. Handel und Versicherungen) sowie dem Straßenfahrzeugbau. Sowohl innerhalb der gewinnenden als auch der verlierenden Sektoren gibt es erhebliche Unterschiede in der Arbeitsintensität. So weisen der öffentliche Personenverkehr und die sonstigen Dienstleistungen zwar geringere Produktions-, aber höhere Beschäftigungseffekte auf als der Car-Sharing-Sektor bzw. der Straßenfahrzeugbau.

Tabelle 8-3 ordnet die Produktions-, Import- und Beschäftigungseffekte den **verursachenden Nachfrageimpulsen** zu. Im Unterschied zu den in den Abbildungen 8-1 und 8-2 dargestellten sektoralen Wirkungen werden hierbei sowohl die direkten als auch indirekten Effekte dem verursachenden Nachfrageimpuls zugeordnet. Es wird deutlich, dass einerseits die zunehmende Nachfrage nach Car-Sharing-Dienstleistungen sowie die zur Kompensation der gesunkenen Fahrleistung stattfindende Zunahme des öffentlichen Personenverkehrs, andererseits der Rückgang der Haltungskosten privater Pkw sowie die vermiedene Produktion von Pkw die stärksten Impulse darstellen.

Auch hier wurden die positiven und negativen Impulse jeweils zusammengefasst und einander gegenübergestellt. Die spezifischen Kennzahlen verdeutlichen die Ursachen für die insgesamt positive Beschäftigungsbilanz. Während die Unterschiede hinsichtlich des Produktionsmultiplikators nicht sehr stark ins Gewicht fallen, führt die deutlich geringere Importabhängigkeit der positiven Impulse dazu, dass im Nachhaltigkeitsfall die Importe geringer ausfallen und damit die Inlandsproduktion deutlich über derjenigen des Referenzfalls liegt. Besonders gravierend fallen die Unterschiede bei der Arbeitsintensität aus. Sie liegt bei den positiven Nachfrageimpulsen um ca. ein Drittel höher und gibt den Ausschlag für die insgesamt zu beobachtenden positiven Beschäftigungswirkungen.

Tabelle 8-3: Produktions-, Import- und Beschäftigungswirkungen eines verstärkten Car-Sharings

	Auslösende Nachfrage-impulse	Folgewirkungen				Spezifische Effekte			
		Inlands- produktion	Importe	Erwerbs- tätige		Gesamt- effekt	Produktions- multiplikator	Import- anteil	Beschäfti- gungs- intensität
	Mio. DM	Mio. DM	Mio. DM	P		P/Mio. DM Impuls	Mio. DM/ Mio. DM	Mio. DM/ Mio. DM	P/Mio. DM
Rückgang Privat-Pkw-Nachfr.	-2.794	-3.492	-1.062	-11.059		3,96	1,63	0,23	3,17
Rückgang Pkw-Haltung	-3.268	-4.665	-333	-13.452		4,12	1,53	0,07	2,88
Rückgang Kraftstoffverbrauch	-1.014	-1.045	-411	-2.030		2,00	1,44	0,28	1,94
Zunahme Car-Sharing	4.075	5.944	139	17.167		4,21	1,49	0,02	2,89
Zunahme ÖPV	1.918	3.711	218	21.440		11,18	2,05	0,06	5,78
Mehr Endnachfrage	690	1.017	100	3.785		5,49	1,62	0,09	3,72
Insgesamt		1.471	-1.349	15.851					
Negative Impulse	-7.076	-11.007	-4.418	-26.541		3,75	1,56	0,16	2,88
Positive Impulse	6.683	11.129	6.350	42.392		6,34	1,67	0,04	3,97
Abgrenzungsbedingter Saldo*	-393								

* Auf Grund unterschiedlicher Abgrenzungen entspricht die Summe der positiven Nachfrageimpulse in der Darstellung dieser Tabelle nicht der Summe der negativen Impulse.

8.2.3 Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen

Der Übergang zu einem verstärkten Car-Sharing würde zu einem **Nettozuwachs in allen Qualifikationsklassen** führen (vgl. Abbildung 8-3). Der überwiegende Arbeitskräftebedarf entfielen mit ca. 11.000 Stellen auf Personen mit Lehrausbildung (70 % des Gesamtzuwachses). Der Bedarf an hoch qualifizierten Fachhochschul- und Hochschulabgängern würde um ca. 2.700 (18 % des Gesamtzuwachses) zunehmen. Der Beschäftigungszuwachs im Nachhaltigkeitsfall konzentriert sich bei allen Qualifikationsstufen auf die Car-Sharing-Dienstleister und die Unternehmen des ÖPV. Hingegen würden Arbeitsplätze vor allem im Straßenfahrzeugbau, dem Kfz-Reparaturgewerbe und im sonstigen Pkw-gebundenen Dienstleistungsbereich (Einzelhandel, Versicherungen) wegfallen (vgl. Abbildung B-4 im Anhang).

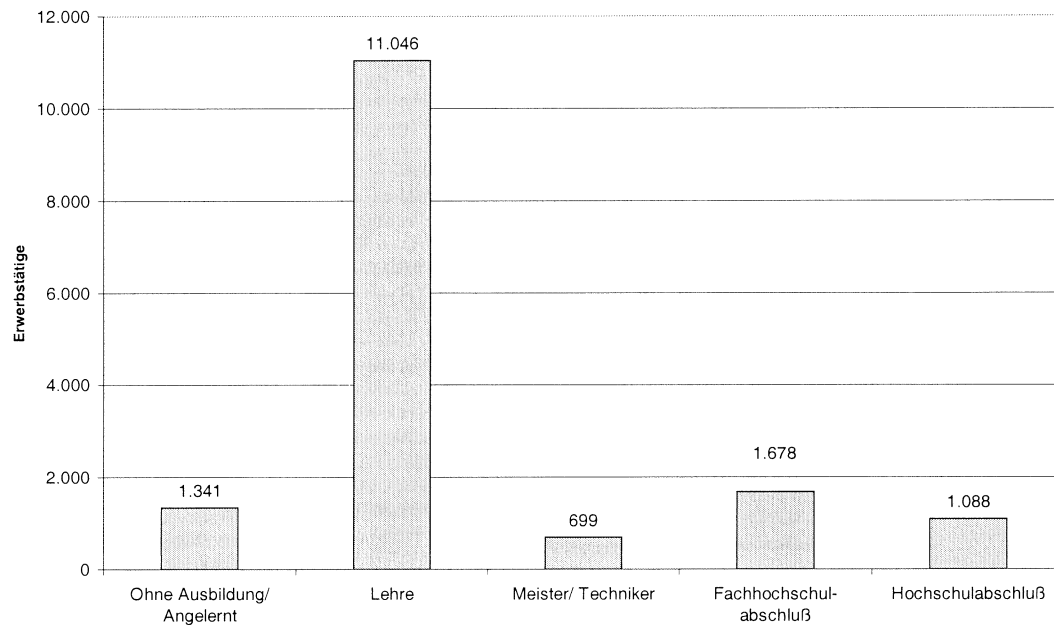
Der in Abbildung 8-4 dargestellte Vergleich der Qualifikationsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersektoren zeigt eine leichte Verschiebung hin zu höheren Qualifikationsstufen, während die Bedeutung ungelernter Kräfte zurückgeht. Dies deutet darauf hin, dass im Fall des Car-Sharing der Übergang von Produktion und Besitz materieller Güter hin zu einer Nutzungsintensivierung durch dienstleistungsähnliche Aktivitäten eher zu steigenden Qualifikationsanforderungen für die Gesamtwirtschaft führt.

Beim Einfluss der Nachhaltigkeitsstrategie auf die **Tätigkeitsschwerpunkte** der Beschäftigten ergibt sich ein differenziertes Bild (vgl. Abbildung 8-5). Deutliche Nettozuwächse ergeben sich bei verkehrsbezogenen Tätigkeiten wie „Fahrzeuge Führen“, Verkehrsüberwachung oder auch Maschinenüberwachung im ÖPV-Bereich. Deutliche Zuwächse sind auch bei Verwaltungs- und Beratungstätigkeiten zu verzeichnen. Demgegenüber sinkt vor allem der Bedarf an Ein- und Verkaufstätigkeiten in den zum Einzelhandel zugehörigen Tankstellen, die den Zuwachs derartiger Tätigkeiten in den Car-Sharing-Unternehmen überkompensieren.

Bei den Auswirkungen auf **Arbeitsbedingungen** zeigt sich, dass die zusätzlich entstehenden Stellen überwiegend Vollzeitstellen und unbefristete Stellen sind (vgl. Tabelle B-6 im Anhang). In den Gewinnersektoren haben Teilzeitstellen und befristete Arbeitsverträge jedoch eine erheblich geringere Bedeutung als in den Verlierersektoren (vgl. Abbildung 8-6). Demgegenüber sind die zusätzlich geschaffenen Arbeitsplätze überdurchschnittlich mit der Übernahme von Wochenendarbeit, Abend- oder Nachtarbeit und Schichtarbeit verbunden (vgl. Abbildung 8-7 und Tabelle B-7 im Anhang). Ein Vergleich der gewinnenden und verlierenden Sektoren zeigt, dass Flexibilisierungsanforderungen hauptsächlich beim öffentlichen Personenverkehr bestehen. Die Erbringung von Car-Sharing-Dienstleistungen bewegt sich diesbezüglich im durchschnittlichen Rahmen, ähnlich wie auch die Sektoren, die Beschäftigungsabnahmen hinzunehmen haben.

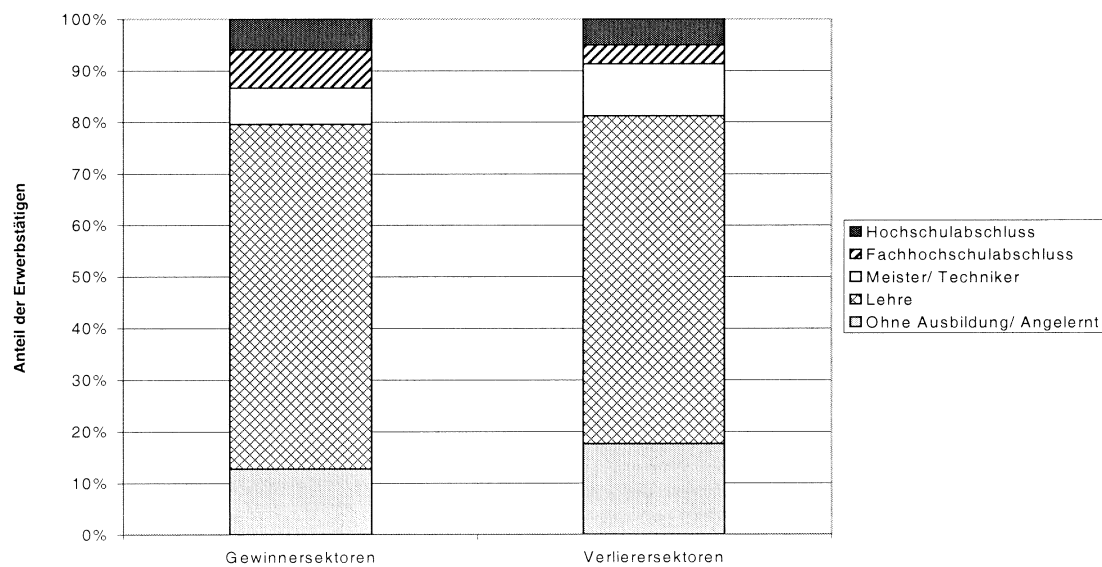
Insgesamt kommt es auf Grund dieser Unterschiede zu steigenden Flexibilisierungsanforderungen an die Erwerbstätigen.

Abbildung 8-3: Veränderungen der Qualifikationsanforderungen bei verstärktem Car-Sharing (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



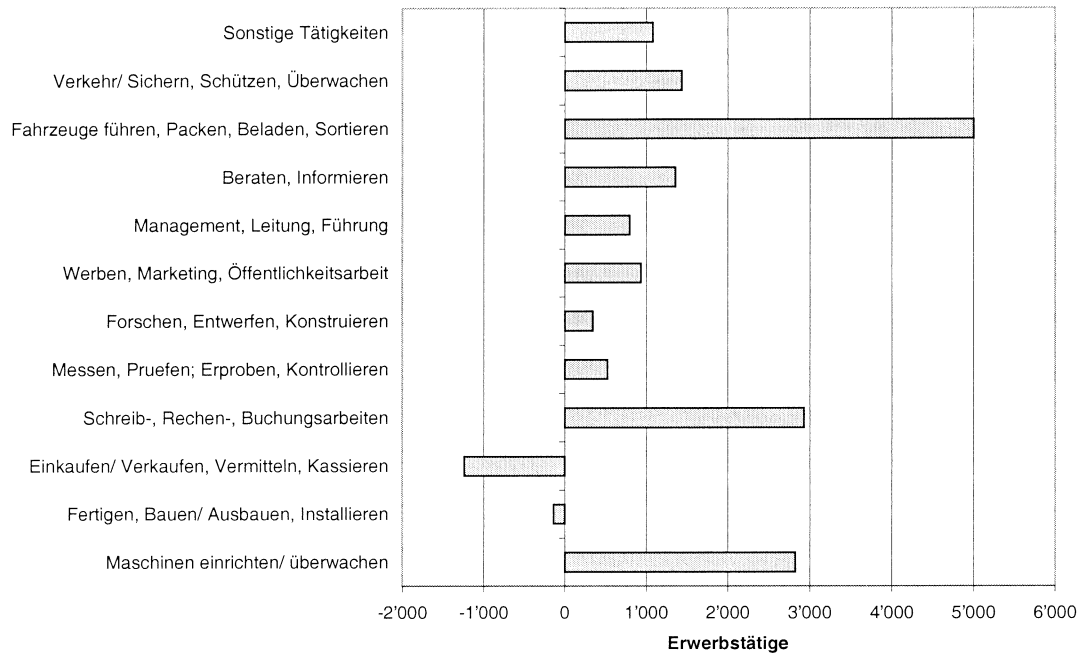
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 8-4: Qualifikationsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersectoren eines verstärktes Car-Sharing



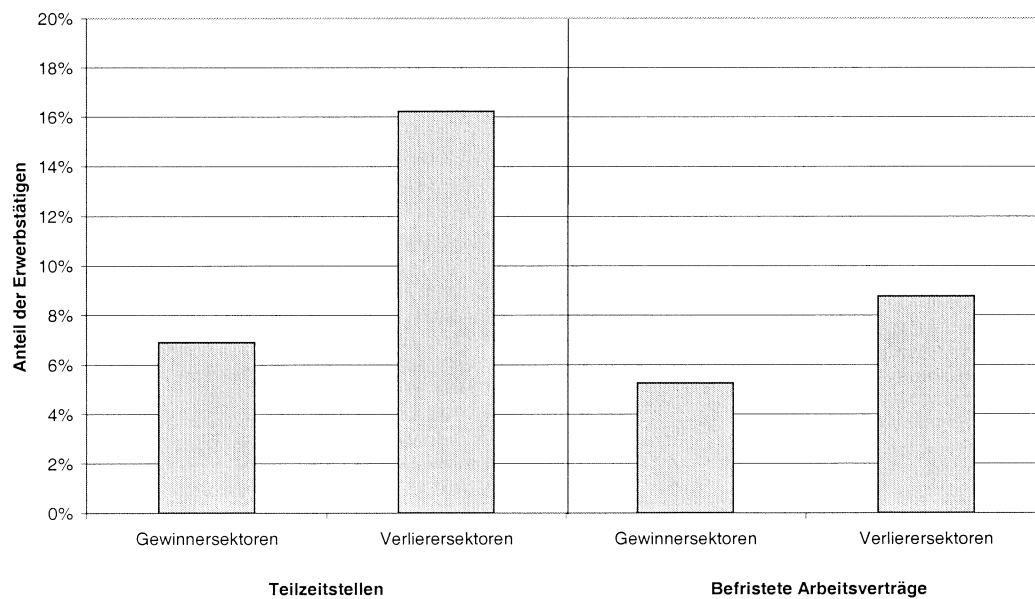
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 8-5: Auswirkungen eines verstärkten Car-Sharings auf Tätigkeitsfelder (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



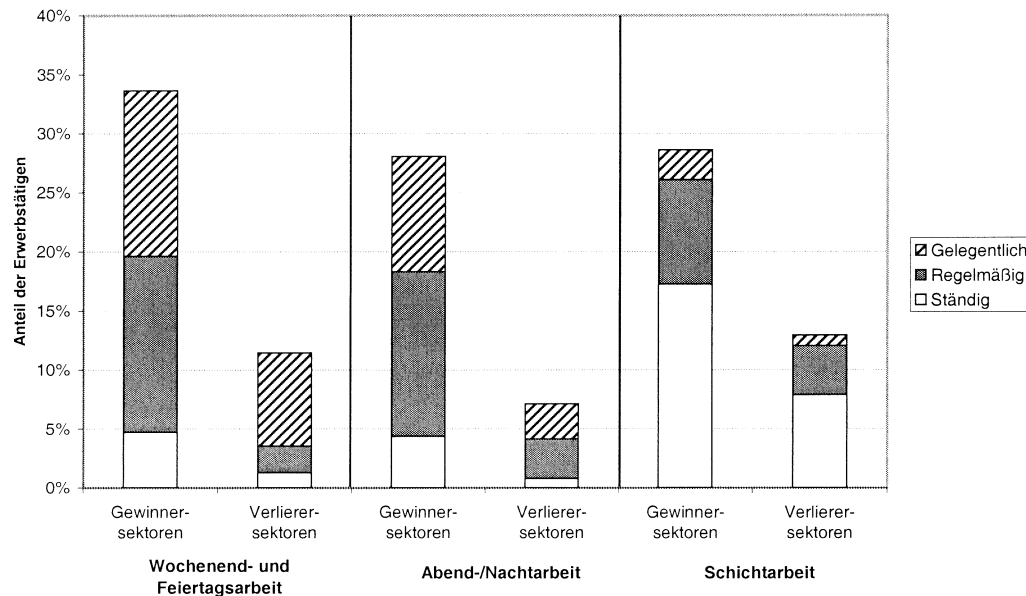
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 8-6: Teilzeitstellen und befristete Arbeitsverträge in den Gewinner- und Verlierersektoren eines verstärkten Car-Sharings



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 8-7: Flexibilisierungsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersectoren eines verstärkten Car-Sharings



Quelle: Eigene Berechnungen

8.2.4 Regionale Wirkungen

Zur Analyse der regionalen Auswirkungen verstärkten Car-Sharings werden zunächst Herfindahl-Hirschman Indices als Konzentrationsmaße für die Regionalverteilung sämtlicher Wirtschaftszweige berechnet (vgl. Abschnitt 4.1 sowie Anhang A.4). Diese werden über alle Wirtschaftszweige zu einem gesamtwirtschaftlichen Konzentrationsmaß aggregiert, wobei die Anteile der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in den einzelnen Wirtschaftszweigen als Gewichtungsfaktoren eingehen. Zur Bewertung der Auswirkung auf die Regionalverteilung werden die aggregierten Konzentrationsmaße von Nachhaltigkeits- und Referenzszenario, \bar{H}^R und \bar{H}^N , gebildet und deren Differenz $\Delta\bar{H} = \bar{H}^N - \bar{H}^R$ berechnet. Für dieses Fallbeispiel ergibt sich ein Wert von $\Delta\bar{H} = -0,759$ d. h. eine Zunahme von Car-Sharing bewirkt im Modell eine **Verringerung der regionalen Konzentration**.

Zur besseren Interpretation dieses Ergebnisses werden in Tabelle 8-4 die Herfindahl-Hirschman Indices H derjenigen Wirtschaftszweige, die durch diese Strategie besonders stark an Beschäftigung zulegen, mit den Indices derjenigen Wirtschaftszweige, die die höchsten Beschäftigungsverluste erleiden, verglichen. Aus Tabelle 8-4 ist ersichtlich, dass insbesondere die Sektoren Straßenfahrzeuge und Dienstleistungen der Versicherungen (ohne Sozialversicherungen), die beide infolge

verstärkten Car-Sharings Beschäftigungsverluste verzeichnen, eine überdurchschnittlich hohe regionale Konzentration aufweisen. Da die abnehmenden Sektoren stärker als die zunehmenden Sektoren konzentriert sind, führt eine Zunahme des Car-Sharing zu einem Abbau der regionalen Konzentration.

Tabelle 8-4: Herfindahl-Hirschman-Koeffizienten zur regionalen Konzentration für am stärksten betroffene Wirtschaftszweige im Fallbeispiel Car-Sharing

Wirtschaftszweige	Beschäftigung	H*
Öffentlicher Personenverkehr	16.791	17,851
Car-Sharing-Unternehmen	11.069	17,851
Dienstleistungen des Einzelhandels	-5.327	12,04
Straßenfahrzeuge	-3.010	40,47
Dienstleist. d. Versicherungen (ohne Sozialvers.)	-1.615	66,20

* Zum Vergleich: Im Durchschnitt aller Branchen beträgt das Konzentrationsmaß H 17,851.

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 8-5: Arbeitsamtsbezirke mit den relativen höchsten Nettobeschäftigungsgewinnen und –Verlusten im Fallbeispiel Car-Sharing

Arbeitsamtsbezirke mit höchsten prozentualen Verlusten	Relative Nettobeschäftigungs-Änderung*	Arbeitsamtsbezirke mit höchsten prozentualen Gewinnen	Relative Nettobeschäftigungs-Änderung*
Helmstedt	-0,08 %	Cottbus	0,09 %
Landshut	-0,02 %	Recklinghausen	0,08 %
Ingolstadt	-0,01 %	Stralsund	0,08 %
Stuttgart	0,00 %	Halle	0,08 %
Landau	0,01 %	Duisburg	0,08 %
Rastatt	0,02 %	Wesel	0,08 %

* Relative Nettobeschäftigungsänderungen für einen Arbeitsamtsbezirk: Differenz der (sozialversicherungspflichtig) Beschäftigten zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario, bezogen auf die Gesamtzahl der im Referenzszenario Beschäftigten.

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 8-6: Arbeitsamtsbezirke mit dem höchsten und niedrigsten strukturellen Anpassungsdruck im Fallbeispiel Car-Sharing

Arbeitsamtsbezirke mit höchsten prozentualen Änderungen	Relative Brutto-Beschäftigungs-Änderung*	Arbeitsamtsbezirke mit geringsten prozentualen Änderungen	Relative Brutto-Beschäftigungs-Änderung*
Helmstedt	0,29 %	Berlin Mitte	0,14 %
Landshut	0,23 %	Ludwigshafen	0,14 %
Ingolstadt	0,22 %	Stralsund	0,14 %
Stuttgart	0,21 %	Schwäbisch Hall	0,14 %
Landau	0,20 %	Stendal	0,14 %
Rastatt	0,20 %	Dessau	0,14 %

* Relative Bruttobeschäftigungsänderungen für einen Arbeitsamtsbezirk: Summe der absoluten Beschäftigungsänderungen im Nachhaltigkeits- gegenüber dem Referenzszenario, bezogen auf die Gesamtzahl der im Referenzszenario Beschäftigten

Quelle: Eigene Berechnungen

Bei der Betrachtung der absoluten Beschäftigungswirkungen zeigt sich, dass lediglich drei Arbeitsamtsbezirke, in denen ein Großteil der Beschäftigten im Straßenfahrzeugbau tätig sind, negative Beschäftigungswirkungen aufweisen (vgl. Tabelle 8-5). Dies ist die Folge der – im Vergleich zu den abnehmenden Sektoren – relativ stärkeren Zunahme in den Sektoren ÖPV und Car-Sharing, von der alle Regionen gemäß ihrem Beschäftigtenanteil profitieren. Insgesamt gesehen sind die absoluten Effekte jedoch schwach ausgeprägt, so dass nicht davon auszugehen ist, dass von Car-Sharing ein hoher intraregionaler Anpassungsdruck ausgeht. Diese Aussagen werden durch die Analyse der relativen Brutto-Beschäftigungsänderungen bestätigt (vgl. Tabelle 8-6).

8.2.5 Umweltauswirkungen

Die Betrachtung der mit dem Car-Sharing verbundenen Veränderungen der Umweltbelastungen ergibt ein **differenziertes Bild** (vgl. Tabelle 8-8). Beim Energieverbrauch und der Emission wichtiger Luftschadstoffe wie CO₂, NMVOC und CO ergeben sich deutliche Entlastungen, während bei anderen Luftschadstoffen wie NO_x, SO₂, CH₄ oder Staub Emissionsanstiege zu verzeichnen sind. Die Ursache dafür ist in der Verschiebung des Modal Split der Car-Sharing-Teilnehmer von der Pkw-Nutzung zur Nutzung des ÖPV zu suchen.

Auffällig sind die steigenden NO_x-Emissionen im Nachhaltigkeitsszenario. Sie sind darauf zurückzuführen, dass im Modell TREMOD für Pkw von einer stärkeren Verringerung der spezifischen NO_x-Emissionen pro Personenkilometer bis zum Jahr 2020 als für den ÖPV ausgegangen wird (vgl. Tabelle 8-7). Dadurch ergeben sich

für Pkw geringere spezifische NO_x-Emissionen. Falls zukünftig im öffentlichen Personenverkehr stärkere spezifische Emissionsminderungen oder höhere Auslastungen erreicht würden, wäre von geringeren Emissionen im Nachhaltigkeitsszenario auszugehen. Insoweit dürften die für den ÖPV berechneten Emissionen eher eine obere Grenze darstellen.

Tabelle 8-7: Vergleich der spezifischen NO_x-Emissionen für Pkw und ÖPV

	1995	2020	Veränderung
	g/Pkm	g/Pkm	
Pkw	0,651	0,115	-82%
ÖPV ¹⁾	0,553	0,171	-69%
Bus	1,107	0,213	-81%
S-, U-, Straßenbahn	0,000	0,000	
Bahn-Nahverkehr	0,443	0,287	-35%
Bahn-Fernverkehr	0,041	0,035	-15%

¹⁾ bei konstantem Modal-Split im ÖPV nach: Verkehr in Zahlen (1998)

Quelle: Gohlisch (2000); eigene Berechnungen

Darüber hinaus werden Emissionen, die mit dem Betrieb von Verbrennungsmotoren in Pkw verbunden sind (CO, NMVOC), reduziert, während auf der anderen Seite Emissionen, die bei der Bereitstellung von Strom zum Betrieb der Straßen-, U-Bahnen sowie Nah- und Fernverkehrszügen (SO₂, Staub) oder in Vorleistungssektoren wie dem Kohlebergbau (CH₄) anfallen, zunehmen. Diese Emissionszunahmen sind in ihrer Höhe teilweise auf die Verwendung der heutigen spezifischen Emissionswerte für die Berechnung indirekter Umweltauswirkungen zurückzuführen und überschätzen eher die künftig anfallenden Emissionen. Absehbare Abnahmen der spezifischen SO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung sind jedoch berücksichtigt. Bei den CH₄-Emissionen stellt sich zum einen die Frage nach der Höhe des künftigen Kohlebergbaus; zum anderen sind künftig deutliche Emissionsminderungen möglich. Ebenfalls bedeutsam für die künftigen SO₂- und Staub-Emissionen dürfte sein, in welchem Maße Kohle als Energieträger zur Stromerzeugung zum Einsatz kommt.

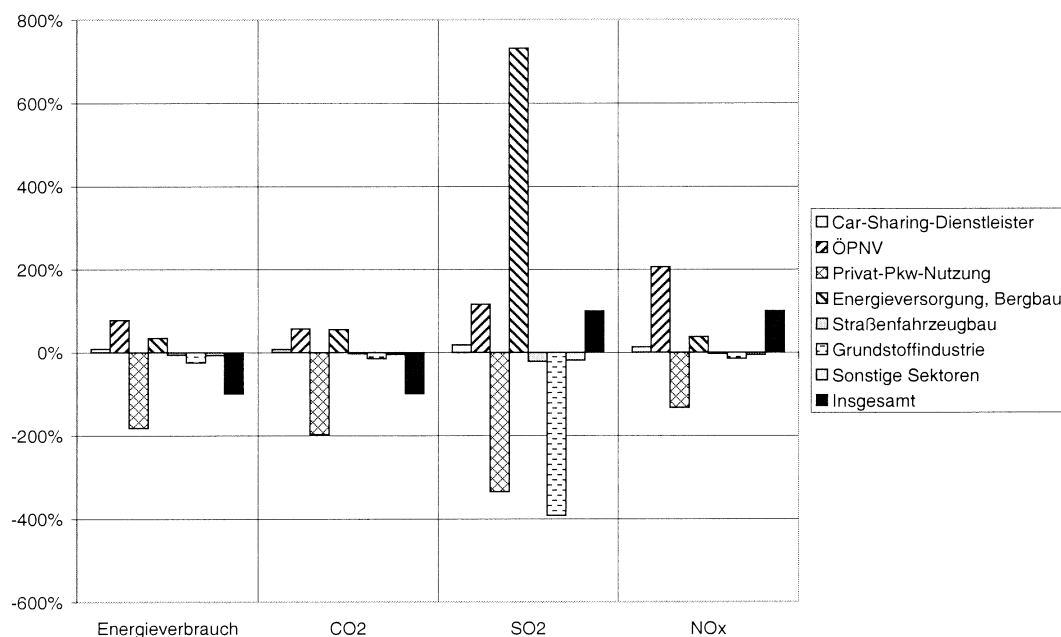
Des Weiteren verringern sich die Abwassermengen und die zur Beseitigung bestimmten Sonderabfallmengen. Die Menge des insgesamt zur Beseitigung bestimmten Abfalls steigt hingegen. Diese Steigerung stammt überwiegend aus dem ÖPV-Sektor und ist modellbedingt zu erklären, da die Abfälle mangels anderer Angaben durch den unkorrigierten Bahnsektor modelliert wurden. Das der Bahn zugeordnete Abfallaufkommen dürfte zum großen Teil Bauschutt beinhalten, der bei Infrastrukturvorhaben in großen Mengen anfällt. Es ist anzunehmen, dass auch die ausgewiesenen Abfälle eher eine Überschätzung darstellen.

Tabelle 8-8: Umweltauswirkungen verstärkten Car-Sharings

Umweltindikator	Absolute Menge	Einheit
Energieverbrauch	-14.671	TJ
Luftemissionen		
CO ₂	-991	kt
SO ₂	143	t
NO _x	1.377	t
CO	-18.242	t
Staub	201	t
NMVOC	-1.768	t
Abwasser ohne Kühlwasser	-502	1000 m ³
Abfall zur Beseitigung	69.698	t
Sonderabfall zur Beseitigung	-3.692	t

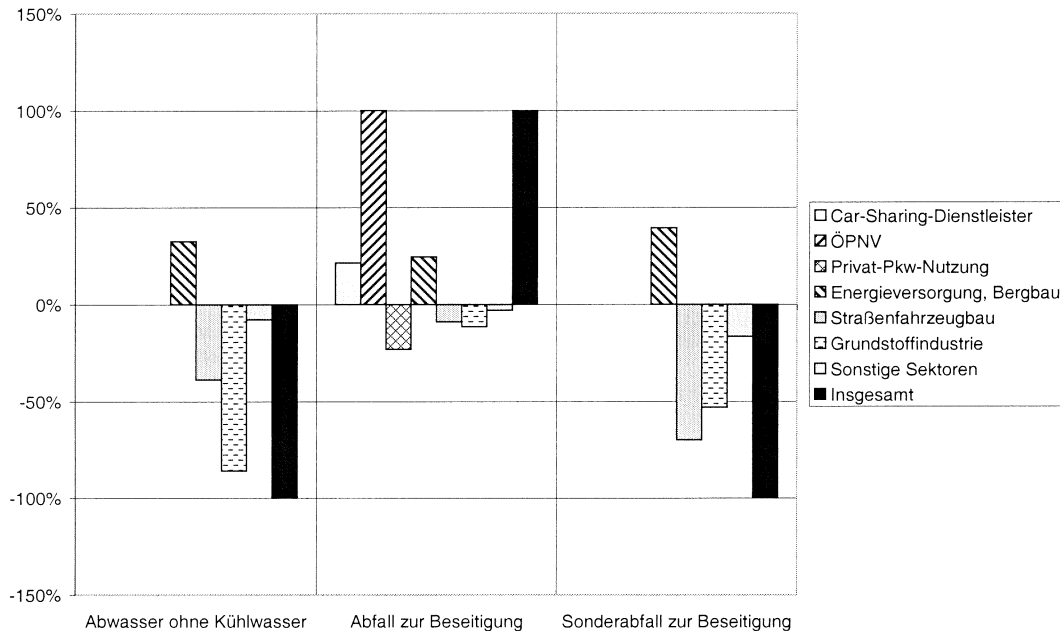
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 8-8: Veränderung der Umweltauswirkungen in einzelnen Sektoren im Verhältnis zu den gesamten Umweltauswirkungen bei verstärktem Car-Sharing – Energieverbrauch und Luftemissionen



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 8-9: Veränderung der Umweltauswirkungen in einzelnen Sektoren im Verhältnis zu den gesamten Umweltauswirkungen bei verstärktem Car-Sharing – Abwassermengen und Abfälle



Quelle: Eigene Berechnungen

In einer sektoralen Betrachtung wurde analysiert, welche Sektoren hauptsächlich zur Veränderung der Umweltbelastung beitragen. Hierzu wurde die Veränderung der Umweltbelastung, die sich in den einzelnen Sektoren ergibt, ins Verhältnis zu den – mit dem Indexwert 100 bewerteten – gesamten Umweltentlastungen zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario gesetzt (vgl. Abbildung 8-8 und 8-9). Bei den Luftschadstoffen zeigt sich, dass vor allem der Rückgang der Fahrleistung mit privaten Pkw zur Umweltentlastung beiträgt, während der ÖPV und die im Umwandlungsbereich bilanzierte Stromerzeugung für den ÖPV die Luftemissionen erhöhen. Der Rückgang der Produktion im Straßenfahrzeugbau und in der Grundstoffindustrie tragen vor allem bei Abwasser und Sonderabfällen zu Umweltentlastungen bei.

8.3 Auswirkungen auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen

Die Nutzungsintensivierung von Pkw basiert auf der Annahme, dass es zu einem vermehrten Einsatz von Car-Sharing kommt. Auswirkungen auf die betriebliche Arbeitsstruktur ergeben sich direkt bei der Car-Sharing-Organisation und indirekt z. B. beim öffentlichen Verkehr, der von den Car-Sharing-Teilnehmern vermehrt in Anspruch genommen wird. Im Folgenden sollen jedoch nur die Arbeitsstrukturen

bei der Car-Sharing-Organisation betrachtet werden. Die Arbeitsstrukturen von zukünftigen Car-Sharing-Organisationen werden voraussichtlich weitgehend den Arbeitsstrukturen von Autovermietungen entsprechen, da ein sehr viel professionelleres Arbeiten der Organisationen angenommen wird. Analog zu den in Telefoninterviews erfragten aktuellen Tendenzen bei den Autovermietern, wird auch für die Car-Sharing-Organisation angenommen, dass es zu einem Zusammenschluss der bisher dezentral agierenden Organisationen vieler Städte kommen wird, um bessere Konditionen beim Kauf der Pkw zu ermöglichen und den Kunden in ganz Deutschland oder sogar grenzübergreifend Mietwagen zur Verfügung zu stellen.

Qualifikationsstruktur

Eine heute in Car-Sharing-Organisationen des öfteren anzutreffende Qualifikationsstruktur ist in Tabelle 8-9 wiedergegeben. Auffällig ist vor allem der hohe Anteil von Personen mit Hochschulabschluss sowie die Einbeziehung ehrenamtlicher Mitarbeiter. Dies ist Ausdruck dafür, dass Car-Sharing-Organisationen z. T. als Betätigungsfeld ähnlich wie Umweltorganisationen gesehen werden. Dies drückt sich auch im Engagement ehrenamtlicher Kräfte aus.

Hinsichtlich der Qualifikation der Mitarbeiter in professionalisierten Car-Sharing-Organisationen wird eine kaufmännische Ausbildung für die meisten Tätigkeiten erforderlich sein. Die technische Betreuung der Fahrzeuge wird voraussichtlich von Reparaturwerkstätten übernommen (siehe Kap. 8.3.1). Nur in einigen Leitungsfunktionen werden Beschäftigte mit Hochschulabschluss eingestellt werden. Da der Softwareeinsatz erheblich steigen wird, kann es notwendig werden, für die Betreuung der Softwareprogramme einen Mitarbeiter einzustellen. Diese Aufgabe kann jedoch auch outgesourced und dann zentral für mehrere Städte übernommen werden.

Arbeitszeit

Die Nutzung des Internets ermöglicht eine sehr flexible Arbeitszeitgestaltung für Verwaltungsaufgaben. Es können sowohl Teilzeit- als auch Vollzeitarbeitskräfte eingestellt werden, und die Einführung von Arbeitszeitkonten mit sehr flexiblen Kernarbeitszeiten ist möglich. Auch die heutige Vorgabe, dass tagsüber immer jemand im Büro anzutreffen ist, kann entfallen, wenn die Buchung störungsfrei über das Internet abgewickelt wird. Ein persönlicher Ansprechpartner muss dann nicht mehr in jeder Stadt anzutreffen sein, sondern mehrere Städte können diesen Service gemeinsam übernehmen.

Rationalisierung

Es wird angenommen, dass der Kontakt zum Kunden zukünftig weitgehend automatisiert über das Internet, z. B. über Wap-Handys, abgewickelt wird, so dass Tätigkeiten, die nur eine kurze Einarbeitungszeit erfordern und heute von Call-Centern wahrgenommen werden, zukünftig entfallen. Rationalisierungsmöglichkeiten ergeben sich auch durch den Einsatz produktbegleitender Informationssysteme und durch den Einsatz von Software aus dem Logistikbereich. Mit produktbegleitenden

Informationssystemen kann die Position eines Pkw automatisch an die Zentrale gemeldet werden. Die gefahrenen Kilometer und die Nutzungszeiten lassen sich ebenfalls automatisiert erfassen, so dass sich der Eingabeaufwand bei der Car-Sharing-Organisation erheblich vereinfacht. Gleichzeitig ist eine leichtere Überprüfung der Angaben, die von den Nutzern gemacht werden, möglich. Informationssysteme, die den Abnutzungszustand des Pkw überwachen, melden die Notwendigkeit von Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen. Statt dem herkömmlichen Autoschlüssel wird voraussichtlich ein elektronischer Fingerprint zum Einsatz kommen. Es wird dann möglich sein, auch in anderen Städten direkt nach der Anmeldung über das Internet die dort stationierten Pkw zu nutzen. Bereits heute wird in Logistikunternehmen die Steuerung von komplexen Zusammenhängen weitgehend von Software übernommen. Diese Software wird in Zukunft auch beim Car-Sharing eingesetzt werden und zu einer weiteren Professionalisierung bei der Nutzungsintensivierung der Pkw führen.

Tabelle 8-9: Beispiel für gegenwärtige Arbeitsstrukturen in einem Car-Sharing Unternehmen

	Car-Sharing
Anzahl der Beschäftigten	8 Personen + 5 ehrenamtlich
Qualifikationsstruktur	
- Ungelernt	-
- Facharbeiter	2
- Angestellte	3
- Techniker/Meister	-
- Hochschule	3
Arbeitseinsatzzeiten; Schichtbetrieb	Flexible Arbeitszeiten (9.00-18.00 Uhr muss eine Person da sein)
Entlohnung	Stundenlohn

9 Umweltfreundliche Antriebstechnik am Beispiel von Brennstoffzellenfahrzeugen

9.1 Möglichkeiten zur Einführung des Brennstoffzellenantriebs in Pkw

9.1.1 Hintergrund

Brennstoffzellen sind elektrochemische Energiewandler. Sie erzeugen Elektrizität direkt durch elektrochemische Verbrennung des Treibstoffs. Die Verbrennung ist schadstoffarm und von hoher Effizienz. Wasserstoff (H_2) wird einer Elektrode zugeführt, die mit einem Katalysator (z. B. feinverteiltes Platin) belegt ist. Am Katalysator wird das Wasserstoffmolekül in Atome dissoziiert und nach Abgabe je eines Elektrons ionisiert. Es entstehen Wasserstoffionen (H^+ bzw. Protonen). Die beiden Elektroden sind ebenfalls in Kontakt mit einem Elektrolyten, in dem gelöste, elektrisch geladene Teilchen (Ionen) vorhanden sind, die den elektrischen Strom leiten können. Der Stromfluss wird direkt durch die Wandlung der chemischen Energie von Wasserstoff und Sauerstoff in elektrische Energie gespeist. Als Produkt entsteht reines Wasser. Die Entstehung weiterer Schadstoffe ist durch die Vermeidung von Flammverbrennungsvorgängen ausgeschlossen.

Tabelle 9-1: Anwendungsfelder von Brennstoffzellentechnologien

System	Temperaturbereich	Zellwirkungsgrad	Elektrolyt	Anwendungsbereich
Alkalische BZ (AFC)	60-90 °C	50-60 %	30-50 % KOH	Raumfahrt, Straßenfahrzeuge, U-Boote
Polymer-elektrolyt-membran BZ (PEFC)	50-80 °C	50-60 %	Protonenleitende Polymermembran (Nafion®)	Raumfahrt, Straßenfahrzeuge, Kraft-Wärme-Kopplung, U-Boote
Phosphorsaure BZ (PAFC)	160-220 °C	55 %	Konzentrierte Phosphorsäure	Stromerzeugung, Kraft-Wärme-Kopplung, Straßenfahrzeuge
Schmelz-karbonat BZ (MCFC)	620-660 °C	60-65 %	Geschmolzene Karbonate (Li_2CO_3 , K_2CO_3)	Elektrizitätserzeugung
Festoxid BZ (SOFC)	800-1000 °C	55-65 %	Ionenleitende Keramik (Yttrium stabilisiertes Zirkonoxid)	Elektrizitätserzeugung

Quelle: Demuß (2000)

Brennstoffzellen können nach dem verwendeten Elektrolyten sowie nach der Arbeitstemperatur klassifiziert werden (vgl. Tabelle 9-1). Für die **Anwendung als**

Fahrzeugantrieb kommt vor allem die Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle (PEFC) in Frage. Sie ist in der Lage, schnell gestartet zu werden, ferner sind schnelle Lastwechsel, wie sie im Fahrzeug üblich sind, möglich. Die PEFC verträgt CO₂-haltige Gase. Infolge ihrer Bauweise und Arbeitstemperatur ist sie jedoch empfindlich gegen Spurenverunreinigungen wie CO und Ammoniak (NH₃).

Der Elektrolyt in PEFC besteht aus einer dünnen Polymerfolie. Die ionische Leitfähigkeit wird durch chemisch gebundene Säuregruppen am Grundpolymer, einem Hochleistungskunststoff, bewirkt. Derzeit werden bevorzugt teure, fluoriierte Basispolymere verwendet. Es wurden allerdings auch schon preiswertere fluorfreie Materialien hergestellt und erprobt. Die Arbeitstemperatur der PEFC beträgt ca. 50 - 80 °C, da die Ionenleitfähigkeit dieser Polymere entscheidend vom Wassergehalt abhängig ist. Wassermanagement ist daher eines der Schlüsselprobleme der PEFC. Das Austrocknen der Membran kann zu irreversiblen Schäden bis hin zur Zerstörung der Zelle führen.

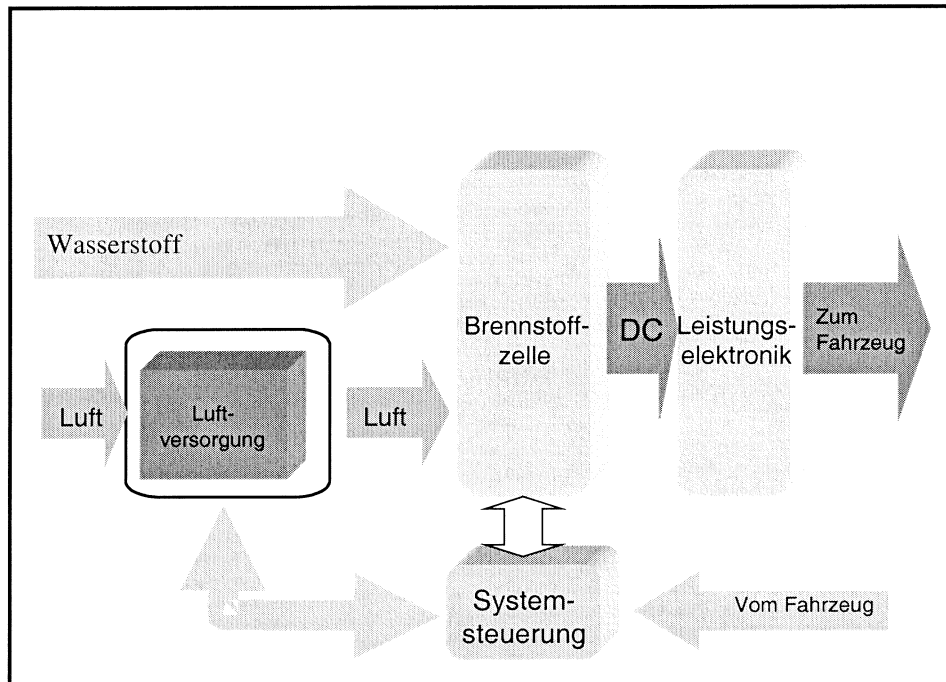
Als Katalysatoren werden Edelmetalle, i. d. R. kohlegeträgertes Platin, verwendet. In den letzten Jahren ist es gelungen, die notwendigen Edelmetallgehalte auf deutlich unter 1 mg/cm² zu senken.

Die elektrochemische Reaktion in der Brennstoffzelle liefert eine Spannung von maximal 1,23 V. Um höhere Spannungen zu erzielen, werden mehrere Einzelzellen in einem sogenannten Stack elektrisch in Reihe geschaltet. Der Brennstoffzellenstack muss noch durch weitere Komponenten zu einem kompletten Antriebssystem ergänzt werden (vgl. Abbildung 9-1). Das komplette Antriebssystem ist demzufolge aus folgenden Modulen aufgebaut.

- Brennstoffmodul
- Brennstoffzellenmodul
- Elektrischer Modul
- Antriebsmodul

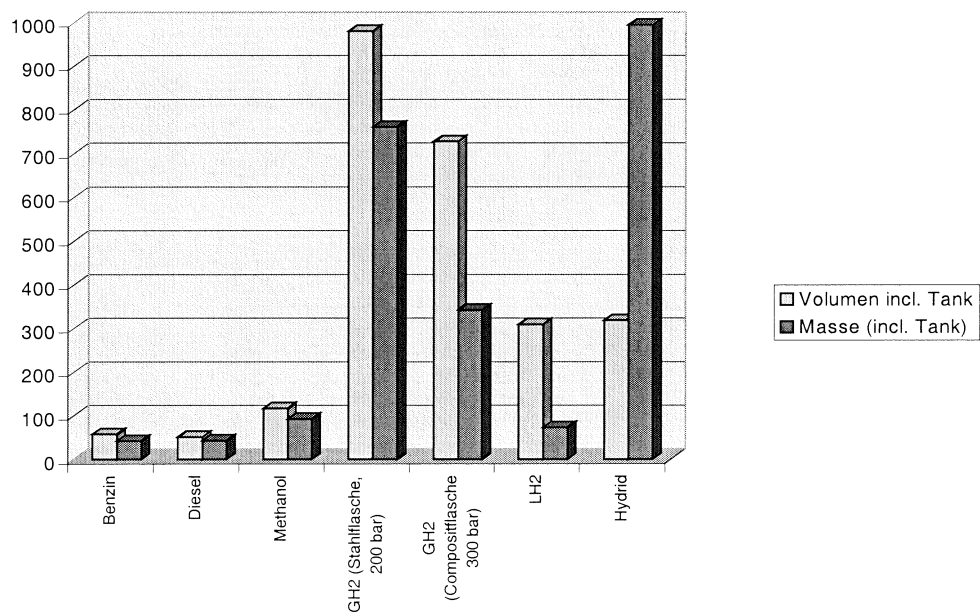
Die PEFC benötigt zum Betrieb Wasserstoff. Reiner Wasserstoff kann als komprimiertes Gas, verflüssigt oder chemisch gebunden als Metallhydrid, an Bord eines Fahrzeugs mitgeführt werden. Abbildung 9-2 zeigt die zur Speicherung von 50 l Benzinäquivalent benötigten Volumina und Speichergewichte. Man erkennt die weitaus geringere Energiedichte der flüssigen Kohlenwasserstoffe (Benzin, Diesel).

Abbildung 9-1: Komponenten eines Brennstoffzellensystems für den Fahrzeugantrieb



Quelle: Demuß (2000)

Abbildung 9-2: Benötigte Tankvolumina und Speichermassen zur Unterbringung der Energie von 50 l Benzinäquivalent



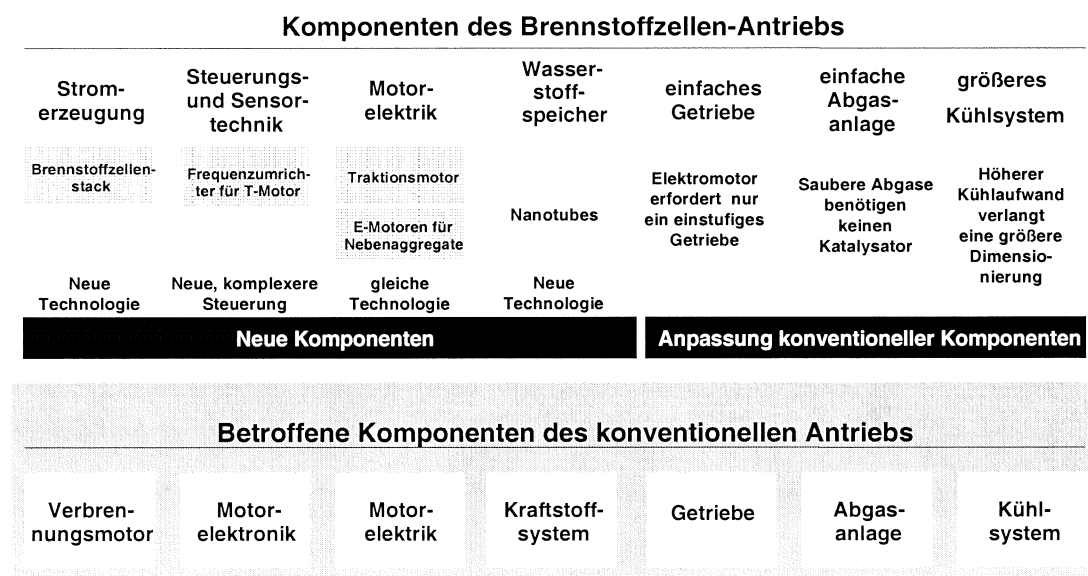
Quelle: Jörisen/Garche (2000)

Infolge der augenblicklich nicht flächendeckend vorhandenen Wasserstoff-Infrastruktur ist der Einsatz von PEFC-angetriebenen Fahrzeugen mit Wasserstoff gegenwärtig auf Fahrzeugflotten (Busse, Lieferfahrzeuge, Flughäfen) beschränkt. Ein flächendeckendes Netz könnte z. B. in Anlehnung an das Erdgasnetz genutzt werden. Auch die Vor-Ort-Produktion durch Strom ist möglich; so wird im Flughafen München seit Mai 1999 gasförmiger Wasserstoff durch Elektrolyse erzeugt (H2MUC 2000).

9.1.2 Konkretisierung der Umweltstrategie

Betrachtet wird eine teilweise Substitution von konventionellen Pkw durch Pkw mit Brennstoffzellenantrieb. Wenn der Verbrennungsmotor durch Brennstoffzellenstacks und Elektromotor ersetzt wird, gewinnt die Motorelektrik und –elektronik an Bedeutung. Als neue Komponente kommt der Wasserstoffspeicher hinzu. Getriebe, Abgasanlage und Kühlsystem werden an den neuen Antrieb angepasst. Für die Brennstoffzellenproduktion wird eine mit der Motorherstellung vergleichbare Kapital- und Arbeitsintensität angenommen. Daher wird die Montage der Brennstoffzelle ebenso wie in Wengel/Schirrmeister (2000) nicht gesondert betrachtet. Die Untersuchung konzentriert sich hier auf die Veränderung der Komponenten gegenüber einem konventionellen Fahrzeugmotor.

Abbildung 9-3: Überblick über die Veränderungen durch die Brennstoffzelle beim konventionellen Fahrzeug



Quelle: in Anlehnung an Demuß (2000)

Neben dem veränderten Antriebsstrang werden auch Veränderungen bei der **Bereitstellung des benötigten Kraftstoffs** einbezogen. Verglichen mit konventionellen Pkw ist der hier betrachtete Einsatz von gasförmigem Wasserstoff mit deutlich geringeren Emissionen verbunden. Dabei ist für die Emissionsbilanz von Brennstoffzellen entscheidend, wie der Wasserstoff hergestellt wird (Kolke 1999). Im vorliegenden Nachhaltigkeitsfall wird eine elektrolytische Herstellung vor Ort mittels Strom aus fluktuierenden erneuerbaren Energien unterstellt. Aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen wird angenommen, dass der Strom z. B. in Spanien aus Solarenergie produziert und nach Deutschland importiert wird. Die Verwendung des Stromes zur Wasserstofferzeugung erlaubt es, das bei fluktuierenden erneuerbaren Energien auftretende Problem der Netzstabilität abzumildern. Gleichzeitig ist es aus innovationspolitischen Überlegungen sinnvoll, bereits frühzeitig mit dem Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur zu beginnen, da auf Grund der Pfadabhängigkeit der Technologieentwicklung derartige Entwicklungen einen sehr langen Zeitraum in Anspruch nehmen.

9.2 Szenarienanalyse

9.2.1 Annahmen und Dateninput

9.2.1.1 Annahmen zur Szenarienbildung

Im **Referenzszenario** wird eine kontinuierliche Verbesserung der derzeitigen Verbrennungsmotoren mit geringerem Energieverbrauch und Emissionen angenommen. Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass es keine konkurrierende Entwicklung zum Verbrennungsmotor gibt (Brennstoffzelle, Schwungrad, Pressluft o. a.).

In **Nachhaltigkeitsszenario** werden, analog zu Wengel/Schirrmeister (2000), anlegbare Kosten für den Brennstoffzellenantrieb unterstellt, d. h. ein Brennstoffzellenfahrzeug darf nicht teurer sein als heute beispielsweise ein Diesel-Pkw. Für die in kleineren Serien angefertigten PEM-Brennstoffzellen kann man heute von etwa 10.000 DM/kW_{el} ausgehen. Die im Pkw-Bereich wettbewerbsfähigen Kosten liegen bei <100 DM/kW_{el}, so dass der Preis durch Massenfertigung und Materialoptimierungen, wie z. B. geringerem Platingehalt, noch um zwei Zehnerpotenzen reduziert werden muss.

Weitere Annahmen zum Nachhaltigkeitsfall sind:

- Die jährliche Produktion von Fahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb steigt von 2004 bis 2020 auf 500.000 Fahrzeuge; hiervon werden 50 % exportiert. Dadurch sind im Bezugsjahr 2020 ca. 2,2 Mio. Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb in Deutschland in Betrieb. Dies entspricht ca. 5 % der dann voraussichtlich in Betrieb befindlichen Privat-Pkw.
- In Abweichung von der oben erwähnten FhG-ISI Studie (Wengel/Schirrmeister, 2000) wurde als Treibstoff für die Brennstoffzelle nicht Methanol, sondern gasförmiger Wasserstoff unterstellt. Hierbei wurde angenommen, dass als Speichermedium Kohlenstoff-Nanoröhrchen zur Verfügung stehen, eine Technologie, die derzeit offensiv entwickelt wird (Greschik 1999). Es wird unterstellt, dass die Kosten des Fahrzeugantriebs mit Nanospeicher vergleichbar sind mit denen eines Antriebs mit Methanol-Reformer. Es unterscheiden sich jedoch die benötigten Komponenten.
- Es wird keine Änderungen an der Infrastruktur unterstellt, da es relativ unsicher ist, ob die Nanospeicher als Kartuschen zu den Tankstellen transportiert oder dezentral vor Ort befüllt werden, und zudem nur ca. 5 % des Fahrzeugbestands einen Brennstoffzellenantrieb haben (Wasserstoff ist nur ein neuer Treibstoff an Tankstellen). Es wird angenommen, dass die Wasserstoffbereitstellung (Herstellung und Verteilung, ohne Steuern) ähnlich teuer wie die Benzinbereitstellung (inkl. Mineralölsteuern) ist.
- Der Strom zur Wasserstoffelektrolyse stammt aus regenerativen Quellen und wird in sonnenreichen Gebieten z. B. in Spanien produziert. Der Preis für die Herstellung von Wasserstoff ist mit $0,96 \text{ DM/Nm}^3$ an einen von Kolke angegebenen Wert für aus regenerativen Quellen produzierten Wasserstoff angelehnt (Kolke 1999).
- Weiter wird angenommen, dass der Betrieb der Brennstoffzellenfahrzeuge wegen der geringeren Anzahl bewegter Teile mit geringeren laufenden Instandhaltungskosten verbunden ist. Da zur Höhe der Einsparungen keine Angaben verfügbar waren, wurde pauschal eine Einsparquote von 50 % angenommen.
- Durch den Betrieb von Brennstoffzellenfahrzeugen sinkt der Bedarf an konventionellen Kraftstoffen in Höhe von ca. 2,3 Mrd. DM. In diesem Betrag wären Staatseinnahmen aus der Mineralölsteuer – bei konstantem Steueranteil – in Höhe von ca. 1,59 Mrd. DM enthalten, die dem Staat im Nachhaltigkeitsszenario entgehen. Geht man davon aus, dass der Staat diesen Betrag nicht als Subventionierung der Brennstoffzellenfahrzeuge ansieht, sondern ihn im Gegenzug bei den Haushalten zurückholt, z. B. in Form einer höheren Mehrwertsteuer, so wäre dies mit einem Kaufkraftverlust der Haushalte und einem entsprechenden Rückgang der privaten Endnachfrage verbunden. Der Einfluss dieser Variante auf Produktion und Beschäftigung wurde ebenfalls untersucht.

- Zur Ermittlung der mit dem Betrieb konventioneller Fahrzeuge verbundenen Luftemissionen wurden die im Modell „Tremod“ enthaltenen spezifischen Emissionskoeffizienten für durchschnittliche Pkw im Jahr 2020 verwendet (Gohlisch 2000).

9.2.1.2 Annahmen und Vorgehensweise bei der Modellierung

Für die Szenarienrechnungen wurde in Anlehnung an Wengel/Schirrmeister (2000) eine Zuordnung der Komponenten der beiden Antriebsstränge zu den zugehörigen IO-Sektoren vorgenommen. In Tabelle 9-2 kann man erkennen, wie sich die Gewichte der Zuliefersektoren bei der Herstellung von Brennstoffzellenaggregaten anstelle von konventionellen Verbrennungsmotoren verändern würden. Die Zuordnung der neuen Komponenten zu IO-Sektoren wurde nach den voraussichtlich eingesetzten Fertigungsverfahren und Ähnlichkeit mit existierenden Komponenten durchgeführt. In welchen Sektoren die Komponenten letztendlich hergestellt werden, ist jedoch noch offen und z. B. von Eigen- oder Fremdfertigungsentscheidungen der Automobilindustrie abhängig. Bei hohem Eigenfertigungsanteil würde entsprechend der Anteil der Automobilindustrie steigen.

Bei der Modellierung des Fallbeispiels wurde ein separater **IO-Sektor „Herstellung von Wasserstoff“** gebildet, dessen Vorleistungsstruktur auf Literaturangaben (insbesondere Drake 1996), ergänzt um eigene Annahmen, basieren. Die angenommene Beschäftigungsintensität sowie Angaben zur Qualifikationsstruktur und Arbeitsbedingungen orientieren sich an den in der chemischen Industrie anzutreffenden Durchschnittsverhältnissen. Für die Abbildung der Kfz-Instandhaltung wurde der in Anhang A-6 beschriebene, neu gebildete Sektor verwendet.

Tabelle 9-2: Bedeutung der Sektoren als Zulieferer für die Herstellung von konventionellen bzw. Brennstoffzellenantrieben

	Verbrennungsmotor	Brennstoffzelle
Kosten Antriebsstrang	3.740 DM	5.600 DM
Aufteilung auf Zuliefersektoren		
Straßenfahrzeugbau	64 %	8 %
Maschinenbau	5 %	9 %
Elektrotechnik	23 %	43 %
Chemie	6 %	29 %
Stahl-/Leichtmetallbau	1 %	0 %
Ziehereien etc.	1 %	11 %
Summe	100 %	100 %

Quelle: in Anlehnung an Wengel/Schirrmeister (2000)

9.2.1.3 Nachfrageimpulse

Die ökonomischen Impulse, die sich nach den oben genannten Annahmen ergeben, sind in Tabelle 9-3 zusammengefasst. Dabei wird nach Inlands- und Auslandsnachfrage unterschieden, da sowohl für Brennstoffzellenfahrzeuge als auch für konventionelle Fahrzeuge eine Exportquote von 50 % unterstellt wird. Im Inland ergibt sich insgesamt eine Mehrbelastung der Abnehmer von Brennstoffzellenfahrzeugen in Höhe von 369 Mio. DM, die somit für sonstigen Konsum nicht zur Verfügung stehen. Außerdem sind die entgangenen Staatseinnahmen und der entsprechende Rückgang der privaten Konsumausgaben aufgeführt.

Tabelle 9-3: Ökonomische Impulse durch Herstellung und Betrieb von Brennstoffzellenfahrzeugen

	Inlandsnachfrage	Auslandsnachfrage
Basisvariante		
Brennstoffzellenaggregate	1.400	1.400
konventionelle Antriebsaggregate	-935	-935
Kraftstoffbereitstellung	-2.267	
Wasserstoffbereitstellung	2.267	
Kfz-Instandhaltung	-96	
Saldo	369	465
Konsumrückgang im Inland	- 369	
Variante „Kompensation entgangener Staatseinnahmen“		
entgangene Staatseinnahmen	1.587	
Kompensation durch Konsumrückgang	-1.587	

Quelle: Eigene Berechnungen

9.2.2 Arbeitsplätze und sektorale Wirkungen

Die Einführung von Fahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb im Nachhaltigkeitsszenario ist insgesamt mit **leicht positiven Produktions- und Beschäftigungswirkungen** verbunden. Die Inlandsproduktion steigt netto um knapp 2,1 Mrd. DM, die Importe wachsen leicht um ca. 130 Mio. DM. Die Zahl der Erwerbstätigen steigt um rund 6.300. Diese Zahlen beziehen sich auf die Basisvariante ohne Berücksichtigung der entgangenen Einnahmen aus der Mineralölsteuer.

Von der Einführung der Brennstoffzellenfahrzeuge profitieren vor allem die Zulieferer für die Herstellung der Brennstoffzellenaggregate, insbesondere aus der elektrotechnischen sowie der chemischen Industrie, und der Sektor „Wasserstoffproduk-

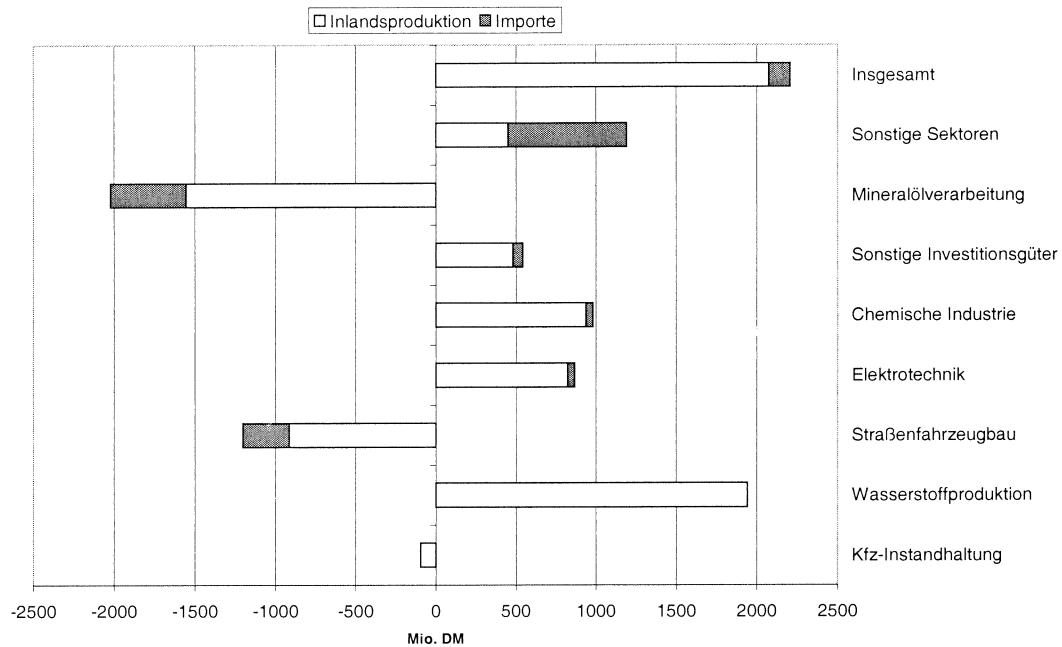
tion“ (vgl. Abbildung 9-4). Rückläufig sind hingegen Produktion und Importe im Straßenfahrzeugbau und im Sektor Mineralölverarbeitung auf Grund der abnehmenden Nachfrage nach Benzin- und Dieselmotorkraftstoffen. Der Nettoanstieg der Importe ist vor allem auf die Stromeinfuhren zur Wasserstoffherstellung zurückzuführen.

Zum Nettobeschäftigungszuwachs trägt die Wasserstoffherstellung ca. 45 % bei (vgl. Abbildung 9-5). Weitere Beschäftigungsgewinne können wiederum die Brennstoffzellen-Zulieferindustrien verbuchen. Beschäftigungsrückgänge hat vor allem die Automobilindustrie zu verzeichnen, die allerdings deutlich schwächer ausfallen als die Gewinne in den letztgenannten Sektoren. Relativ gering sind die Verluste im Reparatursektor und in der Mineralölverarbeitung. Hier fällt vor allem die Diskrepanz zwischen der Höhe der Zuwächse im Bereich der Wasserstoffherstellung und der im Vergleich dazu relativ geringen Höhe der Verluste bei der Herstellung konventioneller Kraftstoffe (Mineralölverarbeitung) auf. Dies ist zum einen mit dem hohen Importanteil bei Kraftstoffen zu erklären und zum anderen mit der – im Vergleich zur chemischen Industrie – deutlich geringeren Beschäftigungsintensität im Sektor Mineralölverarbeitung.

Tabelle 9-4 enthält die **Zuordnung der Produktions- und Beschäftigungseffekte zu den auslösenden Impulsen** sowie die Zerlegung des gesamten Beschäftigungseffekts in die drei ursächlichen Komponenten. Die ebenfalls enthaltene Zuordnung zu positiven und negativen Impulsen zeigt, dass vor allem der höhere Produktionsmultiplikator und die höhere Beschäftigungsintensität der an Bedeutung zunehmenden Sektoren für den insgesamt positiven Beschäftigungseffekt verantwortlich sind.

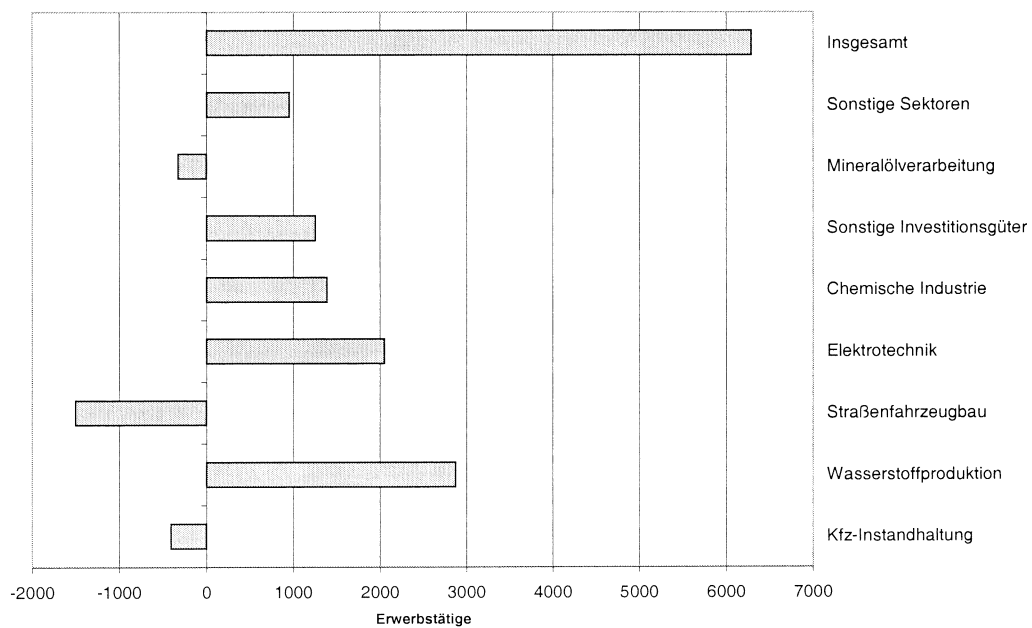
In Tabelle 9-4 sind auch die **Ergebnisse der Variantenrechnung** enthalten. Hierbei wurden die Wirkungen eines Konsumrückgangs in Höhe der entgangenen Staatseinnahmen aus der Mineralölsteuer ermittelt. Die Bilanz bei Inlandsproduktion, Importen und Beschäftigung kippt in diesem Fall ins Negative. Der Konsumrückgang hat den Verlust von rund 8.700 Arbeitsplätzen zur Folge, so dass unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Basisvariante ein Rückgang um gut 2.400 Arbeitsplätze resultiert. Die Inlandsproduktion sinkt um gut 260 Mio. DM, die Importe um rund 100 Mio. DM. Auf der anderen Seite würde sich die Beschäftigungsbilanz zum Positiven hin verändern, wenn man zusätzlich davon ausginge, dass sich es zu einer Erhöhung der Exporte von Brennstoffzellen und zu einer Verringerung der Stromimporte käme. Derartige Annahmen wären plausibel, wenn sich die Produktion von Brennstoffzellenantrieben in Deutschland als Lead-Market für Europa etablieren und ein Teil des zur Wasserstoffherstellung benötigten Stroms in Deutschland hergestellt werden könnte. Allerdings wurde keine Quantifizierung dieser Effekte vorgenommen.

Abbildung 9-4: Nettoproduktionswirkungen einer Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 9-5: Nettobeschäftigungswirkungen einer Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 9-4: Produktions-, Import- und Beschäftigungswirkungen einer Einführung von Fahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb

	Auslösende Nachfrageimpulse	Folgewirkungen			Spezifische Effekte			
		Inlandsproduktion	Importe	Erwerbstätige	Gesamteffekt	Produktionsmultiplikator	Importanteil	Beschäftigungstendenz
	Mio. DM	Mio. DM	Mio. DM	P	P/Mio. DM Impuls	Mio. DM/Mio. DM	Mio. DM/Mio. DM	P/Mio. DM
Konventionelles Antriebsaggregat	-1.870	-2.839	-710	-6.821	3,65	1,90	0,20	2,40
Brennstoffzellen-Aggregat	2.800	5.092	645	12.889	4,60	2,05	0,11	2,53
Kraftstoff	-2.267	-2.337	-919	-4.541	2,00	1,44	0,28	1,94
Instandhaltung	-96	-198	-16	-725	7,57	2,23	0,07	3,66
Wasserstoffbereitstellung	2.267	2.899	1.187	7.517	3,32	1,80	0,29	2,59
Saldo Impulse	834	2.618	188	8.319				
Rückgang privater Endnachfrage 1	-369	-545	-54	-2.026	5,49	1,62	0,09	3,72
Endnachfragerückgang im Ausland	-465							
Insgesamt	0	2.073	135	6.292				
Negative Impulse	-4.602	-5.918	-1.698	-14.114	3,07	1,65	0,22	2,38
Positive Impulse	5.067	7.992	1.833	20.406	4,03	1,94	0,19	2,55
Variante mit Berücksichtigung entgangener Staatseinnahmen aus Mineralölsteuer								
Entgangene Staatseinnahmen	1.587							
Rückgang private Endnachfrage 2	-1.587	-2.342	-1.226	-8.712	5,49	1,62	0,09	3,72
Insgesamt		-269	-95	-2.420				

Quelle: Eigene Berechnungen

9.2.3 Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen

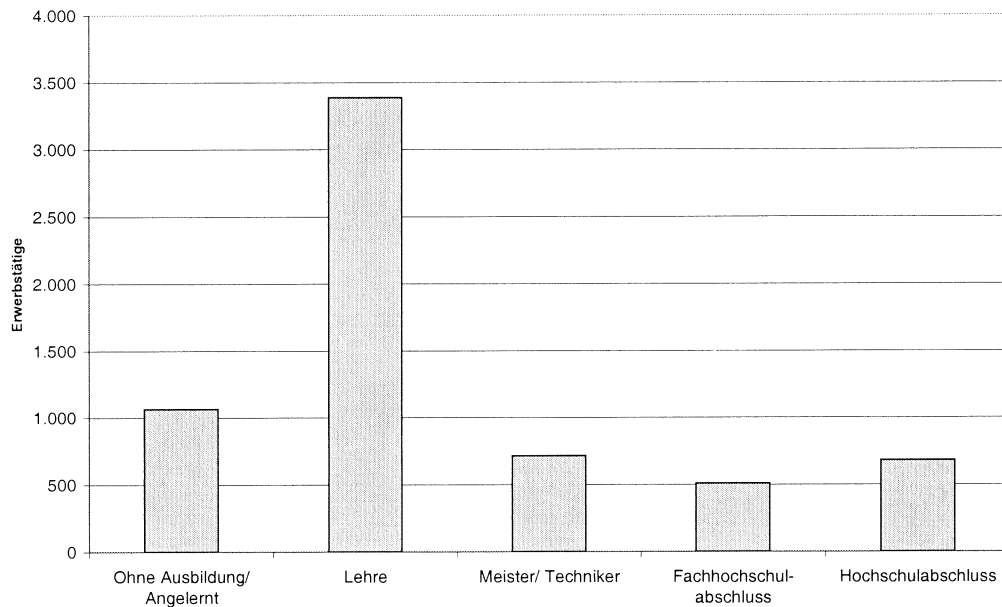
Die Einführung von Fahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb führt in der Basisvariante zu einer Erhöhung des Arbeitskräftebedarfs in allen **Qualifikationsstufen** (vgl. Abbildung 9-6). Der Vergleich der Qualifikationsanforderungen zwischen Gewinner- und Verlierersektoren zeigt eine deutlich höhere Bedeutung hochqualifizierter Erwerbstätiger in den Gewinnersektoren (vgl. Abbildung 9-7).

Hinsichtlich der **Tätigkeitsschwerpunkte** gibt es zwischen den Gewinner- und den Verlierersektoren keine großen strukturellen Unterschiede (Abbildung 9-8), was vermutlich auf die Ähnlichkeit der Aktivitäten, die sich substituieren, zurückzuführen ist. Im Gegensatz zu einigen anderen Fallbeispielen, bei denen eine Substitution zwischen eher industriell geprägten Tätigkeiten einerseits und eher dienstleistungsorientierten Tätigkeiten andererseits erfolgte, sind im vorliegenden Fallbeispiel überwiegend industriell geprägte Aktivitäten betroffen. Die Beschäftigungsgewinne, die in allen Tätigkeitsschwerpunkten zu verzeichnen sind, sind daher als reine Niveaueffekte zu interpretieren.

Hinsichtlich **Teilzeittätigkeit und Stellenbefristung** unterscheiden sich Gewinner- und Verlierersektoren strukturell ebenfalls nicht wesentlich (vgl. Abbildung 9-9). Die weit überwiegende Mehrzahl der zusätzlich geschaffenen Stellen sind Vollzeitstellen und mit unbefristetem Arbeitsvertrag verbunden. Allerdings ist der Anteil befristeter Arbeitsverträge in den Gewinnersektoren höher als in den Verlierersektoren.

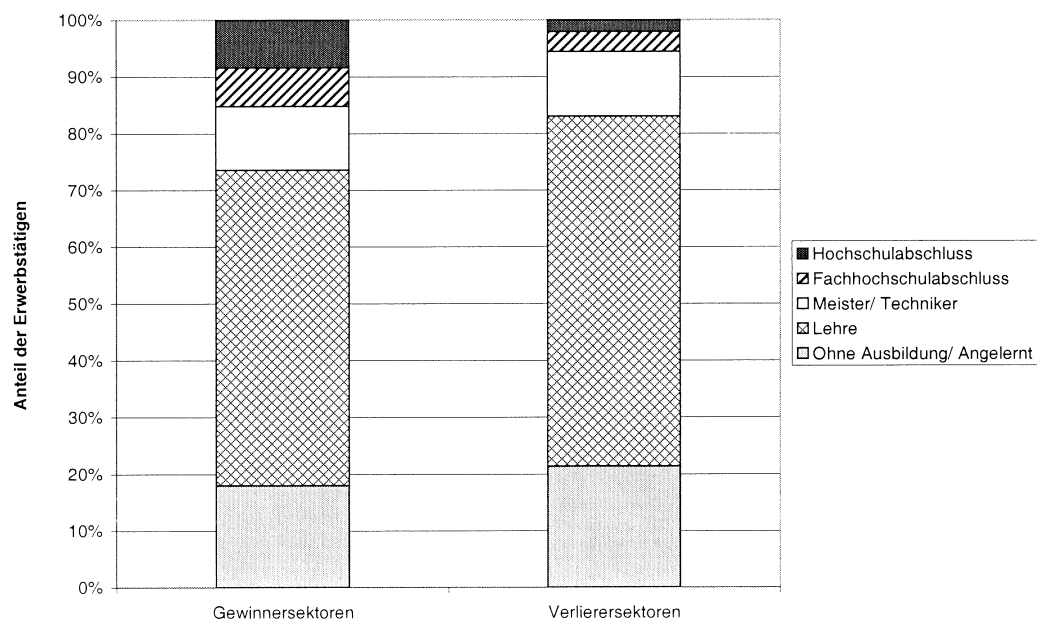
Im Durchschnitt ist die Tätigkeit in den Gewinnersektoren, und hier vor allem im Sektor „Wasserstoffproduktion“ und in der chemischen Industrie, in Bezug auf Wochenendarbeit und Nachtarbeit mit **höheren Flexibilisierungsanforderungen** verbunden als Tätigkeiten in Bereichen mit abnehmender Bedeutung (vgl. Abbildung 9-10). Der Anteil der Schichtarbeit liegt in den Gewinnersektoren jedoch unter dem in den Verlierersektoren.

Abbildung 9-6: Veränderungen der Qualifikationsanforderungen bei einer Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



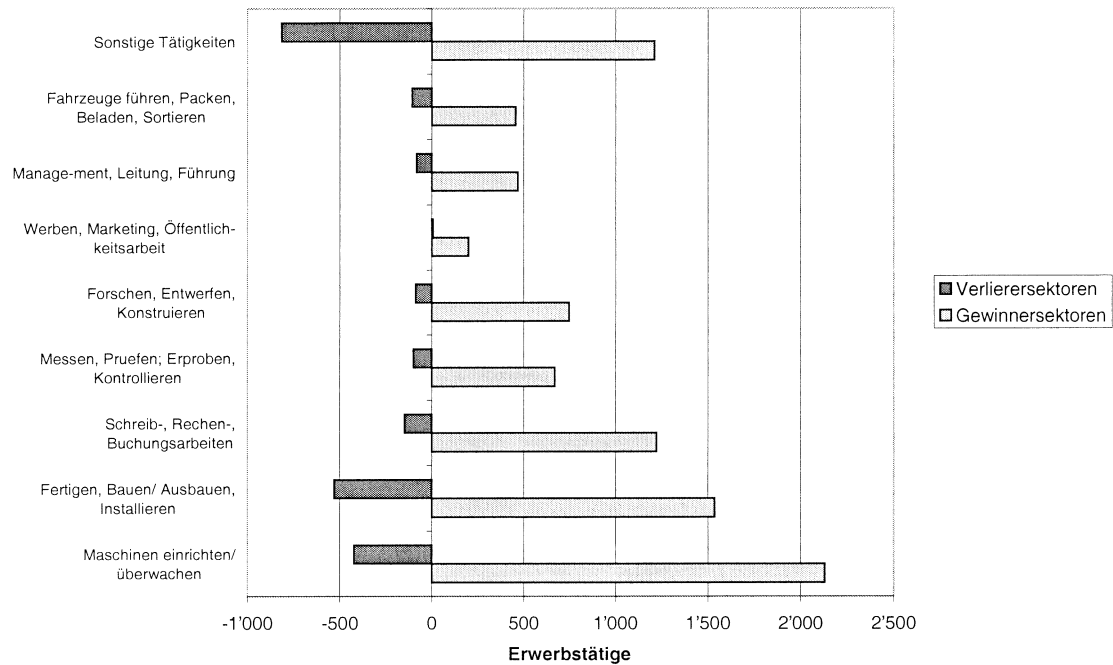
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 9-7: Qualifikationsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersectoren einer Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen



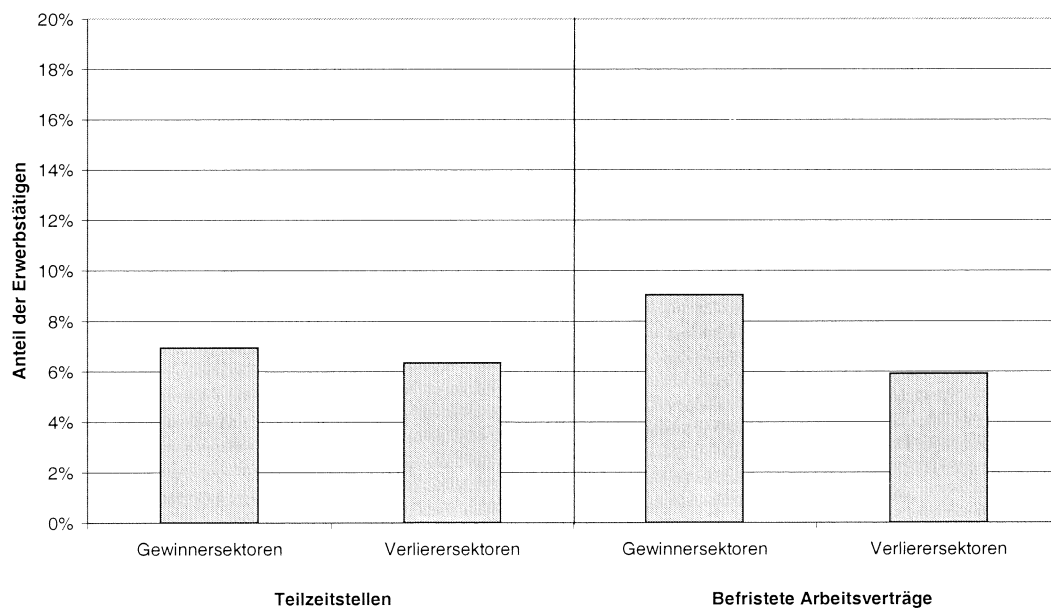
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 9-8: Auswirkungen einer Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen auf Tätigkeitsfelder (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



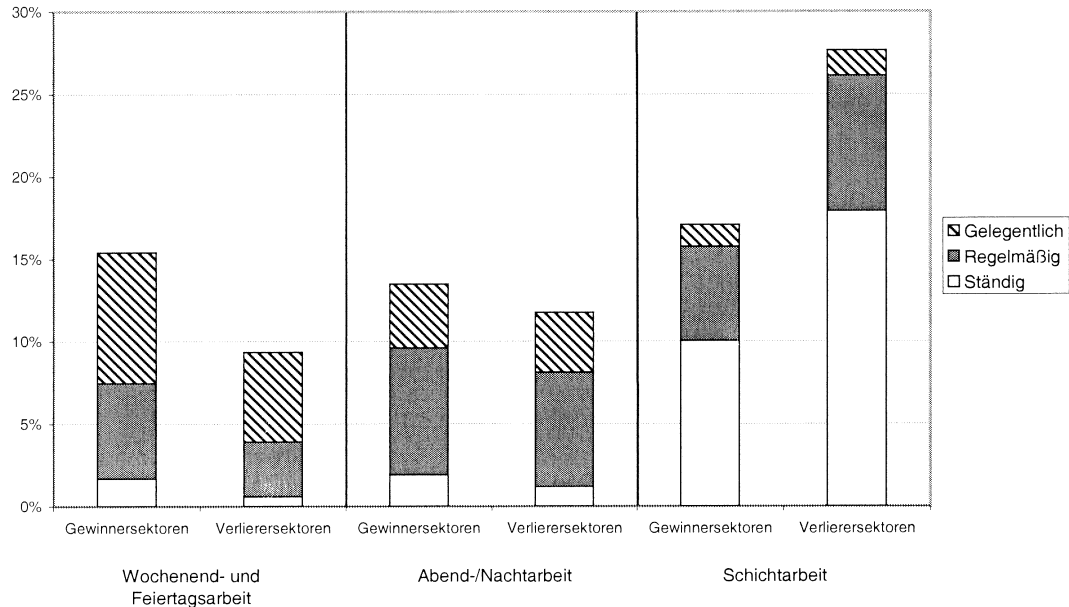
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 9-9: Teilzeitstellen und befristete Arbeitsverträge in den Gewinner- und Verlierersektoren einer Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 9-10: Flexibilisierungsanforderungen in den Gewinner- und Verlierersectoren einer Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen



Quelle: Eigene Berechnungen

9.2.4 Regionale Wirkungen

Zur Analyse der regionalen Auswirkungen werden zunächst Herfindahl-Hirschman Indices als Konzentrationsmaße für die Regionalverteilung sämtlicher Wirtschaftszweige berechnet (vgl. Abschnitt 4.3 sowie Anhang A.4). Diese werden über alle Wirtschaftszweige zu einem gesamtwirtschaftlichen Konzentrationsmaß aggregiert, wobei die Anteile der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in den einzelnen Wirtschaftszweigen als Gewichtungsfaktoren eingehen. Zur Bewertung der Auswirkung auf die Regionalverteilung werden die aggregierten Konzentrationsmaße von Nachhaltigkeits- und Referenzszenario, \bar{H}^R und \bar{H}^N , gebildet und deren Differenz $\Delta\bar{H} = \bar{H}^N - \bar{H}^R$ berechnet.

Die Abschätzung der regionalen Wirkungen steht vor der besonderen Schwierigkeit, dass noch nicht abzusehen ist, wo sich die zukünftigen Produktionsstätten für die Wasserstoffelektrolyse bzw. die Brennstoffzellenproduktion ansiedeln werden. Für die Wasserstoffproduktion wurde eine regionale Beschäftigungsverteilung auf die Arbeitsamtsbezirke entsprechend dem Durchschnitt aller Branchen, für den ebenfalls neu gebildeten Sektors Brennstoffzellenproduktion entsprechend der Regionalverteilung des Straßenfahrzeugbaus angenommen. Die Effekte der sektoralen Verschiebungen zwischen den Sektoren Brennstoffzelle und

Straßenfahrzeugbau neutralisieren sich daher gegenseitig, so dass die regionalen Strukturwirkungen entsprechend der getroffenen Annahmen gedämpft werden. Unter diesen Annahmen ergibt sich für dieses Fallbeispiel ein Wert von $\Delta\bar{H} = -0,757$ d. h. der im Fallbeispiel modellierte Einsatz der Brennstoffzelle bewirkt eine **Verringerung der regionalen Konzentration**.

Zur Veranschaulichung dieses Gesamteffekts werden die Herfindahl-Hirschman Indices derjenigen Wirtschaftszweige, die durch diese Strategie besonders starke Beschäftigungsgewinne aufweisen, mit den Indices derjenigen Wirtschaftszweige, die die höchsten Verluste erleiden, verglichen. Tabelle 9-5 enthält die entsprechenden Herfindahl-Hirschman Indices H für die infolge des Einsatzes der Brennstoffzelle im Antriebsbereich besonders betroffenen Wirtschaftszweige. Es zeigt sich, dass der Rückgang der gesamtwirtschaftlichen regionalen Konzentration insbesondere auf die hohe regionale Konzentration im Sektor Straßenfahrzeugbau zurückzuführen ist.

Tabelle 9-5: Herfindahl-Hirschman-Koeffizienten zur regionalen Konzentration für am stärksten betroffene Wirtschaftszweige im Fallbeispiel Brennstoffzelle

Wirtschaftszweige	Beschäftigung	H*
Wasserstoff-Elektrolyse	2.876	17,85
Elektrotechnische Erzeugnisse	1.971	19,17
Chemische Erzeugnisse, Spalt- u. Brutstoffe	1.327	19,49
Maschinenbauerzeugnisse	1.276	13,69
Dienstleistungen des Einzelhandels	-2.473	12,04
Straßenfahrzeuge	-1.656	40,47

Zum Vergl.: für eine Durchschnittsbranche nimmt das Konzentrationsmaß H den Wert 17,851 an.

Quelle: Eigene Berechnungen

Dass der im Fallbeispiel modellierte Einsatz der Brennstoffzelle als Antriebstechnik keine nennenswerten regionalen Einflüsse in Form von absoluten oder relativen Beschäftigungsänderungen hat, zeigt sich auch daran, dass den lediglich rund 2.350 neuen Arbeitsplätze nur etwa 4.000 Brutto-Arbeitsplatzwechsel entgegenstehen, so dass sich auch hieraus **kein Anpassungsdruck durch intraregionalen Strukturwandel** ergibt. Diese Erkenntnis wird durch die Auflistung der hauptsächlich betroffenen Arbeitsamtsbezirke in den Tabellen 9-6 und 9-7 verstärkt.

Tabelle 9-6: Arbeitsamtsbezirke mit den relativ höchsten Nettobeschäftigungsgewinnen und –verlusten im Fallbeispiel Brennstoffzelle

Arbeitsamtsbezirke mit höchsten prozentualen Verlusten	Relative Nettobeschäftigungsänderung*	Arbeitsamtsbezirke mit höchsten prozentualen Gewinnen	Relative Nettobeschäftigungsänderung*
Helmstedt	-0,10 %	Ludwigshafen	0,07 %
Ingolstadt	-0,05 %	Rottweil	0,05 %
Landshut	-0,05 %	Iserlohn	0,04 %
Emden	-0,05 %	Bergisch Gladbach	0,04 %
Landau	-0,04 %	Vill.-Schwenningen	0,03 %
Gelsenkirchen	-0,04 %	Hagen	0,02 %

* Relative Nettobeschäftigungsänderungen für einen Arbeitsamtsbezirk: Differenz der (sozialversicherungspflichtig) Beschäftigten zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario, bezogen auf die Gesamtzahl der im Referenzszenario Beschäftigten.

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 9-7: Arbeitsamtsbezirke mit dem relativ höchsten und niedrigsten Anpassungsdruck im Fallbeispiel Brennstoffzelle

Arbeitsamtsbezirke mit höchsten prozentualen Änderungen	Relative Brutto-Beschäftigungsänderung	Arbeitsamtsbezirke mit geringsten prozentualen Änderungen	Relative Brutto-Beschäftigungsänderung
Helmstedt	0,13 %	Berlin Mitte	0,05 %
Ludwigshafen	0,12 %	Halle	0,05 %
Landshut	0,11 %	Berlin Südwest	0,05 %
Ingolstadt	0,10 %	Stendal	0,05 %
Rastatt	0,10 %	Schwerin	0,05 %
Rottweil	0,10 %	Neubrandenburg	0,05 %

* Relative Bruttobeschäftigungsänderungen für einen Arbeitsamtsbezirk: Summe der absoluten Beschäftigungsänderungen im Nachhaltigkeits- gegenüber dem Referenzszenario, bezogen auf die Gesamtzahl der im Referenzszenario Beschäftigten.

Quelle: Eigene Berechnungen

Die einzigen nennenswert betroffenen Arbeitsamtsbezirke sind Helmstedt und Ludwigshafen, die einen vergleichsweise hohen Beschäftigungsanteil am abnehmenden Sektor Straßenfahrzeugbau bzw. am zunehmenden Sektor chemische Erzeugnisse aufweisen. Auf Grund der ansonsten sehr geringen Auswirkungen wird von einer tieferen Analyse abgesehen.

Es sei jedoch noch einmal darauf hingewiesen, dass diese geringen regionalen Effekte nicht nur die Folge eines relativ schwachen Impulses sind, sondern sich auch

auf Grund der eingangs aufgeführten Annahmen bezüglich der Regionalverteilung der Brennstoffzellenproduktion und der Wasserstoffproduktion ergeben. Unter anderen Annahmen könnten einzelne Bezirke stärker betroffen sein, als dies in den Tabellen zum Ausdruck kommt.

9.2.5 Umweltauswirkungen

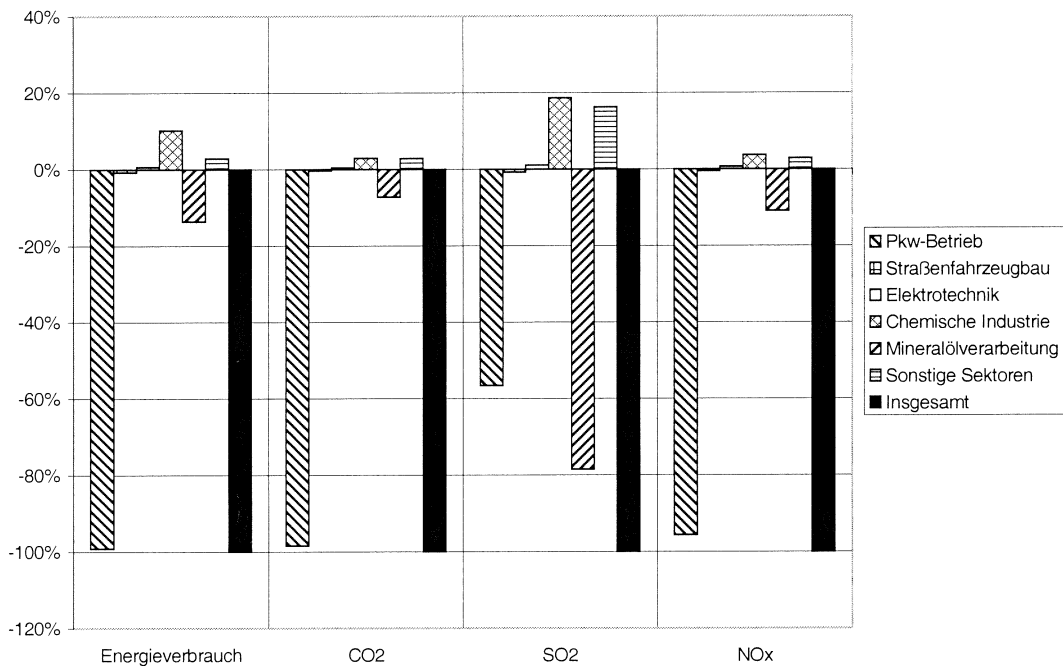
Durch die Einführung von Fahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb, wie im Nachhaltigkeitsszenario skizziert, sind **hohe Entlastungen bei Energieverbrauch und Luftemissionen** zu realisieren. Der jährliche Energieverbrauch reduziert sich z. B. um gut 60 PJ, die CO₂-Emissionen sinken um über 4,4 Mio. t (vgl. Tabelle 9-8). Maßgeblich trägt dazu der vermiedene Betrieb von Pkw mit konventionellen Verbrennungsmotoren bei (vgl. Abbildung 9-11). Dem sinkenden Energieverbrauch steht ein Verbrauch von regenerativ und weitgehend emissionsfrei erzeugtem importiertem Strom in Höhe von gut 27 PJ im Nachhaltigkeitsfall gegenüber. Bei den Abwasser- und Abfallmengen ergeben sich leichte Steigerungen, die vor allem auf die Chemische Industrie zurückzuführen sind (vgl. Abbildung 9-12). Umweltentlastend wirkt sich hier vor allem der Rückgang der Produktion von Benzin- und Dieselkraftstoffen aus.

Tabelle 9-8: Veränderung der Umweltbelastung in Deutschland bei Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen

Umweltindikator	Menge	Einheit
Energieverbrauch	-60.290	TJ
CO₂	-4.443	kt
SO₂	-1.892	t
NO_x	-4.278	t
CO	-42.621	t
NMVOC	-6.056	t
Abwasser ohne Kühlwasser	2.790	1000 m ³
Abfall zur Beseitigung	26.489	t
Sonderabfall zur Beseitigung	9.430	t

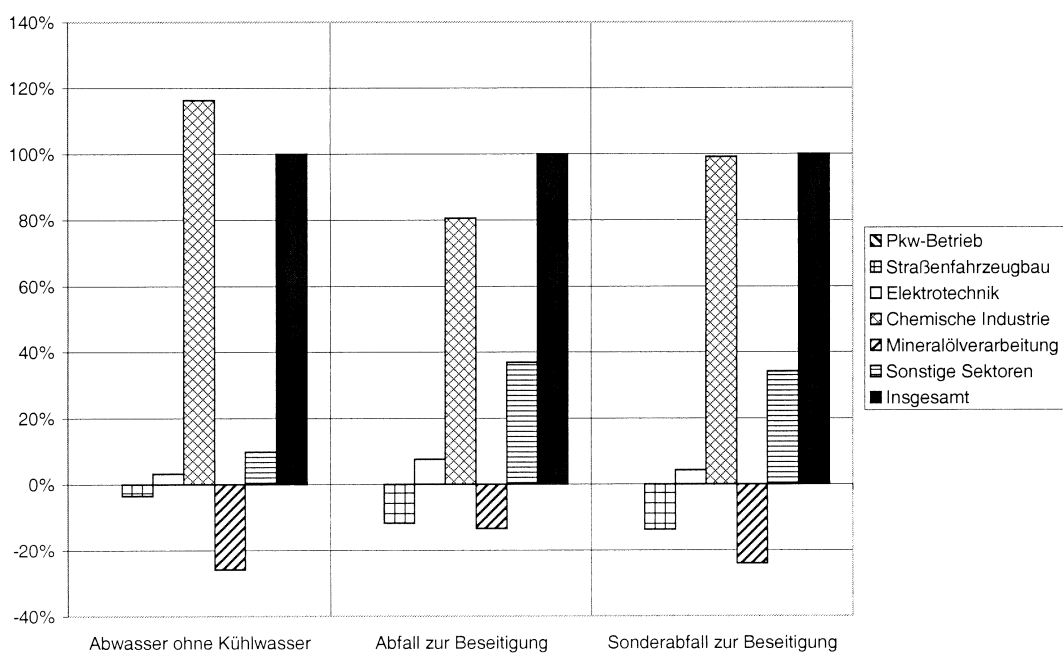
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 9-11: Veränderung der Umweltbelastung in einzelnen Sektoren im Verhältnis zur gesamten Umweltentlastung bei Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen – Energieverbrauch und Luft-emissionen



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 9-12: Veränderung der Umweltbelastung in einzelnen Sektoren im Verhältnis zur gesamten Umweltentlastung bei Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen – Abwassermengen und Abfälle



Quelle: Eigene Berechnungen

9.3 Auswirkungen auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen

Analog zum herkömmlichen Antriebsstrang ist auch beim Brennstoffzellenantrieb von einer Großserienfertigung durch die Automobilhersteller auszugehen. Veränderungen der betrieblichen Arbeitsstrukturen ergeben sich daher überwiegend bei den Zulieferern. Aufwendige und komplexe Fertigungsverfahren des heutigen Antriebsstrangs, die eine vielstufige, überwiegend mittelständische, eng verflochtene Zulieferstruktur begünstigt haben, werden voraussichtlich an Bedeutung verlieren. Werkstoffanforderungen, die sich durch die hohen Temperaturen im Motor ergeben, werden entfallen bzw. durch andere chemische Anforderungen ersetzt werden. Die Zulieferstruktur vieler mittelständischer Unternehmen des heutigen Antriebsstrangs mit Verbrennungsmotor wird sich daher voraussichtlich zu einem höheren Wertschöpfungsanteil weniger Großunternehmen verschieben (Wengel/Schirrmeister 2000).

Während der Maschinenbau als Zulieferer der Fahrzeughersteller an Bedeutung verliert, steigt die Bedeutung der Elektrotechnik und der chemischen Industrie als Zulieferer an. Die durchschnittliche Betriebsgröße dieser Branchen liegt wesentlich höher als beim herkömmlichen Automobilzulieferer, und es wird ein leichter Anstieg des Lohnniveaus angenommen, während sich kaum Veränderungen bei der Arbeitszeit ergeben.

Durch die Reduzierung der Komponentenzahl und die technologischen Voraussetzungen der neuen Komponenten können eventuell Produktivitätssteigerungen im Vergleich zur heutigen Fahrzeugindustrie erzielt werden.

10 Zusammenfassung der empirischen Ergebnisse und Implikationen

In Kapitel 3 wurden – basierend auf den unterschiedlichen Wirkungsmechanismen – Hypothesen zu den Wirkungen verschiedener Umweltschutzstrategien entwickelt. Neben End-of-pipe-Technologien und umweltfreundlichen Produktionsverfahren wurden hierbei auch Recyclingstrategien und umweltfreundliche Produktionskonzepte unterschieden. Da insbesondere bei der Analyse der Auswirkungen von Recyclingstrategien und neuen Produktionskonzepten erheblicher Forschungsbedarf besteht, wurde die empirische Analyse auf diese Umweltschutzstrategien konzentriert. Aufbauend auf einer detaillierten Analyse der Fallstudien auf der Mikroebene wurden **fünf Fallbeispiele** (Nachhaltige Produktion und Nutzung von Papier, Kunststoffrecycling, Lebensdauerverlängerung von Pkw, Nutzungsintensivierung durch Car-Sharing sowie mobiler Einsatz von Brennstoffzellen) mit dem integrierten Modell ISIS unter einheitlichen Rahmenbedingungen und Annahmen sowie unter Berücksichtigung der gleichen Wirkungsmechanismen analysiert. Untersucht wurden Beschäftigungseffekte, sektorale und regionale Strukturwirkungen, die Auswirkungen auf die Arbeitsstrukturen und die erreichbaren Umweltentlastungen. Die empirischen Ergebnisse werden im Folgenden zusammengefasst und hinsichtlich der Aussagekraft der Hypothesen ausgewertet. Darüber hinaus werden die Implikationen, die sich bezüglich der zukünftigen Entwicklungsverläufe und des politischen Handlungsbedarfs ergeben, herausgearbeitet.

10.1 Zusammenfassung und Auswertung der Fallbeispiele

Beschäftigungswirkungen und sektoraler Strukturwandel

In der Gesamttendenz ergeben sich bei allen untersuchten Fallbeispielen **positive Beschäftigungswirkungen**. Allerdings lassen sich zwischen den einzelnen Fallbeispielen doch unterschiedliche Effekte ausmachen, wobei ein Vergleich der absoluten Beschäftigungseffekte auf Grund der unterschiedlichen Eingriffsintensitäten nur bedingt möglich ist:

- Der Nettozuwachs im Fallbeispiel **Papier** beträgt gut 27.000 Arbeitsplätze. Dies ist vorrangig auf eine Zunahme in den Multimedia- und EDV-verwandten Bereichen zurückzuführen, während in der Papierindustrie und im traditionellen Druckgewerbe ein deutlicher Rückgang der Arbeitsplätze auftritt. Allerdings ist auch denkbar, dass ein Teil der neuen Arbeitsplätze in einem sich in Richtung Mediendienstleister hin entwickelnden Druckgewerbe realisiert werden.

- Mit einem Zuwachs von gut 2.500 Arbeitsplätzen sind die Nettoeffekte beim **Kunststoffrecycling** vergleichsweise gering. Abnahmen ergeben sich bei der Kunststoffherstellung und der vorgelagerten Grundstoffindustrie, Zunahmen vor allem bei der Sammlung, Sortierung und Aufbereitung von Kunststoffen. Hierbei verdeutlicht eine Sensitivitätsanalyse, dass vor allem die starke Automatisierung im Sortierbereich für den vergleichsweise geringen Nettoeffekt verantwortlich ist, da sich die Arbeitsintensitäten zwischen Kunststoffherstellung und Recycling/Sortierung insgesamt annähern. Eine weitere Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die Beschäftigungszuwächse infolge von zusätzlichen Investitionen in den Branchen mit Produktionssteigerungen nur geringfügig über den Beschäftigungsverlusten liegen, die aus vermiedenen Investitionen in den Branchen mit Produktionsrückgängen resultieren.
- Die angenommene **Lebensdauerverlängerung von Pkw** führt im Saldo zu einem Zuwachs der Beschäftigung von etwa 13.000 Personen. Hierbei kommt es zu erheblichen sektoralen Verschiebungen: Einem Zuwachs von ca. 60.000 Arbeitsplätzen in der Kfz-Reparatur steht ein Verlust in der Kfz-Produktion von gut 50.000 Arbeitsplätzen gegenüber. Hierbei überlagern sich zwei Effekte: Einerseits weist der Reparatursektor eine deutlich höhere Arbeitsintensität auf als der Fahrzeugbau, andererseits ist Deutschland Nettoexporteur von Fahrzeugen. Daher liegen die erhöhten Instandhaltungsaufwendungen, die zur Lebensdauerverlängerung von deutschen Fahrzeugexporten im Ausland aufgewandt werden, über den Instandhaltungsaufwendungen, die in Deutschland zur Lebensdauerverlängerung von aus dem Ausland exportierten Fahrzeugen anfallen. Blendet man letzteren Effekt analytisch aus, ergeben sich mit einem Zuwachs von 39.000 Arbeitsplätzen deutlich höhere Beschäftigungseffekte. Ähnliches gilt, wenn man einen First-mover-advantage annimmt. Geht man von einer Steigerung der deutschen Automobilnettoexporte um 10 % aus, erhöhen sich die Beschäftigungszuwächse auf 47.000 Arbeitsplätze. In einer dritten Sensitivitätsanalyse wurde untersucht, welchen Einfluss eine Annäherung des Reparatursektors an industrielle Produktionsweisen hätte. Auf Grund dieser Annahme fällt die Arbeitsintensität im Reparatursektor geringer aus, und es kommt im Saldo zu einem Rückgang der Beschäftigung von über 2.500 Personen.
- Durch die angenommene stärkere Verbreitung des **Car-Sharing** werden insgesamt etwa 16.000 zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen. Hierbei kommt es zu einer Abnahme der Arbeitsplätze nicht nur in der Fahrzeugherstellung, sondern auch in Dienstleistungsbereichen wie Handel, Versicherungen und Tankstellen, die eng mit Haltung und Betrieb von Fahrzeugen verbunden sind. Der Zuwachs fällt im Öffentlichen Personenverkehrssektor noch stärker aus als im Car-Sharing-Sektor. Hintergrund dieser Entwicklung ist die sehr hohe Arbeitsintensität des Öffentlichen Personenverkehrs, die trotz deutlicher Produktivitätssteigerungen noch über derjenigen in den übrigen Dienstleistungsbereichen liegt.
- Der Einsatz der **Brennstoffzelle** würde unter den angenommenen Bedingungen im Saldo zu einer Steigerung der Beschäftigung um ca. 6.300 Personen führen.

Auf Grund der Veränderungen im Antriebsstrang verliert der traditionelle Fahrzeugbau geringfügig an Arbeitsplätzen, während die mit der Brennstoffzelle verbundenen Produktionsbereiche leicht zulegen. Des weiteren kommt es zum Zuwachs von Arbeitsplätzen in dem neu zu schaffenden Sektor der Wasserstoffbereitstellung. Diese positiven Arbeitsplatzeffekte sind aber insoweit zu relativieren, als sie die Wirkungen des verminderten Mineralölsteueraufkommens vernachlässigen. In einer Sensitivitätsanalyse wurde daher davon ausgegangen, dass es als Kompensation zum reduzierten Mineralölsteueraufkommen zu Steuererhöhungen kommt, die im Ergebnis die Konsumausgaben der Haushalte in Höhe des verminderten Mineralölsteueraufkommens reduzieren, wobei von einer vollständigen Überwälzung der Steuererhöhung auf die Konsumausgaben ausgegangen wurde. Dieser Nachfrageentzug führt zum Verlust von ca. 9.000 Arbeitsplätzen, so dass sich im Saldo dieser Sensitivitätsanalyse eine leichte Reduktion der Arbeitsplätze um ca. 2.500 ergibt.

Zur Auswertung der Effekte und zum Vergleich zwischen den einzelnen Fallbeispielen wurden die gesamten Beschäftigungswirkungen jeweils den auslösenden ökonomischen Impulsen, d. h. also den Nachfrageverschiebungen zugeordnet. Gleichzeitig wurden die Gesamtbeschäftigungseffekte in drei getrennt interpretierbare Komponenten, den Produktionsmultiplikator, den Importanteil sowie die durchschnittliche Beschäftigungsintensität zerlegt. Auf Grund dieser **Komponentenzerlegung** lassen sich folgende Interpretationen der Beschäftigungsergebnisse entwickeln:

- In den Fallbeispielen Papier, Lebensdauerverlängerung von Pkw und Car-Sharing weisen die Produktionsbereiche, die auf Grund der positiven Impulse zunehmen, in der Summe einen durchweg geringeren Importanteil und eine höhere Beschäftigungsintensität auf als die schrumpfenden Bereiche. Im Ergebnis führt dies dazu, dass es – entsprechend den aufgestellten Hypothesen – in allen drei Fallbeispielen zu einer deutlichen Zunahme der Arbeitsplätze kommt. Eine Interpretation dieses Musters kann darin gesehen werden, dass in diesen Fallbeispielen eine Dematerialisierung stattfindet, bei der materielle Produktion durch stärker dienstleistungsähnliche Tätigkeiten substituiert wird, die sowohl arbeitsintensiver als auch stärker inlandsbasiert sind.
- Das Kunststoffrecycling weist zwar bezüglich Importanteilen und Arbeitsintensität ein ähnliches Muster wie die drei oben genannten Fallbeispiele auf. Im Unterschied hierzu weisen die abnehmenden Produktionsbereiche aber einen höheren Produktionsmultiplikator auf als die zunehmenden. Damit werden die einen Beschäftigungszuwachs bewirkenden Effekte der steigenden Arbeitsintensität und abnehmenden Importanteile weitgehend kompensiert, so dass die Hypothese einer steigenden Beschäftigung nur zum Teil bestätigt wird.
- Ein deutlich anderes Muster weist das Beispiel der Brennstoffzelle auf. Hier wird eine industriell gefertigte Antriebstechnik durch eine andere ersetzt, so dass die Unterschiede in der Beschäftigungsintensität und den Importanteilen der durch

die Impulse ausgelösten Produktion vergleichsweise gering ausfallen. Allerdings lässt sich gerade bei diesem Beispiel aufzeigen, dass - entsprechend den aufgestellten Hypothesen - der Position im internationalen Qualitätswettbewerb ein erheblicher Stellenwert bei der Bestimmung der Beschäftigungswirkungen zukommt.

Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen

Die Auswirkungen der Umweltschutzstrategien auf die Qualifikationsanforderungen und die Arbeitsbedingungen wurden zum Einen auf der **Mikroebene**, zum Anderen in **mesoökonomischen Szenarienanalysen** untersucht.

Ziel der Analyse auf **Mikroebene** war es, die **direkten Effekte** auf die betrieblichen Arbeitsstrukturen in den **Anwenderunternehmen** zu untersuchen, die von Umweltschutzstrategien ausgehen. Für die Durchführung der Analysen wurden Unternehmen insbesondere im Hinblick auf offene, durch bestehende Statistiken nicht abklärbare Fragestellungen ausgewählt und in Interviews befragt. Analysiert wurden ein Printing-on-demand-Unternehmen, zwei gegenwärtig typische sowie eine stärker automatisierte Kunststoffsortieranlage, eine Car-Sharing Organisation und eine größere Reparaturwerkstätte moderneren Typs. Zusätzlich wurden aus laufenden ISI-Projekten Erkenntnisse aus weiteren Fallstudien sekundäranalytisch herangezogen.

Die betrieblichen Arbeitsstrukturen wurden hinsichtlich mehrerer Dimensionen untersucht. Von Interesse waren einmal die Rationalisierungseffekte, die sich mit dem Einführen der Umweltschutzstrategien ergeben. Im Ergebnis zeigt sich, dass in allen Fallbeispielen von einer Verstärkung der Rationalisierung ausgegangen werden kann. Besonders ausgeprägt ist dies beim Kunststoffrecycling zu erkennen. Hier ist abzusehen, dass beim Übergang zu verbesserten Sortieranlagen gleichzeitig erhebliche Automatisierungseffekte hervorgerufen werden. Ein verstärktes Car-Sharing wird die Tendenzen zur Professionalisierung der Car-Sharing Organisationen, die bisher eher wie (alternative) Umweltorganisationen strukturiert sind, verstärken. Gleichzeitig dürfte die mit einer Lebensdauerverlängerung einhergehende Intensivierung der Instandhaltung und der Einsatz von mehr überwachender Elektronik den Trend zu größeren Reparaturwerkstätten begünstigen, die eine höhere Arbeitsproduktivität aufweisen.

Die Qualifikationsstruktur wurde ebenfalls in der Analyse der Arbeitsstrukturen im Detail untersucht. Zusätzlich wurden notwendig gewordene Qualifikationen der Arbeitnehmer zur Erfüllung der Anforderungen der jeweiligen Umweltschutzstrategie erfasst. Hierbei ergibt sich kein einheitliches Bild: Bei den Sortieranlagen sind gegenwärtig die Qualifikationsanforderungen gering. Hier dürfte sich allerdings in Zukunft mit zunehmender Automatisierung ein steigendes Qualifikationsniveau ergeben. Dies kommt ausschließlich durch den Wegfall der geringen Qualifikationen

erfordernden Tätigkeiten zu Stande. Damit lassen sich Tendenzen ausmachen, die im Einklang mit der Hypothese einer Polarisierung der Qualifikationen stehen. Keine eindeutige Bestätigung, allerdings auch keine Widerlegung der Hypothesen ergibt sich bezüglich der Thesen zu den Auswirkungen umweltfreundlicher Produktkonzeptionen. Beim Printing-on-demand ist eine Tendenz zu geringeren Qualifikationen als beim herkömmlichen Druck auszumachen, was im Gegensatz zur These zunehmender handwerklicher Qualifikationsanforderungen steht. Im Kfz-Reparatursektor dürften die Qualifikationsanforderungen, die heute insbesondere die Beschäftigung von Facharbeitern und Meistern erfordert, auch bei zunehmendem Einsatz von produktbegleitenden Informationssystemen in etwa konstant bleiben – auch wenn sich Verschiebungen im Anforderungsprofil hin zu elektronischen Kenntnissen ergeben. Für die Car-Sharing Organisationen ist von einer zunehmenden Professionalisierung auszugehen, wobei – entsprechend der aufgestellten Hypothese – insbesondere kaufmännische Kenntnisse eine hohe Bedeutung erhalten. Im Unterschied zum heute beobachtbaren Ausgangszustand dürfte der Anteil von Beschäftigten mit Hochschulabschluss allerdings eher abnehmen.

Bei den Arbeits- und Einsatzzeiten ist im Einklang mit den aufgestellten Thesen insgesamt eine gewisse Tendenz zu Ausweitung und Flexibilisierung zu erkennen. So dürfte sich bei den automatisierten Kunststoffsortieranlagen die Tendenz hin zum Dreischichtbetrieb noch verstärken. Die Tendenz hin zu größeren Reparaturwerkstätten führt zu einer größeren Verbreitung von – im Reparatursektor bisher wenig üblicher – Schichtarbeit bzw. zu Rund-um-die-Uhr-Rufbereitschaften etc. Beim Car-Sharing ist davon auszugehen, dass sich durch den Einsatz produktbegleitender Informationssysteme und die Nutzung des Internet flexiblere Arbeitszeiten einstellen, die jedoch nicht mit einer Arbeitszeitausweitung einhergehen. Lediglich bei der Einführung des Printing-on-demand sind kaum Verschiebungen in den Flexibilitätsanforderungen gegenüber dem herkömmlichen Druckprozess zu erwarten.

Für die **Szenarienanalysen zu den Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen** wurde ein zusätzliches Modul des ISIS-Modells erstellt, das auf den Daten des Mikrozensus beruht. Im Unterschied zu den betrieblichen Analysen wurden in der Szenarienanalysen nicht nur die Wirkungen in den Branchen, in denen die Umweltstrategie durchgeführt wird, analysiert, sondern auch die **indirekten Effekte** einbezogen, die sich in allen anderen positiv oder negativ betroffenen Sektoren für die **Gesamtwirtschaft** ergeben. Die in Tabelle 10-1 aufgeführten Effekte stellen damit Nettowirkungen dar.

Bezüglich der Qualifikationsanforderungen ergibt sich kein einheitliches Bild. Während bei der Papiernutzung vor allem in Folge des Einsatzes von EDV-Fachkräften die Qualifikationsanforderungen zunehmen, vermindern sie sich beim Kunststoffrecycling und der Lebensdauerverlängerung. Bei der Analyse der Tätigkeitsfelder fällt auf, dass sich – mit Ausnahme des fünften Fallbeispiels Brennstoff-

zelle – die industriell geprägten Tätigkeiten vermindern. Dies ist Ausdruck der Dematerialisierung in den ersten vier Fallbeispielen. Sie führt beim Fallbeispiel Papier auch dazu, dass die handels- und transportbedingten Tätigkeiten abnehmen. Letztere Tendenz ist beim Kunststoffrecycling und beim Car-Sharing nicht zu beobachten, weil es hier jeweils zu Kompensationen direkt im Verkehrsbereich kommt (Sammlung von Kunststoffabfällen bzw. Zunahme des ÖPV). Bezüglich der Arbeitszeiten ist tendenziell eine Zunahme der Wochenendarbeit zu konstatieren. Bezüglich der Schichtarbeit stellt sich kein eindeutiges Ergebnis ein. Festzuhalten ist, dass sich mit der Dematerialisierung die für Dienstleistungsbereiche typischen Flexibilitätsanforderungen (ständige Bereitschaft) stärker durchzusetzen scheinen.

Tabelle 10-1: Veränderungen von Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen im Nachhaltigkeitsszenario gegenüber dem Referenzszenario

	Qualifikationsanforderungen	Tätigkeitsfelder	Arbeitszeiten
Nachhaltige Papierproduktion und -nutzung	Zunahme hohes Qualifikationsniveau	Abnahme von industriell geprägten sowie handels- und transportbedingten Tätigkeiten	Wochenendarbeit nimmt zu, Schichtarbeit ab
Kunststoffrecycling	Zunahme niedriges Qualifikationsniveau	Abnahme industriell geprägter Tätigkeiten	Zunahme Wochenend- und Schichtarbeit
Pkw-Lebensdauerverlängerung	Zunahme unteres und mittleres Qualifikationsniveau	Abnahme industriell geprägter Tätigkeiten	Wochenendarbeit nimmt leicht zu, Schichtarbeit ab
Car-Sharing	Kaum Verschiebungen zwischen Qualifikationsniveaus	Zunahme von Verwaltungstätigkeiten sowie Fahrzeuge führen	Wochenend-, Nacht- und Schichtarbeit nehmen zu
Einsatz Brennstoffzelle	Geringe Zunahme hohes Qualifikationsniveau	Zunahme von industriell geprägten und FuE-Tätigkeiten	Wochenendarbeit nimmt leicht ab, Schichtarbeit leicht zu

Insgesamt werden durch diese Ergebnisse die **Hypothesen** bezüglich der Veränderungen des Qualifikationsniveaus **bestätigt**. Einerseits kommt es beim Recycling zu einer Tendenz zu geringeren Qualifikationsanforderungen, andererseits verdeutlichen die unterschiedlichen Ergebnisse bei den umweltfreundlichen Produktkonzepten die Notwendigkeit einer fallspezifischen Untersuchung. Zu fragen ist auch, wie sich diese Ergebnisse mit dem für Deutschland ausgemachten Trend einer allgemeinen Höherqualifizierung vertragen (vgl. Legler et al. 2000). Insbesondere im Hinblick auf die Ergebnisse des Recyclings besteht hier ein Klärungsbedarf. Der Widerspruch lässt sich auflösen, wenn man die Gesamtwirkung in die direkten und indirekten, durch sektorale Verschiebungen hervorgerufenen Änderungen differenziert. So ist auch – im Einklang mit dem allgemeinen Trend – in der Kunststoffrecyclingbranche selbst eine gewisse Höherqualifizierung zu erwarten, die aus der Rationalisierung von gering qualifizierten Arbeitsplätzen resultiert. Allerdings

kommt es zusätzlich zu sektoralen Verschiebungen, die in ihrer Summe die weniger qualifizierten Sektoren begünstigen und die Effekte einer Höherqualifizierung im Recyclingsektor überkompensieren.

Regionale Wirkungen

In der Analyse der regionalen Auswirkungen wurde untersucht, ob sich die ausgelösten Gesamtwirkungen gleichmäßig auf die einzelnen Regionen verteilen, oder ob sich einzelne Teilräume identifizieren lassen, die durch die Nachhaltigkeitsstrategien besonders – positiv oder negativ – betroffen sind. Ausgangspunkt waren die sich aus den Rechnungen des ISIS-Modells ergebenden Beschäftigungseffekte für die einzelnen Wirtschaftszweige. Sie wurden mit den Daten einer im Rahmen des Projekts veranlassten Zusammenstellung der Bundesanstalt für Arbeit (BA) gekoppelt. Damit konnten die Auswirkungen für jeden der 181 Arbeitsamtsbezirke Deutschlands aufgezeigt und die am stärksten betroffenen Bezirke identifiziert werden.

Unter anderem wurde untersucht, welche Auswirkungen die jeweiligen Umweltschutzstrategien auf die regionale Konzentration der Wirtschaftszweige in Deutschland haben. Dazu wurden Herfindahl-Hirschman Indices als Maße für die regionale Konzentration der einzelnen Wirtschaftszweige berechnet und zu einem gesamtwirtschaftlichen Indikator aggregiert.

Auch wenn ein Vergleich der Strategien auf Grund der unterschiedlich starken Eingriffsintensitäten in den einzelnen Nachhaltigkeitsszenarien nur bedingt möglich ist, zeigt sich, dass die regionale Konzentration abnimmt. Insgesamt unterstützen damit die Fallbeispiele die These, dass bei den Recyclingstrategien und umweltfreundlichen Produktkonzeptionen die Tendenzen überwiegen, die auf eine gleichmäßige Regionalverteilung der hierdurch induzierten Wirtschaftsaktivitäten hindeuten. Dies bedeutet zugleich, dass sich in der Tendenz die durch die Nachhaltigkeitsszenarien induzierte Beschäftigung relativ gleichmäßig auf die einzelnen Arbeitsamtsbezirke verteilt, während die Beschäftigungsrückgänge stärker konzentriert sind. Im Saldo führt dies dazu, dass es zwar sehr viele Arbeitsamtsbezirke gibt, die einen geringen Beschäftigungszuwachs erleben, auf der anderen Seite aber einige Arbeitsamtsbezirke – selbst bei bundesweit positiven Gesamtbeschäftigungseffekten – eine deutliche Reduktion der Beschäftigung hinnehmen müssen.

Umweltwirkungen

Den ökonomischen Wirkungen wurde eine grobe Abschätzung der Umweltentlastungen gegenübergestellt. Hierzu wurde das Input-Output-Modell um sektorspezifische Umweltbelastungsgrößen ergänzt. Um mögliche Verzerrungen in den Ab-

schätzungen zu reduzieren, wurden zudem die direkten und bedeutsamen Umweltbelastungen aus bottom-up Berechnungen bzw. bestehenden Ökobilanzergebnissen herangezogen und in die Modellergebnisse integriert. Auf Grund der Geschlossenheit des Modells und der Berücksichtigung aller zur Deckung der Endnachfrage notwendigen Vorproduktionen werden die ausgewiesenen Umweltbelastungen in besonderer Weise dem Gedanken eines Life-Cycle-Assessment auf aggregierter Branchenebene gerecht. Gleichzeitig ist gewährleistet, dass für die Abschätzung der Umweltwirkungen diesselben Grundannahmen herangezogen werden wie für die ökonomischen Analysen.

Die sich in den Nachhaltigkeitsszenarien gegenüber den Referenzszenarien ergebenden Veränderungen in den Umweltbelastungen sind in Tabelle 10-2 aufgeführt. Es zeigt sich, dass es mit wenigen Ausnahmen immer zu einer **Reduktion der Umweltbelastung** kommt. In der Summe addieren sich die Emissionsreduktionen z. B. auf über 30 Mio. t CO₂, was immerhin ca. 3 % der heutigen bundesweiten CO₂-Emissionen entspricht. Lediglich beim Car-Sharing kommt es zu einer Zunahme der NO_x- und SO₂-Emissionen sowie des Abfallaufkommens. Die letzten Effekte rühren daher, dass es beim Übergang zum Car-Sharing auch zu einer Zunahme des Öffentlichen Personenverkehrs kommt (Zunahme des Elektrizitätsverbrauchs mit SO₂-Emissionen aus dem Kraftwerksbereich, höhere Abfallintensität). Bei den NO_x-Emissionen gehen die den Analysen zu Grunde gelegten Emissionsfaktoren des Tremod-Modells davon aus, dass die spezifischen NO_x-Emissionen aus dem Pkw-Verkehr deutlich unter denjenigen aus dem Busverkehr liegen. Dennoch kommt es auch beim Car-Sharing zu einer deutlichen Entlastung hinsichtlich Energieverbrauch und CO₂-Emissionen. Im Fallbeispiel „Brennstoffzelle“ ergeben sich leichte Zunahmen bei Abwasser- und Abfallmengen.

Tabelle 10-2: Umweltauswirkungen der Fallbeispiele (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)

Umweltindikator	Einheit	Papier	Kunststoff-recycling	Pkw-Lebens-dauerverläng.	Car-Sharing	Brennstoffzelle
Energieverbrauch	PJ	-68,9	-179,0	-34,8	-14,7	-60,3
CO ₂	Mio. t	-4,0	-21,9	-2,0	-1,0	-4,4
SO ₂	kt	-8,6	-12,9	-3,5	0,1	-1,9
NO _x	kt	-4,8	-7,7	-1,9	1,4	-4,3
NM VOC	kt	-0,7	-10,1	0,2	-1,8	-6,1
Abwasser ohne Kühlwasser	Mio. m ³	-91,8	-23,1	-7,2	-0,5	2,8
Abfall zur Beseitigung	kt	-631,1	-150,4	-194,8	69,7	26,5
Sonderabfall zur Beseitigung	kt	-341,6	-109,7	-199,6	-3,7	9,4

Quelle: Eigene Berechnungen

Ein Vergleich zwischen den einzelnen Fallbeispielen ist schwierig, zumal sich die Eingriffsintensität in den einzelnen Nachhaltigkeitsszenarien unterscheidet. Um

zumindest annäherungsweise zu vergleichbaren Werten zu kommen, wurden die Umweltveränderungen auf die Impulse bezogen, die die Veränderungen in den einzelnen Fallbeispielen auslösen. Errechnet wurde jeweils die spezifische Umweltveränderung pro Million DM Nachfrageverschiebung. Hieraus lassen sich Schwerpunkte bezüglich der betroffenen Umweltbereiche ableiten. So weisen z. B. beim Energieverbrauch und den CO₂-Emissionen das Kunststoffrecycling, bei den Abfällen und beim Abwasser die Papiernutzung die höchsten spezifischen Umweltentlastungswerte auf.

10.2 Politische Durchsetzbarkeit

Die Analyse der Auswirkungen der Fallbeispiele zeigt auf, dass tendenziell mit positiven Nettobeschäftigungseffekten und mit deutlichen Reduktionen der Umweltbelastung zu rechnen ist. Es wird aber auch deutlich, dass es auf Grund des erheblichen Strukturwandels auch Branchen gibt, die von Produktionsrückgängen betroffen sind. Gleichzeitig ist es im Hinblick auf die Förderung der untersuchten Strategien erforderlich, politische Maßnahmen zu ergreifen, wie sie in letzter Zeit verstärkt unter dem Schlagwort „Integrated Product Policy“ (IPP) insbesondere auf europäischer Ebene diskutiert werden (vgl. z. B. EU 2000). Im Folgenden wird mit Hilfe der neuen politischen Ökonomie untersucht, wie es um die Durchsetzungschancen derartiger Politiken bestellt ist.

Ansatz der politischen Ökonomie

Für Analysen der Durchsetzbarkeit von Politikmaßnahmen liegt mit der neuen politischen Ökonomie seit längerem ein theoretisch ausgearbeiteter Erklärungsansatz vor. Die neue politische Ökonomie sieht Politik nicht als das Ergebnis eines wohlfahrtsmaximierenden Entscheidungsträgers, sondern vielmehr als das Ergebnis politischer Prozesse, die von den Interessen der Entscheidungsträger, der Wähler, der Bürokratie und gesellschaftlich organisierter Gruppen abhängig sind. Grundannahme dieser Theorie ist, dass Entscheidungsträger bei ihrer Politikwahl nicht, oder nicht nur, am Allgemeinwohl orientiert sind, sondern auch an ganz persönlichen Zielen, wie Wiederwahl, Bequemlichkeit oder Einkommensverbesserungen (Stigler 1971, Peltzmann 1976, Hillman 1982, Hillman 1989, Young and Magee 1986, Becker 1976). Auf der anderen Seite versuchen organisierte Lobbys, die die Einkommensmaximierung ihrer Mitglieder anstreben, Einfluss auf die Politikentscheidungen via Informationen, Wählerstimmen oder finanziellen Zuwendungen auszuüben. Diese politischen Prozesse können dazu führen, dass eine aus Effizienzgesichtspunkten suboptimale Auswahl von Politikmaßnahmen getroffen wird (Tullock und Buchanan 1975, Grossman und Helpman 1994, Dixit, Grossman und Helpman 1997, Schleich 1999, Schleich und Orden 2000).

Eine **Grundaussage der politischen Ökonomie** ist, dass sich breite gesellschaftliche Interessen schlechter durchsetzen lassen als Partikularinteressen. So lassen sich staatliche Interventionen (z. B. direkte und indirekte Subventionen, Steuervergünstigungen) zu Gunsten von Lobbys besonders dann politisch einfach durchsetzen, wenn die Anzahl der Begünstigten klein und die Anzahl der negativ Betroffenen groß ist. In diesem Fall profitieren die Gewinner der Intervention nämlich relativ stark (pro Kopf), während die Verlierer pro Kopf geringer belastet werden. Dies führt tendenziell dazu, dass die potenziellen Gewinner politischen Druck ausüben, während die potenziellen Verlierer auf Grund der relativ geringen Verluste inaktiv bleiben. Oft sind sich diese der Verluste gar nicht bewusst, oder die Organisations- und Transaktionskosten zur Durchsetzung ihrer Interessen sind prohibitiv. Kleine und entsprechend hoch konzentrierte Industriebranchen haben es leichter, sich politisch zu organisieren, da sie das sogenannte Free-rider Problem leichter überwinden können (vgl. Olson 1965). Dieses Free-rider Problem entsteht dadurch, dass Organisationskosten nur für Mitglieder entstehen, während die gesamte Branche von der Lobbytätigkeit profitiert. Homogene Branchen sind ebenfalls leichter organisierbar, da ihre Interessen eher gleich gerichtet sind. Aus Sicht der Politiker spielt bei der Politikentscheidung aber auch die Anzahl der Beschäftigten in der betroffenen Branche eine Rolle, da diese sich in potenzielle Wählerstimmen transferieren lassen. Anhand der Theorie der neuen politischen Ökonomie lässt sich daher erklären, warum sich die Interessen der Anbieter von Gütern – und Arbeit – besser organisieren als die Interessen latenter Gruppen, wie z. B. der Steuerzahler oder der an einer intakten Umwelt interessierten Bürger.

Die Analyse der sektoralen Auswirkungen in den betrachteten Fallbeispielen zeigt, dass das Interesse der einzelnen Branchen keineswegs einheitlich ist, sondern dass es auch innerhalb der wirtschaftlichen Branchen Gewinner und Verlierer gibt. Es ist daher für die Durchsetzbarkeit von Umweltschutzinteressen von höchster Bedeutung, wie die spezifischen Bedingungen für die Durchsetzung dieser unterschiedlichen Wirtschaftsinteressen ausgeprägt sind. Bei der Analyse dieser Bedingungen wird im Allgemeinen auf die Organisationsfähigkeit der Interessen und ihre politische Durchsetzbarkeit abgehoben. Analysen zur politischen Ökonomie der Klimaschutzpolitik weisen zudem darauf hin, dass auch Fragen der Perzeption der Vor- und Nachteile durch die betroffenen Branchen eine Rolle spielen (vgl. Walz 2000).

Bei der **Perzeption der Interessenlagen** ist zu beobachten, dass bestehende wirtschaftliche Vorteile im Allgemeinen höher bewertet werden als sich in Zukunft einstellende. Für die Verteidigung des Besitzstandes werden damit mehr Ressourcen verwendet als zur Durchsetzung künftiger Chancen. Entsprechend ist zu erwarten, dass sich die Gewinner von Umweltschutzstrategien im Allgemeinen weniger intensiv um eine Durchsetzung ihrer Interessen bemühen als die Verlierer. Gleichzeitig orientieren sich Unternehmen bei der Wahrnehmung ihrer wirtschaftlichen Interessen nicht (nur) an den sich nach zahlreichen komplexen Anpassungsvorgängen er-

gebenden Effekten, sondern (auch) an dem direkten Anpassungsdruck, dem sie ausgesetzt sind. Entsprechend lassen sich nicht nur klare Gewinner und Verlierer unterscheiden, sondern zusätzlich auch durch erheblichen Anpassungsdruck betroffene Branchen, deren wirtschaftliche Erfolgchancen zwar durch die Umweltschutzstrategien nicht negativ betroffen sein müssen, die aber einem erheblichen Anpassungsdruck ausgesetzt sind und daher den Umweltschutzstrategien skeptisch gegenüberstehen. Schließlich muss beachtet werden, dass ein Teil der positiven ökonomischen Nettowirkungen bei vielen Branchen breit gestreut anfällt. Da sich diese Branchen der Gewinne, die ihnen bei einer Nichtvornahme der Umweltschutzstrategien entgehen, gar nicht bewusst sind, oder die Organisations-/Transaktionskosten zur Durchsetzung ihrer Interessen prohibitiv hoch sind, bleiben sie eher inaktiv. Insgesamt ist damit zu erwarten, dass unter Umständen noch die den Umweltschutzstrategien auf Grund eines hohen Anpassungsdrucks skeptisch gegenüberstehenden Branchen, vor allem aber die klaren Gewinner und Verlierer versuchen werden, ihre Interessen im politischen Prozess durchzusetzen. Damit rückt die Frage in den Vordergrund, wie es um die Organisationsfähigkeit und Durchsetzungskraft dieser beiden Gruppen bestellt ist.

Für die **Analyse der Organisationsfähigkeit** von Interessen hat es sich empirisch als sinnvoll erwiesen, die Anzahl der Unternehmen je Branche sowie den Konzentrationsgrad heranzuziehen. Wie eingangs erwähnt, erleichtern eine geringe Anzahl von Unternehmen sowie ein hoher Konzentrationsgrad die Formierung von Lobbys und die Durchsetzung ihrer Interessen. Ökonometrische Analysen belegen, dass diesen beiden Parametern erhebliche statistische Signifikanz bei der Erklärung der Pro-Kopf-Subventionen in der deutschen Industrie zukommt (vgl. Anhang D). Entsprechend ist zu erwarten, dass hoch konzentrierte Branchen, die durch eine geringe Anzahl größerer Unternehmen gekennzeichnet sind, ihre Interessen besser organisieren können als Branchen, die aus zahlreichen kleinen Unternehmen bestehen. Ein ganz entscheidender Faktor für die Durchsetzbarkeit der Interessen ist die Anzahl der Arbeitnehmer in einer Branche, die als potenzielle Wähler Druck auf die Politik ausüben können. Diese Hypothese wird durch die ökonometrische Schätzung gestützt, denn die Anzahl der in der jeweiligen Branche Beschäftigten ist ebenfalls eine statistisch hoch signifikante Erklärungsvariable der Pro-Kopf-Subventionen. Abgeschwächt wird dieser Effekt allerdings dadurch, dass es kleineren Branchen insofern leichter fällt, ihre Interessen durchzusetzen, als mit zunehmender Größe die Sichtbarkeit der Maßnahmen und die finanzielle Belastung der Allgemeinheit größer wird.

Analyse der Fallbeispiele

Untersucht man mit den drei genannten Parameter die Bedingungen für die Organisationsfähigkeit und Durchsetzbarkeit der Interessen in den fünf Fallbeispielen, zeigt sich, dass mit Ausnahme des Fallbeispiels Brennstoffzelle die Verlierer tendenziell bessere Bedingungen bezüglich der Organisation oder Durch-

setzungsfähigkeit ihrer Interessen aufweisen (vgl. Anhang D). Erschwert wird die Umsetzung der Interessen der Gewinner noch dadurch, dass zusätzlich zu den klaren Verlierern auch noch weitere Branchen der Umsetzung der Umweltschutzstrategien skeptisch gegenüber stehen, da sie dadurch zu erheblichen Anpassungen gezwungen werden. Für die Durchsetzbarkeit von politischen Maßnahmen zur Unterstützung der Umsetzung der betrachteten Umweltschutzstrategien dürfte es daher eine besonders große Rolle spielen, ob es zu einer Koalition aus Gewinnerinteressen und Umweltverbänden kommt, um so die für beide Gruppen isoliert gesehen schwierigen Bedingungen für eine Umsetzung ihrer Interessen zu verbessern.

10.3 Implikationen

Interpretation und Bewertung der Auswirkungen auf die Arbeitswelt

Die analysierten Fallbeispiele lassen sich dahingehend zusammenfassen, dass sie den bereits in der Vergangenheit zu beobachtenden Strukturwandel vom sekundären zum tertiären Sektor noch verstärken. Da die Nachhaltigkeitsszenarien im Vergleich zu den Referenzszenarien geringere Importanteile und höhere Arbeitsintensitäten aufweisen, kommt es **überwiegend zu positiven Nettobeschäftigungswirkungen**. Allerdings fällt dieser Effekt umso geringer aus, je mehr es im Zeitablauf zu einer Mechanisierung und Professionalisierung und damit zu einer Steigerung der Arbeitsproduktivität kommt. Von daher ist zu erwarten, dass von den Strategien des Recyclings und der neuen Produktkonzepte zwar positive, aber in ihrer Größenordnung beschränkte Beschäftigungswirkungen ausgehen. Gleichzeitig muss auch der Zusammenhang mit den Exportbeziehungen gesehen werden. Positive Beschäftigungswirkungen werden schwieriger zu erreichen sein, wenn die Strategien bei Branchen ansetzen, die hohe Exportüberschüsse erwirtschaften und die mit der Strategie einhergehenden zusätzlichen Dienstleistungen im Ausland verrichtet werden. Andererseits zeigen die Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen, dass deutliche positive Arbeitsplatzeffekte dann erreicht werden, wenn es zu Verbesserungen in der technologischen Wettbewerbsposition oder gar zur Etablierung eines Lead-Markets kommt.

Die Ergebnisse der Fallstudien zeigen, dass Produktrecycling und umweltfreundliche Produktkonzepte zwar keine Jobknüller sind, die die Beschäftigungsprobleme Deutschlands lösen, sie sind aber auch keine Jobkiller. In Abhängigkeit von der spezifischen Ausgestaltung können sie sehr wohl einen Beitrag zur Reduktion der Arbeitslosigkeit leisten.

Auch wenn die aggregierten Nettobeschäftigungswirkungen begrenzt sind, weisen die Ergebnisse doch darauf hin, dass Produktrecycling und umweltfreundliche Produktkonzepte erheblichen **strukturellen Anpassungsbedarf** auslösen:

- Es kommt zu gravierenden sektoralen Verschiebungen zwischen Gewinnern und Verlieren.
- Die Veränderungen des erforderlichen Qualifikationsniveaus sind zwar begrenzt, aber die Tätigkeitsspektren – und damit die geforderten Kenntnisse – verschieben sich deutlich.
- Die Tendenzen zu flexibleren Arbeitszeiten, insbesondere im Hinblick auf Wochenendarbeit, nehmen noch zu.
- Da insbesondere die Verliererbranchen regional konzentriert sind, besteht inter-regionaler und intraregionaler struktureller Anpassungsbedarf.

Bezüglich ihrer Wirkungen auf die Arbeitsstrukturen lässt sich festhalten, dass die betrachteten Umweltschutzstrategien als **wirtschaftliche Modernisierungsstrategien** bezeichnet werden können, die – z. B. im Hinblick auf die Zunahme der Flexibilisierungsanforderungen – eher trendverstärkend als –abschwächend wirken. Damit fügen sich die Umweltschutzstrategien zwar in das gängige Entwicklungsmuster der wirtschaftlichen Entwicklung ein, allerdings dürften bei ihrer Umsetzung ähnliche soziale Friktionen – und damit Widerstände – auftreten wie bei anderen Modernisierungsstrategien. Der hohe strukturelle Anpassungsbedarf verdeutlicht die Notwendigkeit einer vorausschauenden Struktur-, Regional- und Bildungspolitik.

Bei den analysierten Umwelteffekten zeigt sich, dass die anhand der Fallbeispiele untersuchten Umweltschutzstrategien auch nach Einbeziehung sämtlicher inter-sektoraler Produktionseffekte **bedeutende positive Umweltwirkungen** induzieren. Produktrecycling und umweltfreundliche Produktkonzepte führen z.B. zu einer deutlichen Reduktion der CO₂-Emissionen und können damit einen signifikanten Beitrag zur Erfüllung der nationalen und internationalen Klimaschutzverpflichtungen beitragen.

Aus den durchgeführten Analysen lassen sich auch Schlussfolgerungen hinsichtlich der **Nachhaltigkeit der untersuchten Umweltschutzstrategien** ziehen. Die Abschätzung der Umweltwirkungen zeigt auf, dass die Strategien einen wichtigen Beitrag zur ökologischen Nachhaltigkeit leisten. Die herausgearbeiteten ökonomischen Gesamtwirkungen sprechen für eine Ökonomieverträglichkeit der Strategien. Wenn es zusätzlich gelingt, die mit dem Strukturwandel einhergehenden Friktionen zu begrenzen, gilt dies auch hinsichtlich der im Rahmen dieses Projekts untersuchten sozialen Dimension von Nachhaltigkeit.

Politische Schlussfolgerungen

Bezüglich der anzuführenden politischen Maßnahmen ergeben sich aus den Analysen folgende Anhaltspunkte:

- Die vorausschauende Gestaltung des Strukturwandels erfordert eine Abstimmung der Umweltpolitik mit der Industrie-, Regional- und Bildungspolitik.
- Sektoren mit einer hohen Arbeitsintensität profitieren überdurchschnittlich von einer Senkung der Lohnnebenkosten. Insofern ist davon auszugehen, dass Produktrecycling und umweltfreundliche Produktkonzepte nicht nur von der Erhebung, sondern auch von der Verwendung einer aufkommensneutralen Ökosteuer begünstigt würden.
- Insbesondere für die Umsetzung von neuen Produktstrategien, die materielle Produktion durch dienstleistungsähnliche Aktivitäten substituieren, ist die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der angebotenen Services ein entscheidender Erfolgsfaktor. Diese Konzepte werden erst dann auf breitere Akzeptanz stoßen, wenn sie ein Minimum an Professionalität und räumlicher Verbreitung erreichen. Hier können Maßnahmen, die die Markteinführung dieser Konzepte unterstützen, einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung liefern.
- Eine Voraussetzung für die Umsetzung der neuen Produktstrategien ist die Koordination entlang den Wertschöpfungsketten. Allerdings liegen noch wenig Erfahrungen vor, welche Faktoren hemmend bzw. fördernd auf die Herausbildung entsprechender Koordinationsmechanismen wirken. Der Erforschung und Gestaltung kooperationsfördernder Rahmenbedingungen und der Etablierung von Netzwerken kommt damit eine hohe Priorität zu. Zu untersuchen wäre auch, ob die hohen Ansprüche an den Informationsaustausch und die Koordination zwischen den einzelnen Firmen durch branchen- und Verbände übergreifende Vereinbarungen bzw. Absprachen ebenso reduziert werden können wie durch eine Ausweitung der Kennzeichnungspflicht oder durch freiwilliges Labeling.
- Maßnahmen, die eine Änderung des Konsumverhaltens und ein Umdenken bei unternehmensinternen Entscheidungen über Produktionsprozesse bewirken, können insbesondere die Akzeptanz und Umsetzung der Strategien umweltfreundliche Produktkonzepte und Nutzungsintensivierung beschleunigen. Dazu zählen die Förderung eher langfristig angelegter Informationsprogramme ebenso wie die kurzfristige Förderung von Demonstrationsprojekten, Anwendungsmöglichkeiten und Netzwerken.

Die Analyse der Durchsetzbarkeit von politischen Maßnahmen zur Förderung der Fallbeispiele zeigt auf, dass die Verlierer tendenziell bessere Möglichkeiten zur Organisation und Durchsetzung ihrer Interessen aufweisen. Insofern wird es nicht einfach werden, die oben genannten Maßnahmen politisch durchzusetzen. Dies unterstreicht die Bedeutung einer vorausschauenden Gestaltung des Strukturwandels, damit den Verlierern ein längerer Zeitraum für die notwendigen Anpassungen bleibt. Zugleich könnte es hierdurch auch für die der Umsetzung bisher noch skept-

tisch gegenüberstehenden Branchen einfacher werden, die mit den Umweltschutzstrategien verbundenen Chancen zu sehen und wahrzunehmen. Des weiteren wird es auch darauf ankommen, die Bedingungen für die Organisation und Perzeption der Interessen der Gewinner zu stärken. Hilfreich wäre es, wenn die Vertreter der Interessen von Umweltverbänden und Gewinnerbranchen verstärkt aufeinander zugehen, um eine Bündelung ihrer Kräfte zu erreichen. Nicht zuletzt sollte auch die Politik klare Aussagen über die künftigen Prioritäten der Umweltpolitik treffen, um den Innovatoren zu signalisieren, dass es sich bei den von ihnen verfolgten Konzeptionen nicht nur um wirtschaftlich interessante, sondern auch umweltpolitisch erwünschte Innovationen handelt.

Literatur

17. BImSchV (1999): Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe. Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (17. BImSchV) vom 23. November 1990 (BGBl. I Nr. 64 vom 30.11.1990 S. 2545, ber. BGBl. I Nr. 70 vom 21.12.1990 S. 2832), zuletzt geändert am 23. Februar 1999.
- Abfallwirtschaftlicher Informationsdienst (1998): BDE sieht keinerlei Bedarf für Recycling-Fachkräfte. Meldung vom 15.4.1998 in Nr. 3, S. 2.
- Angerer, G.; Hiessl, H. et al. (1991): Umweltschutz durch Mikroelektronik. Anwendungen, Chancen, Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Berlin, Offenbach.
- Auhorn, W.J.; Linhart, F. (1990): Chemische Hilfsstoffe. In: Götsching, L. (Hrsg.): Papier in unserer Welt: Ein Handbuch. S. 89 - 92. Düsseldorf/Wien/New York.
- Baum, H.; Pesch, S. (1995): Car-Sharing als Lösungskonzept städtischer Verkehrsprobleme. Kölner Diskussionsbeiträge zur Verkehrswissenschaft Nr. 6, Institut für Verkehrswissenschaft an der Universität Köln, Köln.
- Baumann, W.; Herberg-Liedtke, B. (1994): Papierchemikalien: Daten und Fakten zum Umweltschutz. Berlin, Heidelberg.
- Behrends, S. et al. (1998): Innovation zur Nachhaltigkeit – Ökologische Aspekte der Informations- und Kommunikationstechniken. Bericht für die Enquête-Kommission Schutz des Menschen und der Umwelt des 13. Deutschen Bundestages. Springer, Berlin.
- Bhagwati, J. (1982): Shifting Comparative Advantage, Protectionist Demands, and Policy Response. In: Bhagwati, J. (Hrsg.), Import Competition, and Response, Cambridge 1982.
- Bierter, W.; Brödner, P. (1998): Zukunftsfähiges Wirtschaften und Re-Regionalisierung von Wertschöpfungsprozessen. In: Bosch, G. (Hrsg.): Zukunft der Erwerbsarbeit – Strategien für Arbeit und Umwelt. Frankfurt, S. 140-163.
- Blattner, N. (1996): Technischer Fortschritt und Arbeitslosigkeit. In: Gahlen, B. et al. (Hrsg.): Arbeitslosigkeit und Möglichkeiten ihrer Überwindung, Tübingen, S. 211-228.

- Blazejczak et al. (1993): Beschäftigungswirkungen des Umweltschutzes – Abschätzung und Prognose bis 2000. Forschungsbericht des Umweltbundesamtes 10103120, Schriftenreihe des UBA Nr. 42/93. Berlin.
- Blümle, G. (1994): The Importance of Environmental Policy for International Competitiveness. In: Matsugi, T; Oberhauser, A. (Hrsg.): Interactions Between Economy and Ecology, Berlin, S. 35-57.
- Böhm, E. (1995): Entwicklungstendenzen in der Umwelttechnologie. In: Zahn, Erich (Hrsg.): Handbuch Technologiemanagement. Stuttgart, S.151-168.
- Böhm, E./Walz, R. (1996): Life-cycle-analysis: a methodology to analyse ecological consequences within a Technology Assessment Study? In: International Journal of Technology Management, Vol. 11, Nr. 5/6, S. 554-565.
- Böhm, Eberhard; Toussaint, Dominik; Marscheider-Weidemann, Frank; Nathani, Carsten; Schön, Michael (1996): Vergleichende Untersuchung der Umweltrelevanz verschiedener Verfahren zur Behandlung von Siedlungsabfällen. Voruntersuchung. Essen: VGB Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber.
- Buchanan, J. M. und G. Tullock (1975): Polluters' profits and political response: direct controls versus taxes. In: American Economic Review 65, S. 139-147.
- Bundesministerium für Verkehr (Hrsg., o.J.): Verkehr in Zahlen, versch. Jahrgänge. Verantwortlich für den Inhalt: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin. Deutscher Verkehrsverlag, Hamburg.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (1999): Energiedaten 1999 – Nationale und internationale Entwicklung. Bonn.
- Buttker, B. (1996): Thermische Verfahren zur energetischen und stofflichen Verwertung und Entsorgung von Abfall – Festbettdruckvergasung gekoppelt mit Flugstromvergasung in dem Sekundärrohstoffverwertungszentrum Schwarze Pumpe GmbH (SVZ). Sonderdruck VIK-Berichte Nr. 208 vom Oktober 1996.
- BUWAL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.) (1998): Ökoinventare für Verpackungen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 250, 2. Auflage. Bern.
- Dehoust, G.; Weinem, P.; Fritsche, U.; Wollny, V. (1999): Vergleich der rohstofflichen und energetischen Verwertung von Verpackungskunststoffen. Im Auftrage der AGVU. Ökoinstitut, Darmstadt/Essen.

- Demuß, L. (2000): Technologische Veränderungen beim Übergang vom konventionellen Antriebsstrang zur Brennstoffzelle. In: Wengel, J.; Schirrmeister, E. (Hrsg.): Innovationsprozess vom Verbrennungsmotor zur Brennstoffzelle - Chancen und Risiken für die baden-württembergische Industrie. Fraunhofer-ISI, Karlsruhe.
- Deutsch, C. (1994): Abschied vom Wegwerfprinzip – Die Wende zur Langlebigkeit in der industriellen Produktion. Stuttgart.
- DIW et al. (1996): Der Einfluss von Energiesteuern und -abgaben zur Reduktion von Treibhausgasen auf Innovation und technischen Fortschritt – Clearing-Studie im Rahmen des Forschungsverbundes „Innovative Wirkungen Umweltpolitischer Instrumente“ (FIU) des BMBF. Berlin u. a..
- DIW/Fifo (1999): Anforderungen an und Anknüpfungspunkte für eine Reform des Steuersystems unter ökologischen Aspekten. Berichte des Umweltbundesamtes 3/99, Berlin.
- DIW/KfA-STE/FhG-ISI/Öko-Institut (1999): Politikszenerarien für den Klimaschutz – II: Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO₂ –Emissionen in Deutschland bis 2020. Berlin, Jülich, Karlsruhe.
- Dixit, A.K., G.M. Grossman, und E. Helpman (1997): Common agency and coordination: General theory and application to government policy making. In: Journal of Political Economy 105, S. 752-769.
- Deutsche Gesellschaft für Kunststoff-Recycling mbH (DKR) (1997): Geschäftsbericht 1997.
- Drake, F.D. (1996): Kumulierte Treibhausgasemissionen zukünftiger Energiesysteme. Berlin.
- Ebersperger, R. et al. (1998): Wie viel Energie braucht ein Pkw? In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 48, Heft 5, S. 323-329
- Eichmeyer, H. (1996): Neuwertwirtschaft – Eine Perspektive für Wirtschaft und Ökologie. Taunusstein.
- Enquete-Kommission (1994): Mehr Zukunft für die Erde – Nachhaltige Energiepolitik für dauerhaften Klimaschutz. Schlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz der Erde“, Bonn.
- EU-Kommission (2000): Green Paper On Integrated Product Policy. Brüssel.

- Fleig, J. (1997): Höherer Nutzen und längeres Leben: Neue Produktkonzepte für eine kreislaufforientierte Wirtschaft. In: IO-Management 1997, Heft 4, S. 38-43.
- Fleig, J. (Hrsg.) (2000): Zukunftsfähige Kreislaufwirtschaft. Mit Nutzenverkauf, Langlebigkeit und Aufarbeitung ökonomisch und ökologisch wirtschaften. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 1994): Pulp and Paper towards 2010: An executive summary. Rom.
- Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI, 1998): Delphi 98 – Umfrage: Zukunft nachgefragt: Studie zur globalen Entwicklung von Wissenschaft und Technik. ISI, Karlsruhe.
- Frohn, J. et al. (1998): Fünf makroökonomische Modelle zur Erfassung der Wirkungen umweltpolitischer Maßnahmen – eine vergleichende Betrachtung. Band 7 der Schriftenreihe "Beiträge zu den umweltökonomischen Gesamtrechnungen", Stuttgart.
- Gausemeier, J. et al. (1997): Szenariotechnik. In: Westphalen, R. v. (Hrsg.), Technikfolgenabschätzung, 3. Auflage, München, S. 203-221.
- Gloede, F./Paschen, H. (1992): Technikfolgenabschätzung und Technikfolgenforschung. In: VDI-Technologiezentrum (Hrsg.), Technikfolgenforschung für die Technologiepolitik, S. 12-30.
- Göttsching, L.; Hamm, U.; Platzer, E.; Putz, H.-J. (1996): Analysis of Waste Paper Recycling and Disposal Options in Germany. Sub-Study Nr. 15 für IIED.
- Gohlisch, G. (2000): Emissionsdaten aus TREMOD. Persönliche Mitteilung.
- Greenpeace (Hrsg.) (1999): Mehr Arbeitsplätze durch ökologisches Wirtschaften? Eine Untersuchung für Deutschland, Schweiz und Österreich. Hamburg.
- Grefermann, K. (1986): Papier- und Pappeverarbeitung: Strukturwandlungen und Entwicklungsperspektiven. Berlin, München.
- Grefermann, K. (1990): Druckindustrie: Strukturwandlungen und Entwicklungsperspektiven. Berlin, München.
- Grefermann, K. (1997): Globalisierung und Konzentration: die Papierindustrie im Wandel. Ifo Studien zur Industriewirtschaft, Nr. 53. München.

- Grefermann, K., Halk, K., Knörndel, K.-D. (1998): Die Recycling-Industrie in Deutschland. Ifo Studien zur Industriegesellschaft 58, München.
- Greschik, S. (1999): Ohne Halt bis Wladiwostok. In: Die Zeit, S. 49, 18.11.1999
- Grossman, G.M. und E. Helpman (1994): Protection for sale. In: American Economic Review 84, S. 833-850.
- Grupp, H. (1999): Umweltfreundliche Innovation durch Preissignale oder Regulation? Eine empirische Untersuchung für Deutschland. In: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, Nr. 5/6, S. 611-631.
- H2MUC (2000): Wasserstoffprojekt am Flughafen München. Meldung vom 19.4.2000, <http://www.hydrogen.org/h2muc/intro.html>.
- Hagemann, H. (1985): Freisetzungs- und Kompensationseffekte neuer Technologien. In: Butler, F.; Kühl, B. (Hrsg.): Rahmen, Staat und Beschäftigung, Beiträge zur Arbeitsmarkt und Berufsforschung Nr. 88, Nürnberg, S. 291-335.
- Heise Online (1999): „Elektronisches Papier geht in Produktion“. Meldung vom 29.6.1999, <http://www.heise.de/newsticker/>.
- Heise Online (1999): „Faltbare Plastikdisplays mit elektronischer Tinte“. Meldung vom 13.10.1999, <http://www.heise.de/newsticker/>.
- Heyde, M.; Kremer, M. (1999): Recycling and recovery of plastics from packagings in domestic waste – LCA-type analysis of different strategies. Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV), Freising. LCA Documents, Ecomed publishers, Vol. 5.
- Hiessl, H. et al. (1995): Auf dem Weg zu einer ökologischen Stoffwirtschaft. Teil II: Die Rolle einer ganzheitlichen Produktpolitik. In: Gaia 1995, Nr. 2, S.89-99.
- Hillman, A.L. (1982): Declining industries and political-support protectionist motives. In: American Economic Review 72, S. 1180-1187.
- Hillman, A.L. (1989): The political economy of protection. Chur.
- Hohmeyer, O./Walz, R. et al. (1992): Methodenstudie zur Emittentenstruktur in der Bundesrepublik Deutschland. Verknüpfung von Wirtschaftsstruktur und Umweltbelastungsdaten. ISI-Forschungsberichte Band 68-92, Karlsruhe.

- Hüsing, B.; Gießler, S.; Jaeckel, G. (1998): Stand der Möglichkeiten von prozess-integrierten biotechnischen Präventivtechniken zur Vermeidung oder zur Verminderung von Umweltbelastungen. UBA-Texte, 68/98. Umweltbundesamt, Berlin.
- IG Metall (1996): Arbeitsplätze durch Umweltschutz. Frankfurt.
- International Institute for Environment and Development (IIED) (1996): Towards a Sustainable Paper Cycle. London.
- Janz, J.; Weiss, W. (1996): Kunststoffverwertung im Hochofen - Ein Beitrag zum ökologischen Recycling von Altkunststoffen. In: Verwertung von Kunststoffabfällen. Tagung Herne 23./24. Oktober 1996, VDI-Gesellschaft Energietechnik, VDI-Berichte 1288, S. 123-138.
- Jochem, E. et al. (1996): Exportchancen für Techniken zur Nutzung regenerativer Energien. Sachstandsbericht, TAB-Arbeitsberichte Nr. 42, Karlsruhe/Bonn.
- Jörissen, L.; Garche, J. (2000): Brennstoffzellen für den Fahrzeugantrieb. In: Wengel, J.; Schirrmeister, E. (Hrsg.): Innovationsprozess vom Verbrennungsmotor zur Brennstoffzelle - Chancen und Risiken für die baden-württembergische Industrie. Fraunhofer-ISI, Karlsruhe.
- Klauder, W. (1986): Technischer Fortschritt und Beschäftigung. In: Mitt AB 1986, Nr. 1, S. 1-19.
- Knörr, W. (2000): Daten zum Bereich „Verkehr und verkehrsbedingte Umweltbelastungen“ in: Schön, M. et al.: Informationsgrundlage für das Umweltpräsentationssystem des BMU „Umwelt 2000 im Rahmen des Teilvorhabens 2 des Globalansatzes EXPO 2000“. FuE-Vorhaben 297 12 151/02 im Auftrag des Umweltbundesamtes. Karlsruhe u.a. 2000.
- Kolke, R. (1999): Technische Optionen zur Verminderung der Verkehrsbelastung – Brennstoffzellen. Abschlußbericht 8. März 1999. Umweltbundesamt Berlin.
- KOM (1998): Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament und den Wirtschafts- und Sozialausschuss: Die Wettbewerbsfähigkeit der Recyclingindustrie. KOM(1998)463 vom 22.7.98, Brüssel.
- Knottenbauer, K. (2000): Theorien des sektoralen Strukturwandels. Marburg.
- Kraftfahrt-Bundesamt (KBA, o.J.): Kraftfahrzeugstatistiken. Reihe 1 der amtlichen Statistiken des Kraftfahrt-Bundesamtes. Verschiedene Jahrgänge. Kusterdingen.

- Krause, F. (1996): The Costs of Mitigating Carbon Emissions: A Review of Methods and Findings from European Studies. In: Energy Policy, Vol. 24, Nos. 10/11, S. 899-915.
- Lang, J. (2000): Informationssysteme unterstützen Nutzungsintensivierung und Lebensdauerverlängerung. In: Fleig, Jürgen (Hrsg.): Zukunftsfähige Kreislaufwirtschaft. Stuttgart 2000, S.181-200.
- Legler, H. et al. (2000): Innovationsstandort Deutschland: Chancen und Herausforderungen im internationalen Wettbewerb. Landsberg/Lech.
- Legler, H. et al. (2001): Indikatorenbericht zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands – 2000, Hannover u.a., Januar 2001
- Lehner, L. et al. (1997): Umweltverträgliche Holzaufschlussverfahren. Studie im Auftrag des BMELF, Münster.
- Lepper, P.; Herrchen, M.; Schön, M.; Müller, M.; v. Thienen, N.; Marscheider-Weidemann, F. (2000): Ökobilanzieller Vergleich der energetischen Verwertung von Kunststoffen mit Verfahren des rohstofflichen Recyclings für den Raum Mannheim / Ludwigshafen. Fraunhofer ISI, Karlsruhe.
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU, Hrsg., 1996): Allgemeine Kreislauf- und Rückstandswirtschaft: Intelligente Produktionsweisen und Nutzungskonzepte. Handbuch Abfall 1. Karlsruhe 1996.
- Lintz, G. (1992): Umweltpolitik und Beschäftigung. Beiträge zur Arbeitsmarkt- und Berufsforschung Nr. 159, Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung, Nürnberg.
- Manske, F. (1995): Umweltpolitik und Beschäftigung – Zusammenhänge zwischen Ökonomie, „Neuer sozialer Krise“ und Ökologie. In: WSI-Mitteilungen Nr. 2/3, 1995, S. 255-264.
- Mendius (1994): Weniger Energieverbrauch, weniger Schadstoffe und mehr Arbeitsplätze! In: WSI-Mitteilungen Nr. 9, 1994, S. 534-541.
- Meyer-Krahmer, F. (1999): Innovation als Beitrag zur Lösung von Beschäftigungsproblemen? In: Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Vol. 32, Nr. 4, S. 402-415.

- Nathani, C.; Walz, R. (1997): Ökobilanzen - Methodenentwicklung zur Bilanzierung und Bewertung der Umweltwirkungen von Produkten und Prozessen. Teilprojekt Anwendung eines Umwelt-Input-Output-Modells. ISI-Forschungsbericht, Karlsruhe.
- Nathani, C.: Entwicklung eines Modellsystems zur Simulation der energiewirtschaftlichen und strukturellen Veränderungen einer verstärkten Kreislaufwirtschaft. Systemtechnische und ökonomische Modellierung am Beispiel des Stoffstroms „Papier“. Abschlußbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. ISI-Forschungsbericht, Karlsruhe 2000.
- Olson, M. (1965): The logic of collective action. Cambridge, Mass.
- Ostertag, K. et al. (2000): Energiesparen – Klimaschutz der sich rechnet. Heidelberg.
- Patel, M., Jochem, E., Marscheider-Weidemann, F., Radgen, P., v. Thienen, N. (1999): C-STRÖME Material- und Energieströme des nichtenergetischen Verbrauchs über den Lebenszyklus und CO₂-Minderung durch Produkte der Chemischen Industrie- Stand und Perspektiven. Band I: Abschätzungen für das Gesamtsystem. Fraunhofer ISI, Karlsruhe.
- Patel, M.K. (1999): Closing Carbon Cycles: Carbon Use for Materials in the Context of Resource Efficiency and Climate Change. Thesis Utrecht University, Utrecht.
- Peltzman, S. (1976): Towards a more general theory of regulation. In: Journal of Law and Economics 19, S. 211-240.
- Petersen, M. (1995): Ökonomische Analyse des Car-Sharing. Deutscher Universitäts Verlag, Wiesbaden.
- Petit, P. (1995): Employment and Technological Change. In: Stoneman, P. (Hrsg.): Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change, Oxford, S. 366-408.
- Pilz, H.; Hutterer, H.; Stark, W.; Kosz, M. (1999): Szenarien zur Verwertung und Entsorgung von Kunststoffverpackungen in Österreich. Kurzfassung. Wien.
- Plätzer, E. T. (1998): Papier versus Neue Medien: Eine Analyse der Umweltverträglichkeit von Presseinformationen im Lichte des technologischen Wandels. Darmstadt.

- Porter, M. E./ van der Linde, C. (1995): Towards a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. In: Journal of Economic Perspectives, Vol. 9, Nr. 4, S. 97-118.
- Prettenthaler, F. E.; Steininger, K.W. (1999): From ownership to service lifestyle: the potential of Car-Sharing. In: Ecological Economics 28, S. 443-453.
- Prognos/EWI (1999): Die längerfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt. Untersuchung im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Kurzfassung. Basel.
- Robins, N. (1996): What on Earth is Sustainable Paper Consumption? Sub-Study 13 für IIED (1996). London.
- Robins, N.; Roberts, S. (1996): Rethinking Paper Consumption. Discussion Paper. International Institute for Environment and Development, London.
- Schenk, M. (2000): Telefonische Mitteilung. ARGE Altauto, Januar 2000
- Schleich J., und D. Orden (2000): Environmental quality and industry protection with non-cooperative versus cooperative domestic and trade policies. In: Review of International Economics 8, S. 681-697.
- Schleich, J. (1999): Environmental quality with endogenous domestic and trade policies. In: European Journal of Political Economy 15, S. 53-71.
- Schöb, R. (1995): Zur Bedeutung des Ökosteueraufkommens: Die Double-Dividend-Hypothese. In: Zeitschrift für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften 115.1995, Heft 1, S. 93-117.
- Siemens, (Hrsg., 1999): Forschung und Innovation, Heft 2/1999. Im Internet: http://www.siemens.de/FuI/de/Zeitschrift/archiv/Heft2_99/artikel08/index.html.
- Statistisches Bundesamt (StBA) (1998): Statistisches Jahrbuch 1998 für die Bundesrepublik Deutschland. Stuttgart.
- Statistisches Bundesamt (StBA) (1999): Fachserie 4, Reihe 4.1.1: Beschäftigung, Umsatz und Energieversorgung im Verarbeitenden Gewerbe 1998. Stuttgart.
- Stigler, G. (1971): The theory of economic regulation. In: Bell Journal of Economics 2, S. 3-21.

- Umweltbundesamt (UBA) (1999): Presse-Info 45/99 vom 28.12.1999: Erstes Umweltzeichen "Blauer Engel" für Car-Sharing vergeben. Berlin.
- van den Reek, J.A. (1999): Reduction of CO₂ emissions by reduction of paper use for publication applications. Utrecht.
- Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA) (1999): Tatsachen und Zahlen aus der Kraftverkehrswirtschaft. 63. Folge 1999, Frankfurt.
- VDI (1991): Technikbewertung. Begriffe und Grundlagen, VDI 3780, Beuth Verlag, Berlin.
- Verband Deutscher Papierfabriken (VdP) (1999): Papier '99. Ein Leistungsbericht. Bonn.
- Verband Kunststoffherzeugende Industrie e. V. (VKE) (1999): Internet: <http://www.vke.de>- Wirtschaftsdaten. Frankfurt/M., April 1999.
- Verband Kunststoffherzeugende Industrie (VKE): Wirtschaftsdatenblatt, www.vke.de
- Wagner, U. (2000): Was bewegt uns in Zukunft? Mobilität im nächsten Jahrtausend. Energie&Management-Jahresmagazin 2000, S. 94-98.
- Walz, R. (1995): Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen - der Modellierungsansatz der Enquete-Kommission. In: Hennicke, P. (Hrsg.): Globale Kosten/Nutzen-Analysen von Klimaänderungen, Birkhäuser Verlag, Berlin, S. 134-152.
- Walz, R. (1999): Productivity effects of technology diffusion induced by an energy tax. In: Energy and Environment 10 (1999), Nr. 2, S. 169-180.
- Walz, R. (2000): Winners and losers of a CO₂-reduction policy and their impact on the politics of climate change: a case study for Germany. In: Maxwell, J./von Hagen, J. (Hrsg.): Empirical Studies of Environmental Policies, Kluwer, erscheint 2000.
- Walz, R.; Schön, M.; Blazejczak, J.; Edler, D. (1995): Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen von Emissionsminderungsstrategien. In: Enquete-Kommission Schutz der Erdatmosphäre (Hrsg.): Studienprogramm; Band 3: Energie; Teilband 2, Bonn: Economica Verlag.
- Welsch, H. (1996): Klimaschutz, Energiepolitik und Gesamtwirtschaft. Eine allgemeine Gleichgewichtsanalyse für die Europäische Union. München.

- Wengel, J.; Schirrmeister, E. (Hrsg., 2000): Innovationsprozess vom Verbrennungsmotor zur Brennstoffzelle. Chancen und Risiken für die baden-württembergische Industrie. Verbundforschungsprojekt gefördert vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg im Rahmen der Zukunftsoffensive "Junge Generation". Fraunhofer-ISI, Karlsruhe.
- Wengel, J.; Schirrmeister, E.: Auswirkungen des Innovationsprozesses auf die baden-württembergische Industrie. In: Wengel, J.; Schirrmeister, E. (Hrsg.): Innovationsprozess vom Verbrennungsmotor zur Brennstoffzelle - Chancen und Risiken für die baden-württembergische Industrie. Fraunhofer-ISI, 2000.
- Wilson, D. /Swisher, J. (1993): Exploring the gap - Top-down versus bottom-up analyses of the cost of mitigating global warming. In: Energy Policy 3/93, S. 249-263.
- Young, L, und S.P. Magee (1986): Endogenous protection, factor returns and resource allocation. In: Review of Economics Studies 53, S. 407-419.
- Zangemeister, C. (1992): Methodische Aspekte der Technikfolgenabschätzung und Folgerungen für die Technikfolgenforschung. In: VDI-Technologiezentrum (Hrsg.), Technikfolgenforschung für die Technologiepolitik, S. 41-47.
- ZEW (1998): Beschäftigungswirkungen des Übergangs von additiver zu integrierter Umwelttechnik – Endbericht an das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF), Mannheim.
- Zöller, K. (1998): Nachhaltige Entwicklung durch Kooperationen: Das Beispiel Printmedien. Arbeitsbericht der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Nr. 103. Stuttgart.

Anhang A: Modellbeschreibung ISIS

Zur Analyse der Auswirkungen der Umweltstrategien auf die verschiedenen Dimensionen der Nachhaltigkeit (Strukturwandel, Produktion, Arbeitsplätze, Qualifikationsstruktur und Arbeitsbedingungen, Regionalwirkungen, Umweltwirkungen) wurde im Rahmen des Projekts das Model **ISIS** (**I**ntegrated **S**ustainability **A**ssessment **S**ystem) entwickelt, dessen Bausteine in diesem Anhang näher dargestellt werden.

A.1 Input-Output-Modell

Das Gerüst für die durchgeführten Simulationsrechnungen bildet ein Input-Output-Modell für die Bundesrepublik Deutschland, das die Güterströme zwischen den Wirtschaftssektoren vollständig abbildet. Das im ISI verwendete Input-Output-Modell (IO-Modell) basiert auf den aktuellsten Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 1995 und ist der Gruppe der statischen, offenen Leontief-Modelle zuzuordnen. Das Schema einer derartigen IO-Tabelle ist in Abbildung A-1 zu sehen. In den verwendeten Tabellen wird die deutsche Volkswirtschaft in 58 produzierende und 6 Endnachfragesektoren unterteilt. Die Zeilen der Tabelle enthalten die Lieferungen von Waren und Dienstleistungen zwischen den produzierenden Sektoren (Zwischennachfrage) sowie von diesen an die Endnachfragesektoren. Betrachtet man die Tabelle spaltenweise, so erkennt man, welche Vorleistungsgüter die Sektoren aus den anderen Sektoren benötigen, um ihre jeweiligen Produkte herzustellen. Erkennbar wird ebenfalls der sogenannte Bedarf an primären Inputs, der (abzüglich der Importvorleistungen) der Bruttowertschöpfung der Sektoren entspricht. Diese setzt sich aus den Abschreibungen, der Differenz aus Produktionssteuern und Subventionen, dem Einkommen aus Unternehmertätigkeit und Vermögen sowie dem Einkommen aus unselbständiger Arbeit zusammen. Kern der Input-Output-Tabelle bildet die Verflechtungsmatrix, die die Güterverflechtung zwischen den Produktionssektoren abbildet.

Abbildung A-1: Schema einer erweiterten Input-Output-Tabelle

		Produzierender Bereich	Endnachfrage				Produktionswert
		Sektoren 1 – 58	Privater Verbrauch	Staats-Verbrauch	Anlage-Invest	Aus-fuhr	
Produzierender Bereich	Sektoren 1 – 58	Verflechtungsmatrix: Lieferungen von Gütern und Dienstleistungen Zwischen den Sektoren (Zwischennachfrage) (Mio. DM)					
Importe							
Bruttowertschöpfung	Abschreibungen						
	Kapital-/Unt.-eink.						
	Arbeitseink.						
Produktionswert							

Arbeitskoeffizienten	Arbeitsvolumen pro Mio. DM
Emissionskoeffizienten	Umweltbelastung pro Mio. DM
Modul Qualifikationen/Arbeitsbedingen	Anteile am Arbeitsvolumen
Regionalmodul	Anteile am Arbeitsvolumen

Zur Erläuterung des Input-Output-Modells gelten folgende Abkürzungen:

$i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n$	Indices für Produktionssektoren, mit $n = 58$
$k = 1, \dots, m$	Index für Endnachfrageaggregate, mit $m = 6$
x_i	Produktionswert für Sektor i
$X = (x_i)$	Vektor der sektoralen Produktionswerte
$y_{i,k}$	Nachfrage nach Gut i durch Endnachfrageaggregat k
$Y = (y_i) = (\sum_{k=1}^m y_{i,k})$	Vektor der gesamten Endnachfrage nach Gut i
$Z = (z_{i,j})$	Matrix der intersektoralen Güterströme
$A = (a_{i,j}) = Z\hat{X}^{-1}$	Verflechtungsmatrix normiert auf Produktionswerte, deren Elemente $a_{i,j}$ angeben, wie viele Werteeinheiten des Gutes i zur Produktion einer Werteeinheit von Gut j benötigt werden. Dabei stellt \hat{X} eine Diagonalmatrix mit den sektoralen Produktionswerten als Hauptdiagonalelemente dar.

Da sich der Produktionswert jedes Sektors aus der Summe der Lieferungen an Zwischen- und Endnachfrage zusammensetzt, gilt:

$$X = AX + Y.$$

Der Zusammenhang zwischen Endnachfrage und Produktion lässt sich in diesem statischen Input-Output-Modell dann wie folgt formulieren:

$$X = (I - A)^{-1} * Y.$$

Der Ausdruck $(I - A)^{-1}$ wird auch als Leontief-Inverse C bezeichnet und stellt den Kern des Input-Output-Modells dar. Jedes Element $c_{i,j}$ dieser Matrix gibt die Produktion wieder, die direkt und indirekt (auf vorgelagerten Produktionsebenen) in Sektor i erforderlich ist, um eine Einheit von Gut j für die Endnachfrage bereitzustellen. Mit diesem Zusammenhang lassen sich also die Produktionseffekte einer beliebigen Nachfrage nach Gütern ermitteln.

Neue Technologien oder wirtschaftliche Aktivitäten können in das IO-Modell eingefügt werden, indem analog zu den übrigen Sektoren der IO-Tabelle inputseitig die Güterbezüge von anderen Sektoren (einschließlich Importen) und die Bestandteile der Bruttowertschöpfung sowie outputseitig die Lieferungen an die übrigen Sektoren und die Endnachfrage quantifiziert werden. In den Kapiteln zu den einzelnen Fallbeispielen sind die Aktivitäten aufgeführt, für die neue IO-Sektoren definiert wurden und die dabei verwendeten Methoden sowie Datengrundlagen beschrieben.

In ISIS wurde das Standard IO-Modell um weitere Module ergänzt, so dass eine Analyse der Auswirkungen der unterschiedlichen Strategien auf das Beschäftigungsniveau, auf die Qualifikationsstruktur und Arbeitsbedingungen, auf die Regionalstruktur, sowie auf die Umwelt in einem konsistenten Modellrahmen erfolgen konnte.

A.2 Modul Beschäftigung

Unterstellt man, dass zwischen dem sektoralen Beschäftigungsniveau und dem sektoralen Produktionsniveau näherungsweise ein linearer Zusammenhang besteht, ergeben sich die Beschäftigungseffekte der verschiedenen Strategien aus:

$$L = l * X.$$

Dabei steht l für die Diagonalmatrix mit den sektoralen Beschäftigungskoeffizienten l_i als Elemente der Hauptdiagonalen.

In den Ausführungen zur Festlegung der zeitlichen Bezugs wurde darauf hingewiesen, dass sich die Projektionsanalysen auf das Jahr 2020 beziehen. Um eine Überschätzung der Beschäftigungseffekte zu vermeiden, ist es daher erforderlich, den bis dahin eintretenden Produktivitätszuwachs zu berücksichtigen. Hierzu wurden sektorspezifische Produktivitätskennziffern ermittelt, die das Verhältnis von spezifischer Beschäftigung (d.h. Beschäftigung/Bruttoproduktionswert) im Prognosejahr zur spezifischen Beschäftigung im Basisjahr angeben. Zum Einen basieren diese Kennziffern auf Angaben in Greenpeace (1999), zum Anderen wurden, insbesondere bei den neu zu generierenden Sektoren, Informationen aus Experteninterviews und Literaturrecherchen herangezogen.

A.3 Modul Qualifikationsstruktur und Arbeitsbedingungen

Zur Analyse der Auswirkungen der unterschiedlichen Umweltstrategien auf die Qualifikationsstruktur der Beschäftigten und die betrieblichen Arbeitsbedingungen wurde die 1996-er Erhebung im Rahmen des Mikrozensus herangezogen. Die verwendeten Daten beruhen auf einer faktisch anonymisierten 70-Prozent-Substichprobe der 1-Prozent-Bevölkerungsstichprobe des Mikrozensus für Haushalte/Personen von 1996. Neben sozioökonomischen Grundinformationen liefert dieser Datensatz unter anderem auch Angaben zu *Qualifikationsanforderungen, Tätigkeitsfeldern, Teilzeit- und befristeten Arbeitsverhältnissen, Wochenend- und Feiertagsarbeit sowie Abend- Nacht- und Schichtarbeit* der befragten Personen.

Außerdem ist für Erwerbstätige bekannt, in welchem Wirtschaftszweig (Branche) sie zum Zeitpunkt der Befragung beschäftigt waren. Die Angaben zu Qualifikationsstruktur und Arbeitsbedingungen wurden jeweils für die einzelnen Wirtschaftszweige errechnet. Aus der Differenz der Beschäftigten zwischen Referenz- und Nachhaltigkeitsszenarien, die im IO-Modell für jeden Wirtschaftssektor berechnet wurde, konnten dann Unterschiede bezüglich der Qualifikationsstruktur sowie der Arbeitsbedingungen bestimmt werden. Die in den Kapiteln 5-9 errechneten Nettoeffekte ergeben sich durch Aggregation der Veränderungen über die einzelnen Wirtschaftssektoren. Dabei wurde die Annahme getroffen, dass die Qualifikationsstruktur und die Arbeitsbedingungen in den einzelnen Wirtschaftszweigen – von den durch die Nachhaltigkeitsstrategien induzierten Effekten abgesehen - über den Betrachtungszeitraum unverändert bleibt.

Bei der Kopplung des IO-Modells mit den Daten des Mikrozensus galt es zu beachten, dass die Abgrenzung der Wirtschaftssektoren bzw. -zweige im IO-Modell und im Mikrozensus differieren. Daher wurden die im Mikrozensus verwendeten Daten, die auf der Grundlage der Klassifikation der Wirtschaftszweige von 1993 (WZ 93) basieren, an die Abgrenzung der IO-Tabelle angepasst. Dennoch verbleibende und in der Regel geringfügige Differenzen in den absoluten Zahlen ergeben

sich weitgehend aus Unterschieden in der sektoralen Abgrenzung. Die Abgrenzung der Sektoren für die IO-Tabelle erfolgt nach dem Prinzip der funktionalen Gliederung, während diese im Mikrozensus nach dem Prinzip der institutionellen Gliederung vorgenommen wird. Außerdem gibt es Unterschiede im Erwerbstätigenkonzept. Dem international geltenden Standard des Labour-Force-Konzepts entsprechend, gilt im Mikrozensus bereits als erwerbstätig, wer älter als 15 Jahre ist und in der Berichtswoche mindestens eine Stunde gearbeitet hat.

A.4 Modul Regionalwirkungen

Ausgangspunkt für die untersuchten regionalen Auswirkungen der verschiedenen Umweltstrategien sind die sich aus den Rechnungen des IO-Modells ergebenden Beschäftigungsimpulse für die einzelnen Wirtschaftszweige. In den durchgeführten Analysen werden diese Effekte mit den Daten einer im Rahmen des Projekts veranlassten Zusammenstellung der Bundesanstalt für Arbeit (BA) gekoppelt. Der verwendete Datensatz enthält für jeden der 181 Arbeitsamtsbezirke Deutschlands die Aufteilung der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten nach Wirtschaftsgruppen (3-Steller der WZ93) am 30. Juni 1998. Bei der Verknüpfung dieser Daten mit dem IO-Modell wurden Anpassungen vorgenommen, um - wie im Modul Qualifikationsstruktur und Arbeitsbedingungen bereits dargestellt - der unterschiedlichen Gliederungssystematik der Wirtschaftssektoren in den beiden Datensätzen Rechnung zu tragen. Für die neu geschaffenen Wirtschaftszweige mussten Annahmen über deren regionale Verteilung getroffen werden. Dabei kamen zwei Verfahren zur Anwendung. Je nach Plausibilität erfolgte die Verteilung entweder entsprechend der Verteilung einer Durchschnittsbranche, oder sie orientierte sich an der regionalen Beschäftigtenverteilung eines strukturell ähnlichen Wirtschaftszweiges. Grundsätzlich liegt den durchgeführten Analysen zu den Regionalwirkungen die Annahme zugrunde, dass die regionale Verteilung der Beschäftigten - von den durch die Nachhaltigkeitsstrategien induzierten Effekten abgesehen - über den Betrachtungszeitraum unverändert bleibt.

Als Messgrößen für die regionalen Auswirkungen einer Umweltstrategie werden prinzipiell zwei Kriterien verwendet:

- (1) (1) Welche Auswirkungen haben die Umweltschutzstrategien auf die gesamtwirtschaftliche regionale Konzentration der Wirtschaftszweige?
- (2) (2) Welche Regionen sind von der jeweiligen Umweltschutzstrategie am stärksten betroffen?

A.4.1 Gesamtwirtschaftlicher Indikator für Veränderung der regionalen Konzentration

Zur Bestimmung der Auswirkungen auf die regionale Konzentration werden zunächst Konzentrationsmaße für die Regionalverteilung sämtlicher Wirtschaftszweige berechnet. Diese werden über alle Wirtschaftszweige zu einem gesamtwirtschaftlichen Konzentrationsmaß aggregiert. Zur Bewertung der Auswirkung einer Umweltschutzstrategie auf die Regionalverteilung werden die aggregierten Konzentrationsmaße von Referenz- und Nachhaltigkeitsszenario verglichen. Nachfolgend wird das Vorgehen im Detail erläutert.

Als Konzentrationsmaß werden für sämtliche Wirtschaftszweige Herfindahl-Hirschman Indices berechnet. Die verwendete Formel für den **Herfindahl-Hirschman Index** H für Wirtschaftszweig j lautet

$$H_j = 1000 \cdot \frac{V_j^2 + 1}{m}$$

mit

$SB_{i,j}^{\text{Ref}}$ Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Wirtschaftszweig j im Arbeitsamtsbezirk i im Referenzszenario, mit $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$;

$V_j = \frac{1}{d_j} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (SB_{i,j}^{\text{Ref}} - d_j)^2}{m}}$ Variationskoeffizient für Wirtschaftszweig j

$d_j = \frac{\sum_{i=1}^m SB_{i,j}^{\text{Ref}}}{m}$ Durchschnittliche Anzahl an Beschäftigten in den arbeitsamtsbezirken für Wirtschaftszweig j

Der verwendete Herfindahl-Hirschman Index ist so genormt, dass die Obergrenze für höchste Konzentration bei 1000 liegt und die Untergrenze für geringste Konzentration bei $1000/m$ ($=1000/181 \approx 5,53$). Für die regional am höchsten konzentrierten Branchen liegen die Werte bei 175 (für Erdöl, Erdgas), 131 (Luft- u. Raumfahrzeuge), 120 (Dienstleistungen der Schifffahrt, Wasserstraßen, Häfen), 117 (Kohle, Erzeugnisse des Kohlenbergbaus) und 106 (Mineralölerzeugnisse). Niedrige Konzentrationswerte zwischen 9 und 10 werden von den Branchen Nahrungsmittel (ohne Getränke), Steine u. Erden, Baustoffe, Marktbestimmte Dienstleistungen, Gesundheit oder Hoch- u. Tiefbauleistungen angenommen.

Ein gesamtwirtschaftliches Konzentrationsmaß ergibt sich dann aus der Aggregation der Herfindahl-Hirschman Indizes der einzelnen Wirtschaftszweige, wobei die

relativen Beschäftigtenanteile der einzelnen Wirtschaftszweige als Gewichtungsfaktoren fungieren. Für das Referenzszenario lautet die verwendete Formel:

$$\overline{H}^R = \sum_{j=1}^n \alpha_j^R \cdot H_j ,$$

wobei

$$\alpha_j = \frac{\sum_{i=1}^m SB_{i,j}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n SB_{i,j}} \quad \text{Anteil der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Wirtschaftszweig j an der Gesamtzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten}$$

Im Referenzszenario nimmt das so errechnete gesamtwirtschaftliche Konzentrationsmaß den Wert 17,85 an. Dieser Durchschnittswert wird zugleich für einige im Rahmen des Projekts neu generierten Wirtschaftszweige als Konzentrationsindex verwendet.

Bevor das gesamtwirtschaftliche Konzentrationsmaß für das Nachhaltigkeitsszenario in analoger Weise berechnet werden kann, müssen die Beschäftigungsänderungen, die sich aus dem Input-Output Modell für das Nachhaltigkeitsszenario im Vergleich zum Referenzszenario ergeben, auf die einzelnen Arbeitsamtsbezirke aufgeteilt werden. Dazu wird angenommen, dass sich die Beschäftigungsänderungen proportional zur bestehenden Regionalverteilung über sämtliche Arbeitsamtsbezirke aufteilen. Als Proportionalitätsfaktor wurde für jeden Wirtschaftszweig der Anteil der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im jeweiligen Arbeitsamtsbezirk an den sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in allen Arbeitsamtsbezirken gewählt. Die Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Wirtschaftszweig j im Arbeitsamtsbezirk i im Nachhaltigkeitsszenario ergibt sich dann als:

$$(A1) \quad SB_{i,j}^{Nach} = SB_{i,j}^{Ref} + k_{i,j} \cdot \Delta B_j$$

mit

$$SB_{i,j}^{Ref} \quad \text{Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Wirtschaftszweig j im Arbeitsamtsbezirk i im Referenzszenario}$$

$$k_{i,j} = \frac{SB_{i,j}^{Ref}}{\sum_{i=1}^m SB_{i,j}^{Ref}} \quad \text{Proportionalitätsfaktor, Anteil der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Arbeitsamtsbezirk i an den sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in allen Arbeitsamtsbezirken in Sektor j}$$

$$\Delta B_j \quad \text{Veränderung der Beschäftigung in Wirtschaftszweig j im Vergleich zum Referenzszenario}$$

Summiert man in Gleichung (A1) über alle Arbeitsamtsbezirke erhält man die Anzahl der Beschäftigten in den jeweiligen Wirtschaftszweigen im Nachhaltigkeitsszenario. Daraus lässt sich nun ein gesamtwirtschaftliches Konzentrationsmaß \bar{H}^N für das Nachhaltigkeitsszenario bestimmen. Zur Beurteilung der Auswirkung der Umweltstrategie auf die regionale Konzentration bildet man die Differenz der gesamtwirtschaftlichen Konzentrationsmaße der beiden Szenarien:

$$\Delta\bar{H} = \bar{H}^N - \bar{H}^R.$$

Falls $\Delta\bar{H} > 0$, führt die betrachtete Umweltstrategie zu einer Zunahme der regionalen Konzentration. Falls $\Delta\bar{H} < 0$, bewirkt sie eine Abnahme der regionalen Konzentration.

A.4.2 Indikatoren für Wirkungen auf einzelnen Regionen

Als Messgrößen der in Frage (2) angesprochenen regionalen Auswirkungen einer Umweltstrategie dient die *Veränderung der Beschäftigung und der durch sie erzeugte intraregionale Anpassungsdruck* innerhalb einer Region. Summiert man die in Gleichung (A1) berechneten Änderungen der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten über alle Wirtschaftszweige, erhält man die Veränderung der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Arbeitsamtsbezirk i als

$$\sum_{j=1}^n (SB_{i,j}^{\text{Nach}} - SB_{i,j}^{\text{Ref}}) = \sum_{j=1}^n k_{i,j} \cdot \Delta B_j.$$

Da positive und negative Beschäftigungseffekte bereits saldiert sind, handelt es sich um *absolute Netto-Beschäftigungsänderungen*. Bei der Interpretation dieses Indikators ist zu beachten, dass Unterschiede in den Werten für die einzelnen Arbeitsamtsbezirke aus der unterschiedlichen Größe der Arbeitsamtsbezirke (zwischen rund 33.000 in Altenburg und über 900.000 in München) resultieren. In einem weiteren Schritt wird daher abgeschätzt, wie bedeutend die durch die Umweltschutzstrategie ausgelösten Beschäftigungsänderungen für die einzelnen Arbeitsamtsbezirke sind. Dazu wird die gesamte Veränderung der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten eines Arbeitsamtsbezirkes ins Verhältnis zur Gesamtzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im Arbeitsamtsbezirk gesetzt. Als Indikator für die regionalen Auswirkungen der Umweltstrategie ergibt sich somit für Arbeitsamtsbezirk i die *relative Netto-Beschäftigungs-Änderung*, die wie folgt definiert ist:

$$RI_i = \frac{\sum_{j=1}^n (SB_{i,j}^{\text{Nach}} - SB_{i,j}^{\text{Ref}})}{\sum_{j=1}^n SB_{i,j}^{\text{Ref}}} = \frac{\sum_{j=1}^n k_{i,j} \cdot \Delta B_j}{\sum_{j=1}^n SB_{i,j}^{\text{Ref}}}$$

Das Vorzeichen von Regionalindikator RI gibt die *Richtung* der durch die Umweltschutzstrategie induzierten Regionalwirkungen an. Ein positives Vorzeichen von RI lässt darauf schließen, dass die Umweltschutzstrategie insgesamt gesehen einen positiven Einfluss auf die jeweilige Region hat. Bei einem negativen Vorzeichen ist das Gegenteil der Fall. Die *Relevanz* der Veränderungen für die jeweilige Region spiegelt sich in der Höhe des Absolutwertes von RI wider. Unter der Annahme, dass sich die Beschäftigung maximal verdoppeln kann, liegt der Wertebereich für RI zwischen -1 (sämtliche in einem Arbeitsamtsbezirk sozialversicherungspflichtig Beschäftigte verlieren ihre Arbeitsstelle) und $+1$ (die Anzahl der in einem Arbeitsamtsbezirk sozialversicherungspflichtig Beschäftigten verdoppelt sich). Wenn es zu keiner Nettobeschäftigungsänderung kommt, nimmt RI den Wert Null an.

Bei der Konstruktion von RI werden zum einen Wirkungen erfasst, die sich aus der regionalen Bedeutung eines Wirtschaftszweiges - gemessen an der Gesamtzahl der Arbeitsplätze - ergibt. Das heißt, RI reflektiert auch kleine Änderungen in regional bedeutsamen Wirtschaftszweigen. Zum anderen reagiert RI auch, wenn die Umweltschutzstrategie in einem für die Region ursprünglich relativ unbedeutendem Wirtschaftszweig starke Veränderungen hervorruft.

Da RI nur die Nettoeffekte der Auswirkungen angibt, d.h. positive und negative Wirkungen sich gegenseitig zumindest partiell aufheben, gibt RI keine Auskunft darüber, wie stark die *intraregionalen strukturellen Veränderungen* infolge der Nachhaltigkeitsstrategie sind, und welcher Anpassungsdruck innerhalb einer Region infolgedessen ausgelöst wird. So ist z.B. vorstellbar, dass sich innerhalb eines Arbeitsamtsbezirks stark positive Beschäftigungsänderungen in einem Wirtschaftssektor durch stark negative Beschäftigungsänderungen in einem anderen Wirtschaftssektor gerade ausgleichen. In diesem Fall würde RI keine bedeutenden Auswirkungen anzeigen. Um diese intraregionalen strukturellen Veränderungen zu erfassen, wurde ein Indikator gebildet, in dessen Konstruktion lediglich die Absolutwerte der durch die Umweltstrategie hervorgerufenen Beschäftigungsänderungen eingehen ($|\Delta B_j| > 0$). Als Indikator für die intraregionalen Strukturänderungen (IRSI) ergibt sich somit die *relative Brutto-Beschäftigungs-Änderung*

$$IRSI_i = \frac{\sum_{j=1}^n |SB_{i,j}^{\text{Nach}} - SB_{i,j}^{\text{Ref}}|}{\sum_{j=1}^n SB_{i,j}^{\text{Ref}}} = \frac{\sum_{j=1}^n k_{i,j} \cdot |\Delta B_j|}{\sum_{j=1}^n SB_{i,j}^{\text{Ref}}}$$

Je größer IRSI, desto stärker sind die durch die Umweltschutzstrategie ausgelösten strukturellen Veränderungen innerhalb einer Region. Unter der Annahme, dass sich die Beschäftigung in einem Bezirk maximal verdoppeln kann, liegt der Wertebereich für RI zwischen 0 (keine Änderung der in einem Arbeitsamtsbezirk sozialversicherungspflichtig Beschäftigten) und + 3 (sämtliche in einem Arbeitsamtsbezirk sozialversicherungspflichtig Beschäftigten wechseln die Arbeitsstelle und zusätzlich verdoppelt sich die Beschäftigung im Arbeitsamtsbezirk).

A.5 Modul Umwelt

Bei der Erweiterung des statischen Input-Output-Modells um Umweltbelastungsgrößen werden - ähnlich dem Vorgehen bei den Beschäftigungskoeffizienten - sektorale Emissionskoeffizienten gebildet (vgl. Hohmeyer/Walz et al. 1992; Nathani/Walz 1997). Durch Multiplikation mit der zur Deckung einer Endnachfrage notwendigen Gesamtproduktion werden hierbei die Umweltbelastungen ausgewiesen. Aufgrund der Geschlossenheit des Modells und der Berücksichtigung aller zur Deckung der Endnachfrage notwendigen Vorproduktionen werden die ausgewiesenen Umweltbelastungen in besonderer Weise dem Gedanken eines Life-Cycle-Assessment auf aggregierter Branchenebene gerecht.

Bei dem gewählten Vorgehen können Verzerrungen in den Ergebnissen vor allem daraus resultieren, dass für jeden Sektor ein Durchschnittswert gebildet wird. Um dieser Problematik entgegenzutreten, wurden die direkten und bedeutsamen Umweltbelastungen nicht mit der Emittentenstruktur abgeschätzt, sondern aus bottom-up Berechnungen bzw. bestehenden Ökobilanzergebnissen übernommen (vgl. Nathani/Walz 1997).

Die folgenden Umweltindikatoren, insgesamt 42 Indikatoren, werden sektorspezifisch im Modell ISIS abgebildet:

Primärenergieverbrauch;

Treibhausgase: CO₂, CH₄, N₂O;

Sonstige Massenluftschadstoffe: SO₂, NO_x, CO, NMVOC, Staub;

Luftgängige Schwermetalle: Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, As;

Abwassermengen in 7 Kategorien;

Abfallmengen in 20 Kategorien,

darunter das gesamte Abfallaufkommen, Sondermüll und 18 Abfallgruppen

A.6 Isolierung eines neuen I/O- Sektors am Beispiel „Kfz-Instandhaltung“

Für die Modellierung des Fallbeispiels „Pkw-Lebensdauererweiterung“ wurde ein eigenständiger Sektor „Instandhaltung von Kfz“ gebildet und aus dem Sektor „Straßenfahrzeugbau“, dem die Instandhaltungsaktivitäten in der sektoralen Systematik der Input-Output-Tabellen zugeordnet sind, herausgelöst. Da für diesen Subsektor jedoch keine öffentlich zugänglichen Daten in der Input-Output-Klassifikation existieren, war es notwendig, Produktionswert sowie Input- und Outputstruktur aus anderen Datenquellen abzuleiten.

Die Vorleistungen der Aktivität „Kfz-Reparaturen“ mussten geschätzt werden, da in den amtlichen IO-Tabellen ein entsprechender Sektor nicht ausgewiesen wird. Als Datenquellen eignen sich prinzipiell die Kostenstrukturstatistik (StBA 1995) und die Material- und Wareneingangsrechnung für das Verarbeitende Gewerbe (StBA 1996). Problematisch ist hier die institutionelle Gliederung der Statistiken nach dem wirtschaftlichen Schwerpunkt der Betriebe, die dazu führt, dass im Sektor „Kfz-Reparaturen“ der Kfz-Handel mit einem nicht quantifizierbaren Anteil eingeht und zu Verzerrungen insbesondere beim Material- und Wareneingang führt. Für die vorliegende Untersuchung war es jedoch aus systematischen Gründen erforderlich, Kfz-Handel und Reparaturen getrennt zu betrachten. Um zu einer groben Abschätzung zu gelangen, wurde daher die Vorleistungsstruktur des Kfz-Reparatursektors in den Input-Output-Tabellen der Vereinigten Staaten herangezogen, da in den - in einer Untergliederung nach rund 500 Sektoren vorliegenden - amerikanischen Input-Output Tabellen die „Kfz-Reparaturen“ einen eigenen Sektor bilden, der zudem um den Handel mit Kfz bereinigt ist. Auch wenn die Inputstrukturen der Kfz-Reparatur in den USA und Deutschland vermutlich nicht völlig identisch sind, führt diese Vorgehensweise zu einer Schätzung, die zumindest ausreichen dürfte, um Richtung und Größenordnung der Struktureffekte zu skizzieren. Im Einzelnen wurde bei der Isolierung des Kfz-Reparatursektors wie folgt vorgegangen:

- In einem ersten Schritt wurde der Produktionswert des deutschen Reparatursektors ermittelt. Eine Anfrage beim Statistischen Bundesamt ergab, dass der Bereich „Kfz-Reparatur“ in der internen IO-Tabelle des Statistischen Bundesamtes mit ca. 50 Mrd. DM in den Produktionswert des Sektors „Straßenfahrzeugbau“ eingeht.
- Hiervon war in einem zweiten Schritt der Anteil der Bruttowertschöpfung zu Marktpreisen abzuziehen. Dieser wurde auf der Basis von Angaben aus der Kostenstrukturstatistik für den deutschen Kfz-Reparatursektor ermittelt (StBA 1995). Die Differenz ergibt die Summe der Vorleistungen.
- Die Summe der Vorleistungen wurde in einem dritten Schritt in Anlehnung an die prozentuale sektorale Zusammensetzung der Vorleistungen im amerikanischen Kfz-Reparatursektor aufgeteilt. Da in den amerikanischen IO-Tabellen

inländische und importierte Vorleistungen zusammengefasst sind, während in der vorliegenden Untersuchung in erster Linie die inländischen Vorleistungen betrachtet wurden, musste für die von jedem Vorleistungssektor bereit gestellten Güter ein Importanteil gebildet werden. Da die Herkunft der Vorleistungen für den Reparatursektor nicht bekannt ist, wurden die jeweiligen nationalen Importquoten herangezogen.

Da Reparaturleistungen sowohl von den Produzierenden Sektoren als auch von den Privaten Haushalten nachgefragt werden, war es erforderlich, den Produktionswert des neuen Sektors „Kfz-Reparaturen“ entsprechend aufzuteilen. Mangels näherer Informationen wurde die Aufteilung entsprechend des Verhältnisses der Endnachfrage von Privaten Haushalten und Investitionsnachfrage nach Kraftfahrzeugen vorgenommen. Daraus ergab sich die Lieferung von Reparaturleistungen an die Zwischennachfrage in Höhe von rund 16 Mrd. DM und an die Privaten Haushalte im Wert von 34 Mrd. DM.

Nach der Generierung des Reparatursektors war es nun möglich, den neuen Sektor „Straßenfahrzeugbau (ohne Reparaturen)“ mit seiner Verwendungsstruktur zu beschreiben. Hierzu werden die oben ermittelten Reparaturleistungen von den entsprechenden Lieferungen des ursprünglichen Kfz-Sektors subtrahiert.

Anhang B: Einzelergebnisse zu den Regionalwirkungen und Qualifikationswirkungen

Anhang B enthält für sämtliche Fallbeispiele die Ergebnisse der Regionalwirkungen auf der Ebene einzelner Arbeitsamtsbezirke. Dazu enthalten die jeweils ersten Spalten der Ergebnistabellen B-1 bis B-5 die durch die Umweltstrategien ausgelöste Änderung der Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in jedem Arbeitsamtsbezirk. Die nächste Spalte setzt die absoluten Beschäftigungsänderungen ins Verhältnis zur Gesamtzahl der Beschäftigten im jeweiligen Arbeitsamtsbezirk (relative Netto-Beschäftigungsänderung). In der letzten Spalte sind die Anzahl der Arbeitsplatzwechsel im Verhältnis zur Gesamtbeschäftigung je Arbeitsamtsbezirk angeführt (relative Brutto-Beschäftigungsänderung).

Im Anschluß sind ausgewählte Ergebnisse zu Auswirkungen auf Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen aufgeführt.

Tabelle B-1: Regionalwirkungen einer nachhaltigen Papiernutzung im Vergleich zum Referenzszenario

Arbeitsamtsbezirk	Absolute Beschäftigungs- änderung	Relative Netto- Beschäftigungs- änderung in %	Relative Brutto- Beschäftigungs- änderung in %			
Aachen	313	0,14	0,59			
Aalen	17	0,01	0,52			
Ahlen	107	0,13	0,40			
Altenburg	24	0,07	0,42			
Annaberg	78	0,08	0,40			
Ansbach	6	0,01	0,49			
Aschaffenburg	-127	-0,10	0,69			
Augsburg	12	0,01	0,72			
Bad Hersfeld	-9	-0,01	0,51			
Bad Kreuznach	123	0,14	0,41			
Bad Oldesloe	-379	-0,37	0,95			
Balingen	36	0,03	0,46			
Bamberg	50	0,05	0,53			
Bautzen	323	0,16	0,40			
Bayreuth	-49	-0,05	0,64			
Bergisch Gladb.	-70	-0,03	0,64			
Berlin Mitte	471	0,28	0,59			
Berlin Nord	635	0,25	0,59			
Berlin Ost	169	0,25	0,53			
Berlin Süd	185	0,09	0,55			
Berlin Südwest	236	0,09	0,74			
Berlin West	877	0,49	0,78			
Bielefeld	-521	-0,20	0,85			
Bochum	169	0,10	0,53			
Bonn	596	0,22	0,57			
Braunschweig	298	0,16	0,58			
Bremen	464					0,18
Bremerhaven	62					0,10
Brühl	-296					-0,19
Celle	86					0,08
Chemnitz	280					0,14
Coburg	60					0,05
Coesfeld	-47					-0,03
Cottbus	374					0,18
Darmstadt	272					0,09
Deggendorf	36					0,04
Dessau	196					0,20
Detmold	-74					-0,07
Donauwörth	-289					-0,41
Dortmund	427					0,18
Dresden	768					0,30
Duisburg	160					0,10
Düren	-407					-0,57
Düsseldorf	896					0,20
Eberswalde	14					0,01
Elmshorn	-469					-0,33
Emden	112					0,13
Erfurt	522					0,26
Essen	404					0,19
Flensburg	-23					-0,02
Frankfurt/M.	1805					0,27
Frankfurt/O.	299					0,20
Freiburg	23					0,01
Freising	100					0,12
Fulda	55					0,08
						0,52
						0,48
						0,76
						0,51
						0,56
						0,43
						0,56
						0,42
						0,57
						0,48
						0,44
						0,64
						0,90
						0,61
						0,60
						0,53
						1,14
						0,71
						0,53
						0,95
						0,48
						0,49
						0,85
						0,62
						0,80
						0,42
						0,62
						0,50
						0,52

Gelsenkirchen	146	0,12	0,45	Korbach	34	0,06	0,35
Gera	116	0,12	0,52	Kostanz	128	0,12	0,59
Gießen	-7	0,00	0,62	Krefeld	21	0,01	0,62
Göppingen	-190	-0,07	0,69	Landau	-86	-0,09	0,62
Goslar	-4	-0,01	0,54	Landshut	96	0,09	0,44
Gotha	127	0,10	0,47	Leer	-199	-0,32	0,83
Göttingen	-149	-0,10	0,66	Leipzig	721	0,23	0,60
Hagen	-50	-0,03	0,61	Limburg	13	0,03	0,52
Halberstadt	112	0,14	0,43	Lörrach	-2	0,00	0,52
Halle	469	0,27	0,49	Lübeck	170	0,12	0,56
Hamburg	1890	0,25	0,65	Ludwigsburg	-22	-0,01	0,64
Hameln	97	0,08	0,48	Ludwigshafen	97	0,06	0,46
Hamm	71	0,06	0,47	Lüneburg	104	0,12	0,48
Hanau	42	0,04	0,59	Magdeburg	513	0,22	0,45
Hannover	606	0,17	0,69	Mainz	129	0,07	0,66
Heide	14	0,03	0,51	Mannheim	122	0,06	0,75
Heidelberg	222	0,15	0,66	Marburg	72	0,10	0,44
Heilbronn	33	0,02	0,62	Mayen	-128	-0,19	0,70
Helmstedt	155	0,12	0,38	Memmingen	39	0,03	0,46
Herford	-39	-0,02	0,60	Merseburg	194	0,17	0,44
Hildesheim	-144	-0,12	0,67	Meschede	-36	-0,04	0,55
Hof	-85	-0,09	0,53	Mönchengladbach	-71	-0,03	0,64
Ingolstadt	84	0,06	0,48	Montabaur	35	0,04	0,47
Iserlohn	189	0,12	0,40	München	2075	0,23	0,75
Jena	156	0,12	0,52	Münster	362	0,30	0,53
Kaiserslautern	93	0,10	0,46	Nagold	20	0,02	0,49
Karlsruhe	383	0,15	0,66	Neubrandenburg	286	0,20	0,44
Kassel	140	0,07	0,51	Neumünster	-5	0,00	0,58
Kempten	-62	-0,04	0,60	Neunkirchen	119	0,13	0,39
Kiel	204	0,14	0,60	Neuruppin	303	0,19	0,42
Koblenz	203	0,20	0,63	Neuwied	-35	-0,04	0,57
Köln	669	0,15	0,72	Nienburg	54	0,08	0,42

Nordhausen	170	0,18	0,42
Nordhorn	150	0,16	0,45
Nürnberg	616	0,13	0,72
Oberhausen	278	0,23	0,55
Offenbach	120	0,12	0,68
Offenburg	-476	-0,33	0,84
Oldenburg	37	0,02	0,65
Oschatz	74	0,08	0,44
Osnabrück	-165	-0,10	0,67
Paderborn	226	0,17	0,59
Passau	77	0,08	0,40
Pfarrkirchen	96	0,10	0,42
Pforzheim	-53	-0,05	0,56
Pirmasens	28	0,06	0,41
Pirna	38	0,04	0,50
Plauen	101	0,11	0,44
Potsdam	521	0,21	0,45
Rastatt	-374	-0,37	0,97
Ravensburg	-175	-0,09	0,64
Recklinghausen	125	0,09	0,44
Regensburg	248	0,14	0,52
Reutlingen	7	0,00	0,57
Rheine	-70	-0,06	0,54
Riesa	100	0,13	0,42
Rosenheim	-269	-0,19	0,76
Rostock	442	0,25	0,45
Rotthweil	12	0,01	0,52
Saarbrücken	406	0,24	0,58
Saarlouis	79	0,09	0,39
Sangerhausen	130	0,16	0,38
Schwäbisch Hall	-71	-0,07	0,51
Schwandorf	47	0,04	0,53

Schweinfurt	213	0,15	0,41
Schwerin	351	0,20	0,43
Siegen	81	0,06	0,45
Soest	120	0,13	0,42
Solingen	100	0,10	0,49
Stade	69	0,07	0,44
Stendal	126	0,17	0,35
Stralsund	365	0,29	0,47
Stuttgart	1130	0,23	0,68
Suhl	231	0,15	0,43
Tauberbischofsh.	57	0,07	0,41
Traunstein	14	0,02	0,52
Trier	-163	-0,12	0,66
Uelzen	30	0,05	0,48
Ulm	-81	-0,07	0,67
Vechta	56	0,07	0,44
Verden	-19	-0,02	0,59
Villingen-Schw.	103	0,14	0,56
Waiblingen	4	0,00	0,67
Weiden	60	0,09	0,37
Weilheim	-8	-0,01	0,55
Weißenburg	44	0,09	0,37
Wesel	39	0,02	0,50
Wetzlar	98	0,10	0,45
Wiesbaden	478	0,31	0,63
Wilhelmshaven	68	0,13	0,49
Wittenberg	70	0,16	0,39
Wuppertal	-2	0,00	0,55
Würzburg	25	0,01	0,52
Zwickau	284	0,17	0,48

Quelle: Eigene Berechnungen

Gelsenkirchen	5	0,00	0,18	Korbach	24	0,04	0,13
Gera	18	0,02	0,15	Kostanz	31	0,03	0,13
Gießen	63	0,04	0,13	Krefeld	-307	-0,18	0,35
Göppingen	82	0,03	0,13	Landau	44	0,05	0,12
Goslar	-85	-0,15	0,32	Landshut	55	0,05	0,12
Gotha	41	0,03	0,13	Leer	26	0,04	0,13
Göttingen	51	0,03	0,13	Leipzig	80	0,03	0,14
Hagen	-55	-0,03	0,19	Limburg	16	0,04	0,13
Halberstadt	24	0,03	0,13	Lörrach	-45	-0,04	0,20
Halle	44	0,03	0,14	Lübeck	48	0,04	0,13
Hamburg	166	0,02	0,14	Ludwigsburg	50	0,03	0,13
Hameln	28	0,02	0,14	Ludwigshafen	-1749	-1,01	1,16
Hamm	13	0,01	0,16	Lüneburg	29	0,03	0,13
Hanau	18	0,02	0,16	Magdeburg	84	0,04	0,12
Hannover	94	0,03	0,14	Mainz	-103	-0,06	0,22
Heide	-57	-0,14	0,31	Mannheim	-15	-0,01	0,16
Heidelberg	41	0,03	0,13	Marburg	24	0,03	0,13
Heilbronn	34	0,02	0,14	Mayen	16	0,02	0,14
Helmstedt	70	0,05	0,12	Memmingen	13	0,01	0,15
Herford	70	0,03	0,13	Merseburg	-131	-0,11	0,28
Hildesheim	42	0,04	0,13	Meschede	27	0,03	0,13
Hof	35	0,04	0,13	Mönchengladbach	-214	-0,10	0,27
Ingolstadt	46	0,03	0,14	Montabaur	6	0,01	0,15
Iserlohn	13	0,01	0,15	München	203	0,02	0,14
Jena	48	0,04	0,13	Münster	1	0,00	0,16
Kaiserslautern	23	0,02	0,14	Nagold	28	0,03	0,12
Karlsruhe	48	0,02	0,14	Neubrandenburg	64	0,04	0,12
Kassel	41	0,02	0,14	Neumünster	48	0,04	0,13
Kempten	52	0,04	0,13	Neunkirchen	40	0,04	0,13
Kiel	64	0,04	0,12	Neuruppin	59	0,04	0,13
Koblenz	31	0,03	0,13	Neuwied	3	0,00	0,16
Köln	82	0,02	0,14	Nienburg	15	0,02	0,14

Nordhausen	43	0,05	0,12
Nordhorn	31	0,03	0,13
Nürnberg	167	0,03	0,13
Oberhausen	25	0,02	0,14
Offenbach	-13	-0,01	0,17
Offenburg	40	0,03	0,13
Oldenburg	16	0,01	0,15
Oschatz	33	0,03	0,13
Osnabrück	68	0,04	0,13
Paderborn	40	0,03	0,13
Passau	40	0,04	0,13
Pfarrkirchen	-291	-0,29	0,45
Pforzheim	44	0,04	0,12
Pirmasens	14	0,03	0,14
Pirna	35	0,04	0,12
Plauen	42	0,04	0,12
Potsdam	105	0,04	0,12
Rastatt	-14	-0,01	0,18
Ravensburg	49	0,03	0,13
Recklinghausen	-74	-0,05	0,23
Regensburg	17	0,01	0,15
Reutlingen	21	0,01	0,15
Rheine	18	0,02	0,15
Riesa	3	0,00	0,16
Rosenheim	25	0,02	0,14
Rostock	67	0,04	0,13
Rottweil	37	0,04	0,12
Saarbrücken	76	0,05	0,13
Saarlouis	44	0,05	0,12
Sangerhausen	23	0,03	0,14
Schwäbisch Hall	28	0,03	0,13
Schwandorf	41	0,03	0,13

Schweinfurt	62	0,04	0,12
Schwerin	79	0,05	0,12
Siegen	23	0,02	0,14
Soest	41	0,04	0,12
Solingen	40	0,04	0,12
Stade	-32	-0,03	0,20
Stendal	32	0,04	0,12
Stralsund	59	0,05	0,12
Stuttgart	145	0,03	0,13
Suhl	67	0,04	0,12
Tauberbischofsh.	28	0,03	0,13
Traunstein	-23	-0,03	0,19
Trier	61	0,04	0,12
Uelzen	23	0,04	0,13
Ulm	13	0,01	0,15
Vechta	26	0,03	0,13
Verden	35	0,04	0,13
Villingen-Schw.	30	0,04	0,12
Waiblingen	48	0,04	0,12
Weiden	3	0,00	0,16
Weilheim	-50	-0,06	0,22
Weißenburg	17	0,03	0,13
Wesel	36	0,02	0,15
Wetzlar	33	0,03	0,13
Wiesbaden	-36	-0,02	0,18
Wilhelmshaven	4	0,01	0,16
Wittenberg	-32	-0,08	0,24
Wuppertal	52	0,03	0,13
Würzburg	64	0,04	0,12
Zwickau	72	0,04	0,13

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle B-3: Regionalwirkungen einer Pkw-Lebensdauerverlängerung im Vergleich zum Referenzszenario

Arbeitsamtsbezirk	Absolute Be- schäftigungs- änderung	Relative Netto- Beschäftigungs- änderung in %	Relative Brutto- Beschäftigungs- änderung in %	Bremen	-901	-0.35	0.77
Aachen	271	0.12	0.42	Bremerhaven	283	0.47	0.63
Aalen	-183	-0.12	0.84	Brühl	164	0.10	0.36
Ahlen	47	0.06	0.37	Celle	472	0.43	0.58
Altenburg	59	0.18	0.53	Chemnitz	502	0.25	0.53
Annaberg	284	0.27	0.62	Coburg	202	0.17	0.65
Ansbach	280	0.30	0.54	Coesfeld	408	0.26	0.52
Aschaffenburg	-236	-0.19	0.87	Cottbus	381	0.18	0.33
Augsburg	247	0.12	0.37	Darmstadt	-938	-0.30	1.01
Bad Hersfeld	204	0.35	0.54	Deggendorf	95	0.09	0.59
Bad Kreuznach	129	0.15	0.70	Dessau	202	0.20	0.36
Bad Oldesloe	121	0.12	0.55	Detmold	103	0.10	0.60
Balingen	236	0.23	0.53	Donauwörth	81	0.12	0.56
Bamberg	215	0.23	0.55	Dortmund	318	0.14	0.41
Bautzen	720	0.35	0.51	Dresden	486	0.19	0.35
Bayreuth	193	0.22	0.46	Duisburg	-75	-0.05	0.32
Bergisch Gladb.	-44	-0.02	0.53	Düren	-18	-0.02	0.43
Berlin Mitte	202	0.12	0.18	Düsseldorf	-321	-0.07	0.34
Berlin Nord	375	0.15	0.33	Eberswalde	191	0.20	0.30
Berlin Ost	195	0.28	0.42	Elmshorn	197	0.14	0.45
Berlin Süd	81	0.04	0.40	Emden	-501	-0.59	1.17
Berlin Südwest	294	0.11	0.19	Erfurt	497	0.25	0.38
Berlin West	291	0.16	0.43	Essen	266	0.12	0.29
Bielefeld	149	0.06	0.41	Flensburg	415	0.33	0.48
Bochum	-749	-0.43	0.92	Frankfurt/M.	428	0.06	0.27
Bonn	350	0.13	0.45	Frankfurt/O.	434	0.29	0.45
Braunschweig	-783	-0.43	1.10	Freiburg	489	0.25	0.46
				Freising	175	0.22	0.46
				Fulda	101	0.14	0.51

Gelsenkirchen	72	0.06	0.39				
Gera	216	0.22	0.46		Konstanz	222	0.21
Gießen	521	0.31	0.58		Korbach	86	0.16
Göppingen	-393	-0.15	0.79		Krefeld	-26	-0.02
Goslar	156	0.28	0.51		Landau	-621	-0.64
Gotha	66	0.05	0.67		Landshut	-1,356	-1.27
Göttingen	273	0.18	0.51		Leer	110	0.18
Hagen	27	0.02	0.49		Leipzig	871	0.28
Halberstadt	124	0.16	0.35		Limburg	130	0.30
Halle	319	0.19	0.32		Lörrach	278	0.25
Hamburg	1,603	0.21	0.40		Lübeck	372	0.27
Hamel	359	0.30	0.49		Ludwigsburg	-105	-0.06
Hamm	109	0.09	0.38		Ludwigshafen	258	0.15
Hanau	161	0.14	0.63		Lüneburg	266	0.30
Hannover	-454	-0.13	0.73		Magdeburg	445	0.19
Heide	180	0.43	0.53		Mainz	505	0.27
Heidelberg	227	0.15	0.49		Mannheim	-511	-0.23
Heilbronn	-606	-0.40	1.06		Marburg	113	0.16
Helmstedt	-3,168	-2.46	2.93		Mayen	201	0.30
Herford	415	0.21	0.53		Memmingen	223	0.15
Hildesheim	268	0.23	0.58		Merseburg	390	0.33
Hof	85	0.09	0.34		Meschede	45	0.05
Ingolstadt	-1,450	-1.05	1.63		Mönchengladbach	185	0.09
Iserlohn	-27	-0.02	0.69		Montabaur	273	0.32
Jena	294	0.22	0.41		München	-1,052	-0.12
Kaiserslautern	-90	-0.10	0.91		Münster	272	0.23
Karlsruhe	191	0.07	0.38		Nagold	95	0.12
Kassel	-849	-0.43	1.01		Neubrandenburg	368	0.26
Kempten	440	0.30	0.53		Neumünster	348	0.29
Kiel	299	0.20	0.33		Neunkirchen	-290	-0.32
Koblenz	5	0.00	0.40		Neuruppin	519	0.32
Köln	-971	-0.22	0.57		Neuwied	164	0.19
					Nienburg	171	0.25
							0.53
							0.62
							0.44
							1.28
							1.89
							0.40
							0.42
							0.71
							0.56
							0.41
							0.76
							0.34
							0.50
							0.34
							0.44
							0.70
							0.55
							0.63
							0.68
							0.46
							0.64
							0.44
							0.65
							0.51
							0.32
							0.32
							0.62
							0.39
							0.54
							1.16
							0.47
							0.57
							0.65

Nordhausen	128	0.13	0.43
Nordhorn	306	0.32	0.50
Nürnberg	182	0.04	0.40
Oberhausen	195	0.17	0.42
Offenbach	87	0.09	0.73
Offenburg	172	0.12	0.46
Oldenburg	494	0.30	0.45
Oschatz	263	0.28	0.49
Osnabrück	-92	-0.05	0.70
Paderborn	235	0.18	0.60
Passau	171	0.17	0.73
Pfarrkirchen	341	0.34	0.64
Pforzheim	13	0.01	0.64
Pirmasens	128	0.25	0.46
Pirna	348	0.41	0.66
Plauen	342	0.36	0.58
Potsdam	254	0.10	0.37
Rastatt	-786	-0.77	1.41
Ravensburg	-87	-0.05	0.70
Recklinghausen	152	0.11	0.35
Regensburg	-110	-0.06	0.82
Reutlingen	171	0.11	0.50
Rheine	195	0.17	0.53
Riesa	226	0.30	0.56
Rosenheim	380	0.27	0.44
Rostock	577	0.33	0.44
Rottweil	-4	0.00	0.59
Saarbrücken	-254	-0.15	0.57
Saarlouis	-261	-0.29	1.02
Sangerhausen	292	0.35	0.59
Schwäbisch Hall	186	0.18	0.47
Schwandorf	289	0.23	0.58

Schweinfurt	215	0.15	0.55
Schwerin	593	0.34	0.49
Siegen	-80	-0.05	0.48
Soest	55	0.06	0.39
Solingen	-141	-0.14	0.57
Stade	412	0.40	0.59
Stendal	120	0.16	0.31
Stralsund	251	0.20	0.28
Stuttgart	-4,461	-0.92	1.19
Suhl	429	0.27	0.50
Tauberbischofsh.	144	0.17	0.55
Traunstein	326	0.39	0.59
Trier	295	0.21	0.53
Uelzen	236	0.39	0.61
Ulm	-254	-0.21	0.73
Vechta	126	0.15	0.66
Verden	337	0.36	0.60
Villingen-Schwen.	44	0.06	0.65
Waiblingen	55	0.04	0.76
Weiden	115	0.17	0.57
Weilheim	199	0.23	0.70
Weißenburg	140	0.28	0.62
Wesel	280	0.15	0.37
Wetzlar	72	0.07	0.68
Wiesbaden	201	0.13	0.43
Wilhelmshaven	184	0.36	0.50
Wittenberg	132	0.31	0.53
Wuppertal	-101	-0.06	0.42
Würzburg	113	0.07	0.33
Zwickau	95	0.06	0.81

Quelle: Eigene Berechnungen

Gelsenkirchen	85	0,07	0,17
Gera	70	0,07	0,15
Gießen	102	0,06	0,16
Göppingen	134	0,05	0,16
Goslar	38	0,07	0,15
Gotha	73	0,06	0,16
Göttingen	87	0,06	0,16
Hagen	114	0,07	0,15
Halberstadt	61	0,08	0,14
Halle	139	0,08	0,14
Hamburg	340	0,05	0,17
Hameln	81	0,07	0,15
Hamm	88	0,08	0,15
Hanau	55	0,05	0,17
Hannover	106	0,03	0,19
Heide	25	0,06	0,16
Heidelberg	101	0,07	0,15
Heilbronn	52	0,03	0,18
Helmstedt	-104	-0,08	0,29
Herford	131	0,07	0,15
Hildesheim	70	0,06	0,15
Hof	72	0,08	0,14
Ingolstadt	-10	-0,01	0,22
Iserlohn	98	0,06	0,15
Jena	100	0,07	0,14
Kaiserslautern	40	0,04	0,17
Karlsruhe	133	0,05	0,16
Kassel	49	0,02	0,19
Kempten	97	0,07	0,15
Kiel	97	0,07	0,15
Koblenz	61	0,06	0,16
Köln	84	0,02	0,19

Korbach	32	0,06	0,17
Kostanz	75	0,07	0,14
Krefeld	108	0,06	0,15
Landau	12	0,01	0,20
Landshut	-17	-0,02	0,23
Leer	42	0,07	0,15
Leipzig	211	0,07	0,15
Limburg	24	0,06	0,16
Lörrach	74	0,07	0,15
Lübeck	95	0,07	0,15
Ludwigsburg	84	0,05	0,16
Ludwigshafen	136	0,08	0,14
Lüneburg	54	0,06	0,16
Magdeburg	169	0,07	0,14
Mainz	122	0,07	0,15
Mannheim	69	0,03	0,18
Marburg	50	0,07	0,15
Mayen	45	0,07	0,15
Memmingen	92	0,06	0,15
Merseburg	83	0,07	0,15
Meschede	60	0,07	0,15
Mönchengladbach	142	0,07	0,15
Montabaur	54	0,06	0,15
München	375	0,04	0,17
Münster	46	0,04	0,18
Nagold	53	0,07	0,15
Neubrandenburg	106	0,08	0,14
Neumünster	72	0,06	0,16
Neunkirchen	22	0,02	0,19
Neuruppin	120	0,07	0,15
Neuwied	59	0,07	0,15
Nienburg	40	0,06	0,16

Nordhausen	68	0,07	0,15
Nordhorn	64	0,07	0,15
Nürnberg	279	0,06	0,16
Oberhausen	77	0,07	0,15
Offenbach	55	0,05	0,16
Offenburg	99	0,07	0,14
Oldenburg	102	0,06	0,15
Oschatz	68	0,07	0,14
Osnabrück	84	0,05	0,17
Paderborn	81	0,06	0,16
Passau	55	0,05	0,16
Pfarrkirchen	63	0,06	0,15
Pforzheim	59	0,06	0,16
Pirmasens	36	0,07	0,15
Pirna	60	0,07	0,15
Plauen	67	0,07	0,15
Potsdam	179	0,07	0,14
Rastatt	16	0,02	0,20
Ravensburg	105	0,06	0,16
Recklinghausen	120	0,08	0,16
Regensburg	80	0,05	0,17
Reutlingen	105	0,07	0,15
Rheine	81	0,07	0,15
Riesa	54	0,07	0,15
Rosenheim	100	0,07	0,15
Rostock	133	0,08	0,14
Rottweil	64	0,07	0,14
Saarbrücken	92	0,06	0,18
Saarlouis	32	0,04	0,19
Sangerhausen	56	0,07	0,15
Schwäbisch Hall	76	0,08	0,14
Schwandorf	86	0,07	0,15

Schweinfurt	98	0,07	0,15
Schwerin	128	0,07	0,15
Siegen	100	0,07	0,15
Soest	64	0,07	0,15
Solingen	60	0,06	0,15
Stade	66	0,06	0,16
Stendal	57	0,08	0,14
Stralsund	102	0,08	0,14
Stuttgart	0	0,00	0,21
Suhl	112	0,07	0,14
Tauberbischofsh.	60	0,07	0,15
Traunstein	56	0,07	0,15
Trier	91	0,06	0,15
Uelzen	38	0,06	0,15
Ulm	54	0,05	0,17
Vechta	51	0,06	0,15
Verden	54	0,06	0,16
Villingen-Schw.	48	0,06	0,15
Waiblingen	68	0,05	0,16
Weiden	40	0,06	0,16
Weilheim	52	0,06	0,16
Weißenburg	34	0,07	0,15
Wesel	151	0,08	0,15
Wetzlar	63	0,06	0,15
Wiesbaden	50	0,03	0,18
Wilhelmshaven	31	0,06	0,15
Wittenberg	32	0,07	0,14
Wuppertal	118	0,06	0,15
Würzburg	112	0,07	0,15
Zwickau	89	0,05	0,16

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle B-5: Regionalwirkungen infolge des Einsatzes der Brennstoffzelle als Antriebstechnik im Vergleich zum Referenzszenario

Arbeitsamtsbezirk	Absolute Beschäftigungs- änderung	Relative Netto- Beschäftigungs- änderung in %	Relative Brutto- Beschäftigungs- änderung in %			
Aachen	-9	0,00	0,07			
Aalen	14	0,01	0,09			
Ahlen	8	0,01	0,07			
Altenburg	-5	-0,02	0,05			
Annaberg	-12	-0,01	0,06			
Ansbach	-6	-0,01	0,06			
Aschaffenburg	-10	-0,01	0,09			
Augsburg	0	0,00	0,07			
Bad Hersfeld	0	0,00	0,07			
Bad Kreuznach	-11	-0,01	0,07			
Bad Oldesloe	-7	-0,01	0,07			
Balingen	8	0,01	0,07			
Bamberg	9	0,01	0,08			
Bautzen	-29	-0,01	0,05			
Bayreuth	-12	-0,01	0,06			
Bergisch Gladb.	76	0,04	0,10			
Berlin Mitte	-36	-0,02	0,05			
Berlin Nord	10	0,00	0,07			
Berlin Ost	-8	-0,01	0,05			
Berlin Süd	-16	-0,01	0,07			
Berlin Südwest	-40	-0,02	0,05			
Berlin West	-31	-0,02	0,06			
Bielefeld	5	0,00	0,07			
Bochum	-45	-0,03	0,08			
Bonn	-26	-0,01	0,06			
Braunschweig	-46	-0,03	0,08			
Bremen				-68	-0,03	0,07
Bremerhaven				-12	-0,02	0,06
Brühl				-39	-0,02	0,09
Celle				-12	-0,01	0,07
Chemnitz				-20	-0,01	0,06
Coburg				-9	-0,01	0,07
Coesfeld				-10	-0,01	0,07
Cottbus				-19	-0,01	0,05
Darmstadt				-24	-0,01	0,09
Deggendorf				-16	-0,02	0,06
Dessau				-11	-0,01	0,05
Detmold				1	0,00	0,07
Donauwörth				-1	0,00	0,07
Dortmund				-19	-0,01	0,06
Dresden				-18	-0,01	0,06
Duisburg				1	0,00	0,06
Düren				-9	-0,01	0,06
Düsseldorf				-20	0,00	0,07
Eberswalde				-38	-0,04	0,07
Elmshorn				-5	0,00	0,07
Emden				-39	-0,05	0,08
Erfurt				-24	-0,01	0,05
Essen				-23	-0,01	0,06
Flensburg				-25	-0,02	0,06
Frankfurt/M.				-62	-0,01	0,06
Frankfurt/O.				-24	-0,02	0,05
Freiburg				-4	0,00	0,07
Freising				-5	-0,01	0,06
Fulda				-5	-0,01	0,07

Gelsenkirchen	-50	-0,04	0,09	Korbach	-9	-0,02	0,06
Gera	-13	-0,01	0,05	Kostanz	6	0,01	0,07
Gießen	-15	-0,01	0,06	Krefeld	16	0,01	0,08
Göppingen	15	0,01	0,08	Landau	-43	-0,04	0,08
Goslar	-1	0,00	0,07	Landshut	-52	-0,05	0,11
Gotha	-18	-0,01	0,07	Leer	-10	-0,02	0,06
Göttingen	-5	0,00	0,07	Leipzig	-44	-0,01	0,05
Hagen	38	0,02	0,08	Limburg	-7	-0,02	0,06
Halberstadt	-7	-0,01	0,06	Lörrach	18	0,02	0,08
Halle	-18	-0,01	0,05	Lübeck	-19	-0,01	0,06
Hamburg	-172	-0,02	0,07	Ludwigsburg	19	0,01	0,09
Hameln	-2	0,00	0,07	Ludwigshafen	121	0,07	0,12
Hamm	13	0,01	0,07	Lüneburg	-16	-0,02	0,06
Hanau	-7	-0,01	0,07	Magdeburg	-33	-0,01	0,05
Hannover	-82	-0,02	0,07	Mainz	-9	-0,01	0,07
Heide	-12	-0,03	0,09	Mannheim	-21	-0,01	0,09
Heidelberg	0	0,00	0,07	Marburg	-9	-0,01	0,06
Heilbronn	-25	-0,02	0,08	Mayen	-11	-0,02	0,06
Helmstedt	-123	-0,10	0,13	Memmingen	12	0,01	0,08
Herford	-5	0,00	0,07	Merseburg	-18	-0,02	0,07
Hildesheim	2	0,00	0,07	Meschede	6	0,01	0,07
Hof	-10	-0,01	0,06	Mönchengladbach	7	0,00	0,08
Ingolstadt	-74	-0,05	0,10	Montabaur	1	0,00	0,07
Iserlohn	65	0,04	0,09	München	-149	-0,02	0,07
Jena	-12	-0,01	0,06	Münster	-15	-0,01	0,06
Kaiserslautern	-15	-0,02	0,07	Nagold	0	0,00	0,08
Karlsruhe	0	0,00	0,08	Neubrandenburg	-29	-0,02	0,05
Kassel	-57	-0,03	0,08	Neumünster	-16	-0,01	0,06
Kempten	-8	-0,01	0,07	Neunkirchen	-18	-0,02	0,09
Kiel	-19	-0,01	0,06	Neuruppin	-23	-0,01	0,05
Koblenz	-23	-0,02	0,06	Neuwied	3	0,00	0,07
Köln	-147	-0,03	0,08	Nienburg	-11	-0,02	0,06

Nordhausen	-14	-0,01	0,05
Nordhorn	-21	-0,02	0,07
Nürnberg	49	0,01	0,08
Oberhausen	-4	0,00	0,06
Offenbach	1	0,00	0,08
Offenburg	13	0,01	0,07
Oldenburg	-22	-0,01	0,06
Oschatz	-11	-0,01	0,05
Osnabrück	-43	-0,03	0,07
Paderborn	-22	-0,02	0,06
Passau	-12	-0,01	0,07
Pfarrkirchen	17	0,02	0,10
Pforzheim	14	0,01	0,08
Pirmasens	-2	0,00	0,07
Pirna	-11	-0,01	0,06
Plauen	-9	-0,01	0,06
Potsdam	-42	-0,02	0,05
Rastatt	-21	-0,02	0,10
Ravensburg	16	0,01	0,08
Recklinghausen	-7	0,00	0,07
Regensburg	-8	0,00	0,08
Reutlingen	14	0,01	0,08
Rheine	-14	-0,01	0,06
Riesa	-8	-0,01	0,05
Rosenheim	-8	-0,01	0,07
Rostock	-35	-0,02	0,05
Rottweil	44	0,05	0,10
Saarbrücken	-22	-0,01	0,06
Saarlouis	-22	-0,03	0,07
Sangerhausen	-10	-0,01	0,05
Schwäbisch Hall	13	0,01	0,07
Schwandorf	5	0,00	0,07

Schweinfurt	14	0,01	0,08
Schwerin	-32	-0,02	0,05
Siegen	32	0,02	0,08
Soest	10	0,01	0,08
Solingen	20	0,02	0,08
Stade	-15	-0,02	0,06
Stendal	-14	-0,02	0,05
Stralsund	-29	-0,02	0,05
Stuttgart	-159	-0,03	0,09
Suhl	-11	-0,01	0,06
Tauberbischofsh.	7	0,01	0,07
Traunstein	1	0,00	0,08
Trier	-23	-0,02	0,06
Uelzen	-12	-0,02	0,06
Ulm	-7	-0,01	0,08
Vechta	-7	-0,01	0,07
Verden	-16	-0,02	0,06
Villingen-Schw.	21	0,03	0,09
Waiblingen	17	0,01	0,08
Weiden	-6	-0,01	0,07
Weilheim	-6	-0,01	0,08
Weißenburg	1	0,00	0,07
Wesel	-11	-0,01	0,06
Wetzlar	16	0,02	0,08
Wiesbaden	-16	-0,01	0,06
Wilhelmshaven	-12	-0,02	0,06
Wittenberg	-2	0,00	0,06
Wuppertal	21	0,01	0,07
Würzburg	-5	0,00	0,07
Zwickau	-37	-0,02	0,06

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle B-6: Veränderungen von Teilzeittätigkeit und Stellenbefristung in den Fallbeispielen
(Differenzen zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)

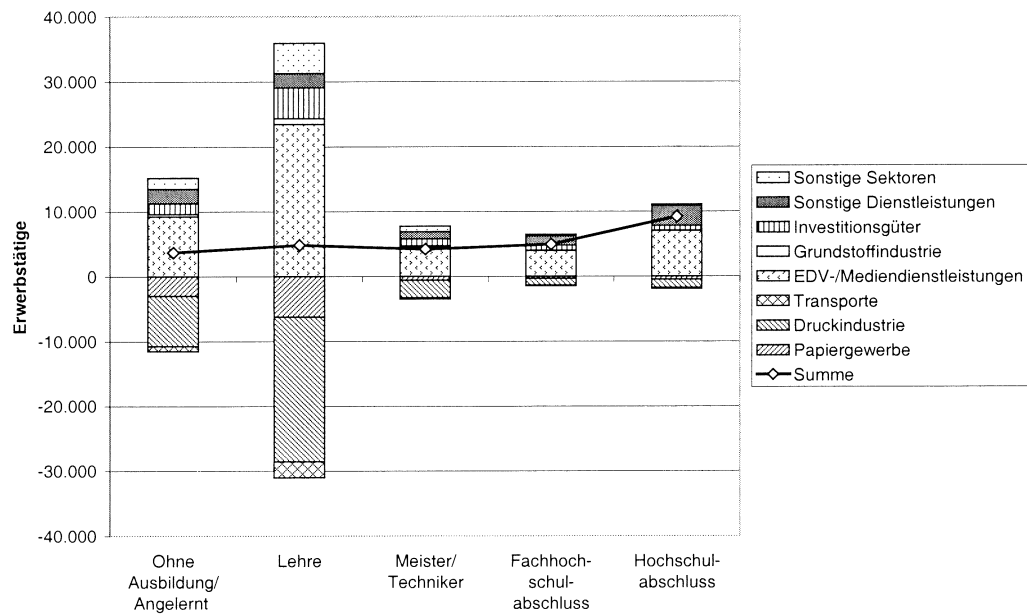
	Vollzeit	Teilzeit	Befristet	Unbefristet
Nachhaltige Papiernutzung	23.491	3.419	1.903	25.007
Kunststoffrecycling	2.216	171	-462	2.849
Pkw-Lebensdauerverlängerung	8.974	4.124	8.170	4.927
Car-Sharing	16.063	-212	341	15.510
Brennstoffzellenantrieb	5.841	451	372	5.920

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle B-7: Veränderungen der Flexibilisierungsanforderungen an die Erwerbstätigen in den Fallbeispielen:
(Differenzen zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)

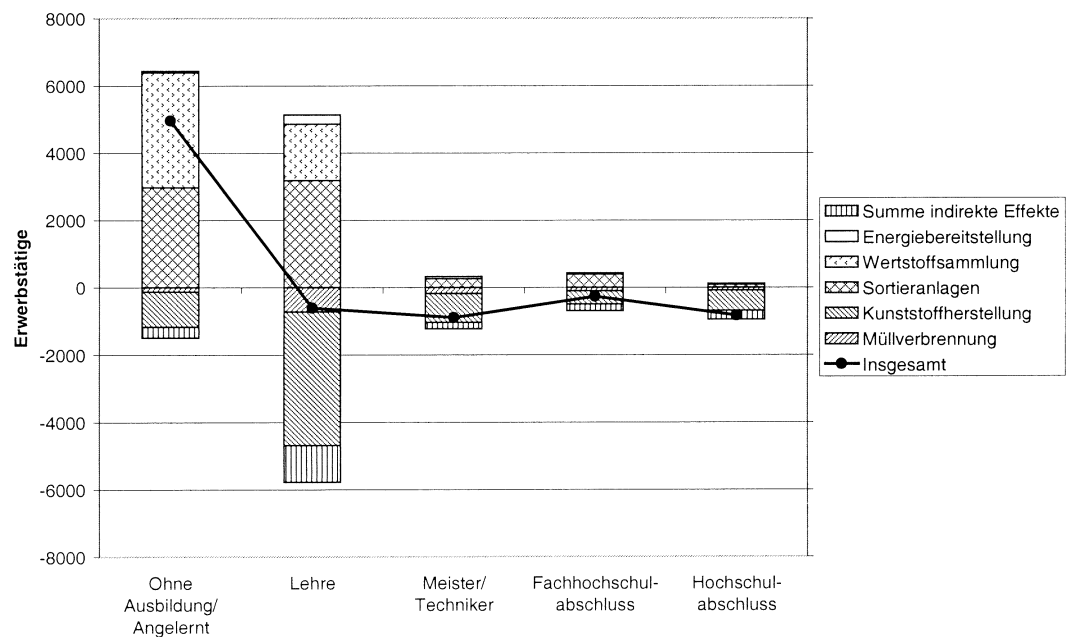
	Ständig	Regel- mäßig	Gelegent- lich	Keine
Nachhaltige Papierproduktion und -nutzung				
Wochenend-/ Feiertagsarbeit	1.313	371	7.825	17.401
Abend-/Nachtarbeit	-53	-3.096	2.300	27.759
Schichtarbeit	-4.506	-3.157	-763	35.337
Hochwertiges Kunststoffrecycling				
Wochenend-/ Feiertagsarbeit	-262	1.785	-296	1.160
Abend-/Nachtarbeit	372	504	-432	1.943
Schichtarbeit	2.884	-398	463	-562
Pkw-Lebensdauerverlängerung				
Wochenend-/ Feiertagsarbeit	1.348	658	394	10.698
Abend-/Nachtarbeit	-599	-4.614	-1.200	19.510
Schichtarbeit	-12.008	-4.769	-395	30.269
Car-Sharing				
Wochenend-/ Feiertagsarbeit	1.230	4.131	3.082	7.409
Abend-/Nachtarbeit	1.190	3.689	2.491	8.481
Schichtarbeit	4.037	2.061	629	9.125
Brennstoffzellenantrieb				
Wochenend-/ Feiertagsarbeit	131	421	559	5.181
Abend-/Nachtarbeit	136	503	249	5.404
Schichtarbeit	445	303	78	5.466

Abbildung B-1: Auswirkungen einer nachhaltigen Nutzung von Papier auf Qualifikationsanforderungen in den einzelnen Sektoren (Differenz zwischen Referenz- und Nachhaltigkeitsszenario)



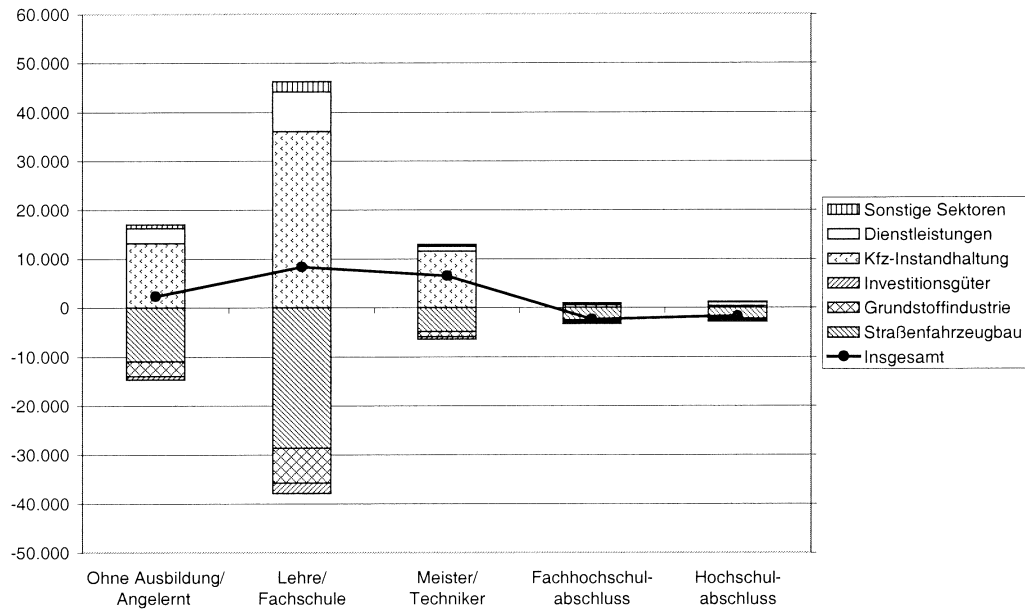
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung B-2: Auswirkungen eines verstärkten Kunststoffrecyclings auf Qualifikationsanforderungen in den einzelnen Sektoren (Differenz zwischen Referenz- und Nachhaltigkeitsszenario)



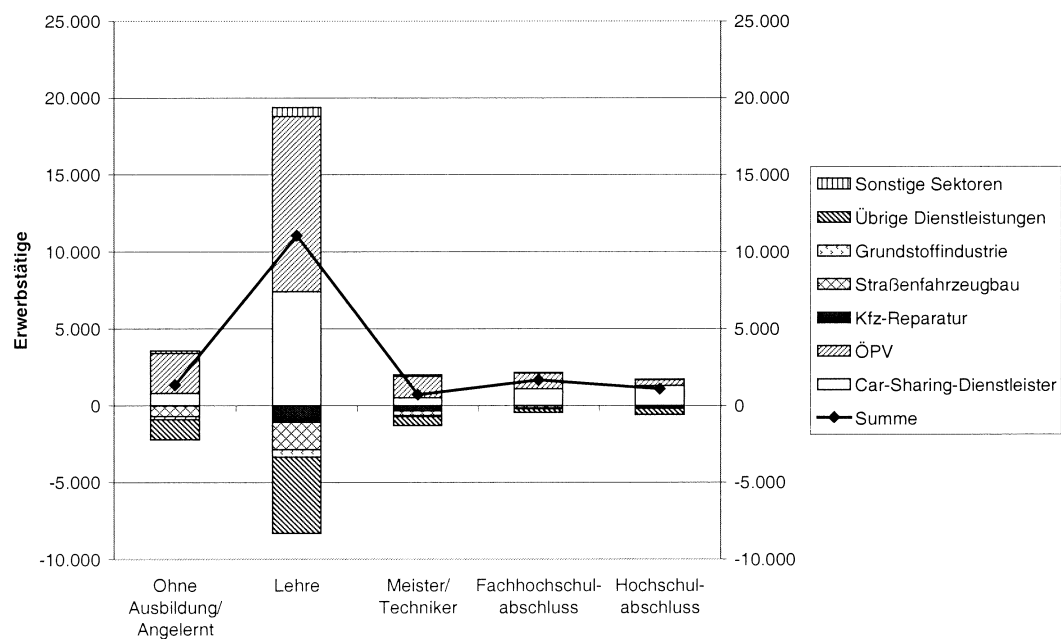
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung B-3: Auswirkungen einer Pkw-Lebensdauerverlängerung auf Qualifikationsanforderungen in den einzelnen Sektoren (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



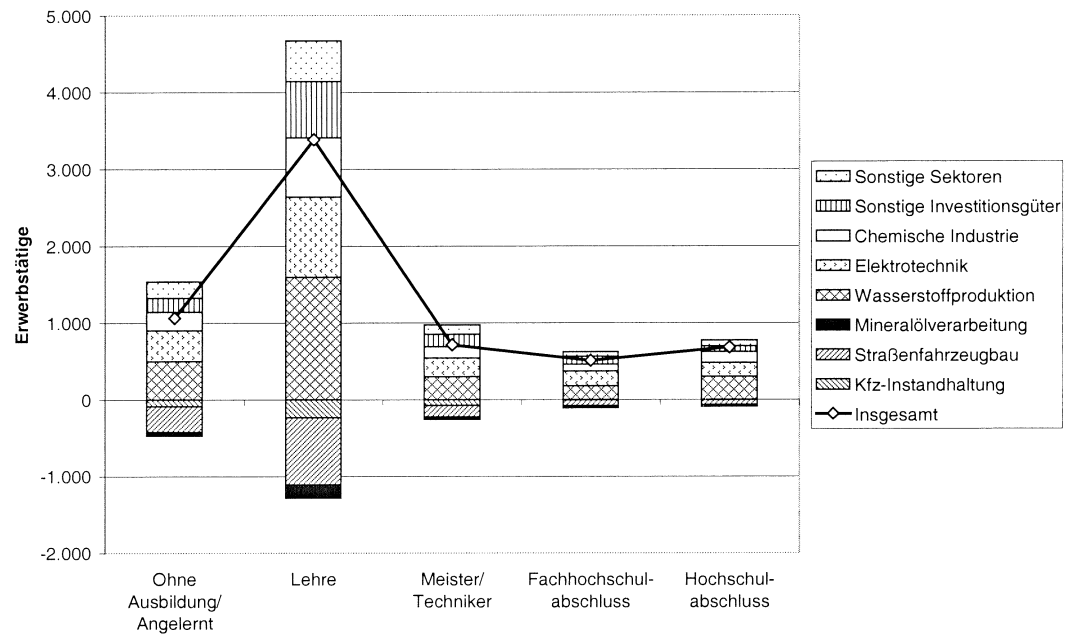
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung B-4: Auswirkungen eines zunehmenden Car-Sharings auf Qualifikationsanforderungen in den einzelnen Sektoren (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung B-5: Auswirkungen der Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen auf Qualifikationsanforderungen in den einzelnen Sektoren (Differenz zwischen Nachhaltigkeits- und Referenzszenario)



Anhang C: Daten zu den Qualifikationsstrukturen und den wirtschaftlichen Auswirkungen des Klimaschutzes

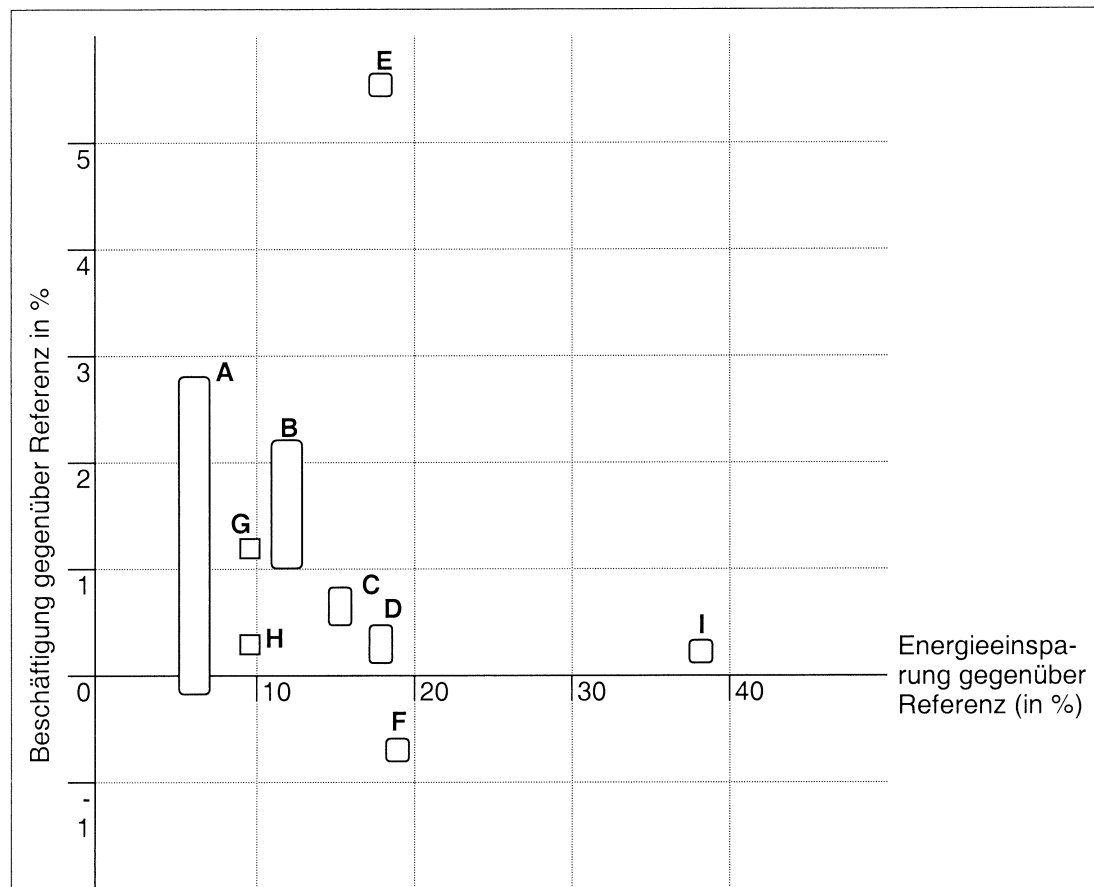
Tabelle C-1: Qualifikation der Beschäftigten in unterschiedlichen Sektoren

	Ungelernte	Lehr, Anlernausbildun g	Meister, Techniker	Fachhochschulab schluss	Universitätsabsc chluss
Elektrizität ¹	10.6%	59.3%	14.4%	8.6%	7.1%
Mineralöl ¹	15.9%	55.7%	11.2%	9.5%	7.7%
Kohlebergbau ¹	19.8%	63.6%	9.1%	4.1%	3.4%
Chemie ¹	17.3%	55.5%	10.4%	6.2%	10.5%
Steine und Erden ¹	23.2%	63.2%	9.4%	2.2%	2.0%
Eisenschaffende ¹	26.5%	60.6%	6.6%	3.6%	2.7%
NE-Metalle ¹	31.9%	55.4%	7.9%	2.4%	2.3%
Sonstige marktbestimmte Dienstleistungen ¹	19.1%	48.6%	9.6%	8.2%	14.6%
Investitionsgüter gewerbe ²	10,6%	40,4%	10,9%	14,5%	23,6%
Hersteller von Umweltschutzgüt ern ²	14,8%	40,6%	12,0%	12,9%	19,7%
Insgesamt ¹	17,4%	60,0%	8,5%	5,5%	8,6%

1) Ergebnisse des Mikrozensus für 1996

2) Ergebnisse von Wackerbauer 1999

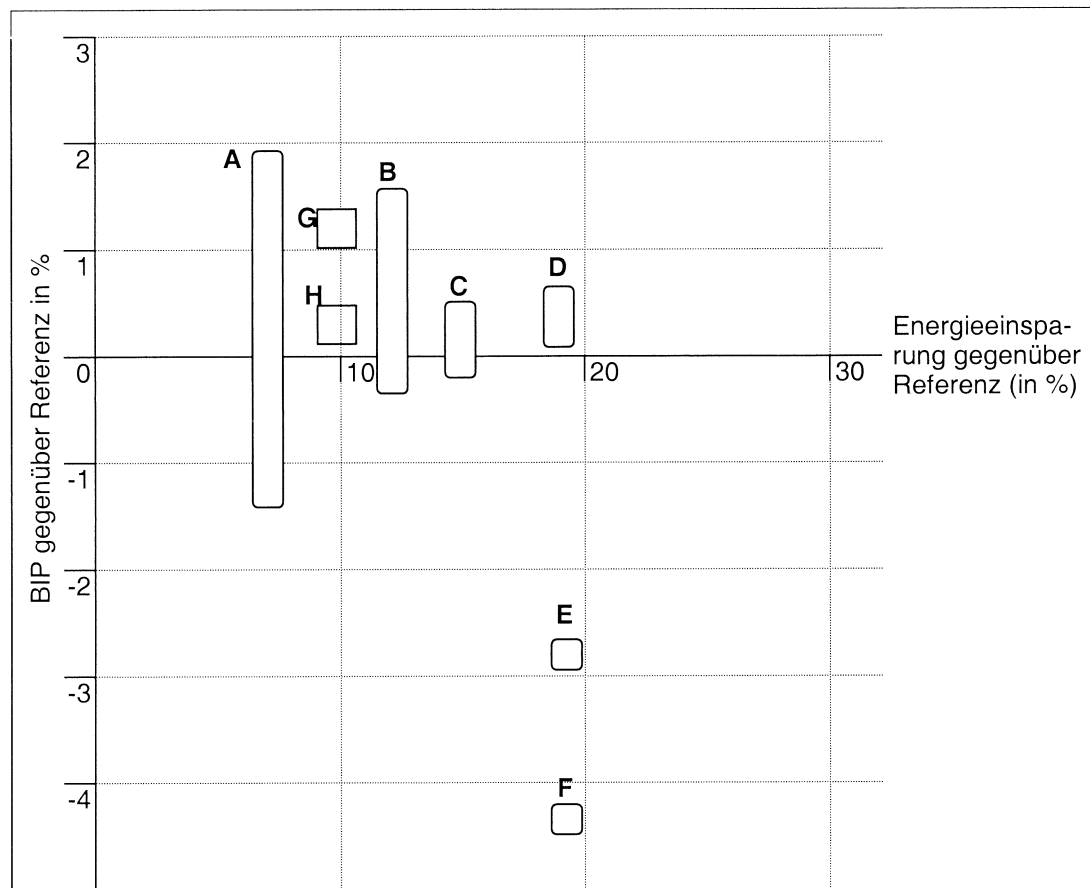
Abbildung C-1: In verschiedenen Studien ermittelte Auswirkungen einer Klimapolitik auf die Beschäftigung



Quellen:

- A** Welsch, H (1996): Klimaschutz, Energiepolitik und Gesamtwirtschaft. Eine allgemeine Gleichgewichtsanalyse für die Europäische Union. München
- B** DIW (Kohlhaas, M. et al.) (1994): Wirtschaftliche Auswirkungen einer ökologischen Steuerreform. Gutachten im Auftrag von Greenpeace. Berlin
- C** DIW/Fifo (1999): Anforderungen an und Anknüpfungspunkte für eine Reform des Steuersystems unter ökologischen Aspekten. Berlin
- D** ISI/DIW (R. Walz; M. Schön; J. Blazejczak; D. Edler) (1995): Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen von Emissionsminderungsstrategien. In: Enquete-Kommission Schutz der Erdatmosphäre (Hrsg.): Studienprogramm; Band 3: Energie; Teilband 2. Bonn: Economica Verlag
- E** Meyer, B. u. a. (1997): Was kostet eine Reduktion der CO₂-Emissionen? Ergebnisse von Simulationsrechnungen mit dem umweltökonomischen Modell PANTA RHEI. Beiträge des Instituts für empirische Wirtschaftsforschung der Universität Osnabrück Nr. 55
- F** RWI/Ifo (1996): Gesamtwirtschaftliche Beurteilung von CO₂-Minderungsstrategien. Essen/München, Juli 1996
- G** Barker, T. (1998): The effects on competitiveness of coordinated versus unilateral fiscal policies reducing GHG emissions in the EU, in: Energy Policy 26.1998, S. 1083-1098
- H** Conrad, K.; Schmidt, T.: Double Dividend of Climate Protection and the Role of International Policy Coordination in the EU, ZEW Discussion Paper No. 97-26
- I** Öko-Institut (1996): Nachhaltige Energiewirtschaft – Einstieg in die Arbeitswelt von Morgen. Freiburg

Abbildung C-2: In verschiedenen Studien ermittelte Auswirkungen einer Klimapolitik auf das Bruttoinlandsprodukt



Quellen:

- A** Welsch, H (1996): Klimaschutz, Energiepolitik und Gesamtwirtschaft. Eine allgemeine Gleichgewichtsanalyse für die Europäische Union. München
- B** DIW (Kohlhaas, M. et al.) (1994): Wirtschaftliche Auswirkungen einer ökologischen Steuerreform. Gutachten im Auftrag von Greenpeace. Berlin
- C** DIW/Fifo (1999): Anforderungen an und Anknüpfungspunkte für eine Reform des Steuersystems unter ökologischen Aspekten. Berlin
- D** ISI/DIW (R. Walz; M. Schön; J. Blazejczak; D. Edler) (1995): Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen von Emissionsminderungsstrategien. In: Enquete-Kommission Schutz der Erdatmosphäre (Hrsg.): Studienprogramm; Band 3: Energie; Teilband 2. Bonn: Economica Verlag
- E** Meyer, B. u. a. (1997): Was kostet eine Reduktion der CO₂-Emissionen? Ergebnisse von Simulationsrechnungen mit dem umweltökonomischen Modell PANTA RHEI. Beiträge des Instituts für empirische Wirtschaftsforschung der Universität Osnabrück Nr. 55
- F** RWI/Ifo (1996): Gesamtwirtschaftliche Beurteilung von CO₂-Minderungsstrategien. Essen/München, Juli 1996
- G** Barker, T. (1998): The effects on competitiveness of coordinated versus unilateral fiscal policies reducing GHG emissions in the EU, in: Energy Policy 26.1998, S. 1083-1098
- H** Conrad, K.; Schmidt, T.: Double Dividend of Climate Protection and the Role of International Policy Coordination in the EU, ZEW Discussion Paper No. 97-26

Anhang D: Ökonometrische Schätzung des Einflusses polit- ökonomischer Faktoren auf Organisations- und Durchsetzungsfähigkeit der Interessen einzelner Industriesektoren

Der Einfluss politökonomischer Faktoren auf die Organisations- und Durchsetzungsfähigkeit der Interessen einzelner Industriesektoren wurde am Beispiel der Erklärung der Subventionierung von 33 Industriebranchen auf Basis von Paneldaten ökonometrisch geschätzt. Für die Jahre 1990 und 1991 wurden aus Statistiken wie dem Statistischen Jahrbuch, der Fachserie 4, Reihe 4.1.2 "Betriebe, Beschäftigte und Umsatz im Bergbau und im Verarbeitenden Gewerbe nach Beschäftigtengrößenklassen" und der Strukturberichterstattung für die einzelnen Branchen Daten über Subventionshöhe sowie Beschäftigung, Anzahl der Unternehmen, Umsätze, etc. erhoben.

Tabelle D-1 zeigt die Schätzergebnisse für das sogenannte „random-effects“ Modell. Ein „fixed-effects“ Modell konnte auf Grund fehlender Freiheitsgrade nicht geschätzt werden. Die Spezifikationswahl erfolgte auf Basis von (asymptotischen) Spezifikationstest bezüglich der Annahmen: Normalverteilung (Skewness Kurtosis Test nach Bera und Jarque), Linearität, Homoskedastie, und Abwesenheit von Autokorrelation (nach Kolmogorov-Gabor). Eine konsistente Schätzung der Varianz-Covarianz Matrix erfolgte gemäß White's Methode.

Als endogene Variable wurde verwendet:

LSUBVPC	Subventionen je Beschäftigte(r) in DM (Logarithmus)
---------	-----------------------------------------------------

Als Regressoren dienten folgende Variablen:

ANTEILAM	Anteil des Umsatzes eines Sektors am Gesamtumsatz in %
ANZAHL	Anzahl der Unternehmen in der Branche
KONZ	Konzentrationsgrad der Branche (6 Firmen Konzentrationsgrad)
LBESCH	Anzahl der Beschäftigten im Sektor (Logarithmus)
LUMSPC	Umsatz je Beschäftigte(r) in DM (Logarithmus)
CONSTANT	Konstante

Tabelle D-1: OLS-Schätzergebnis des Einflusses politökonomischer Faktoren auf Subventionen in der deutschen Industrie

=====						
Dependent Variable		LSUBVPC	Number of Observations		66	
Mean of Dep. Variable		7.7693	Std. Dev. of Dep. Var.		1.108154	
Durbin Watson statistic		2.3400	Estimated Autocorrelation		-.17002	
Std. Error of Regr.		.2583	Sum of Squared Residuals		4.00461	
Total Variation		79.820	Regression Variation		75.816	
Regression degrees of freedom = 5			Residual degrees of freedom = 60			
R - squared		.94983	Adjusted R - squared		.94565	
F(5, 60)		227.1855	Prob. Value for F		.00000	
=====						
Variable	Coefficient	Std. Error	t-ratio	Prob t >x	Mean of X	Std.Dev.of X

Constant	2.57004	.7771	3.307	.00094		
ANTEILAM	-7.05584	2.439	-2.893	.00382	.03030	.03406
ANZAHL	-.262701E-04	.6150E-05	-4.272	.00002	1744.87879	3126.44736
KONZ	.945089E-02	.2281E-02	4.144	.00003	37.31515	26.79493
LBESCH	.339211	.7756E-01	4.373	.00001	13.77200	2.03139
LUMSPC	.135196	.8845E-01	1.528	.12639	3.21514	1.87055

Die t-Statistiken in Tabelle D 1 zeigen, dass außer LUMSPC alle Variablen signifikant auf einem (individuellen) Signifikanzniveau von 1 % sind. Das heißt, die Schätzergebnisse sind konsistent mit den Hypothesen, dass die Subventionen (pro Beschäftigtem) mit der Konzentration einer Branche steigen, mit der Anzahl der Firmen pro Branchen sinken (höherer Koordinationsaufwand, free rider Problem), mit der Anzahl der Beschäftigten in der Branche zunehmen (höhere Anzahl von Wählerstimmen) und mit dem Umsatzanteil einer Branche sinken (kleinere Branchen werden eher subventioniert).

Daten zur Beurteilung der Ausprägung der relevanten Parameter für die untersuchten Fallbeispiele finden sich in Tabelle D-2, eine vergleichende qualitative Einschätzung ist in Tabelle D-3 festgehalten. Wertet man diese Daten bezüglich der Durchsetzbarkeit von politischen Maßnahmen zur Unterstützung der betrachteten Fallbeispiele aus, zeigt sich folgendes Bild:

- Hauptverlierer im **Fallbeispiel Papier** sind die Papierindustrie und Druckereien, Hauptgewinner die EDV-Dienstleistungen. Gemessen an der Anzahl der beschäftigten Arbeitnehmer ist die Durchsetzungsfähigkeit beider Gruppen in etwa gleich zu beurteilen. Deutliche Unterschiede bestehen allerdings bezüglich der Organisationsfähigkeit der Interessen. Da die Verlierer sowohl durch eine geringere Anzahl der Unternehmen pro Branche als auch durch eine wesentlich höhere

Konzentration charakterisiert sind, weisen sie tendenziell bessere Voraussetzungen für eine Organisation ihrer Interessen auf als die Gewinner.

- Klare Verlierer beim **Kunststoffrecycling** sind neben der Kunststoffherstellung auch noch die vorgelagerte Grundstoffchemie und die Mineralölverarbeitung sowie die nachgelagerte Müllverbrennung. Die Bedingungen für eine Organisation der gemeinsamen Interessen sind bei diesen Branchen etwas besser ausgeprägt als bei der Sammlung, Sortierung und dem Handel von Wertstoffen. Des weiteren weisen die Verlierer auch deutlich bessere Bedingungen für eine Durchsetzung ihrer Interessen auf. Erschwerend für die Durchsetzbarkeit kommt hinzu, dass auch die Kunststoffverarbeitung bei einer Umsetzung dieses Fallbeispiels vor erheblichen Anpassungen steht.
- Maßnahmen zur Umsetzung des Fallbeispiels **Lebensdauerverlängerung von Pkw** müssen unter besonders schwierigen politischen Rahmenbedingungen durchgesetzt werden. Sowohl bezüglich der Parameter für eine Organisation der Interessen als auch bezüglich der Durchsetzungsfähigkeit weisen die klaren Verlierer (Fahrzeugbau und vorgelagerte Industrien) wesentlich günstigere Bedingungen auf als der Hauptgewinner, die Kfz-Instandhaltung.
- Im Fallbeispiel der Nutzungsintensivierung durch **Car-Sharing** gehören neben dem Fahrzeugbau auch der Kfz-Einzelhandel sowie die Mineralölverarbeitung und Versicherungen zu den klaren Verlierern, klare Gewinner sind die sich neu entwickelnde Branche der Car-Sharing-Dienstleister sowie der Öffentliche Personenverkehr. Während die Unterschiede zwischen den Parametern für die Organisationsfähigkeit der Interessen nur geringe Vorteile für die Verlierer ausweisen, stehen die Gewinner vor allem bezüglich der Durchsetzungsfähigkeit vor dem Problem, deutlich weniger Beschäftigte als Wählerstimmenpotenzial in die Interessensvertretung einbringen zu können.
- Das Fallbeispiel der **Brennstoffzelle** weicht von den anderen Fallbeispielen deutlich ab. Sowohl bezüglich der Bedingungen für die Organisationsfähigkeit als auch der Durchsetzungsfähigkeit sind nur geringe Unterschiede zwischen den klaren Verlierern und den klaren Gewinnern auszumachen. Allerdings ist zu beachten, dass zusätzlich auch innerhalb der Kfz-Instandhaltung erhebliche Veränderungen vorzunehmen sind, was die Aussichten der Realisierung von politischen Maßnahmen zur Umsetzung dieser Strategien erschwert.

Insgesamt zeigt sich also, dass mit Ausnahme des Fallbeispiels Brennstoffzelle die Verlierer tendenziell bessere Bedingungen bezüglich der Organisation oder Durchsetzungsfähigkeit ihrer Interessen aufweisen.

Tabelle D-2: Strukturdaten zu den von den Umweltschutzstrategien besonders betroffenen Branchen:

Branchen	Anzahl der Beschäftigten im Sektor in 1000	Anteil am gesamtwirtschaftlichen Umsatz in %	Umsatz je Unternehmen 1998/ 1999 in Mio. DM	Anzahl der Unternehmen 1998/ 1999	Anteil der 6 führenden Unternehmen am Umsatz 1996 in %
Papierbeispiel:					
Klare Verlierer					
Papierherstellung	46,7	0,32	143	167	29,1
Druckereien	177,9	0,43	17	1.818	10,6
Papierverarbeitung	105,5	0,41	43	713	23,5
Klare Gewinner					
EDV-Dienstleistungen	174,9	0,85	1	42.175	k.A.
Kunststoffbeispiel:					
Klare Verlierer					
Kunststoffherstellung	99,0	0,70	499	104	56,7
Grundstoffchemie (ohne Kunststoffherstellung)	87,7	0,90	375	177	k.A.
Mineralölverarbeitung	19,1	1,53	2.171	52	81,7
Müllverbrennung	k.A.	0,02	22	62	k.A.
Klare Gewinner					
Wertstoffsammlung	k.A.	0,22	7	2.345	
Sortieranlagen/Recycling nichtmetallisch	6,7	0,06	3	1.578	41
Großhandel mit Altmaterial und Reststoffen	ca. 30,0	0,15	3	3.099	31,9
Lebensdauer:					
Klare Verlierer					
Straßenfahrzeugbau	753,1	5,85	487	888	66,4
Eisenschaffende Industrie	88,2	0,47	705	49	58,1
Gießereien	70,4	0,18	33	408	20,8
Eisen-/Stahl-Bearbeitung	22,0	0,10	52	136	23,8
Klare Gewinner					
Kfz-Instandhaltung	335,7	0,42	1	27.131	k.A.
Car-Sharing:					
Klare Verlierer					
Straßenfahrzeugbau	753,1	5,85	487	888	66,4
Mineralölverarbeitung	19,1	1,53	2.171	52	81,7
Kfz-Einzelhandel	378,8	2,90	5	43.957	8,6
Versicherungen	353,0	1,38	388	264	
Klare Gewinner					

ÖPV	355,0		11	2.884	k.A.
- Bahnunternehmen		0,31	178	127	k.A.
- Busunternehmen		0,06	2	2.715	k.A.
- Straßenbahn etc.		0,07	117	42	k.A.
Car-Sharing Dienstleister	k.A.	k.A.	k.A.	ca. 200	k.A.
Brennstoffzelle:					
Klare Verlierer					
Straßenfahrzeugbau	753,1	5,85	487	888	66,4
Mineralölverarbeitung	19,1	1,53	2.171	52	8,6
Anpassungsdruck					
Kfz-Instandhaltung	335,7	0,42	1,1	27.131	k.A.
Klare Gewinner					
Wasserstoffproduktion (Herstellung von Industriegasen)	4,3	0,004	9	36	
Elektrotechnik (Geräte der Stromerzg./ -vert.)	470,1	2,12	81	1.949	25 - 50
Chemie	497,7	3,23	185	1.288	32,1

Datengrundlagen:

Statistisches Jahrbuch; Fachserie 4, Reihe 4.1.2 "Betriebe, Beschäftigte und Umsatz im Bergbau und im Verarbeitenden Gewerbe nach Beschäftigtengrößenklassen 1998"

Zwölftes Hauptgutachten der Monopolkommission 1996/1997. Bundestagsdrucksache 13/11291, Bonn, 1998.

Umsatzsteuerstatistik des Statistischen Bundesamtes, 1998.

Mikrozensus des Statistischen Bundesamtes, 1996.

Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Konten und Standardtabellen, Vorbericht 1999.

Grefermann et al. (1998): Die Recycling-Industrie in Deutschland. ifo Studien zur Industriewirtschaft 58. München

Tabelle D-3: Ausprägung wichtiger Parameter für die Realisierung von unterstützenden politischen Maßnahmen zur Realisierung der untersuchten Fallbeispiele

	Anzahl der Unternehmen in Branche	Konzentration in der Branche	Anzahl der Beschäftigten in Branche
<i>Fallbeispiel Papier</i>			
Klare Verlierer	gering	mittel	sehr gering
Klare Gewinner	sehr hoch	gering	gering
<i>Fallbeispiel Kunststoff</i>			
Klare Verlierer	gering	sehr hoch	mittel
Klare Gewinner	mittel	hoch	sehr gering
<i>Fallbeispiel Lebensdauerverlängerung</i>			
Klare Verlierer	gering	hoch	sehr hoch
Klare Gewinner	hoch	sehr gering	gering
<i>Fallbeispiel Car-Sharing</i>			
Klare Verlierer	mittel	mittel	sehr hoch
Klare Gewinner	mittel	gering	gering
<i>Fallbeispiel Brennstoffzelle</i>			
Klare Verlierer	mittel	sehr hoch	sehr hoch
Klare Gewinner	mittel	hoch	sehr hoch