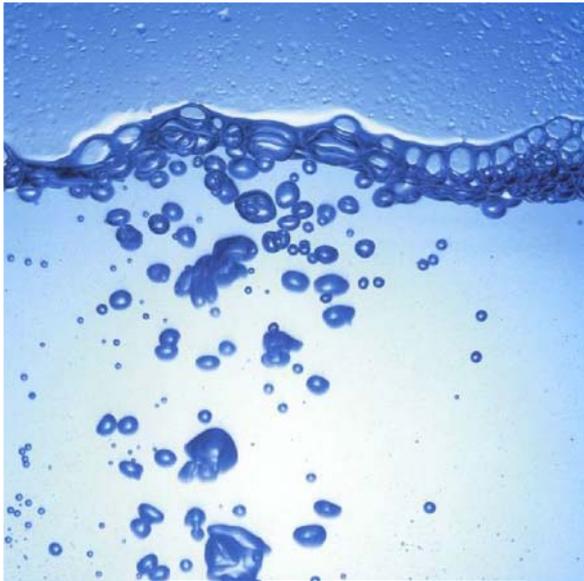


# Innovationsdynamik und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in grünen Zukunftsmärkten



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

Umwelt  
Bundes  
Amt   
Für Mensch und Umwelt



# **Innovationsdynamik und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in grünen Zukunftsmärkten**

Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes

(Förderkennzeichen 206 14 132/05)

UBA-FB 001084

durchgeführt vom

Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe

Borderstep, Berlin

Zukünftige Technologien Consulting (ZTC), VDI Technologiezentrum GmbH,  
Düsseldorf

## Impressum

Herausgeber: Umweltbundesamt (UBA)  
Postfach 1406, 06844 Dessau-Roßlau  
E-Mail: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
[www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
Referat Öffentlichkeitsarbeit  
11055 Berlin  
E-Mail: [service@bmu.bund.de](mailto:service@bmu.bund.de)  
[www.bmu.de](http://www.bmu.de)

ISSN: 1865-0538

Projektbetreuung: Michael Golde  
Umweltbundesamt (UBA)

Peter Franz  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

Gesamtkoordination: Rainer Walz

Autoren: Rainer Walz, Katrin Ostertag, Claus Doll, Wolfgang Eichhammer, Rainer Frietsch,  
Nicki Helfrich, Frank Marscheider-Weidemann, Christian Sartorius  
(Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe)  
Klaus Fichter, Severin Beucker  
(Borderstep, Berlin)  
Hartmut Schug, Heinz Eickenbusch, Axel Zweck, Vera Grimm, Wolfgang Luther  
(Zukünftige Technologien Consulting (ZTC), VDI Technologiezentrum GmbH,  
Düsseldorf)

Titelfotos: Q-Cells AG, BMU / Rupert Oberhäuser, ccvision GmbH

Stand: April 2008

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Vorgehensweise .....</b>	<b>1</b>
1.1	Zielsetzung und Aufbau .....	1
1.2	Methodische Vorgehensweise.....	3
<b>2</b>	<b>Zukunftsmarkt Energieerzeugung .....</b>	<b>10</b>
2.1	Abgrenzung und Technologiebeschreibung.....	10
2.2	Innovationsdynamik und Marktpotenzial .....	11
2.3	Internationale Analyse der technologischen Leistungsfähigkeit.....	13
2.3.1	Patentanalyse .....	13
2.3.1.1	Überblick Handlungsfeld.....	13
2.3.1.2	Erneuerbare Energien .....	15
2.3.1.3	Effiziente und emissionsarme Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien .....	21
2.3.1.4	Wasserstoff sowie dezentrale Erzeugungs- und neue Verteilungstechnologien .....	22
2.3.2	Außenhandelsindikatoren.....	25
2.3.2.1	Überblick Handlungsfeld.....	25
2.3.2.2	Erneuerbare Energien .....	29
2.3.2.3	Effiziente und emissionsarme Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien .....	35
2.3.2.4	Wasserstoff und Dezentrale Energieerzeugung/neue Verteilungskonzepte (einschließlich Energiespeicher).....	37
2.4	Schlussfolgerungen für die Perspektive 2020 .....	40
<b>3</b>	<b>Zukunftsmarkt Energieeffizienz .....</b>	<b>47</b>
3.1	Abgrenzung und Technologiebeschreibung.....	47
3.2	Innovationsdynamik und Marktpotenzial .....	48
3.3	Internationale Analyse der technologischen Leistungsfähigkeit.....	49
3.3.1	Patentanalyse .....	49

3.3.1.1	Überblick Handlungsfeld.....	49
3.3.1.2	Energieeffiziente Gebäudetechnik.....	53
3.3.1.3	Energieeffiziente Elektrogeräte .....	55
3.3.1.4	Energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien.....	57
3.3.1.5	Energieeffiziente industrielle Verfahren und Prozesse.....	60
3.3.2	Außenhandelsindikatoren .....	62
3.3.2.1	Überblick über das Handlungsfeld.....	62
3.3.2.2	Energieeffiziente Gebäudetechnik.....	65
3.3.2.3	Energieeffiziente Elektrogeräte .....	66
3.3.2.4	Energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien.....	68
3.3.2.5	Energieeffiziente industrielle Verfahren und Prozesse.....	69
3.4	Schlussfolgerungen für die Perspektive 2020 .....	71
<b>4</b>	<b>Zukunftsmarkt Materialeffizienz .....</b>	<b>77</b>
4.1	Abgrenzung und Technologiebeschreibung .....	77
4.2	Innovationsdynamik und Marktpotenzial .....	78
4.3	Internationale Analyse der technologischen Leistungsfähigkeit.....	79
4.3.1	Patentanalyse .....	80
4.3.1.1	Überblick Handlungsfeld.....	80
4.3.1.2	Nachwachsende Rohstoffe.....	82
4.3.1.3	Ökodesign.....	84
4.3.2	Außenhandelsindikatoren .....	86
4.3.2.1	Überblick Handlungsfeld.....	86
4.3.2.2	Nachwachsende Rohstoffe.....	87
4.3.2.3	Ökodesign.....	88
4.4	Schlussfolgerungen für die Perspektive 2020 .....	91
<b>5</b>	<b>Zukunftsmarkt Nachhaltige Mobilität .....</b>	<b>94</b>
5.1	Abgrenzung und Technologiebeschreibung .....	94
5.2	Innovationsdynamik und Marktpotenzial .....	95
5.3	Internationale Analyse der technologischen Leistungsfähigkeit.....	97

5.3.1	Patentanalyse .....	97
5.3.1.1	Überblick Handlungsfeld.....	97
5.3.1.2	Antriebstechnologien .....	100
5.3.1.3	Fahrzeugtechnik und Design.....	102
5.3.1.4	Verkehrsinfrastruktur .....	104
5.3.1.5	Emissionsminderung durch Filter und Katalysatoren .....	106
5.3.1.6	Biokraftstoffe.....	109
5.3.2	Außenhandelsindikatoren.....	111
5.3.2.1	Überblick Handlungsfeld.....	111
5.3.2.2	Antriebstechnologien .....	115
5.3.2.3	Fahrzeugtechnik und Design.....	117
5.3.2.4	Verkehrsinfrastruktur .....	119
5.3.2.5	Emissionsminderung durch Filter und Katalysatoren .....	121
5.3.2.6	Verkehrskonzepte.....	123
5.4	Schlussfolgerungen für die Perspektive 2020 .....	125
<b>6</b>	<b>Zukunftsmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft .....</b>	<b>132</b>
6.1	Abgrenzung und Technologiebeschreibung.....	132
6.1.1	Wasserversorgung .....	132
6.1.2	Abwasserentsorgung.....	133
6.1.3	Wasserverbrauchseffizienz .....	134
6.1.4	Hochwasserschutz .....	134
6.2	Innovationsdynamik und Marktpotenzial .....	135
6.3	Internationale Analyse der technologischen Leistungsfähigkeit.....	138
6.3.1	Patentanalyse .....	138
6.3.1.1	Überblick über das Handlungsfeld.....	138
6.3.1.2	Wasserversorgung .....	141
6.3.1.3	Abwasserentsorgung.....	142
6.3.1.4	Wassernutzungseffizienz.....	144
6.3.1.5	Hochwasserschutz .....	145
6.3.2	Außenhandelsindikatoren.....	147
6.3.2.1	Überblick über das Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft.....	147

6.3.2.2	Wasserversorgung.....	150
6.3.2.3	Abwasserentsorgung.....	152
6.3.2.4	Wassernutzungseffizienz.....	154
6.3.2.5	Hochwasserschutz.....	156
6.4	Schlussfolgerungen für die Perspektive 2020.....	159
<b>7</b>	<b>Zukunftsmarkt Abfall und Kreislaufwirtschaft.....</b>	<b>163</b>
7.1	Abgrenzung und Technologiebeschreibung.....	163
7.1.1	Tätigkeitsprofile der Kreislaufwirtschaft.....	165
7.1.2	Charakteristika wichtiger Abfallfraktionen.....	167
7.1.3	Sortierverfahren.....	167
7.1.3.1	Sortieranlagen.....	167
7.1.3.2	Sortiertechnologien: Stofferkennungs- und -trennverfahren.....	168
7.1.3.3	Sensorgestützte Sortiertechnologien.....	170
7.1.4	Emissionsreduzierung.....	171
7.1.5	Logistik.....	172
7.2	Innovationsdynamik und Marktpotenzial.....	173
7.2.1	Marktgröße und -struktur.....	174
7.2.2	Internationale Akteursstruktur – Schwerpunkt EU.....	177
7.2.3	Ökonomische Lage.....	178
7.3	Internationale Analyse der technologischen Leistungsfähigkeit.....	180
7.3.1	Patentanalyse.....	181
7.3.2	Außenhandelsindikatoren.....	184
7.4	Schlussfolgerungen für die Perspektive 2020.....	187
7.4.1	Rahmenbedingungen und Handlungsfelder.....	187
7.4.2	Fazit.....	190
<b>8</b>	<b>Zukunftsmarkt Weiße Biotechnologie.....</b>	<b>194</b>
8.1	Abgrenzung und Technologiebeschreibung.....	194
8.1.1	Weiße Biotechnologie.....	195
8.1.2	Technologielinien und Anwendungsfelder der weißen Biotechnologie.....	198

8.2	Innovationsdynamik und Marktpotenzial .....	203
8.2.1	Innovationsdynamik .....	203
8.2.2	Marktentwicklung .....	205
8.2.3	Marktvolumina und Trends .....	205
8.2.4	Feinchemikalien .....	207
8.2.5	Biokunststoffe .....	208
8.2.6	Biokraftstoffe .....	208
8.3	Internationale Analyse der technologischen Leistungsfähigkeit.....	209
8.3.1	Patentanalyse .....	209
8.3.2	Außenhandel .....	212
8.4	Schlussfolgerungen für die Perspektive 2020 .....	214
8.4.1	Innovationstreiber aus Unternehmenssicht .....	215
8.4.2	Einfluss der existierenden politischen Rahmenbedingungen auf die Innovationstätigkeit der Unternehmen.....	216
8.4.3	Maßnahmen der Umweltpolitik zur Steigerung der Innovationstätigkeit und der Wettbewerbsfähigkeit .....	219
8.4.4	Schlussfolgerungen .....	221
<b>9</b>	<b>Zukunftsmarkt Nanotechnologie .....</b>	<b>225</b>
9.1	Abgrenzung und Technologiebeschreibung .....	225
9.1.1	Technologien für Wasser.....	227
9.1.2	Technologien für Luft.....	228
9.1.3	Technologien für Boden .....	228
9.1.4	Technologien für Lärm.....	229
9.1.5	Technologien für Energie .....	229
9.1.6	Technologien für Produktion.....	231
9.2	Innovationsdynamik und Marktpotenzial .....	232
9.2.1	Marktpotenzial .....	232
9.2.1.1	Nanotechnologie-Marktpotenziale im Umweltbereich .....	232
9.2.1.2	Wasser.....	234
9.2.1.3	Luft.....	236
9.2.1.4	Boden .....	237

9.2.1.5	Lärm.....	237
9.2.1.6	Energie.....	238
9.2.1.7	Produktion.....	239
9.2.2	Rahmenbedingungen und Akteure.....	239
9.2.2.1	Positionierung von Deutschland.....	239
9.2.2.2	International.....	243
9.3	Internationale Analyse der technologischen Leistungsfähigkeit.....	244
9.3.1	Patentanalyse.....	244
9.3.2	Außenhandelsindikatoren.....	247
9.4	Schlussfolgerungen für die Perspektive 2020.....	249
<b>10</b>	<b>Ausblick auf die ökologische Industriepolitik.....</b>	<b>252</b>
10.1	Ansatzpunkte und Herausforderungen.....	252
10.1.1	Ökologische Industriepolitik aus Sicht der Volkswirtschaftslehre.....	252
10.1.2	Einbettung der ökologischen Industriepolitik in das Innovationssystem.....	253
10.1.3	Dimensionen ökologischer Industriepolitik.....	258
10.2	Erfahrungen aus den Vertiefungs- und Fallstudien.....	261
10.2.1	Bedeutung von Politikkoordination.....	262
10.2.2	Bedeutung von Regulierung insgesamt.....	263
10.2.3	Hinweise zu konkreten Politikinstrumenten.....	264
10.2.4	Instrumenten-Mix: Phasen vs. Funktionen im Innovationsprozess.....	268
10.3	Fazit für den Forschungsbedarf.....	270
	<b>Literatur.....</b>	<b>272</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Innovationsdynamik der weltweiten jährlichen Patentanmeldungen im Handlungsfeld Energieerzeugung im Vergleich zu allen Anmeldungen (1991= 100) .....	12
Abbildung 2-2:	Wachstum des Marktvolumens in Leitmärkten 2005 bis 2020 in Mrd. Euro .....	12
Abbildung 2-3:	Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente im Handlungsfeld Energieerzeugung 2000 bis 2004.....	13
Abbildung 2-4:	Zeitliche Veränderung der Patentanmeldungen wichtiger Länder bzw. Ländergruppen im Handlungsfeld Energieerzeugung 1991 bis 2004 .....	14
Abbildung 2-5:	RPA-Werte verschiedener Länder im Handlungsfeld Energieerzeugung.....	15
Abbildung 2-6:	Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente in der Produktgruppe der Erneuerbaren Energien .....	16
Abbildung 2-7:	RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die Produktgruppe Erneuerbare Energien.....	17
Abbildung 2-8:	Öffentliche F&E Aufwendungen für Erneuerbare Energien in IEA Ländern .....	18
Abbildung 2-9:	Öffentliche F&E Aufwendungen für Windkraftanlagen in IEA Ländern .....	19
Abbildung 2-10:	Öffentliche F&E Aufwendungen für Photovoltaik in IEA Ländern.....	19
Abbildung 2-11:	Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente bei der Produktgruppe der effizienten und emissionsarmen Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien.....	21
Abbildung 2-12:	RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die Produktgruppe effiziente und emissionsarme Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien.....	22
Abbildung 2-13:	Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente bei der Produktgruppe Wasserstoff.....	23
Abbildung 2-14:	RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die Produktgruppe Wasserstoff .....	24
Abbildung 2-15:	Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente bei der Produktgruppe dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte .....	24

Abbildung 2-16: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die Produktgruppe dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte.....	25
Abbildung 2-17: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Energieerzeugung .....	26
Abbildung 2-18: Zeitliche Veränderung der Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Energieerzeugung .....	26
Abbildung 2-19: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für das Handlungsfeld Energieerzeugung .....	27
Abbildung 2-20: Zeitliche Veränderung der RCA-Werte der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Energieerzeugung .....	28
Abbildung 2-21: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe Erneuerbare Energien .....	29
Abbildung 2-22: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für die Produktgruppe Erneuerbare Energien.....	30
Abbildung 2-23: Zeitliche Veränderung der RCA-Werte der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe Erneuerbare Energien .....	31
Abbildung 2-24: Größe der nationalen Märkte für PV 2006 .....	33
Abbildung 2-25: Anteile an der Solarzellenproduktion 2006 .....	34
Abbildung 2-26: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe der effizienten und emissionsarmen Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien .....	36
Abbildung 2-27: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für die Produktgruppe Effiziente und emissionsarme Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien .....	37
Abbildung 2-28: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe der Wasserstofftechnologien .....	38
Abbildung 2-29: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für die Produktgruppe Wasserstoffwirtschaft .....	38
Abbildung 2-30: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte.....	39
Abbildung 2-31: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für die Produktgruppe dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte .....	40

Abbildung 2-32: Überblick über die Leistungsfähigkeit im Handlungsfeld Energieerzeugung.....	42
Abbildung 3-1: Innovationsdynamik der jährlichen Patentanmeldungen im Handlungsfeld Energieeffizienz im Vergleich zu allen Anmeldungen (1991= 100).....	48
Abbildung 3-2: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente im Handlungsfeld Energieeffizienz 2000 bis 2004 .....	50
Abbildung 3-3: Zeitliche Veränderung der Patentanmeldungen wichtiger Länder bzw. Ländergruppen im Handlungsfeld Energieeffizienz 1991 bis 2004 .....	50
Abbildung 3-4: RPA-Werte verschiedener Länder im Handlungsfeld Energieeffizienz .....	51
Abbildung 3-5: Öffentliche F&E Aufwendungen für Energieeffizienz in IEA Ländern.....	52
Abbildung 3-6: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente bei der Produktgruppe Energieeffiziente Gebäudetechnik.....	53
Abbildung 3-7: Zeitliche Veränderung der Patentanmeldungen wichtiger Länder bzw. Ländergruppen bei der Produktgruppe Energieeffiziente Gebäudetechnik 1991 bis 2004 .....	54
Abbildung 3-8: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die Produktgruppe Energieeffiziente Gebäudetechnik .....	55
Abbildung 3-9: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente bei der Produktgruppe der Energieeffizienten Elektrogeräte .....	56
Abbildung 3-10: Zeitliche Veränderung der Patentanmeldungen wichtiger Länder bzw. Ländergruppen bei der Produktgruppe der Energieeffizienten Elektrogeräte 1991 bis 2004 .....	56
Abbildung 3-11: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die Produktgruppe Energieeffiziente Elektrogeräte .....	57
Abbildung 3-12: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente in der Produktgruppe der Energieeffizienten industriellen Querschnittstechnologien .....	58
Abbildung 3-13: Zeitliche Veränderung der Patentanmeldungen wichtiger Länder bzw. Ländergruppen bei der Produktgruppe der Energieeffizienten industriellen Querschnittstechnologien 1991 bis 2004 .....	58
Abbildung 3-14: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien .....	59

Abbildung 3-15: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente bei der Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Verfahren und Prozesse .....	60
Abbildung 3-16: Zeitliche Veränderung der Patentanmeldungen wichtiger Länder bzw. Ländergruppen bei der Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Verfahren und Produktionsprozesse 1991 bis 2004.....	61
Abbildung 3-17: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Verfahren und Prozesse .....	61
Abbildung 3-18: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Energieeffizienz.....	62
Abbildung 3-19: Zeitliche Veränderung der Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Energieeffizienz .....	63
Abbildung 3-20: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Energieeffizienz.....	64
Abbildung 3-21: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe Energieeffiziente Gebäudetechnik .....	65
Abbildung 3-22: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für die Produktgruppe Energieeffiziente Gebäudetechnik .....	66
Abbildung 3-23: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe der Energieeffizienten Elektrogeräte .....	67
Abbildung 3-24: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für die Produktgruppe Energieeffiziente Elektrogeräte .....	67
Abbildung 3-25: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien.....	68
Abbildung 3-26: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für die Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien .....	69
Abbildung 3-27: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Prozesse und Verfahren .....	70
Abbildung 3-28: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für die Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Prozesse und Verfahren .....	71
Abbildung 3-29: Überblick über die Leistungsfähigkeit im Handlungsfeld Energieeffizienz.....	73
Abbildung 4-1: Innovationsdynamik der jährlichen Patentanmeldungen im Handlungsfeld Materialeffizienz im Vergleich zu allen Anmeldungen (1991= 100).....	78

---

Abbildung 4-2:	Patentanteile im Handlungsfeld Materialeffizienz .....	80
Abbildung 4-3:	Entwicklung der Patentanteile im Handlungsfeld Materialeffizienz .....	81
Abbildung 4-4:	Relative Patentanteile im Handlungsfeld Materialeffizienz .....	81
Abbildung 4-5:	Patentanteile in der Produktgruppe Nachwachsende Rohstoffe .....	82
Abbildung 4-6:	Entwicklung der Patentanteile in der Produktgruppe Nachwachsende Rohstoffe .....	83
Abbildung 4-7:	Relative Patentanteile in der Produktgruppe Nachwachsende Rohstoffe .....	83
Abbildung 4-8:	Patentanteile in der Produktgruppe Ökodesign .....	84
Abbildung 4-9:	Entwicklung der Patentanteile in der Produktgruppe Ökodesign .....	85
Abbildung 4-10:	Relative Patentanteile in der Produktgruppe Ökodesign .....	85
Abbildung 4-11:	Welthandelsanteile im Handlungsfeld Materialeffizienz.....	86
Abbildung 4-12:	RCA im Handlungsfeld Materialeffizienz.....	86
Abbildung 4-13:	Welthandelsanteile in der Produktgruppe Nachwachsende Rohstoffe.....	87
Abbildung 4-14:	RCA in der Produktgruppe Nachwachsende Rohstoffe.....	88
Abbildung 4-15:	Welthandelsanteile in der Produktgruppe Ökodesign.....	89
Abbildung 4-16:	RCA in der Produktgruppe Ökodesign.....	89
Abbildung 4-17:	Welthandelsanteile in der Technologielinie Kunststoffadditive .....	90
Abbildung 4-18:	RCA in der Technologielinie Kunststoffadditive .....	90
Abbildung 4-19:	Überblick über die Leistungsfähigkeit im Handlungsfeld Materialeffizienz .....	91
Abbildung 5-1:	Innovationsdynamik der jährlichen Patentanmeldungen im Handlungsfeld Mobilität im Vergleich zu allen Anmeldungen (1991 = 100) .....	95
Abbildung 5-2:	Marktpotenziale ausgewählter Produktgruppen und Technologielinien im Handlungsfeld Mobilität.....	96
Abbildung 5-3:	Weltweite Patentanteile im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität nach Ländern .....	98
Abbildung 5-4:	Entwicklung der Patentanteile im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität .....	98
Abbildung 5-5:	Relative Patentanteile im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität.....	99

---

Abbildung 5-6:	Patentanteile der Produktgruppe Antriebstechnologien.....	100
Abbildung 5-7:	Entwicklung der Patentanteile der Produktgruppe Antriebstechnologien.....	101
Abbildung 5-8:	Relative Patentanteile der Produktgruppe Antriebstechnologien .....	101
Abbildung 5-9:	Patentanteile der Produktgruppe Fahrzeugtechnik und -design.....	103
Abbildung 5-10:	Entwicklung der Patentanteile der Produktgruppe Fahrzeugtechnik und -design.....	103
Abbildung 5-11:	Relative Patentanteile der Produktgruppe Fahrzeugtechnik und - design.....	104
Abbildung 5-12:	Patentanteile der Produktgruppe Verkehrsinfrastruktur .....	105
Abbildung 5-13:	Entwicklung der Patentanteile der Produktgruppe Verkehrsinfrastruktur .....	105
Abbildung 5-14:	Relative Patentanteile der Produktgruppe Verkehrsinfrastruktur.....	106
Abbildung 5-15:	Patentanteile der Produktgruppe Emissionsminderung.....	107
Abbildung 5-16:	Entwicklung der Patentanteile der Produktgruppe Emissionsminderung .....	108
Abbildung 5-17:	Relative Patentanteile der Produktgruppe Emissionsminderung.....	108
Abbildung 5-18:	Patentanteile der Produktgruppe Biokraftstoffe .....	109
Abbildung 5-19:	Entwicklung der Patentanteile der Produktgruppe Biokraftstoffe.....	110
Abbildung 5-20:	Relative Patentanteile der Produktgruppe Biokraftstoffe .....	111
Abbildung 5-21:	Welthandelsanteile im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität nach Exportländern .....	112
Abbildung 5-22:	Entwicklung der Welthandelsanteile im Handlungsfeld Mobilität.....	112
Abbildung 5-23:	RCA im Handlungsfeld Mobilität .....	113
Abbildung 5-24:	Welthandelsanteile der Produktgruppe Antriebstechnologien .....	115
Abbildung 5-25:	RCA der Produktgruppe Antriebstechnologien .....	116
Abbildung 5-26:	Welthandelsanteile der Produktgruppe Fahrzeugtechnik und -design .....	117
Abbildung 5-27:	RCA der Produktgruppe Fahrzeugtechnik und -design .....	118
Abbildung 5-28:	Welthandelsanteile der Produktgruppe Verkehrsinfrastruktur .....	120
Abbildung 5-29:	RCA der Produktgruppe Verkehrsinfrastruktur .....	120
Abbildung 5-30:	Welthandelsanteile der Produktgruppe Emissionsminderung .....	122

Abbildung 5-31: RCA der Produktgruppe Emissionsminderung .....	123
Abbildung 5-32: Welthandelsanteile der Produktgruppe Verkehrskonzepte.....	124
Abbildung 5-33: RCA der Produktgruppe Verkehrskonzepte.....	125
Abbildung 5-34: Überblick über die Leistungsfähigkeit im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität .....	126
Abbildung 6-1: Innovationsdynamik im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft (gemessen an der Zahl der Patentanmeldungen; 1991= 100).....	136
Abbildung 6-2: Relative Innovationsdynamik in verschiedenen Produktgruppen des Handlungsfeldes Nachhaltige Wasserwirtschaft (gemessen an der Zahl der Patentanmeldungen; 1991= 100) .....	136
Abbildung 6-3: Prognostizierte Anteile ausgewählter Technologielinien am jährlichen Marktvolumen des Handlungsfeldes Nachhaltige Wasserwirtschaft für 2020 .....	137
Abbildung 6-4: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft im Zeitraum 2000 bis 2004.....	138
Abbildung 6-5: Zeitliche Veränderung der Patentanmeldungen wichtiger Länder bzw. Ländergruppen im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft im Zeitraum 1991 bis 2004 .....	139
Abbildung 6-6: RPA-Werte verschiedener Länder im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft.....	140
Abbildung 6-7: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente in der Produktgruppe Wasserversorgung.....	141
Abbildung 6-8: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen in der Produktgruppe Wasserversorgung .....	142
Abbildung 6-9: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente in der Produktgruppe Abwasserentsorgung .....	143
Abbildung 6-10: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen in der Produktgruppe Abwasserentsorgung.....	143
Abbildung 6-11: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente in der Produktgruppe Wassernutzungseffizienz.....	144
Abbildung 6-12: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen im Bereich der Wassernutzungseffizienz.....	145
Abbildung 6-13: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente in der Produktgruppe Hochwasserschutz.....	146

Abbildung 6-14: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen in der Produktgruppe Hochwasserschutz .....	146
Abbildung 6-15: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft.....	147
Abbildung 6-16: Zeitliche Veränderung der Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft .....	148
Abbildung 6-17: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft.....	149
Abbildung 6-18: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Wasserversorgung .....	150
Abbildung 6-19: Zeitliche Veränderung der Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Wasserversorgung.....	151
Abbildung 6-20: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Wasserversorgung .....	152
Abbildung 6-21: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Abwasserentsorgung.....	153
Abbildung 6-22: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Abwasserentsorgung.....	153
Abbildung 6-23: Zeitliche Veränderung der RCA-Werte der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Abwasserentsorgung.....	154
Abbildung 6-24: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Wassernutzungseffizienz .....	155
Abbildung 6-25: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Wassernutzungseffizienz .....	155
Abbildung 6-26: Zeitliche Veränderung der RCA-Werte der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Wassernutzungseffizienz .....	156
Abbildung 6-27: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Hochwasserschutz .....	157
Abbildung 6-28: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Hochwasserschutz .....	157
Abbildung 6-29: Zeitliche Veränderung der RCA-Werte der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Hochwasserschutz .....	158
Abbildung 6-30: Überblick über die Leistungsfähigkeit im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft.....	159

---

Abbildung 7-1:	Darstellung der Stoff-/Energie- und Informationsflüsse in der Kreislaufwirtschaft.....	163
Abbildung 7-2:	Hierarchie und Prozesskette der Abfallwirtschaft.....	165
Abbildung 7-3:	Vereinfachtes Blockfließbild der A.R.T.-Sortieranlage in Trier (Stand: 2001).....	169
Abbildung 7-4:	Prinzip der sensorgestützten Sortierung am Beispiel des NIR-Verfahrens.....	170
Abbildung 7-5:	Innovationsdynamik der jährlichen Patentanmeldungen im Handlungsfeld Abfall- und Kreislaufwirtschaft im Vergleich zu allen Anmeldungen (1991= 100).....	173
Abbildung 7-6:	Innovative Konzepte der Abfallbehandlung. (Quelle: nach AMCG, 2003).....	174
Abbildung 7-7:	Abfallbehandlungstechnologien der EU15.....	176
Abbildung 7-8:	Abfallbehandlungstechnologien der neuen EU-Länder (Beitritt 2004).....	176
Abbildung 7-9:	Verwertung bzw. Beseitigung von Siedlungsabfällen in der EU.....	177
Abbildung 7-10:	Markt für Siedlungsabfälle in der EU (Stand: 2002). .....	179
Abbildung 7-11:	Weltweite Patentdynamik im Handlungsfeld Abfall und Kreislaufwirtschaft, 1991 bis 2004 nach Ländern.....	182
Abbildung 7-12:	Patentanteile im Handlungsfeld Abfall und Kreislaufwirtschaft 2000 bis 2004.....	182
Abbildung 7-13:	Patentanteile nach verschiedenen Produktgruppen in ausgewählten Ländern für 2000 bis 2004.....	183
Abbildung 7-14:	RPA für das Handlungsfeld Abfall und Kreislaufwirtschaft in den Zeiträumen 2000 bis 2004 und 1995 bis 1999.....	184
Abbildung 7-15:	Welthandelsanteil im Handlungsfeld Abfall- und Kreislaufwirtschaft in den Jahren 2000 - 2004.....	186
Abbildung 7-16:	RCA im Handlungsfeld Abfall und Kreislaufwirtschaft im Zeitraum 2000 - 2004.....	186
Abbildung 7-17:	Überblick über die Leistungsfähigkeit im internationalen Vergleich im Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft.....	191
Abbildung 8-1:	Vereinfachter Ablauf für die Erzeugung biotechnologischer Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen (eigene Darstellung in Anlehnung an MRST 2005).....	197
Abbildung 8-2:	Weißer Biotechnologie und ihre Anwendungen.....	199

---

Abbildung 8-3:	Innovationsdynamik der jährlichen Patentanmeldungen im Handlungsfeld weiße Biotechnologie im Vergleich zu allen Anmeldungen (1991= 100).....	203
Abbildung 8-4:	Trend im Weltmarktvolumen biotechnologisch hergestellter Chemie-Produkte .....	206
Abbildung 8-5:	Trend im Weltmarktvolumen biotechnologisch hergestellter Feinchemikalien .....	207
Abbildung 8-6:	Trend im Marktvolumen und Anteil biotechnologisch hergestellter Kunststoffe .....	208
Abbildung 8-7:	Patentdynamik weltweit nach den Produktgruppen, 1991 bis 2004 .....	211
Abbildung 8-8:	Anmelder im Bereich der weißen Biotechnologie 2000 bis 2004 .....	211
Abbildung 8-9:	RPAs im Bereich der Biotechnologie 2000 bis 2004 .....	212
Abbildung 8-10:	Anteil am Welthandel für das Jahr 2004 .....	213
Abbildung 8-11:	RCA für die Produktgruppen der weißen Biotechnologie 2004 .....	214
Abbildung 9-1:	Anwendungspotenziale und Reifegrad nanotechnologischer Entwicklungen in verschiedenen Wirtschaftsbranchen.....	226
Abbildung 9-2:	Entwicklung des globalen Marktes im Bereich der Nanotechnologie .....	233
Abbildung 9-3:	Patentanteile bei der Nanotechnologie im Zeitraum 2000 bis 2004 .....	240
Abbildung 9-4:	Verteilung der Nanoakteure in Deutschland (Stand: Sept. 2006).....	241
Abbildung 9-5:	Patentdynamik der Nanotechnologie weltweit .....	245
Abbildung 9-6:	Patentanteile nach ausgewählten Ländern und verschiedenen Produktgruppen für 2000 bis 2004.....	245
Abbildung 9-7:	Relativer Patentanteil für Nanotechnologie in den Zeiträumen 2000 bis 2004 und 1995 bis 1999 .....	246
Abbildung 9-8:	Relativer Patentanteil für Nanotechnologie für Anmeldungen in den Jahren 2000 bis 2004, differenziert nach den verschiedenen Anwendungsbereichen.....	247
Abbildung 9-9:	Welthandelsanteil für Nanotechnologie-Waren in den Jahren 2000 bis 2004.....	248
Abbildung 9-10:	Entwicklung der Welthandelsanteile für Nanotechnologie-Waren in den Jahren 1993 bis 2004.....	249
Abbildung 9-11:	RCA für Nanotechnologie im Zeitraum 2000 bis 2004.....	249
Abbildung 10-1:	Schema des „Systems of Sustainability Innovation“ Ansatzes .....	254

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Vergleich von Innovationsdynamik, Wettbewerbsfähigkeit und Marktpotenzial der verschiedenen Technologielinien im Handlungsfeld Energieerzeugung.....	41
Tabelle 2-2:	Spezialisierungsindikatoren der 10 patentstärksten Länder und Chinas .....	42
Tabelle 2-3:	Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Energieerzeugung.....	45
Tabelle 3-1:	Vergleich von Leistungsfähigkeit und Marktpotenzial der verschiedenen Produktgruppen im Handlungsfeld Energieeffizienz .....	72
Tabelle 3-2:	Spezialisierungsindikatoren der 10 patentstärksten Länder und China .....	72
Tabelle 3-3:	Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Energieeffizienz.....	75
Tabelle 4-1:	Vergleich von Leistungsfähigkeit und Marktpotenzial der verschiedenen Produktgruppen im Handlungsfeld Materialeffizienz.....	92
Tabelle 4-2:	Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Materialeffizienz .....	93
Tabelle 5-1:	Vergleich von Leistungsfähigkeit und Marktpotenzial der verschiedenen Produktgruppen im Handlungsfeld Energieeffizienz .....	126
Tabelle 5-2:	Überblick über die Spezialisierung in den Produktgruppen des Handlungsfeldes Mobilität.....	127
Tabelle 5-3:	Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität.....	131
Tabelle 6-1:	Vergleich von Wettbewerbsfähigkeit und Marktpotenzial der verschiedenen Produktgruppen des Handlungsfeldes Nachhaltige Wasserwirtschaft.....	160
Tabelle 6-2:	Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft.....	162
Tabelle 7-1:	Verschiedene Stofferkennungsverfahren der Abfallwirtschaft.....	170
Tabelle 7-2:	Umsatz der zehn größten europäischen Unternehmen der Kreislaufwirtschaft (Stand 2006) (Hall 2006). .....	178

Tabelle 7-3:	Vergleich von Wettbewerbsfähigkeit und Marktpotenzial der verschiedenen Produktgruppen des Handlungsfeldes Abfall- und Kreislaufwirtschaft .....	192
Tabelle 7-4:	Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Abfall- und Kreislaufwirtschaft .....	193
Tabelle 8-1:	Vergleich von Wettbewerbsfähigkeit und Marktpotenzial der verschiedenen Produktgruppen des Handlungsfeldes Weiße Biotechnologie .....	223
Tabelle 8-2:	Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Weiße Biotechnologie .....	224
Tabelle 9-1:	Vergleich von Wettbewerbsfähigkeit und Marktpotenzial der verschiedenen Produktgruppen des Handlungsfeldes Nanotechnologie .....	250
Tabelle 9-2:	Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Nanotechnologie .....	251

## Anhang

<b>A</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>284</b>
A.1	Anhang zu Kapitel 2 .....	284
A.2	Anhang zu Kapitel 3 .....	288
A.3	Anhang zu Kapitel 4 .....	291
A.4	Anhang zu Kapitel 5 .....	292
A.5	Anhang zu Kapitel 6 .....	296
A.6	Anhang zu Kapitel 7 .....	299
A.7	Anhang zu Kapitel 8 .....	304
A.8	Anhang zu Kapitel 9 .....	304

**Verwendete Länderabkürzungen**

CA Kanada

CH Schweiz

CN Volksrepublik China

DE Deutschland

DK Dänemark

FR Frankreich

GB Vereinigtes Königreich Großbritannien und Nordirland

IT Italien

JP Japan

KR Republik Korea

NL Niederlande

US Vereinigte Staaten von Amerika

## 0 Kurzfassung

### Hintergrund und Zielsetzung

Dem Umwelt- und Ressourcenschutz wird national und international eine hohe und weiter wachsende Bedeutung beigemessen. Die Nachfrage nach Umwelttechniken wird sich weltweit dynamisch entwickeln. Inzwischen hat sich aus dem Umwelt- und Ressourcenschutz auch ein maßgeblicher Treiber für Innovationen entwickelt. **Umwelt- und Innovationspolitik** wächst dadurch immer stärker zusammen, moderne Umweltpolitik wird zu Innovationspolitik. Die Politik hat diese Entwicklungstrends aufgegriffen und unter dem Schlagwort „Ökologische Industriepolitik“ zu einer Hauptaufgabe der künftigen Umweltpolitik gemacht.

Für die europäische Wirtschaft und auch für Deutschland eröffnen Umweltinnovationen auf den heimischen und internationalen Märkten erhebliche Marktpotenziale und große **Chancen für Wachstum und Beschäftigung**. Im hier vorgelegten Bericht „Innovationsdynamik und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in grünen Zukunftsmärkten“ wird eine komplette Analyse der internationalen Leistungsfähigkeit einzelner Länder und Regionen in 8 Zukunftsmärkten/Handlungsfeldern vorgelegt. Für jedes Handlungsfeld erfolgt eine disaggregierte Analyse für die einzelnen Produktgruppen mit den jeweils zugehörigen relevanten Technologielinien.

Tabelle 0-1: Überblick über untersuchte Handlungsfelder und zugehörige Produktgruppen

Handlungsfeld/Zukunftsmarkt	Zugehörige Produktgruppen
<b>1. Energieerzeugung</b>	Erneuerbare Energien; Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien; Wasserstofftechnologien; Dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte
<b>2. Energieeffizienz</b>	Gebäudetechnik; Elektrogeräte; industrielle Querschnittstechnologien; industrielle Prozesse und Verfahren
<b>3. Materialeffizienz</b>	Nachwachsende Rohstoffe; Ökodesign
<b>4. Nachhaltige Mobilität</b>	Antriebstechnologien; Fahrzeugtechnik; Verkehrsinfrastruktur; Emissionsminderung; Biokraftstoffe; Verkehrssysteme
<b>5. Nachhaltige Wasserwirtschaft</b>	Wasserversorgung; Abwasserentsorgung; Wassernutzungseffizienz; Hochwasserschutz
<b>6. Abfall- und Kreislaufwirtschaft</b>	Sammeln; Zerkleinern; Trennen; Recycling; Abfallbehandlung; Energetische Verwertung; Deponierung; Abfallarme Produktionsprozesse
<b>7. Weiße Biotechnologie</b>	Biorohstoffe; Zellfabrik; Bioprocessing
<b>8. Umweltrelevante Nanotechnologie</b>	Strukturelle Anwendungen; Sensorische Anwendungen; (Elektro-)chemische Anwendungen

Während die ersten sechs dieser acht Zukunftsmärkte als Umwelttechnologien im engeren Sinne bezeichnet werden können, handelt es sich bei den beiden letzten um (neue) Querschnittstechnologien, denen zwar eine hohe Bedeutung für den Umwelt- und Ressourcenschutz beigemessen wird, ohne dass dies jedoch im Einzelnen bereits technologisch spezifiziert werden kann.

Die betrachteten Zukunftsmärkte bestehen überwiegend aus höherwertigen oder Spitzentechnologien. Qualitätsmerkmale spielen eine wichtige Rolle im Wettbewerb. Damit wird die Wissensbasis einer Volkswirtschaft, aber auch ihre Fähigkeit, Wissen in Produkte umzusetzen und diese zu vermarkten, zu wichtigen Voraussetzungen des künftigen wirtschaftlichen Erfolgs. In diesem Bericht werden einmal **Patentanmeldungen** analysiert, die das direkte Ergebnis des FuE-Prozesses beschreiben sollen. Sie gelten zugleich als Frühindikator für die zukünftige technische Entwicklung. Zum anderen werden **außenhandelsbezogene Indikatoren** gebildet, die stärker auf die Anwendung und die Diffusion der Technologien auf FuE-intensiven Gütermärkten abzielen. Auf Grund der sich noch nicht eingestellten technischen Konkretion sind sie aber gerade in den Handlungsfeldern der weißen Biotechnologie und der umweltrelevanten Nanotechnologie mit größeren Unsicherheiten verbunden als in den sechs anderen Handlungsfeldern. Aus dem Blickwinkel der künftigen Perspektive bis zum Jahr 2020 werden Stärken und Schwächen, aber auch Chancen und Herausforderungen in jedem Handlungsfeld benannt. Gegenstand des Gesamtvorhabens, dessen Hauptbericht hier vorgelegt wird, waren auch zehn Vertiefungsstudien zu einzelnen Technologielinien. Die Ergebnisse dieser Arbeiten sind in separaten Veröffentlichungen dokumentiert. Die dabei gewonnenen Ergebnisse flossen allerdings in die Ableitung der Politikempfehlungen mit ein, mit denen dieser Bericht schließt.

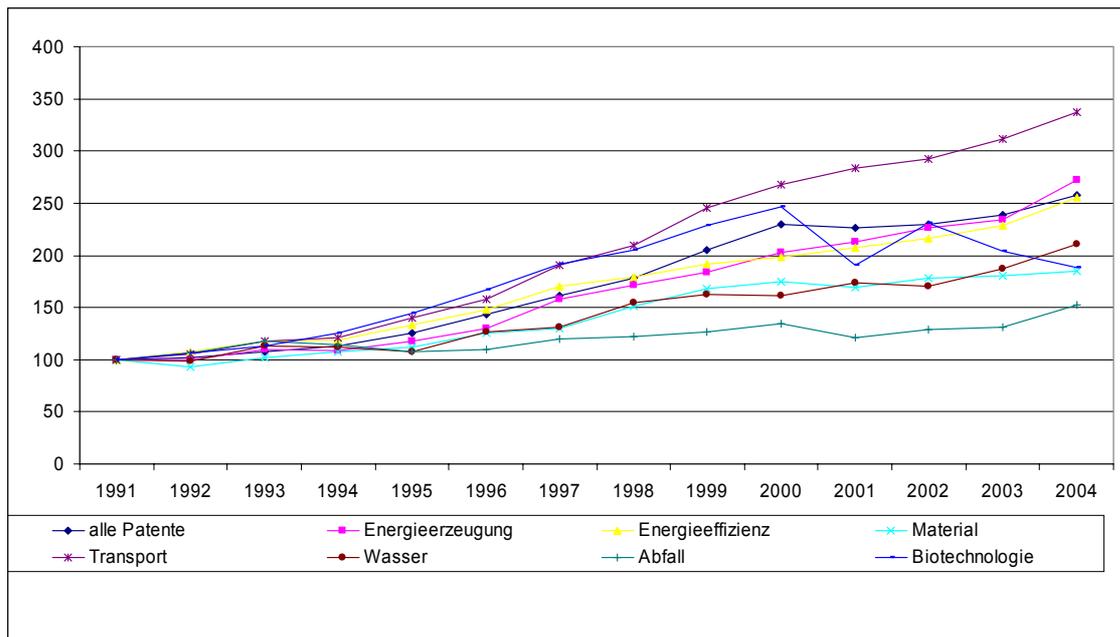
### **Aggregierter Überblick über alle Handlungsfelder**

Mit Hilfe der Entwicklung der Patentanmeldungen kann die **Innovationsdynamik** in den Handlungsfeldern abgeschätzt werden. Eine hohe Innovationsdynamik deutet darauf hin, dass sich der Wettbewerb stärker an Qualitätskriterien ausrichten wird. In diesem Fall dürfte auch in absehbarer Zukunft neben den Kostenparametern auch verstärkt den qualitativen Faktoren Bedeutung im Standortwettbewerb zukommen.

Insgesamt zeigt sich eine stark ausgeprägte Innovationsdynamik der betrachteten Handlungsfelder. Insbesondere im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität liegt die Innovationsdynamik über derjenigen, die sich für alle Patentklassen ergibt. Lediglich bei Abfalltechnologien liegt die Dynamik deutlich unter derjenigen aller Patentklassen. In der Wasserwirtschaft ist bei der Innovationsdynamik eine Zweiteilung zwischen hochdynamischen, stärker auf neue Konzepte abzielenden Teilbereichen und den sich ver-

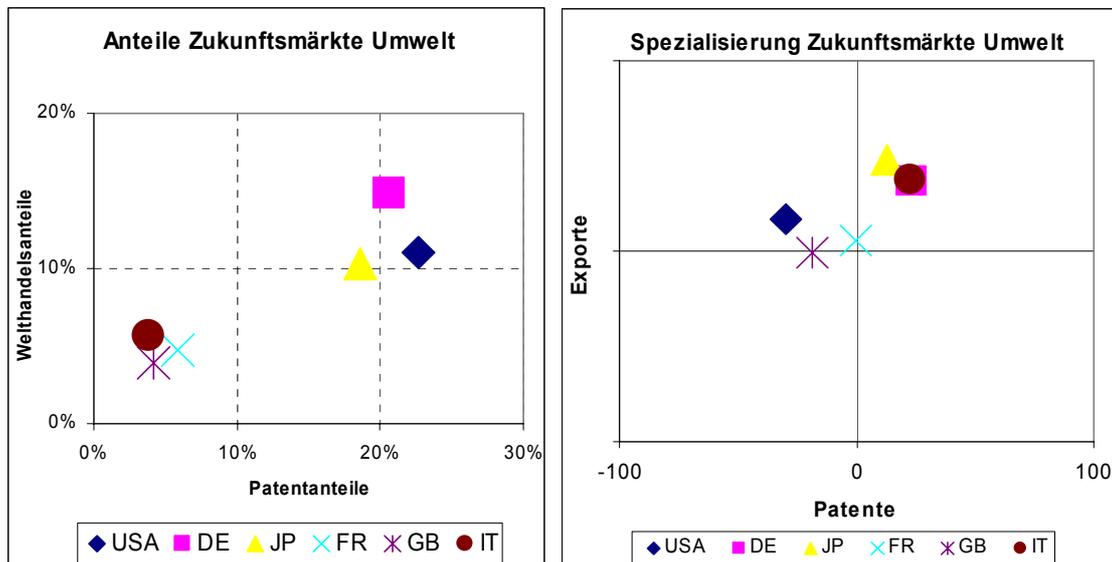
haltener entwickelnden traditionellen Ver- und Entsorgungskonzepten zu beobachten. Nanotechnologien als neues Feld weisen eine extrem überdurchschnittliche Innovationsdynamik auf (Steigerung um das Zehnfache, daher nicht mehr in Abbildung 0-1 aufgeführt). Die weiße Biotechnologie hat sich zunächst ebenfalls überdurchschnittlich entwickelt, weist allerdings in den letzten Jahren einen volatilen Verlauf auf.

Abbildung 0-1: Innovationsdynamik der weltweiten Patentanmeldungen (1991= 100)



Die **technologische Leistungsfähigkeit** der einzelnen Länder ist mit Hilfe der Innovationsindikatoren untersucht worden. In der Summe der Umwelttechnologien zeigt sich, dass Deutschland, Japan und die USA sowohl bei den Patenten als auch im Außenhandel die größten Anteile auf sich vereinigen. Sowohl die Patentanteile als auch die Welthandelsanteile werden durch die Größe und das allgemeine Entwicklungsmuster des Landes beeinflusst. Zusätzlich ist es daher üblich, Spezialisierungskennziffern zu bilden. Sie geben an, welchen Stellenwert die besonders interessierenden Technologien und Waren im Verhältnis zum Durchschnitt aller Technologien und Waren innerhalb des betrachteten Landes aufweisen. Positive Spezialisierungskennziffern zeigen an, dass die Kompetenzen des Landes in diesem Bereich relativ zum Durchschnitt aller Technologien und Güter überdurchschnittlich gut sind. Die Analyse der Spezialisierungsmuster verdeutlicht die – neben Japan und Italien - starke Stellung Deutschlands. Umwelttechnologien gehören damit eindeutig zu den ganz besonderen Stärken Deutschlands.

Abbildung 0-2: Anteile und Spezialisierung der führenden OECD-Länder in allen Zukunftsmärkten



Auch aus **europäischer Sicht** wird den Umwelttechnologien eine besonders hohe Bedeutung für die Erreichung der Ziele der Lissabon-Strategie zugemessen. Allerdings verschiebt sich die Perspektive hier auf die Wettbewerbsfähigkeit der gesamten EU, verglichen mit den großen Wirtschaftsmächten USA, Japan und China. Methodisch erfordert die Analyse der Wettbewerbsfähigkeit ein anderes Erhebungskonzept, da die Handelsströme zwischen den EU-Ländern hier nicht als Exporte zu werten sind. Sie wurden daher für die Analyse der Wettbewerbsfähigkeit Europas analytisch ausgeblendet. Damit liegt der Welthandelsanteil Europas logischerweise sehr deutlich unter den aufsummierten Exportwerten der einzelnen EU-Mitgliedsländer, die einen erheblichen Teil ihrer Exporte in andere EU-Länder abwickeln. Dennoch zeigt sich im Ergebnis, dass die EU eindeutig der führende Wirtschaftsraum bei den Umwelttechnologien ist. Die Zukunftsmärkte Umwelt stellen tatsächlich eines der Gebiete dar, auf denen die EU beste Ausgangsbedingungen für eine erfolgreiche Umsetzung der Lissabon-Ziele aufweist.

Abbildung 0-3: Spezialisierungsprofile der führenden OECD-Länder

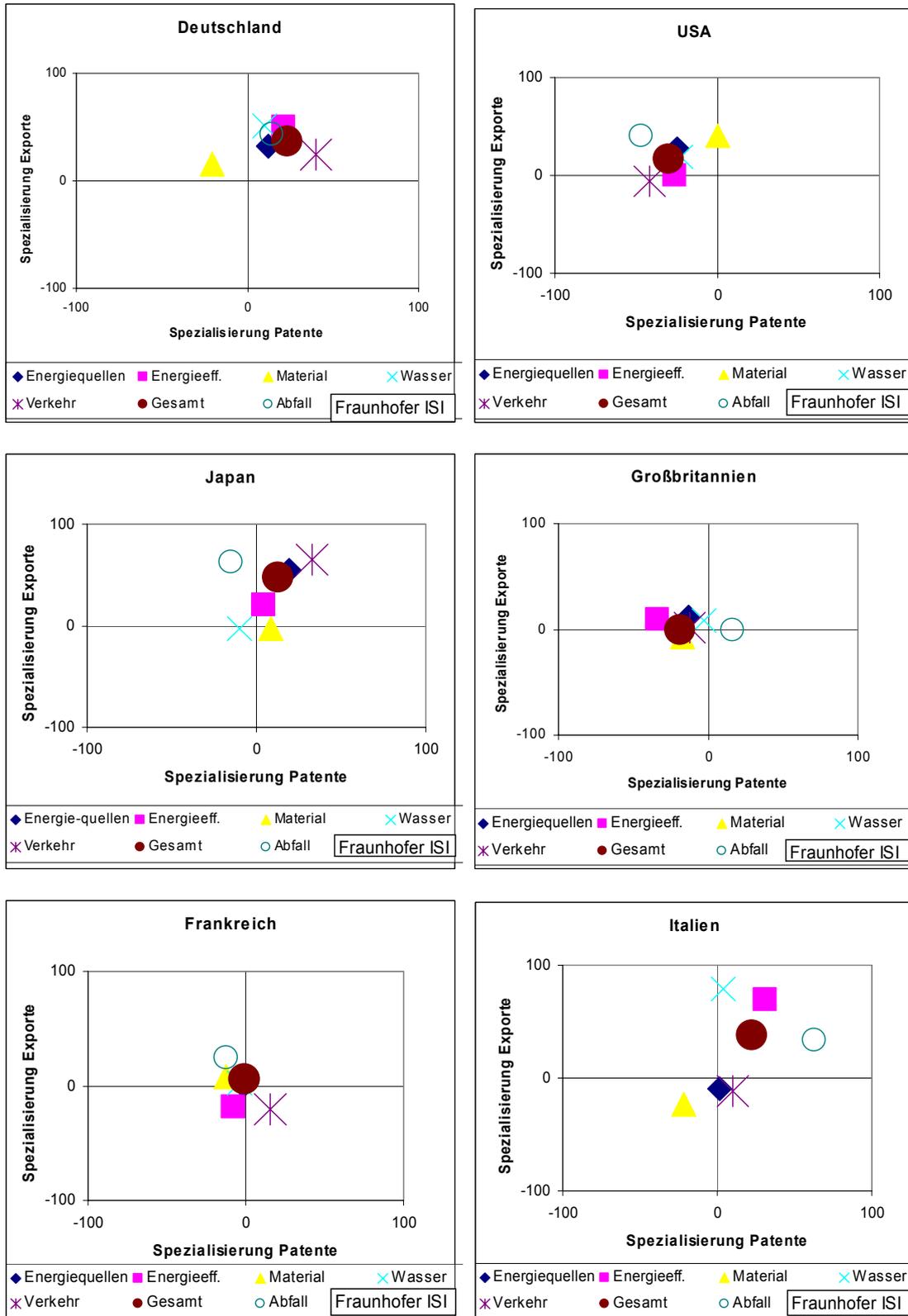
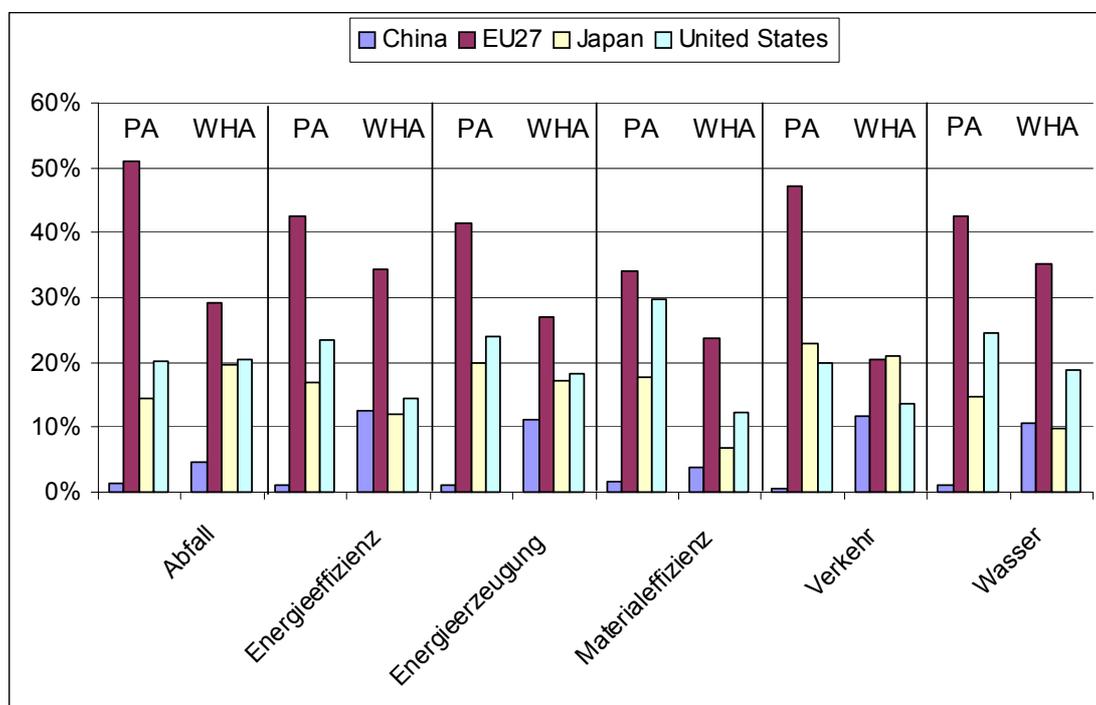


Abbildung 0-4: Patent- und Welthandelsanteile der großen Wirtschaftsräume in den Handlungsfeldern (jeweils ohne Intra-EU-Handel)



Die aggregierten Werte verdecken, dass es zwischen den einzelnen Handlungsfeldern erhebliche Unterschiede gibt. Sie sind für Deutschland vergleichsweise gering ausgeprägt, d.h. die meisten Handlungsfelder weisen sowohl positive Patent- als auch Exportspezialisierung auf. Stärkere Unterschiede gibt es z. B. in Italien, das eine besonders hohe Spezialisierung in den Handlungsfeldern Energieeffizienz und Abfall (insbesondere im Norden des Landes angesiedelt) aufweist. Aber auch Japan ist insbesondere im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität sehr stark, hingegen schwächer bei der Nachhaltigen Wasserwirtschaft und beim Abfall. Wie die detaillierte Analyse der einzelnen Handlungsfelder im Hauptbericht verdeutlicht, sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Produktgruppen und den disaggregierteren Technologielinien nochmals stärker ausgeprägt.

### Überblick über die Ergebnisse zu den einzelnen Handlungsfeldern

Die internationale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands im Handlungsfeld **Energieerzeugung** ist hoch. Deutschland weist – in Abhängigkeit der betrachteten Produktgruppe – eine mittlere bis sehr starke Stellung auf. Bei den Patenten ist insbesondere die starke Stellung bei den Erneuerbaren Energien (v.a. bei Wind und Solarthermie) hervorzuheben. Bei den Exporten sind hingegen die anderen Produktgruppen tendenziell stärker als die Erneuerbaren Energien. Dies ist als temporäres Phänomen einzu-

schätzen, das durch die Dynamik des Marktwachstums in Deutschland (z. B. PV Markt 55 % des Weltmarktes in 2006) und damit zusammenhängende Sogwirkungen der Einfuhren bedingt ist. Die im Jahr 2005 zu beobachtende Trendwende im Bereich der Windenergie zeigt auf, wie die Kopplung von technologischer Marktführung und Etablierung eines heimischen Marktes mittelfristig auch zu Exporterfolgen führt. Wichtige Wettbewerber sind Japan, die USA und auch die Schweiz. Bei einzelnen Produktgruppen weisen auch Frankreich (z. B. dezentrale Energieerzeugung und Verteilungskonzepte), Großbritannien (Wasserstoff) und China (PV) erhebliche Stärken auf.

Tabelle 0-2: Vergleich der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Produktgruppen im Handlungsfeld Energieerzeugung

Technologielinie	Patente		Außenhandel	
	relative Position D	wichtigste Konkurrenten von D	relative Position D	wichtigste Konkurrenten von D
<b>Energieerzeugung gesamt</b>	<b>hoch</b>	<b>JP, CH</b>	<b>sehr gut</b>	<b>USA, JP, CH</b>
Erneuerbare Energien	hoch	JP, (USA, CN)	gut (D größter Markt !)	JP, USA
Effiziente und emissionsarme Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien	mittel	JP, F, CH	gut - sehr gut	USA, JP, CH, GB, F
Wasserstofftechnologien	mittel	JP, GB, (USA),	gut - sehr gut	USA, JP
Dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte	gering bis mittel	JP, FR	sehr gut	JP, FR

Die im Handlungsfeld Energieerzeugung in Deutschland identifizierten Stärken, Schwächen, Chancen und Herausforderungen sind in Tabelle 0-2 dargestellt. In der Perspektive 2020 ergeben sich aus dieser Situation die folgenden technologiespezifischen Schlussfolgerungen: Es muss eine Stärkung der Nachfrage nicht nur in Deutschland, sondern auch in anderen Ländern erfolgen. Dann kann Deutschland von der starken Stellung bei einzelnen Technologielinien wie der Windenergie, Solarthermie oder bei CCS auch wirklich profitieren. Erfolgreiche Politikinnovationen, welche in der Vergangenheit in Deutschland zum Erfolg beigetragen haben (z. B. feste Einspeisetarife), sollten in andere Länder Europas und weltweit übertragen werden. Die Ausgestaltung des Emissionshandels sollte explizit auf die Erzielung weiterer Innovationserfolge ausgerichtet werden. Weiterhin sollte Deutschland mögliche neue Mechanismen der internationalen Technologiekooperation zum Klimaschutz nutzen, die in Weiterentwicklung des Kyotoabkommens diskutiert werden.

Tabelle 0-3: Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Energieerzeugung

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gute Wissensbasis und technologisches Potenzial in wichtigen Technologiefeldern</li> <li>• Erhebliche internationale Wettbewerbserfolge der Technologiehersteller; hohe Weltmarktanteile heimischer Unternehmen als gute Ausgangsposition für weiteres Umsatzwachstum in einer Reihe von Technologielinien</li> <li>• Energie- und Klimapolitik sowie Versorgungssicherheit sind wichtige Innovationstreiber</li> <li>• Stark organisierte Unternehmen im Bereich der Erneuerbaren Energien und der Kraftwerkstechnologien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stark expandierender Weltmarkt</li> <li>• Reinvestitionsbedarf im Kraftwerksbereich, der erlaubt, Erneuerbare Energien und CO<sub>2</sub>-arme fossile Kraftwerke verstärkt einzusetzen</li> <li>• Diskussion über neue Politikinstrumente für Generierung von Nachfrage und Ausrichtung auf effiziente Technologieinnovationen nutzen</li> <li>• Preissteigerungen bei energetischen Rohstoffen nutzen, um Innovationen voranzutreiben</li> </ul>
Schwächen	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Noch zu geringe Größe der Märkte für Erneuerbare in anderen Ländern im Vergleich zu Deutschland. Daher noch zu geringe Exportmöglichkeiten</li> <li>• Kostenniveau einzelner Technologien noch zu hoch</li> <li>• Fehlender gesellschaftlicher Konsens bei CO<sub>2</sub>-armen Technologien zur Nutzung von Kohle und Gas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Politikentwicklungen wie die EU Richtlinie für erneuerbare Energien noch stärker zu nutzen, um Technologielinien weiter zu stärken</li> <li>• Konkurrenz durch technologiestarke Entwicklungsländer frühzeitig zu berücksichtigen</li> <li>• Erfolgreiche Anreizpolitiken in andere Länder „exportieren“</li> <li>• Systematischere Einbindung „neuer Technologiefelder“ wie Nano/Biotechnologien</li> </ul>

Deutschland weist durchgängig bei allen Produktgruppen des Handlungsfeldes **Energieeffizienz** eine starke bis sehr starke Stellung auf. Insbesondere im Außenhandel liegt Deutschland mit einem Welthandelsanteil von knapp 20 % an der Spitze. Besonders stark ausgeprägt ist die Exportspezialisierung in den Produktgruppen Gebäudetechnik und den Querschnittstechnologien. Wichtige Wettbewerber sind neben Japan auch Italien und die Schweiz. Aber auch Korea hat begonnen, sich auf eine für energieeffiziente Technologien relevante Wissenskompetenz zu spezialisieren.

In der Perspektive 2020 ergeben sich aus dieser Situation folgende für die Politik zentralen technologiespezifischen Schlussfolgerungen: Die anstehende Umsetzung der europäischen Richtlinie für Energieeffizienz und Energiedienstleistungen sollte Deutschland im eigenen Land und in Europa nutzen, um die Nachfrage nach energieeffizienten Lösungen zu stärken. Energieeffizienz bei industriellen Querschnittstechnologien ist ein bisher weitgehend vernachlässigtes Gebiet. Daher sollte die Nachfrage bei diesen Technologielinien stärker stimuliert werden, z. B. durch die Einführung von Energieaudits, Benchmarkingsystemen und Fördermöglichkeiten für diese Technologien, die bisher im politischen Rahmen wenig betrachtet wurden. Ein verstärkter nachfrageseitiger Schub könnte hier die sehr starke Stellung Deutschlands als führender Anbieter weiter festigen. Ähnlich wie bei den Energiequellen sollte Deutschland auch

für die Energieeffizienztechnologien mögliche neue Mechanismen der internationalen Technologiekooperation zum Klimaschutz nutzen.

Tabelle 0-4: Vergleich der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Produktgruppen im Handlungsfeld Energieeffizienz

Produktgruppe	Patente		Außenhandel	
	relative Position D	wichtigste Konkurrenten von D	relative Position D	wichtigste Konkurrenten von D
<b>Energieeffizienz gesamt</b>	hoch	IT, KR, CH	sehr gut	IT, JP
Energieeffiziente Gebäudetechnik	mittel	IT, KR	sehr gut	KR, IT
Energieeffiziente Elektrogeräte	hoch	KR, IT, JP	gut - sehr gut	IT, JP, CH
Energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien	hoch	KR, IT	sehr gut	IT, JP
Energieeffiziente industrielle Prozesse und Verfahren	hoch	(CH, JP)	gut	IT, GB, JP, CH

Tabelle 0-5: Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Energieeffizienz

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gute Wissensbasis und technologisches Potenzial in wichtigen Technologiefeldern</li> <li>• Erhebliche internationale Wettbewerbserfolge der Technologiehersteller; hohe Weltmarktanteile heimischer Unternehmen</li> <li>• Innovation und Diffusion durch Energie- und Klimapolitik sowie durch Fragen der Versorgungssicherheit getrieben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stark expandierender Weltmarkt</li> <li>• Reinvestitionsbedarf im Kraftwerksbereich, der erlaubt, Energienachfrage und -versorgung neu auszutarieren</li> <li>• neue Politikinstrumente (Emissionshandel, Energieeffizienzrichtlinie) für Generierung von Nachfrage und nutzen und auf Innovationen ausrichten</li> <li>• Preissteigerungen bei energetischen Rohstoffen nutzen, um Innovationen voranzutreiben</li> </ul>
Schwächen	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trotz breitem gesellschaftlichen Konsens zur Rolle der Energieeffizienz Aktivitäten ungleich verteilt über verschiedene Technologielinien</li> <li>• Unternehmen deutlich weniger stark organisiert als im Bereich der erneuerbaren Energien</li> <li>• Mangelnde „Sichtbarkeit“ der Rolle der Effizienztechnologien in der Öffentlichkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieeffizienzrichtlinie noch stärker nutzen, um Technologielinien weiter zu stärken</li> <li>• Konkurrenz durch technologiestarke Entwicklungsländer frühzeitig berücksichtigen</li> <li>• Erfolgreiche Anreizpolitiken in andere Länder „exportieren“, um größere Märkte für die Produkte zu schaffen</li> <li>• Systematischere Einbindung „neuer Technologiefelder“ wie Nano/Biotechnologien in die Entwicklung energieeffizienter Prozesse und Produkte</li> </ul>

Im Zukunftsmarkt **Materialeffizienz** ist Deutschland zwar nicht schlecht aufgestellt, allerdings ist die gute Ausgangslage weniger stark ausgeprägt als in den meisten anderen Handlungsfeldern. Die Analyse der Patentdaten zeigt, dass der Anteil Deutschlands an den Patenten in allen Produktgruppen konstant bei 14 % liegt. Die EU27 kommt auf einen Patentanteil von kumuliert 37 %. Bei der Produktgruppe der nachwachsenden Rohstoffe nimmt im Zeitverlauf aber der Anteil der (industrialisierten) EU27 zugunsten der Schwellenländer ab. Der deutsche RPA ist in allen Produktgruppen leicht negativ, was auf unterdurchschnittliche Patentaktivitäten sowohl für nachwachsende Rohstoffe als auch für Ökodesign hinweist. Deutschland sollte hier den Anschluss nicht verlieren, da die verstärkte Nutzung nachwachsender Rohstoffe, u. a. als Energieträger innerhalb der EU und den USA erklärte Absicht ist. Wenn man die großen Wirtschaftsräume betrachtet und den Intra-EU-Außenhandel aus den Welthandelszahlen herausrechnet, hält die EU27 einen Welthandelsanteil von knapp 24 %. Sie liegt damit klar vor den USA und ist auch bezüglich des RCA deutlich spezialisiert.

Tabelle 0-6: Vergleich der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Produktgruppen im Handlungsfeld Materialeffizienz

Produktgruppe	Patente		Außenhandel	
	relative Position D	wichtigste Konkurrenten von D	relative Position D	wichtigste Konkurrenten von D
<b>Materialeffizienz gesamt</b>	hoch	US,JP	sehr gut	US, JP, FR
Nachwachsende Rohstoffe	hoch	US, JP	sehr gut	BR, US, FR
Ökodesign	hoch	US, JP	gut	US, JP

Im Vergleich zur Diskussion bei Erneuerbaren Energien oder der Energieeffizienz werden die politischen und gesellschaftlichen Ziele für einen effizienteren Einsatz von Materialien weniger intensiv diskutiert. In Zukunft ist aber absehbar, dass eine weltweit wachsende Rohstoff- und Materialnachfrage, bedingt durch steigenden Bedarf in China, Indien und anderen schnell wachsenden Volkswirtschaften, zunehmend in den Blickpunkt der Politik geraten wird. Materialeffizienz kann dazu beitragen, den Schwankungen des Weltmarktpreises für Materialien nicht so stark ausgeliefert zu sein. Deutschland sollte insbesondere seine Wissenskompetenzen wesentlich ausbauen, um eine Spitzenstellung im Bereich der Materialeffizienz einnehmen zu können. Auch könnten Informationskampagnen, analog den Informationen zu Energietechnologien, Industrie und Konsumenten über die Bedeutung von Materialeffizienz aufklären.

Tabelle 0-7: Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Materialeffizienz

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deutschland hat wichtige Akteure im Bereich der Recyclingtechnologien</li> <li>• Traditionell Chemische Industrie in Deutschland gut etabliert, entsprechend gute Anknüpfungspunkte bei z. B. Kunststoffadditiven, nachwachsenden Rohstoffen als Chemierohstoffe oder Biokunststoffe</li> <li>• Gründung der Materialeffizienzagentur, Bewusstseinschärfung für Materialeffizienz z. B. durch Materialeffizienzpreis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostensenkung beim Material, nachdem Potenziale bei den Lohnkosten schon weitgehend ausgeschöpft wurden</li> <li>• Die unternehmensinternen Potenziale der Materialeffizienz können gehoben werden</li> <li>• Materialverknappung aufgrund geringerer Reserven führt zu höheren Preisen und damit zum möglichen rentablen Einsatz von aufwendigeren Technologien (z. B. Recyclingverfahren)</li> <li>• Weiterer Aufbau von Unternehmensnetzwerken zur rentablen Steigerung von Materialeffizienz</li> </ul>
Schwächen	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaum Zielvorgaben zum Umgang mit Materialien, auch nicht bei besonders vulnerablen Rohstoffen</li> <li>• Materialeffizienz wird erst langsam mehr Aufmerksamkeit gewidmet</li> <li>• vergleichsweise geringe Innovationsdynamik im Bereich Ökodesign</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit, da Deutschland als rohstoffarmes Land besonders von Störungen der Rohstoffversorgung betroffen wäre</li> </ul>

Insgesamt zeigt sich eine hervorragende Ausgangsposition für Japan und Deutschland im Handlungsfeld **Nachhaltige Mobilität**. Allerdings gibt es innerhalb des Handlungsfeldes unterschiedliche Schwerpunkte. Auch aus europäischer Perspektive ist das Handlungsfeld vielversprechend. Beim – ohne Intra-EU-Außenhandel berechneten – Welthandelsanteil von 19 % liegt die EU27 zusammen mit Japan an der Spitze. Vor allem aber kommt knapp die Hälfte der weltweiten Patente im gesamten Handlungsfeld aus der EU27. In der Zukunft wird es für die EU als Ganzes darauf ankommen, diesen Bestand an Wissen auch in weitere marktfähige Produkte umzusetzen.

Tabelle 0-8: Vergleich der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Produktgruppen im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität

Produktgruppe	Patente		Außenhandel	
	relative Position D	wichtigste Konkurrenten von D	relative Position D	wichtigste Konkurrenten von D
<b>Nachhaltige Mobilität gesamt</b>	<b>Sehr hoch</b>	<b>JP, US, (FR)</b>	<b>hoch</b>	<b>JP, US, (FR, GB)</b>
Antriebstechnologien	sehr hoch	JP, (US, FR)	hoch bis sehr hoch	JP, US, (FR)
Fahrzeugtechnik	hoch	US, JP, (FR)	hoch	JP (US, FR)
Verkehrsinfrastruktur	sehr hoch	(US, GB, FR)	hoch	JP (US, GB, FR)
Emissionsminderung	sehr hoch	JP, US	sehr hoch	US (JP, FR)
Biokraftstoffe	hoch	US, JP, (GB)	:	:
Verkehrssysteme	hoch	UP, US, (FR)	sehr hoch	US (FR, GB, JP)

Aus der durchgeführten Analyse sowie aus der Beobachtung der aktuellen Entwicklung im Umfeld Verkehr und Mobilität ergeben sich zahlreiche Stärken, Schwächen, Chancen und Herausforderungen aus europäischer und deutscher Sicht. Einige europäische Länder halten in einzelnen technologischen Bereichen weltweit führende Stellungen, der Markt ist jedoch zersplittert und läuft somit Gefahr in Teilen vor dem aufkommenden Druck großer Schwellenländer nur schlecht gewappnet zu sein. Europa zeigt vereinzelt hervorragende politische Ansätze zur Stimulanz neuer Technologien durch moderne umweltpolitische Maßnahmen. Gewisse Risiken für Entwicklung, Produktion und Nachfrage nach Fahrzeugen mit alternativen Antrieben ergeben sich jedoch durch die prognostizierte demographische Entwicklung sowie durch national stark unterschiedliche gesetzliche Rahmenbedingungen.

Tabelle 0-9: Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hervorragende Wettbewerbsfähigkeit in traditionellen Sektoren</li> <li>• Eintritt in den Weltmarkt in neuen Technologien (z. B. Wasserstoff- und Brennstoffzelle)</li> <li>• Ansätze zur Unterstützung von Innovationen in neuen Technologien durch fortschrittliche Umwelt- und Verkehrspolitik</li> <li>• Fortgeschrittene Liberalisierung und Vereinheitlichung der europäischen Märkte im Bereich des Straßen- und des Luftverkehrs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Massiv expandierender Weltmarkt im Bereich der Logistikdienstleistungen</li> <li>• neue Politikinstrumente (Emissionshandel, Road Pricing) für Generierung von Nachfrage und Ausrichtung auf dezentrale Technologieinnovationen nutzen</li> <li>• Konvergenz der Technologiebereiche frühzeitig herbeiführen; Aufbau auf vorhandene Kompetenzen bei konventionellen Fahrzeugtechnologien zum Eintritt in neue Märkte</li> <li>• Erweiterung und Zusammenwachsen der EU und Förderung eines einheitlichen Eisenbahnraumes</li> <li>• Ehrgeizige Ziele zur Förderung Erneuerbarer Energien und zur Reduktion von Klimagasemissionen</li> </ul>
Schwächen	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologischer Rückstand in Einzelbereichen durch einige europäische Länder (hybride Antriebstechnik, alternative Kraftstoffe, Schiffbau und -infrastrukturen)</li> <li>• Kein einheitlicher, flächendeckender Ansatz in der EU zur Schaffung eines Marktes für hocheffiziente Fahrzeuge nach dem Vorbild des Zero-Emission-Vehicle Programms in Kalifornien</li> <li>• Stark nationalstaatlich orientierte Struktur der Eisenbahnunternehmen behindert Wachstum des Schienenverkehrs und der Intermodalität im europäischen Eisenbahnraum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zunehmende Konkurrenz durch Aufholländer auch bei technologisch hochstehenden Produkten</li> <li>• Widerstand nationaler Bahngesellschaften gegen die Liberalisierung des Zugangs zum europäischen Schienennetz</li> <li>• Überalterung der europäischen Gesellschaft und Wegbrechen der Nachfrage im Personenverkehr</li> <li>• Zunehmender Mangel an gut ausgebildeten Fachkräften in Forschungs- und Entwicklung sowie für Verkehrsdienstleistungen</li> </ul>

Im Handlungsfeld der **Nachhaltigen Wasserwirtschaft** ergibt sich eine gute Ausgangsstellung für Deutschland. Hierfür sprechen sowohl die positive Spezialisierung bei Patenten und im Außenhandel, als auch eine breite Basis, die sich auf ausgezeich-

nete Kompetenzen in allen Produktbereichen stützen kann. Auch aus europäischer Perspektive ist das Handlungsfeld vielversprechend. Mit einem Patentanteil von 44 % und einem – ohne Intra-EU-Außenhandel berechneten – Welthandelsanteil von gut 33 % ist die EU27 mit großem Abstand der führende Wirtschaftsraum vor den USA.

Tabelle 0-10: Vergleich der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Produktgruppen des Handlungsfeldes Nachhaltige Wasserwirtschaft

Produktgruppen	Patente		Außenhandel	
	relative Position D	wichtigste Konkurrenten von D	relative Position D	wichtigste Konkurrenten von D
Wasserversorgung	mittel	CA, IT	sehr gut	IT, GB, JP
Abwasserentsorgung u. Schlammbehandlung	hoch	FR, CA	sehr gut	IT, US, (JP, CH)
Wassernutzungseffizienz	hoch	IT, KR	sehr gut	IT
Hochwasserschutz	hoch	GB, KR, NL, FR	gut	US, CH, GB, FR

Zusammenfassend lassen sich aus der vorangegangenen Analyse für das Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft die in Tabelle 6-2 dargestellten Stärken, Schwächen, Chancen und Herausforderungen für die nachhaltige Wasserwirtschaft in Deutschland ableiten. Neben technologiespezifischen Aspekten müssen bei einer umfassenden Analyse des Handlungsfeldes Nachhaltige Wasserwirtschaft noch zwei weitere wichtige Aspekte beachtet werden. Einerseits ist die auf Emissionen und ihre Grenzwerte bezogene Regulierung im Wasserver- und Abwasserentsorgungsbereich als wichtige Triebkraft für die Innovativität anzusehen. Andererseits sind die Strukturen der Wasserwirtschaft in Deutschland kleinräumig und ein Abweichen von bereits bestehenden, konventionellen Lösungen ist häufig mit besonderen Hemmnissen verbunden. Als Folge davon ist die Binnennachfrage nach innovativen Lösungen zur nachhaltigen Wasserwirtschaft trotz der grundsätzlich vorhandenen technisch-ökonomischen Anreize noch zu gering. Gleichzeitig behindert dies das Auftreten von deutschen wasserwirtschaftlichen Unternehmen als Systemführer im Ausland.

Insgesamt ist Deutschland in diesem Handlungsfeld gut aufgestellt. Der RPA für Deutschland war positiv, nahm aber in den betrachteten Zeiträumen ab. Auf die EU27 entfällt die Hälfte der weltweiten Patentanmeldungen. Im Außenhandel ist Deutschland Weltmarktführer, vor den USA und Japan. Unter den großen Wirtschaftsregionen liegt die EU - gemessen ohne Intra-EU-Außenhandel - klar vorne und weist einen in etwa doppelt so hohen Weltmarktanteil auf wie die zweitplazierten USA. Gemessen am RCA sind aber auch Japan und die USA gut positioniert.

Tabelle 0-11: Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr gute technologische Stellung bei zentralen Komponenten</li> <li>• erhebliche internationale Wettbewerbserfolge der Technologiehersteller</li> <li>• Innovation und Diffusion durch Umweltpolitik getrieben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• massiv expandierender Weltmarkt</li> <li>• massiver Reinvestitionsbedarf für Einsatz innovativer (dezentraler) Lösungen</li> <li>• angestoßene Veränderungen in der Umweltregulierung für dezentralere Technologieinnovationen nutzen</li> <li>• Konvergenz der Technologiebereiche frühzeitig herbeiführen</li> </ul>
Schwächen	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• unbefriedigende Nachfrage nach neuen Entwicklungen, insbesondere bei nicht-konventionellen Lösungen</li> <li>• Unternehmen der Wasserwirtschaft kaum international ausgerichtet</li> <li>• Mangelnde Einbettung der zahlreichen (kleineren, öffentlichen) wasserwirtschaftlichen Betriebe in das Innovationssystem</li> <li>• uneinheitliche Implementation von Vorschriften, z. B. zwischen den Bundesländern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umlenkung der Exporterfolge auf schnell expandierende Märkte, verbunden mit der Notwendigkeit, auf (soziale) Kompatibilität der Technik zu achten</li> <li>• Steigerung des Spezialisierungsvorteils bei der Wissensbasis, sowohl bei den etablierten als auch den nicht-traditionellen Technologielinien</li> <li>• Ausrichtung des Regulationsregimes für Offenheit gegenüber neuen Lösungen</li> <li>• Herausbildung von international schlagkräftigen wasserwirtschaftlichen Unternehmen</li> </ul>

Tabelle 0-12: Vergleich der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Produktgruppen des Handlungsfeldes Abfall- und Kreislaufwirtschaft

Produktgruppe	Patente		Außenhandel	
	relative Position D	wichtigste Konkurrenten von D	relative Position D	wichtigste Konkurrenten von D
<b>Abfall- und Kreislaufwirtschaft gesamt</b>	<b>sehr hoch</b>	<b>US, JP, IT</b>	<b>sehr gut</b>	<b>US, JP, IT</b>
Sammeln	hoch	GB, US, ES	sehr gut	US, IT
Zerkleinern	hoch	US, JP	sehr gut	IT, JP
Trennen	hoch	US, GB	gut	US, IT
Recycling	sehr hoch	US, JP, IT	gut	US, JP
Abfallbehandlung	hoch	US, JP	sehr gut	IT, US, JP
Energetische Verwertung	hoch	JP, US, IT	sehr gut	JP, US, IT
Deponierung	mittel - hoch	JP, US, KR	gut	US, JP, GB
Abfallarme Produktionsprozesse	hoch	US, JP, KR	gut	JP, US

Der Bedarf an Technologien zur **Abfall- und Kreislaufwirtschaft** wird auch in Zukunft noch zunehmen. Aufgrund der Zunahme der Regulierungen im Hinblick auf Recyclingquoten sowie emissionsreduzierende Maßnahmen ist mit einem steigenden internatio-

nalen Bedarf an diesen Technologien zu rechnen (politik-getriebene Entwicklung). Darüber hinaus werden die Sekundärrohstoffe durch steigende Primärrohstoff- sowie Energiekosten zunehmend konkurrenzfähig (markt-getriebene Entwicklung). Durch Maßnahmen zur Abfallreduzierung (z. B. Abkopplung der Abfallerzeugung vom Wirtschaftswachstum) kann allerdings das Marktvolumen reduziert werden.

Tabelle 0-13: Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Abfall- und Kreislaufwirtschaft

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deutsche Akteure aufgrund der leistungsfähigen Industrie und Forschung sowie der hohen Umweltstandards im internationalen Umfeld gut positioniert</li> <li>• Einsammeln der Abfälle sowie voraussichtlich auch die Erstsortierung bleiben unmittelbar lokal ausgerichtet; Arbeitsplätze verbleiben am Ort der Abfallentstehung.</li> <li>• selektive Sammlung und Wiederaufbereitung in Deutschland sowie einigen weiteren EU Mitgliedsstaaten hoch entwickelt und modern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anstieg der Rohstoffpreise verbessert Konkurrenzfähigkeit von recycelten Materialien; stärker marktgetriebene Nachfrage nach Technologien zur Kreislaufwirtschaft</li> <li>• Optimierung des Recyclings von end-of-life-Produkten</li> <li>• zunehmende Rohstoffknappheit sowie neue technologische Verfahren lassen neue Märkte entstehen (vergleichbar mit PET-Recycling)</li> <li>• Übertragung der Erfahrung bzgl. Sammlung und Wiederaufbereitung auf andere Länder (z. B. EU-Mitglieder, EU-Beitrittskandidaten, Schwellenländer)</li> </ul>
Schwächen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeits- und Deponiekosten für den Restmüll im Vergleich zu anderen Ländern relativ hoch; arbeitsintensive Tätigkeiten, die lokal nicht gebunden, wandern in kostengünstigere Länder ab (insbes. Zweitsortierung und Kunststoffrecycling).</li> <li>• Bei vollautomatischen Verfahren verringert sich das Problem-/Umweltbewusstsein der Konsumenten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rückgang der Abfallmengen kann zu einer Verkleinerung des Gesamtmarktes führen</li> <li>• zunehmende Automatisierung (Stofferkennungs- und -trennverfahren) kann zu einem beträchtlichen Rückgang bei der Beschäftigung führen</li> <li>• vollautomatische Sortierverfahren machen ggf. die Mülltrennung unmittelbar beim Verbraucher obsolet; gesellschaftliche Lernprozesse erforderlich, die politisch unterstützt werden müssen.</li> </ul>

In der **weißen Biotechnologie** kann Deutschland im internationalen Vergleich eine verhältnismäßig gute Wettbewerbsposition attestiert werden. Die traditionell starke chemische und biotechnologische Industrie in Deutschland setzt bereits heute mit industrieller Biotechnologie mehrere 100 Mio. € pro Jahr um. Der Patentanteil Europas ist bei den Biotechnologie-Patenten insgesamt noch unterdurchschnittlich gegenüber Japan und den USA, es besteht aber ein Trend zur Annäherung. Die EU-Länder sind unterschiedlich spezialisiert. Im Außenhandel ist Deutschland in weißer Biotechnologie vor allem in der Produktgruppe Bioprocessing im internationalen Wettbewerb erfolgreich. Die EU hält große Anteile des Welthandels, die einzelnen Mitgliedsstaaten haben sich bezüglich ihrer technologischen Wettbewerbsfähigkeit diversifiziert.

Tabelle 0-14: Vergleich der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Produktgruppen des Handlungsfeldes Weiße Biotechnologie

Produktgruppe	Patente		Außenhandel	
	relative Position D	wichtigste Konkurrenten von D	relative Position D	wichtigste Konkurrenten von D
<b>Weißer Biotechnologie gesamt</b>	<b>hoch</b>	<b>US, JP, FR, GB</b>	<b>sehr gut</b>	<b>US, JP, FR, GB</b>
Biorohstoffe	mittel - hoch	US, JP, FR	gut	FR, NL, US
Zellfabrik	mittel	JP, US, DK	mittel	IT, CA, GB
Bioprocessing	hoch	US, JP	sehr gut	US, FR, GB

Die zukünftige Entwicklung wird einer weiter steigenden Nachfrage einerseits und zunehmender Ausdifferenzierung der technischen Lösungen andererseits geprägt sein. Von den Teilfeldern der weißen Biotechnologie werden die größten Marktpotenziale im Bereich der Biokraftstoffe, der Feinchemikalien und der Biopolymere erwartet. Die Realisierung dieser Potenziale ist jedoch von der Preisentwicklung und Verfügbarkeit nachwachsender Rohstoffe abhängig. Wichtige zu klärende Fragen betreffen neben der Nutzungskonkurrenz der nachwachsenden Rohstoffe auch die Klärung der Umweltfreundlichkeit einzelner Verfahren. Schließlich muss beachtet werden, dass die weiße Biotechnologie in den USA und den südostasiatischen Ländern eine ganz erhebliche Dynamik aufweist.

Tabelle 0-15: Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Weiße Biotechnologie

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gute wirtschaftliche Ausgangssituation in den Teilfeldern der Weißen Biotechnologie, Deutschland im Außenhandel gut positioniert</li> <li>• Gute Standortbedingungen, starke Forschungs- und Industrielandschaft</li> <li>• Hoher Anteil der EU an den weltweiten Patentanmeldungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Potenziale für Energie- und Ressourceneffizienz von biotechnologischen Verfahren</li> <li>• Steigende Zahlen an Patentanmeldungen weisen auf wachsende Märkte hin</li> </ul>
Schwächen	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlende nationale Forschungsstrategie bzw. Roadmap mit thematischer Schwerpunktsetzung</li> <li>• Anwendungen der Weißen Biotechnologie von Rohstoffpreisen anhängig, Produkte daher derzeit nicht immer konkurrenzfähig</li> <li>• Im Bereich Zellfabrik und Biorohstoffe besitzt Deutschland eine schlechte Wettbewerbsposition</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Nationales Bioraffineriekonzept“ ist nicht vorhanden und sollte entwickelt werden</li> <li>• Umweltnutzen von Biokunststoffen, Biokraftstoffen sowie Bulk- und Feinchemikalien sind im Einzelfall noch zu klären (Ökobilanzen)</li> <li>• Hohe Innovationsdynamik in Asien (Japan und China)</li> <li>• Insgesamt stärkere Spezialisierung auf BT-Patente in CA, USA</li> </ul>

Die EU27 ist mit einem Anteil von 45 % im Welthandel mit Waren gut aufgestellt, die potenziell mit **Nanotechnologie** hergestellt werden könnten. Die EU27 zeigen eine in der Nanotechnologie allgemein positive relative Wettbewerbsfähigkeit. Auch Deutschland hat mit einem Zehntel des Welthandels eine gute Position im internationalen Wettbewerb. Andererseits zeigt die Patentanalyse auf, dass Deutschland und die europäischen Länder gegenüber den USA noch einen hohen Nachholbedarf im Bereich der Nanotechnologie aufweisen. Ein positiver Aspekt für Deutschland ist seine relative Stärke in der Produktgruppe Chemische Anwendungen, da dies auch der am schnellsten wachsende Patentbereich ist.

Tabelle 0-16: Vergleich der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Produktgruppen des Handlungsfeldes Nanotechnologie

Produktgruppe	Patente		Außenhandel	
	relative Position D	wichtigste Konkurrenten von D	relative Position D	wichtigste Konkurrenten von D
<b>Nanotechnologie gesamt</b>	hoch	US, JP, FR	sehr gut	US, JP, FR, GB
Strukturelle Anwendungen	hoch	US, JP, FR	gut	US, JP, FR
Sensorische Anwendungen	hoch	US, JP, GB, FR	gut	US, JP, KR
(Elektro-)chemische Anwendungen	hoch	US, JP, FR	gut	US, JP, FR, NL

Die Nanotechnologie wird als eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts angesehen, mit der bereits heutzutage mit Produkten, die sich nur mit Hilfe der Nanotechnologie produzieren lassen, beträchtliche Umsätze erzielt werden. Gegenwärtig lassen sich die genauen Einsatzgebiete der Nanotechnologie im Umweltbereich noch nicht abgrenzen. Wichtige zu klärende Fragen betreffen einerseits die Klärung und Kommunikation hinsichtlich möglicher mit der Nanotechnologie verbundenen Risiken und die Etablierung von Regelungen zum sicheren und verantwortungsvollen Umgang mit Nanotechnologien. Andererseits muss beachtet werden, dass es in anderen Ländern zu einer schnellen Umsetzung in Produkte kommen kann, die den Handlungsdruck noch verstärken.

Tabelle 0-17: Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Nanotechnologie

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Starke Grundlagenforschung; Aber von Platz drei bei Publikationen (nach USA und Japan) durch China verdrängt</li> <li>• Ausdifferenzierte Forschungslandschaft: Starke Beteiligung auch außeruniversitärer Forschungsinstitutionen an Nanotechnologien</li> <li>• Positive Grundstimmung: Bevölkerung gegenüber Nanotech-Innovationen aufgeschlossen</li> <li>• Interesse beim Nachwuchs: Wachsende Nachfrage nach neuen Ausbildungs- und Studiengängen zur Nanotechnologie</li> <li>• Gute industrielle Basis: Bereits ca. 600 Unternehmen (davon ca. 480 KMU) mit Nanotechnologie befasst</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vielseitigere und effizientere Werkstoffe: Neue Eigenschaften und Funktionalitäten für konventionelle Werkstoffe</li> <li>• Schaffung neuer Anwendungsvielfalt: Materialien mit maßgeschneiderten Eigenschaften, insbesondere durch Selbstorganisationsprozesse</li> <li>• Wettbewerbsvorteile: Nanotech-Innovationen quer durch alle Branchen möglich</li> <li>• Gutes Innovationsklima: Gesellschaft in den Dialog über Chancen und Risiken einbezogen</li> <li>• Potenzielles Investoreninteresse: Im Bereich Nanotechnologie hoch</li> <li>• Risikokommunikation: Etablierung eines Dialogprozesses, der alle gesellschaftlichen Gruppen umfasst und zum Verständnis sowie zur Akzeptanz beiträgt und gleichzeitig die Risiken beleuchtet</li> </ul>
Schwächen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umsetzungsdefizit: Trotz Führungsposition in Europa großer Abstand hinsichtlich Patenten und Anzahl der involvierten Firmen zu USA und Südostasien</li> <li>• Schwierigkeiten für Start-ups: Ungenügende Bereitstellung von Risikokapital; bürokratische Hindernisse</li> <li>• Informationsdefizite in der Wirtschaft: Z. T. kein klares Bild von den Chancen der Nanotechnologie bei potenziellen Investoren, aber auch bei der Industrie, die seit Jahrzehnten Nanoteilchen produziert und verwendet, ohne dass das Label Nanotechnologie verwendet wurde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnelle Umsetzung von Forschungsergebnissen in Produkte, die auch in Deutschland gefertigt werden</li> <li>• Wissenschaftliche Risikobewertung: Mögliche toxische Wirkungen von Nanopartikeln noch nicht hinreichend untersucht</li> <li>• Sicherer, verantwortungsvoller Umgang mit der Nanotechnologie: Verbraucheraufklärung und Verbraucherschutz, Arbeitsschutz</li> <li>• Internationale Normung, Standardisierung und Prüfstrategien: Aktivere Rolle Deutschlands notwendig</li> </ul>

## Schlussfolgerungen

Deutschland besitzt sehr gute Ausgangsbedingungen für die **Realisierung wirtschaftlicher Erfolge** in den untersuchten Zukunftsmärkten. Hierzu bedarf es allerdings kontinuierlicher und in einigen Handlungsfeldern deutlich gesteigerter Anstrengungen, zumal neue Wettbewerber auf den Markt drängen. Eine Steigerung der Innovationsdynamik und die Verbesserung der deutschen Wettbewerbsposition können nur erfolgreich sein, wenn die Bedingungen berücksichtigt werden, unter denen Weiterentwicklungen der Technologien in den Zukunftsmärkten erfolgen können. Die neuere Innovationsforschung hat zahlreiche Einsichten zu Tage gebracht, die die Bedeutung von Lernerfolgen im Markt sowie die Pfadabhängigkeit von technologischen Entwicklungen betonen:

- Die Entwicklung von Technologien verläuft nicht linear, sondern ist durch zahlreiche Rückkopplungen zwischen Forschung, Entwicklung und Anwendung geprägt. Daher ist eine frühzeitige Durchdringung im Markt eine Voraussetzung für die zielgerichtete Weiterentwicklung der Technologien.
- Der Prozess der Herausbildung eines dominanten Designs von Technologien braucht Zeit. Gleichzeitig ist eine Diversität bei den Technologien erforderlich, die im Wettbewerb untereinander weiterentwickelt werden müssen. Eine Beschränkung der Förderung auf wenige Technologien wäre aus innovationspolitischer Sicht daher weniger geeignet.
- Ein funktionierendes Innovationssystem ist durch Netzwerkbildung zwischen Forschung, Entwicklung und Anwendung gekennzeichnet. Als zentral werden dabei die Erfolgsbedingungen eines Innovationssystems (englisch: functions of an innovation system) angesehen, die durch das Zusammenspiel der unterschiedlichen Akteure des Innovationsprozesses beeinflusst werden. Hier spielen auch weiche Kontextfaktoren (z. B. situative Handlungsbedingungen für Politikdesign und -wirkungen) eine wichtige Rolle. Ihnen wird nach den Ergebnissen der Forschung im Bereich Umwelt und Innovation eine erhöhte Bedeutung zugeschrieben.

Im Bereich von umweltfreundlichen Technologien wird die **Nachfrageentwicklung** zentral durch umweltpolitische Maßnahmen gestaltet. Ökologische Industriepolitik beinhaltet damit sowohl traditionelle angebotsorientierte Maßnahmen zur Stärkung der F&E-Kapazitäten als auch umweltpolitische Maßnahmen im Sinne einer nachfrageorientierten Innovationspolitik. Gleichzeitig ist es erforderlich, ein innovationsfreundliches System der Regulierung aufzubauen, das einerseits diese Netzwerkbildung fördert, andererseits aber den Akteuren auch langfristig verlässliche Rahmenbedingungen bei gleichzeitigem Anreiz zu weiteren Innovationen vermittelt. Für die Operationalisierung einer ökologischen Industriepolitik stellen sich dabei grundlegende, immer wieder neu auftretende und neu zu lösende Herausforderungen in den folgenden Bereichen:

- Nicht alle Technologielinien innerhalb der Zukunftsmärkte können gleichzeitig mit der gleichen Intensität gefördert werden. Damit ist es erforderlich, **Prioritäten zu setzen**. Die beim Selektionsprozess anzulegenden Kriterien sollten an den Voraussetzungen zur Etablierung von Vorreiter-Märkten anknüpfen, die umweltpolitischen Prioritäten widerspiegeln und auch die institutionellen Rahmenbedingungen und die situativen Kontextfaktoren berücksichtigen.
- Die ökologische Industriepolitik muss aus einem kontextabhängigen **Instrumentenmix** bestehen. Hierzu gehören dialogorientierte Instrumente genauso wie die klassischen Instrumente staatlicher Technologiepolitik, aber auch das außenwirtschaftliche Instrumentarium bis hin zur Unterstützung und Moderierung bei Umstrukturierungen der Akteursstruktur. Zentral ist eine nachfrageorientierte Innovationspolitik durch ambitionierte Umweltpolitik. Gefordert ist damit eine Ausrichtung der Um-

weltpolitik, bei der die Innovationswirkungen der einzelnen Maßnahmen systematisch analysiert und in die Ausgestaltung miteinbezogen werden.

- Eine eindeutige Zuordnung der Instrumente zu den Innovationsphasen ist zwar nicht möglich, jedoch lassen sich je nach Phase **Schwerpunkte** in den unterschiedlichen Innovationsfunktionen festhalten, die gefördert werden. Zunächst sind vor allem neues Wissen, Unterstützung im Suchprozess, Netzwerkbildung und die Herausbildung von Legitimität die entscheidenden Erfolgsfaktoren. In der zweiten, durch Marktexpansion geprägten Phase gewinnen dann die Marktformierung und damit zugleich die Zufuhr von Ressourcen an Bedeutung.
- Ganz wesentlich für die Effizienz und Wirksamkeit des technologiepolitischen Instrumentariums ist eine **langfristige Orientierung**, wodurch den Akteuren die Möglichkeit gegeben wird, sich an stabile Rahmenbedingungen anzupassen.
- Die einzelnen Instrumente werden jeweils im Kontext unterschiedlicher Fachpolitiken und auf unterschiedlichen Ebenen diskutiert. Damit wird die **Politikkoordination** ein zentrales Thema. Neben der Notwendigkeit einer ressortinternen Politikkoordination ist hier auch eine horizontale Koordinierung zwischen den einzelnen Trägern auf der gleichen Politikebene – z. B. den betroffenen Bundesministerien – erforderlich. Gleichzeitig besteht aber auch die Notwendigkeit einer vertikalen Politikkoordination, um die Aktivitäten auf EU-Ebene mit den nationalen und regionalen Aktivitäten zu verzahnen.



# 1 Einleitung und Vorgehensweise

## 1.1 Zielsetzung und Aufbau

Dem Umwelt- und Ressourcenschutz wird national und international eine hohe und weiter wachsende Bedeutung beigemessen. Die Nachfrage nach Umwelttechniken wird sich weltweit dynamisch entwickeln. Inzwischen hat sich aus dem Umwelt- und Ressourcenschutz auch ein maßgeblicher Treiber für Innovationen entwickelt. Umwelt- und Innovationspolitik wachsen dadurch immer stärker zusammen, moderne Umweltpolitik wird zu Innovationspolitik. Die Politik hat diese Entwicklungstrends aufgegriffen und unter dem Schlagwort Ökologische Industriepolitik zu einer Hauptaufgabe der künftigen Umweltpolitik gemacht.

Für die europäische Wirtschaft und auch Deutschland eröffnen Umweltinnovationen auf dem heimischen und den internationalen Märkten erhebliche Marktpotenziale und große Chancen für Wachstum und Beschäftigung. Diese Einschätzung spiegelt sich auch in der aktuellen EU-Innovationsstrategie (EC 2006) wider, die Umweltinnovationen ein hohes Gewicht bei der Umsetzung von Innovationen in Markterfolge beimisst. Entsprechend waren Umwelt, Innovation und Beschäftigung auch wichtige Themen der deutschen Ratspräsidentschaft im ersten Halbjahr 2007.

Um die Wachstums- und Beschäftigungspotenziale zu mobilisieren ist es wichtig, Synergieeffekte für die Verbesserung der Umweltsituation, die Schaffung zukunftsfähiger Arbeitsplätze und die Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit zu identifizieren und zu nutzen. Für die Ausschöpfung dieser Synergiepotenziale wird ausgewählten „grünen Zukunftsmärkten“ eine besondere Bedeutung beigemessen. Als Zukunftsmärkte mit Umweltrelevanz werden wichtige technologische Handlungsfelder aufgefasst, die zum einen erwarten lassen, dass sie in Zukunft weltweit über ein auch quantitativ bedeutendes Marktpotenzial verfügen. Zum anderen soll das Potenzial bestehen, dass deutsche Unternehmen schon heute und/oder auch in Zukunft als relevante Akteure in diesen Märkten auftreten und dort eine starke internationale Wettbewerbsposition halten oder aufbauen können, sodass Deutschland mittel- und langfristig die Chance besitzt, sich als ein Leitmarkt in diesem Handlungsfeld zu etablieren.

In dem Vorläuferprojekt „Wirtschaftsfaktor Umweltschutz“ (DIW/ISI/Berger 2007) wurde mit der detaillierten Analyse von vier Zukunftsmärkten bzw. Handlungsfeldern begonnen. Unter dem Blickwinkel der Ausschöpfung der Synergiepotenziale hat es sich als zielführend erwiesen, in diesen Zukunftsmärkten zentrale Markt- und Technologietrends herauszufiltern und die Leistungsfähigkeit Deutschlands zu analysieren.

In dem diesem Bericht zu Grunde liegenden Vorhaben „Zukunftsmärkte Umwelt - Innovative Umweltpolitik in wichtigen Handlungsfeldern“ wird die Betrachtung erweitert. Erstens werden 10 Fallstudien zu einzelnen Technologielinien durchgeführt, in denen die Innovationsprozesse in den führenden Ländern nachvollzogen werden, um darauf aufbauend Ansatzpunkte zur Förderung erfolgreicher Innovationen aufzuzeigen. Diese Arbeiten werden in zehn separaten Beiträgen der Schriftenreihe „Umwelt, Innovation, Arbeit“ des BMU/UBA dokumentiert. Zweitens wird ein internationaler Vergleich der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit mit den wichtigsten europäischen und außereuropäischen Ländern vorgenommen. Drittens werden die bereits analysierten vier Handlungsfelder um weitere Produktgruppen und Technologielinien erweitert sowie vier zusätzliche Handlungsfelder in die Analyse einbezogen. Der hier vorliegende Bericht dokumentiert diese letzten beiden Arbeitsschwerpunkte und legt eine komplette Analyse der internationalen Leistungsfähigkeit in den folgenden acht Zukunftsmärkten bzw. Handlungsfeldern vor:

- Energieerzeugung
- Energieeffizienz
- Materialeffizienz
- Nachhaltige Mobilität
- Nachhaltige Wasserwirtschaft
- Abfall- und Kreislaufwirtschaft
- Weiße Biotechnologie
- Nanotechnologie

Die Gliederung des Berichtes folgt dieser Aufgabenstellung. Im folgenden Abschnitt wird kurz auf die Methodik zur Analyse der Handlungsfelder eingegangen. In den darauffolgenden Kapiteln werden die acht Handlungsfelder analysiert. Diese Analyse folgt jeweils einem einheitlichen Muster: Für jedes Handlungsfeld werden erstens die wichtigsten Produktgruppen und ihre zugehörigen Technologielinien beschrieben. Darauf folgt zweitens eine Skizzierung der Innovationsdynamik und des Marktpotenzials. Während letzteres eine hohe wirtschaftliche Bedeutung anzeigt, ist eine hohe Innovationsdynamik ein Indiz dafür, dass der Wettbewerb auch weiterhin sehr stark durch Qualitätsparameter und nicht allein durch den Preis getrieben wird. Drittens werden dann die Ergebnisse der technologischen Leistungsfähigkeitsanalyse dokumentiert, die auf den zentralen Innovationsindikatoren „Patente“ und „Außenhandel“ beruhen. Basierend auf diesen Ergebnissen wird dann viertens für jedes Handlungsfeld ein Fazit für die Entwicklungsperspektive bis zum Jahr 2020 gezogen. Im Schlusskapitel erfolgt dann ein Ausblick über die Umsetzung einer ökologischen Industriepolitik.

Die Gesamtkoordination des Vorhabens lag beim Fraunhofer ISI. Die Bearbeitung der in den Kapiteln 2 bis 6 beschriebenen Handlungsfelder sowie der Ausblick auf die ökologische Industriepolitik in Kapitel 10 wurden ebenfalls vom ISI durchgeführt. Für die Analyse der Handlungsfelder Abfall und Kreislaufwirtschaft (Kapitel 7) und Nanotechnologie (Kapitel 9) wurde VDI-ZTC, für das Handlungsfeld Weiße Biotechnologie (Kapitel 8) Borderstep im Unterauftrag in das Vorhaben einbezogen. Auch in diesen drei Handlungsfeldern wurden die Patentrecherchen und außenhandelsbezogenen Indikatorenanalysen vom ISI durchgeführt.

## 1.2 Methodische Vorgehensweise

Die Analyse der Wettbewerbsfähigkeit geht von der Erkenntnis aus, dass der Wettbewerb im Bereich der höherwertigen Güter oder bei Spitzentechnologien sehr stark durch Qualitätsmerkmale bedingt ist. Damit wird die Wissensbasis einer Volkswirtschaft, aber auch ihre Fähigkeit, Wissen in Produkte umzusetzen und diese zu vermarkten, zu wichtigen Voraussetzungen des künftigen wirtschaftlichen Erfolgs. Diese Fähigkeiten sind allerdings nicht direkt messbar. Damit wird es erforderlich, Indikatoren zu finden, die sie zumindest annäherungsweise beschreiben. Im Rahmen der periodischen „Berichterstattung zur technologischen Leistungsfähigkeit“ hat sich eine Systematik durchgesetzt, die Indikatoren aus den verschiedenen Teilbereichen des Innovationsprozesses herausgreift (vgl. Grupp 1997). In Anlehnung an diese Vorgehensweise werden in diesem Bericht einmal Patente als FuE-Ertrags- oder intermediäre Indikatoren herangezogen. Sie gelten zugleich als Frühindikator für die zukünftige technische Entwicklung. Zum anderen werden außenhandelsbezogene Indikatoren erstellt, die zu den Fortschritts- oder Outputindikatoren gehören. Sie zielen stärker auf die Anwendung und die Diffusion der Technologien auf FuE-intensiven Gütermärkten ab.

Die in den Zukunftsmärkten betrachteten Produktgruppen und Technologielinien werden zwar ebenfalls mit dem Ziel eingesetzt, die Umweltbelastung zu verringern und weisen damit einerseits eine Affinität zu den traditionellen Umwelttechnologien wie z.B. im Handlungsfeld Abfall auf. Damit kann an die Arbeiten zur Umweltschutzwirtschaft im Rahmen der Berichterstattung zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands angeknüpft werden (vgl. Legler et al. 2003 und 2007). Andererseits gehen sie über die klassische Abgrenzung von Umwelttechnologien weit hinaus, die sich in der Vergangenheit stark an end-of-pipe Strategien ausgerichtet haben und die bisherigen Arbeiten zur Erfassung von Umweltschutzaktivitäten dominierten. Die hier betrachteten Zukunftsmärkte sind gleichzeitig Gegenstand einer Modernisierungsstrategie, bei denen Umweltschutz und ökonomische Nachhaltigkeit zwei Seiten der gleichen Technologie sind.

Im Unterschied zu den traditionellen Umwelttechnologien hat sich für die hier im Vordergrund stehenden nachhaltigkeitsrelevanten Technologien noch keine international vergleichbare Konvention herausgebildet, mit Hilfe derer die Technologien abgegrenzt und in den Patent- und Wirtschaftsstatistiken klassifiziert werden könnten. Daher war es jeweils erforderlich, eine speziell auf die Datenlage zugeschnittene Abgrenzung zu finden. Teilweise konnte hier an Vorarbeiten im Rahmen der Studie „Wirtschaftsfaktor Umweltschutz“ (Legler et al. 2006 sowie vor allem DIW/ISI/Roland Berger 2007) angeknüpft werden. Ein weiterer wichtiger Anknüpfungspunkt waren die Arbeiten im Rahmen des BRICS-Projektes für den Rat für Nachhaltige Entwicklung (Walz et al. 2007a). Dennoch mussten – z. B. bei der Erweiterung der bereits analysierten Handlungsfelder um weitere Technologielinien oder bei der Bearbeitung der Handlungsfelder Weiße Biotechnologie und Nanotechnologie – zahlreiche Abgrenzungsarbeiten neu geleistet werden.

Methodisch wird, wie bei den bisherigen Ansätzen, an einen produktionswirtschaftlichen Ansatz angeknüpft, bei dem die Zukunftsmärkte die Produktgruppen und Technologielinien umfassen, die ihrer Art nach dem Umweltschutz und der Modernisierung der angesprochenen Themenbereiche dienen könnten bzw. sich auf ein ähnlich gelagertes technologisches Wissen beziehen (vgl. Legler et al. 2006). Bei diesem Potenzialansatz steht also nicht die (bereits) tatsächlich realisierte Anwendung für den Umweltschutz im Vordergrund, sondern die technologische Leistungsfähigkeit, die ihrer Art nach für umweltfreundliche Produktionsprozesse und Produkte in den ausgewählten Feldern mobilisiert werden könnte. Bei einigen der Technologien ist es daher besonders erforderlich, die Umweltentlastungseffekte eines verstärkten Einsatzes der Technologien zu hinterfragen. Beispiele hierfür sind z. B. die Antriebstechnologien oder der Einsatz von Biokraftstoffen der ersten Generation.

Die Verwendung des Potenzialansatzes enthebt nun gerade nicht von der Notwendigkeit, die statistische Abgrenzung der betrachteten Technologielinien sehr sorgfältig durchzuführen. Diese Abgrenzungsarbeiten erfordern erhebliches ingenieurwissenschaftliches Know-how. Weder die Patentklassen noch die Außenhandelsklassifikation kennzeichnen (potenziell) umweltfreundliche Technologien als solche. Ein unreflektiertes Heranziehen einzelner Patentklassen oder Außenhandelsnummern führt damit zu Artefakten, da keinerlei Qualitätssicherung besteht, ob die identifizierten Patente bzw. Güter auch tatsächlich das gewünschte Erkenntnisobjekt umfassen. Der einzig gangbare Weg ist hier eine technologisch fundierte bottom-up Abgrenzung der Untersuchungsgegenstände. Zunächst müssen die zentralen Produktgruppen innerhalb jedes Handlungsfeldes abgegrenzt und die wichtigsten Technologielinien innerhalb jeder Produktgruppe identifiziert werden. In einem zweiten Schritt müssen die jeweiligen technischen Hauptkomponenten der Technologielinien herausgearbeitet werden, die

die Entwicklung in den Technologielinien und die erreichbaren Umweltverbesserungen determinieren. So müssen z. B. die für die Reduktion des Stromverbrauchs der Beleuchtung zentralen Technikkomponenten identifiziert werden, da gerade diese die Umweltfreundlichkeit beeinflussen. In einem dritten Schritt müssen diese Technikkomponenten dann in die Patent- bzw. Außenhandelssystematik übersetzt werden. Dies hat in einem iterativen Prozess mit mehreren Durchläufen zu erfolgen, bei dem die ersten Klassifikationsversuche empirisch umgesetzt und die daraus resultierenden Ergebnisse dann überprüft werden. Wenn sich dann herausstellt, dass die Abgrenzung zu weit gefasst wurde (also z. B. zahlreiche Patente beinhalten, die keinen Bezug zur Umweltverträglichkeit der relevanten Technikkomponenten aufweisen), oder zu eng gewählt wurde (z. B. weil bestimmte Technikkomponenten ganz fehlen), muss die Such- und Klassifikationsstrategie angepasst werden. Diese Prüfung ist sehr zeitaufwendig, da sie nicht an Hand abstrakter Kurzinformationen wie den Patenttiteln durchgeführt werden kann, sondern auf Basis der detaillierten Abstracts erfolgen muss. Da bei den Patentrecherchen mehr Flexibilität in der Gestaltung der Suchstrategie besteht, kann prinzipiell davon ausgegangen werden, dass die Patentabgrenzungen zielgenauer sind als die Außenhandelsklassifikationen.

In empirischen Untersuchungen besteht immer das Problem, die für das Erkenntnisinteresse geeigneten Datenbasen auszuwählen. Zentrales Erkenntnisinteresse der vorliegenden Studie ist ein internationaler Vergleich der technologischen Leistungsfähigkeit in den acht Zukunftsmärkten. Damit wird sofort deutlich, dass eine andere Datenbasis herangezogen werden muss als in der Vorgängerstudie von DIW/ISI/Roland Berger (2007), die stärker auf Deutschland fokussiert war.<sup>1</sup> Gleichzeitig ist zu bedenken, dass sich Markt und Wettbewerber auch bei diesen Zukunftsmärkten zunehmend globalisieren. Damit wird deutlich, dass der Fokus derartiger Analysen nicht mehr auf Regionen oder Ländergruppierungen wie der OECD liegen, sondern stärker transnational erfolgen sollte. Mit diesen Anforderungen ergeben sich auch Unterschiede in den herangezogenen Datenbasen gegenüber den im Rahmen der technologischen Leistungsfähigkeit erstellten Studien oder gegenüber Legler et al. (2006), bei denen stärker auf Anmeldungen beim Europäischen Patentamt bzw. auf den Außenhandel der OECD-Länder abgehoben wurde. Bei der Ausweitung des internationalen Blickwinkels konnte auf methodische Erfahrungen aus Walz et al. (2007a) zurückgegriffen werden. Folgende Vorgehensweise liegt der hier vorgelegten Studie zu Grunde:

---

<sup>1</sup> Die Außenhandelsindikatoren bei DIW/ISI/Roland Berger 2007 wurden auf Basis der deutschen Außenhandelsklassifikation und -statistik abgeleitet.

- Die Patentrecherchen knüpfen vorrangig bei den Patentanmeldungen über das PCT-Verfahren<sup>2</sup> an, mit dem Anmeldungen bei der WIPO (World Intellectual Property Organisation) hinterlegt werden können. Da dieses Anmeldeverfahren erst in jüngerer Zeit an Beliebtheit gewonnen hat und da es auch weitere Möglichkeiten für internationale Anmeldungen von Patenten gibt, werden zusätzlich Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt hinzugerechnet, wobei Doppelzählungen von identischen Erfindungsmeldungen ausgeschlossen werden. Damit wird eine Methode zur Abbildung der internationalen Patente herangezogen, die nicht auf einzelne Märkte wie Europa abzielt sondern einen stärker transnationalen Charakter aufweist. Die Anmeldungen wurden entsprechend dem Wohnort der Erfinder den Ländern zugeordnet, was erfahrungsgemäß die Verzerrungen minimiert. Als Beobachtungszeitraum wurde die Entwicklung seit 1991 betrachtet. Für den Querschnittsvergleich werden die Durchschnittswerte der Jahre 2000 bis 2004 herangezogen, sodass eine statistisch zuverlässige Grundgesamtheit erreicht wird, bei der zufällige Schwankungen in einzelnen Jahren ausgeglichen werden.
- Bei den Außenhandelsdaten wird die Datenbank „UN-COMTRADE“ herangezogen, die nicht auf den Handel mit OECD-Ländern beschränkt ist, sondern den gesamten Welthandel erfasst. Zudem wurde die Klassifikation der Technologien entsprechend dem Harmonized System (HS) 2002 aufgebaut. Diese Daten beziehen sich auf 2004. Gegenüber den bei Legler et al. 2006 und 2007 verwendeten, bei früheren internationalen Vergleichen üblichen Klassifikationen (Standard International Trade Classification (SITC)) erlaubt diese Vorgehensweise eine tiefere und daher zielgenauere Disaggregation.<sup>3</sup> Dennoch sind auch bei dieser Außenhandelsklassifikation zahlreiche Limitationen in der Technologieschärfe zu berücksichtigen, die die Verwendung des oben skizzierten Potenzialansatzes unabdingbar machen. Gleichzeitig war es bei Untersuchungen über die Entwicklung im Zeitablauf erforderlich, die Klassifikation nach SITC heranzuziehen. Aufgrund dieser unterschiedlichen Klassifikation kann es am aktuellen Rand daher zu methodisch bedingten Abweichungen zwischen den Zahlenangaben der Zeitreihenanalyse mit der SITC-Klassifikation und dem „genaueren“ Querschnittsvergleich mit der HS-Klassifikation kommen.

Die zeitliche Entwicklung der Patentaktivitäten in den betrachteten Handlungsfeldern mit den zugehörigen Produktgruppen und der Vergleich mit der allgemeinen Patentdynamik erlaubt eine Einschätzung über die Entwicklung der Innovationsdynamik des betrachteten Handlungsfeldes. Für den internationalen Ländervergleich werden sowohl

---

<sup>2</sup> PCT = Patent Cooperation Treaty. Dies ist ein internationaler Vertrag, wonach Anmelder über ein vereinfachtes Verfahren einen Anmeldeprozess starten können, der (im Allgemeinen) auf mehrere ausländische Patentämter und damit internationale Märkte ausgerichtet ist. Für nähere Informationen siehe bspw. <http://www.wipo.int/treaties/en/registration/pct/> .

<sup>3</sup> Die HS 2002 ist jedoch noch immer stärker aggregiert als die deutsche Außenhandelsklassifikation, die allerdings nur zur Analyse deutscher Außenhandelsströme herangezogen werden kann.

für die Patentanmeldungen als auch den Außenhandel die Anteile der betrachteten Länder an der weltweiten Aktivität verwendet:

- Es werden die internationalen Patentanmeldungen recherchiert und die Anteile Deutschlands, der wichtigsten Wettbewerber und dem Rest der Welt hieran berechnet. Für jedes Land  $i$  und jedes Kompetenzfeld  $j$  (d. h. Handlungsfeld, Produktgruppe oder Technologielinie) ergeben sich die Patentanteile in Prozent nach folgender Formel:  $PA_{ij} = 100 * (p_{ij} / \sum_i p_{ij})$
- Im Bereich des Außenhandels werden die Welthandelsanteile gebildet, d. h. die Anteile der Ausfuhren ( $a$ ) der jeweiligen Länder am Welthandel. Analog zum Patentanteil ergeben sich hier die prozentualen Anteile der einzelnen Länder  $i$  am Welthandel entsprechend der Formel:  $WHA_{ij} = 100 * (a_{ij} / \sum_i a_{ij})$

Sowohl die Patentanteile als auch die Welthandelsanteile werden durch die Größe und das allgemeine Entwicklungsmuster des Landes beeinflusst. Zusätzlich ist es daher üblich, Spezialisierungskennziffern zu bilden. Sie geben an, welchen Stellenwert die besonders interessierenden Technologien und Waren im Verhältnis zum Durchschnitt aller Technologien und Waren innerhalb des betrachteten Landes aufweisen. Positive Spezialisierungskennziffern zeigen an, dass die Kompetenzen des Landes in diesem Bereich relativ zum Durchschnitt aller Technologien und Güter überdurchschnittlich gut sind. Diese Spezialisierungskennziffern werden sowohl für die Patente als auch den Außenhandel gebildet. Sie werden jeweils so genormt, dass die Indikatoren zwischen -100 (extrem ungünstige Spezialisierung) und + 100 (extrem hohe Spezialisierung) liegen, wobei ein Wert von 0 einer durchschnittlichen Spezialisierung entspricht. Dadurch wird eine Beurteilung der Aktivitäten verschiedener Länder und insbesondere in verschiedenen Handlungsfeldern möglich, die unabhängig von Größeneffekten ist:<sup>4</sup>

- Bei den Patenten wird der relative Patentanteil (RPA) berechnet, indem der Patentanteil des betrachteten Landes beim jeweiligen Kompetenzfeld in Relation zu den Patentanteilen des Landes bei allen Feldern gesetzt wird.  
Für jedes Land  $i$  und jedes Kompetenzfeld  $j$  wird der RPA nach folgender Formel berechnet:

---

<sup>4</sup> Zur Methode vgl. Grupp (1997). Die Normierung zwischen -100 und +100 wird durch Verwendung des tangens hyperbolicus und anschließender Multiplikation mit dem Faktor 100 erreicht. In der Literatur wird bei den Außenhandelsindikatoren z. T. auf eine Normierung der Spezialisierungsindikatoren in das Intervall -100 bis +100 verzichtet (vgl. z. B. Legler et al. 2006 und 2007 und die Angaben in der Vorläuferstudie DIW/ISI/Roland Berger 2007), was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse – zusätzlich zu anderen klassifikations- und datenbedingten Unterschieden - erschwert. Eine derartige Vorgehensweise weist u. a. den Nachteil auf, dass sie einen Vergleich der Spezialisierung im Außenhandel mit der Spezialisierung bei den Patenten erschwert.

$$RPA_{ij} = 100 * \tanh \ln \left[ \left( \frac{p_{ij}}{\sum_i p_{ij}} \right) / \left( \frac{\sum_j p_{ij}}{\sum_{ij} p_{ij}} \right) \right]$$

Ist der Patentanteil für das Kompetenzfeld überdurchschnittlich hoch, dann nimmt der RPA einen positiven Wert an. Dies bedeutet, dass innerhalb des betreffenden Landes überproportional viel im Kompetenzfeld patentiert wird und daher – verglichen mit den anderen Feldern – überdurchschnittliche nationale Kenntnisse bestehen. Das jeweilige Kompetenzfeld nimmt also in dem Profil des Landes eine herausgehobene Stellung ein – und zwar gemessen an den weltweiten Aktivitäten.

- Beim Außenhandel wird der RCA („Revealed Comparative Advantage“) gebildet, der neben den Ausfuhren (*a*) auch die Einfuhren (*e*) mitberücksichtigt und insofern als umfassender Indikator der Außenhandelsposition gilt. Er gibt an, inwieweit die Ausfuhr-Einfuhr-Relation eines Landes beim betrachteten Kompetenzfeld von der Ausfuhr-Einfuhr-Relation des Landes bei allen Industriewaren abweicht. Für jedes Land *i* und jedes Kompetenzfeld *j* wird der RCA nach folgender Formel berechnet:

$$RCA_{ij} = 100 * \tanh \ln \left[ \left( \frac{a_{ij}/e_{ij}}{\sum_j a_{ij} / \sum_j e_{ij}} \right) \right]$$

Positive Vorzeichen weisen auf komparative Vorteile, also auf eine starke internationale Wettbewerbsposition der betrachteten Kompetenzfelder im jeweiligen Land hin. Der RCA ist allerdings dann schwierig zu interpretieren, wenn Sonderfaktoren auf die Einfuhren einwirken, die nicht die eigentliche Leistungsfähigkeit betreffen. Beispiele hierfür sind ein Importsog aufgrund eines plötzlichen, über die inländischen Kapazitäten hinausgehenden Nachfrageschubs oder extrem geringe Einfuhren aufgrund von Importrestriktionen. Daher wurde auch der relative Welthandelsanteil (RWA) gebildet, der die Importseite vernachlässigt.<sup>5</sup> Positive Werte zeigen hier an, dass der Welthandelsanteil des betrachteten Landes im betrachteten Kompetenzfeld über dem durchschnittlichen Welthandelsanteil des Landes liegt. In der Darstellung im Bericht wird vorrangig der RCA dargestellt. Auf Fälle, in denen es zu bedeutenden Abweichungen des RWA vom RCA kommt, wird im Text eingegangen.

Die bisherigen methodischen Ausführungen beziehen sich alle auf die nationale Betrachtungsweise, die auch im Vordergrund der empirischen Analyse in diesem Bericht steht. Als ergänzende Information auf der Ebene des Handlungsfeldes wird aber auch eine europäische Perspektive eingenommen, die die EU als einheitlichen Binnenwirtschaftsraum versteht. Bei den Patentanalysen ist eine Aggregation zu einer derartigen europäischen Perspektive vergleichsweise einfach. Hier ergeben sich die Patentanteile

---

<sup>5</sup> Der Relative Welthandelsanteil (RWA) entspricht von der Logik her dem RPA und wird analog für jedes Land *i* und jede Produktgruppe *j* nach folgender Formel berechnet:

$$RWA_{ij} = 100 * \tanh \ln \left[ \left( \frac{a_{ij}}{\sum_i a_{ij}} \right) / \left( \frac{\sum_j a_{ij}}{\sum_{ij} a_{ij}} \right) \right]$$

der EU aus einer Aufsummierung der Patentanteile der Mitgliedsländer. Schwieriger ist die Situation beim Außenhandel. Hier beinhalten die nationalen Ausfuhrwerte der EU-Länder auch die Ausfuhren in andere EU-Länder. Betrachtet man die EU als einheitlichen Wirtschaftsraum, d. h. ohne die Ausfuhren innerhalb der EU, fällt der gesamte Welthandel rechnerisch geringer aus. Gleichzeitig fällt der Welthandelsanteil der EU geringer aus als die Summe der Welthandelsanteile der einzelnen EU-Mitgliedsländer bei rein nationaler Betrachtung, während die Welthandelsanteile der übrigen Länder einen höheren Wert einnehmen. Die RCA-Werte der Nicht EU-Staaten bleiben hingegen unverändert. Gegenüber den gewogenen nationalen Durchschnitten der RCA-Werte kann der – ohne den Intra-EU-Handel berechnete – RCA-Wert der EU27 hingegen steigen oder sinken. Dies hängt davon ab, ob der Außenhandel beim betrachteten Kompetenzfeld stärker und schwächer auf Länder außerhalb der EU gerichtet ist als der gesamte Außenhandel der EU.

## 2 Zukunftsmarkt Energieerzeugung

### 2.1 Abgrenzung und Technologiebeschreibung

Die technischen Entwicklungslinien im Handlungsfeld Energieerzeugung betreffen vor allem die Energieangebotstechnologien in den vier Produktgruppen Erneuerbare Energieerzeugung, effiziente und emissionsarme Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien, dezentrale Energieerzeugung/Energiespeicherung und neue Verteilungskonzepte sowie Wasserstofftechnologien. Eine nachhaltige Energieerzeugung muss sich längerfristig verstärkt auf erneuerbare Energien stützen, wobei dezentrale Energieerzeugung, Energiespeicherung und ggf. Wasserstofftechnologien auf der Basis erneuerbarer Energien wichtige zusätzliche Elemente darstellen. Effiziente und emissionsarme Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien spielen im Übergang vom derzeitigen Energiesystem zu einer nachhaltigen Energieerzeugung eine wichtige Rolle, insbesondere um die Kohlenutzung, z. B. in Ländern wie China, bei weniger globaler Umweltbelastung zu erlauben.

Die vier genannten großen Produktgruppen unterteilen sich jeweils in unterschiedliche Technologielinien:

- Innerhalb der Produktgruppe **Erneuerbare Energien** werden folgende Technologielinien betrachtet: Photovoltaik, Solarthermie (inkl. solarthermische Stromerzeugung und solare Warmwasserbereitstellung), Windkraft, Wasserkraft (inkl. Wellen- und Gezeitenkraft), Geothermie, Biomasse/Biogas. Die Biotreibstoffe werden im Kapitel zur Nachhaltigen Mobilität berücksichtigt.
- In der Produktgruppe der **effizienten und emissionsarmen Kraftwerks- und Umwandlungstechnologie** finden sich folgende Technologielinien wieder:
  - Effiziente Gaskraftwerkstechnologien (vor allem Gasturbinen).
  - Effiziente Kohlekraftwerkstechnologien.
  - Effiziente Kraftwerkskonzepte (GuD Anlagen, deren elektrische Wirkungsgrade in der Vergangenheit kontinuierlich erhöht wurden).
  - Carbon Management (CO<sub>2</sub>-arme Kraftwerke) ist eine weitere wichtige Technologielinie, deren CO<sub>2</sub>-reduzierende Wirkung allerdings nicht auf einer verbesserten Effizienz beruht, sondern auf Abscheidung und Speicherung der entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen. Bei den derzeitigen Technologien führt die CO<sub>2</sub>-Abscheidung allerdings noch zu sehr erheblichen Wirkungsgradverlusten. In Zukunft können diese Wirkungsgradverluste jedoch gesenkt werden durch optimierte Abstimmung von Kraftwerken und CO<sub>2</sub>-Abscheidung. Wichtige Techniken innerhalb dieser Technologielinie sind u. a. Kohlevergasung (und auch Biomassevergasung), Gasreinigungstechnologien, CO<sub>2</sub>-Speicherung, CO<sub>2</sub>-Verdichtung/-Transport.

- Blockheizkraftwerke (BHKWs).
- **Dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte** beinhalten:
  - Verteilte Energieerzeugung und Energiespeicherung.
  - Die Technologielinie Stationäre Brennstoffzellen beinhaltet Anlagen zur Strom- bzw. gekoppelten Strom/Wärmeerzeugung mit Brennstoffzellentypen (FC) wie Molten Carbonate FC (MCFC), Solid Oxide FC (SOFC), Alkaline FC (AFC), Direct Methanol FC (DMFC) inklusive Reformern.
  - Energietransport und -verteilung (hierunter fallen neue Technologien wie die Supraleitung).
- Die Produktgruppe der **Wasserstofftechnologien** beinhaltet die H<sub>2</sub>-Produktion sowie H<sub>2</sub>-Verteilung/Speicherung.

## 2.2 Innovationsdynamik und Marktpotenzial

Ein Indikator für die Innovationsdynamik in einem Handlungsfeld ist die Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen in den einzelnen Ländern. Die Dynamik der Patentanmeldungen im Handlungsfeld Energieerzeugung wurde zwar in Teilen bereits in einem Vorgängerprojekt untersucht (DIW/ISI/Roland Berger 2007). Aufgrund der erheblichen inhaltlichen Erweiterungen des Handlungsfeldes um weitere Produktgruppen wurde aber eine Aktualisierung durchgeführt.

Im Zeitraum 1991 bis 2004 zeigt sich die Innovationsdynamik des Handlungsfeldes Nachhaltige Energieerzeugung gemessen an den absoluten Patentanmeldungen in etwa im Einklang mit der Gesamtentwicklung der Patente. Einem Wachstum aller Anmeldungen auf 260 % steht ein leicht höheres Wachstum bei der Energieerzeugung in 2004 im Vergleich zu 1991 gegenüber (Abbildung 2-1).

Eine Einschätzung des Marktpotenzials im Handlungsfeld Nachhaltige Energieerzeugung und seiner zukünftigen Entwicklung bis 2020 zeigt Abbildung 2-2. Die Energieerzeugung nimmt im Vergleich zur Energieeffizienz bzw. den Handlungsfeldern Nachhaltige Wasserwirtschaft und Nachhaltige Mobilität einen etwas bescheideneren Mittelplatz ein, allerdings mit einer deutlichen Perspektive des Wachstums von 100 Milliarden auf 280 Milliarden Euro im Jahr 2020. Innerhalb des Handlungsfeldes weisen die erneuerbaren Energien das größte Wachstumspotenzial auf. Auf sie allein kann nach konservativen Abschätzungen im Jahr 2020 ein Marktvolumen von etwa 110 Mrd. Euro entfallen (vgl. DIW/ISI/Berger 2007). Optimistische Abschätzungen halten sogar ein Marktvolumen von 250 Milliarden Euro für denkbar.

Abbildung 2-1: Innovationsdynamik der weltweiten jährlichen Patentanmeldungen im Handlungsfeld Energieerzeugung im Vergleich zu allen Anmeldungen (1991= 100)

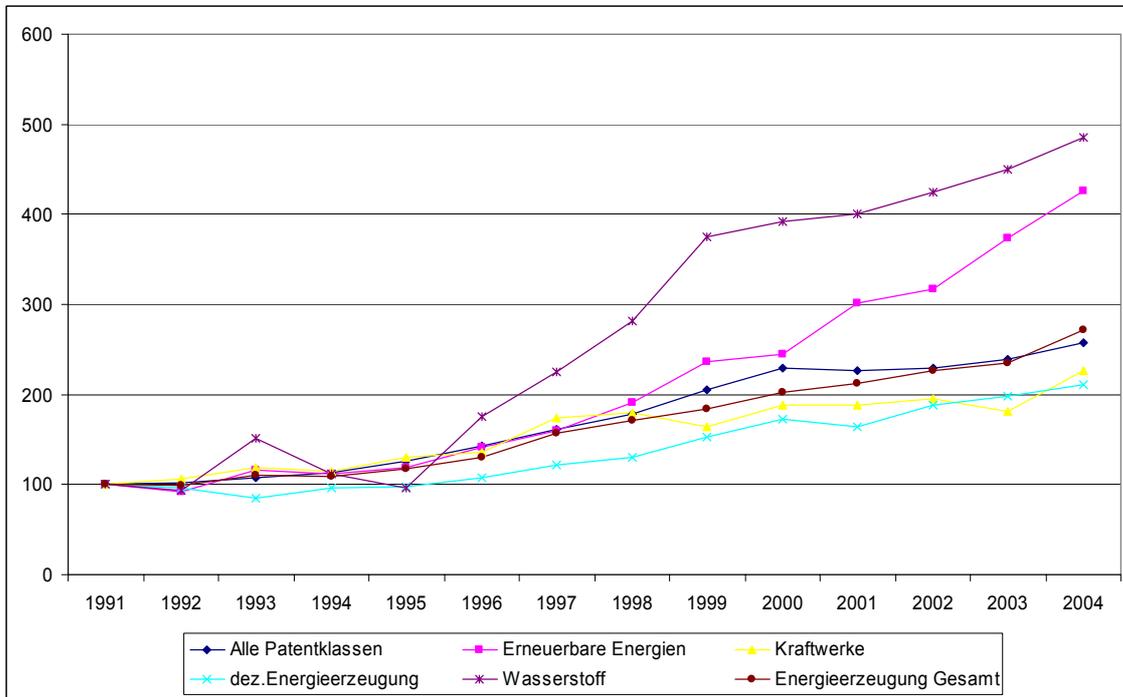
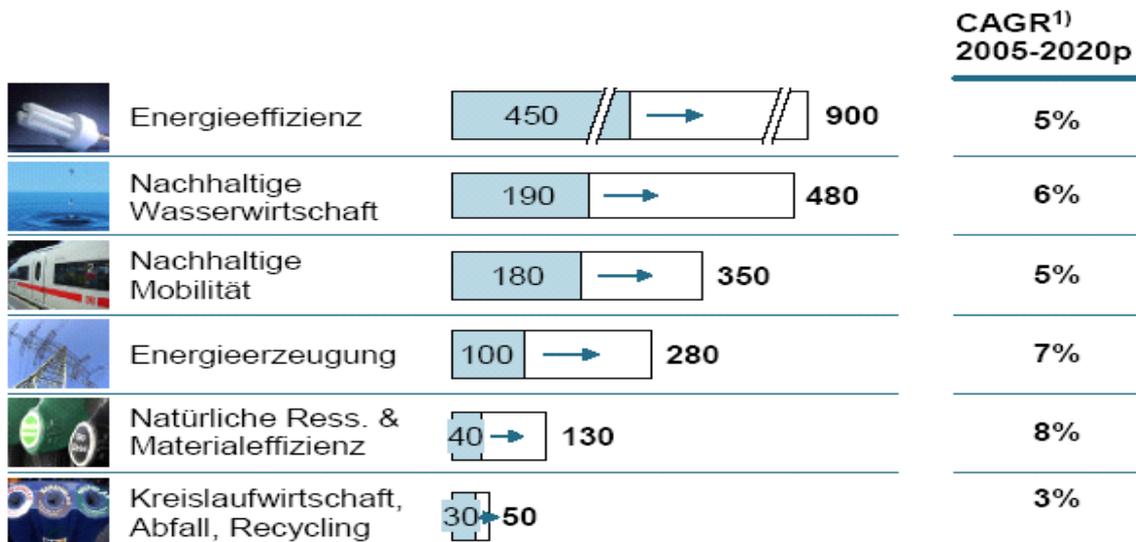


Abbildung 2-2: Wachstum des Marktvolumens in Leitmärkten 2005 bis 2020 in Mrd. Euro



1) CAGR = Cumulated average growth rate = durchschnittliches jährliches Wachstum

2005 Wachstum bis 2020p

Quelle: Roland Berger (2007)

## 2.3 Internationale Analyse der technologischen Leistungsfähigkeit

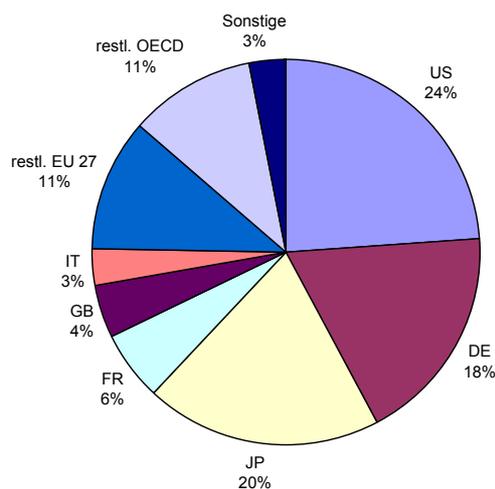
### 2.3.1 Patentanalyse

In diesem Abschnitt steht die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands im internationalen Vergleich im Vordergrund. Wissenszuwachs und technische Leistungsfähigkeit von Unternehmen werden unter anderem durch vergleichende Methoden wie Patentanteile und RPA-Werte beschrieben. Die bereits realisierte Wettbewerbsfähigkeit auf dem Markt wird in einem weiteren Abschnitt mit Hilfe von Außenhandelsindikatoren erfasst.

#### 2.3.1.1 Überblick Handlungsfeld

Abbildung 2-3 zufolge teilen sich drei Länder 62 % der Patente im Handlungsfeld Nachhaltige Energieerzeugung: die USA liegt mit 24 % an der Spitze, gefolgt von Japan mit 20 % und Deutschland mit 18 % aller Patentanmeldungen. Mit deutlichem Abstand folgen Frankreich (6 %), Großbritannien (4 %) und Italien (3 %). Alle verbleibenden EU27-Staaten kommen zusammen nur auf 11 %, die übrigen OECD-Staaten ebenfalls auf 11 % aller in dem Bereich angemeldeten Patente. Die sonstigen Staaten (einschließlich China) melden 3 % der Patente an. Die EU27 hält 42 % aller Patente in diesem Feld.

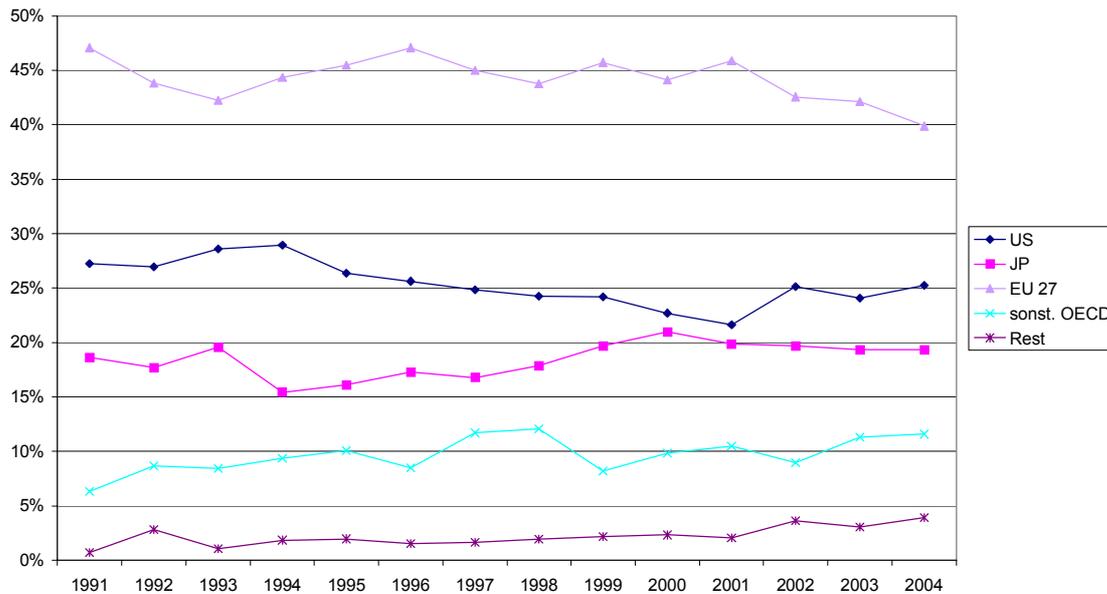
Abbildung 2-3: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente im Handlungsfeld Energieerzeugung 2000 bis 2004



In der zeitlichen Entwicklung der Patentzahlen (Abbildung 2-4) zeigt sich ein Rückgang der Anteile der beiden Spitzenreiter EU27 und USA im Handlungsfeld Energieerzeugung seit 1991, während die Anteile Japans und der übrigen OECD-Staaten leicht an-

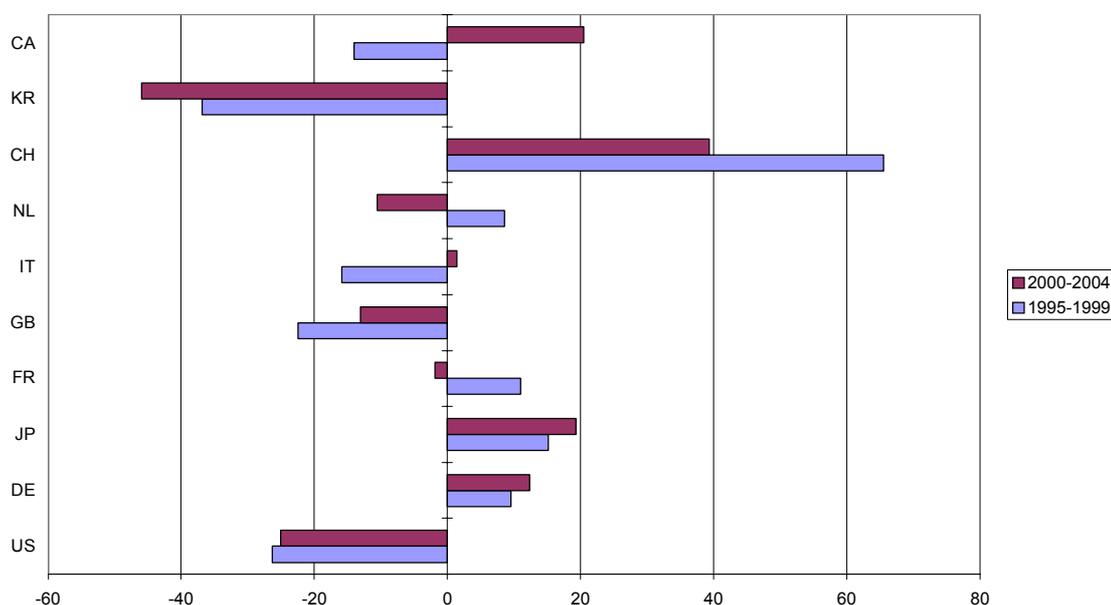
gestiegen sind. Auch im Rest der Welt steigen die Anteile an, allerdings noch auf niedrigem Niveau. In Deutschland blieb der Anteil – nach einer kurzen Steigerung auf über 20 % – in etwa konstant bei 17 bis 18 %. Für den Rückgang in der EU verantwortlich sind vor allem die Entwicklungstendenzen in Frankreich und in Großbritannien.

Abbildung 2-4: Zeitliche Veränderung der Patentanmeldungen wichtiger Länder bzw. Ländergruppen im Handlungsfeld Energieerzeugung 1991 bis 2004



Der RPA (Abbildung 2-5) vergleicht den Anteil der Patente in einem Handlungsfeld mit allen innerhalb eines Landes angemeldeten Patenten. Eine Reihe der gezeigten Länder weisen negative RPA-Werte auf, d. h. eine unterdurchschnittliche Spezialisierung in diesem Gebiet. Dieser Trend hat sich in Ländern wie Korea und den Niederlanden seit 2000 noch verstärkt. Der RPA in der Schweiz ist seit dem Jahr 2000 etwas rückläufig, aber noch immer deutlich positiv, während der RPA in Kanada seit dieser Zeit eine sehr positive Entwicklung zeigt. In Japan und Deutschland ist der RPA gemäßigt positiv. Bei den Trends ist aber das absolute Niveau der Patentanteile (Abbildung 2-3) jeweils mit zu berücksichtigen.

Abbildung 2-5: RPA-Werte verschiedener Länder im Handlungsfeld Energieerzeugung



Alles in allem nimmt Deutschland aufgrund seines hohen absoluten Patentanteils und seines positiven RPA-Wertes einen vorderen Platz ein. Die hohen Patentanteile blieben bei Deutschland auch relativ stabil im Lauf der Zeit, wenn auch leicht rückläufig im Vergleich zur zweiten Hälfte der neunziger Jahre. Die Schweiz weist ebenfalls eine positive Spezialisierung im Bereich nachhaltige Energieerzeugung auf; allerdings sind die absoluten Patentzahlen vier- bis fünfmal geringer als in Deutschland. In Japan nehmen die Patentanteile zu; und die Spezialisierung des Landes war zunehmend positiv ausgeprägt im Zeitraum 1995 bis 2004.

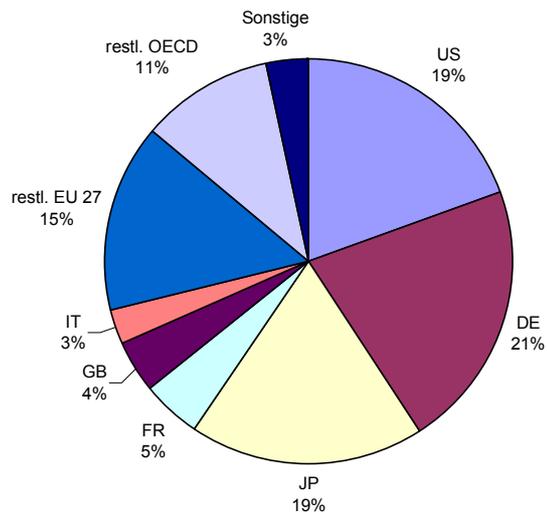
Im Folgenden wird untersucht, in welchen Teilbereichen (Produktgruppen) des Handlungsfeldes Energieerzeugung Deutschland im internationalen Bereich besondere Technikkompetenzen aufweist. Hierbei ergeben sich häufig Unterschiede zwischen den Produktgruppen im Vergleich zum gerade beschriebenen Bild im gesamten Handlungsfeld Nachhaltige Energieerzeugung.

### 2.3.1.2 Erneuerbare Energien

Erneuerbare Energien bilden das Rückgrat einer nachhaltigen Energieerzeugung. Einen wichtigen Indikator für das technische Entwicklungspotenzial Deutschlands im internationalen Vergleich in dieser Produktgruppe geben die in Abbildung 2-6 dargestellten Anteile verschiedener relevanter Länder an der Gesamtpatentanzahl wieder. Deutschland ist mit 21 % der Patentanmeldungen etwas besser positioniert als im gesamten Handlungsfeld und liegt damit vor den USA und Japan (jeweils 19 %), die hier mehr oder

weniger unter dem Durchschnitt liegen. Auch die EU27 schneiden in der Produktgruppe der Erneuerbaren Energien mit 48 % Patentanteil überdurchschnittlich ab.

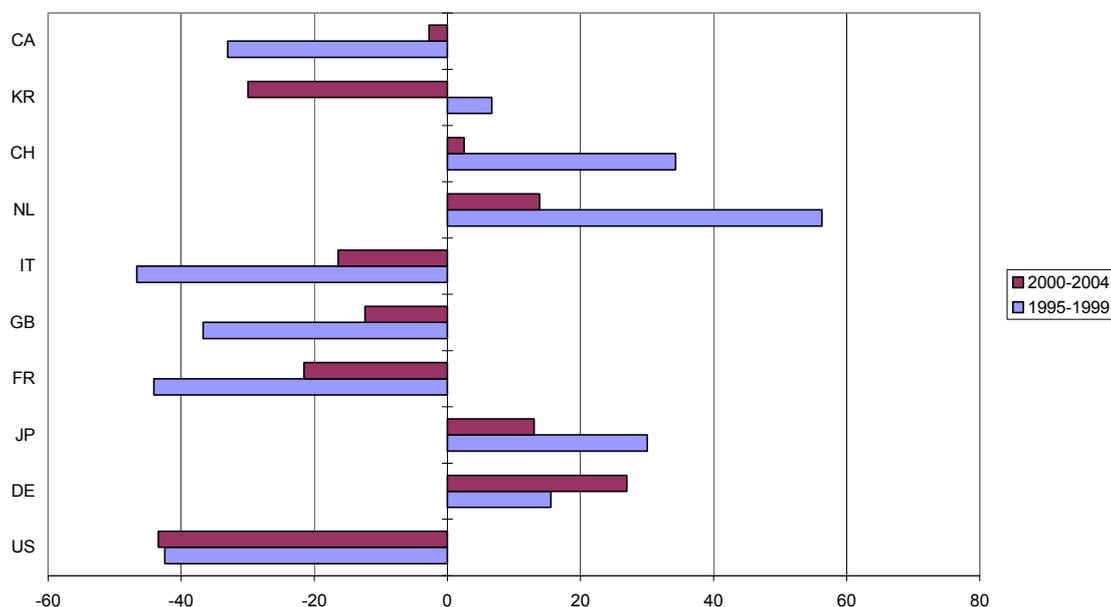
Abbildung 2-6: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente in der Produktgruppe der Erneuerbaren Energien



Beim RPA (Abbildung 2-7) schneidet Deutschland bei den erneuerbaren Energien deutlich positiver als im Durchschnitt des gesamten Handlungsfeldes ab. Länder, die bei den Erneuerbaren überdurchschnittlich gut im Vergleich zum gesamten Handlungsfeld dastehen, sind Japan und die Niederlande (mit abnehmender Tendenz nach 2000). Auch die Schweiz fällt hier zunehmend zurück. Alle übrigen Länder weisen deutlich unterdurchschnittliche Spezialisierungen bei den Patenten in der Produktgruppe Erneuerbare Energien aus. Allerdings ist es in Frankreich, Großbritannien und Italien seit 2000 zu einer Verbesserung gekommen.

Ein Blick auf die Patentanteile der Länder bei den erneuerbaren Energien (Abbildung-Anhang A.1-1) zeigt, dass Deutschland bei fast allen Technologielinien einen führenden Platz bei den Patentanteilen einnimmt. Dies gilt insbesondere für die Windkraft, die Geothermie, Biomasse/Biogas und die Solarthermie. Bei der Photovoltaik liegt Deutschland allerdings auf Platz drei hinter Japan und den USA. Bemerkenswert ist auch der starke Anteil Dänemarks bei der Windkraft.

Abbildung 2-7: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die Produktgruppe Erneuerbare Energien



Auch beim RPA der einzelnen Technologielinien zeigt sich die starke Stellung Deutschlands in der Produktgruppe Erneuerbare Energien. Nur bei der Photovoltaik weist Deutschland noch einen leicht negativen RPA auf, während Japans RPA für diese Untergruppe deutlich positiv ist und damit die starke Stellung der Forschung in diesem Bereich verdeutlicht<sup>6</sup>. Der RPA der USA für die Photovoltaik ist noch leicht schlechter als der von Deutschland. Diese Fakten sind Ausdruck der Anstrengungen, die Japan bei dieser Technologie im vergangenen Jahrzehnt unternommen hat. Allerdings schneidet Japan bei anderen Technologien für erneuerbare Energien deutlich schlechter in der Spezialisierung bei den Patenten ab als Deutschland. Dies führt insgesamt zu einer zunehmend positiven Spezialisierung Deutschlands im Vergleich zu anderen Ländern bei dieser Produktgruppe.

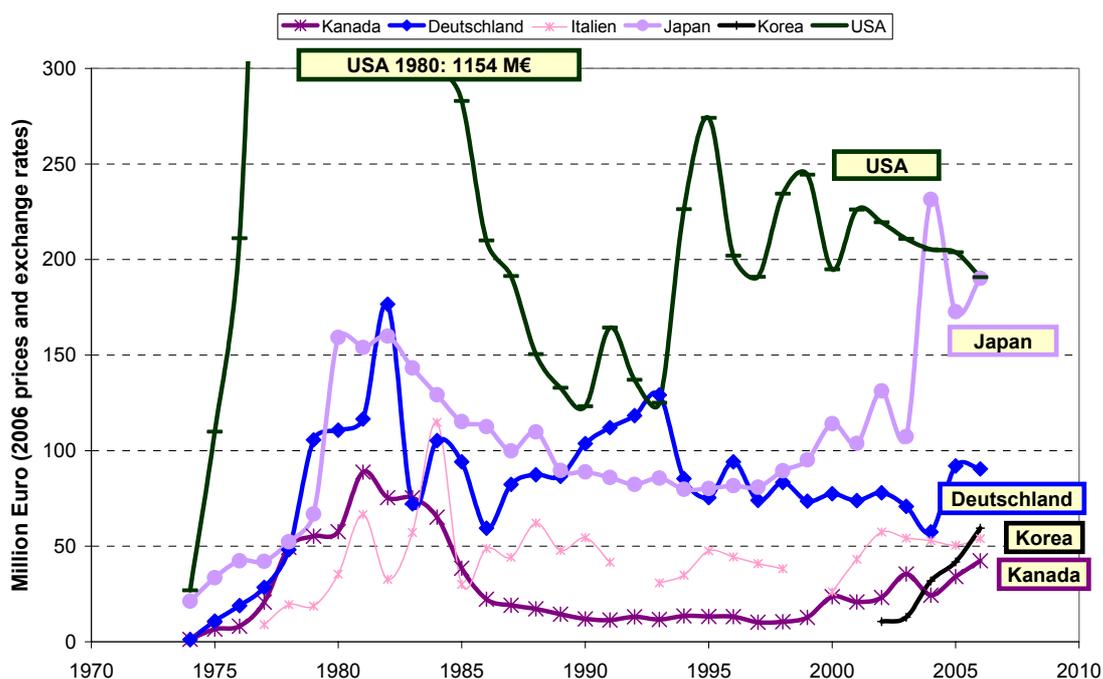
Deutschland ist damit gut in der Breite bei den Patenten der Produktgruppe Erneuerbare, aber noch nicht Spitze in einzelnen Technologielinien. Beim RPA hat Dänemark Spitzenwerte bei Windkraft (mit einem RPA von nahezu 100 deutlich vor Deutschland mit einem noch immer sehr guten RPA von 66), bei Wasser- und Gezeitenkraft

<sup>6</sup> Die Zahlen, welcher der Untersuchung zugrundeliegen, gehen bis 2004. Es steht zu vermuten, dass sich in den letzten beiden Jahren bei der Photovoltaik Veränderungen zum Positiven ergeben haben. Detaillierte Untersuchungen für die Windenergie haben aufgezeigt, dass die Patentaktivitäten auch stark durch die Nachfrageentwicklung auf dem Inlandsmarkt beeinflusst werden (Walz et al. 2007). Es bleibt abzuwarten, inwieweit dies auch bei der Photovoltaik beobachtet werden kann.

(RPA=97; Deutschland: -88), bei Biomasse und Biogas (RPA=92; Deutschland: 21) und bei der Solarthermie (RPA=50; Deutschland: 38). Frankreich hat ebenfalls herausragende RPA-Werte bei der Biomasse und beim Biogas (RPA=57), England sticht mit einem RPA von 84 bei Wasser- und Gezeitenkraft heraus.

Interessant ist in diesem Zusammenhang der Vergleich mit den öffentlichen F&E Aufwendungen für die Erneuerbaren (IEA, 2007). Diese sind in den folgenden drei Abbildungen in Euro<sub>2006</sub><sup>7</sup> für einige wichtige Länder im zeitlichen Verlauf von 1974 bis 2006 dargestellt, und zwar für die Erneuerbaren als Ganzes (Abbildung 2-8), für die Windenergie (Abbildung 2-9) und für die Photovoltaik (Abbildung 2-10). Zwar stellen die öffentlichen F&E Ausgaben nur einen Teil der gesamten F&E Ausgaben dar, allerdings waren sie in den letzten zwanzig Jahren vor ca. 2000 der wesentliche Einflussfaktor. Erst in jüngerer Zeit hat bei Technologien wie der Windenergie die private F&E zugenommen.

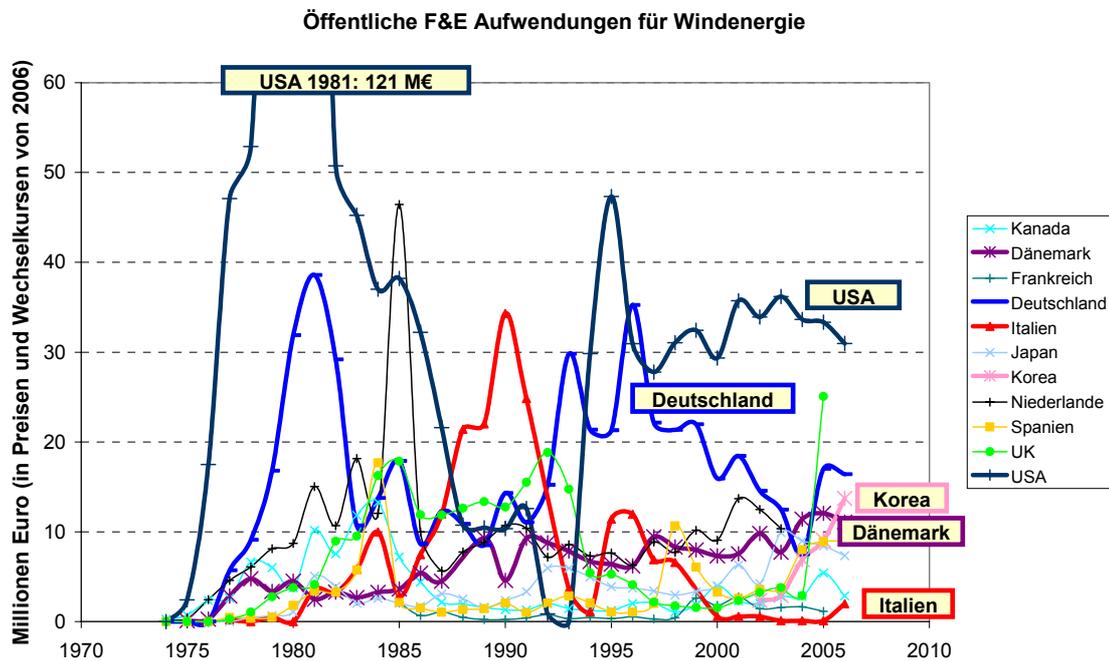
Abbildung 2-8: Öffentliche F&E Aufwendungen für Erneuerbare Energien in IEA Ländern



Quelle: IEA (2007)

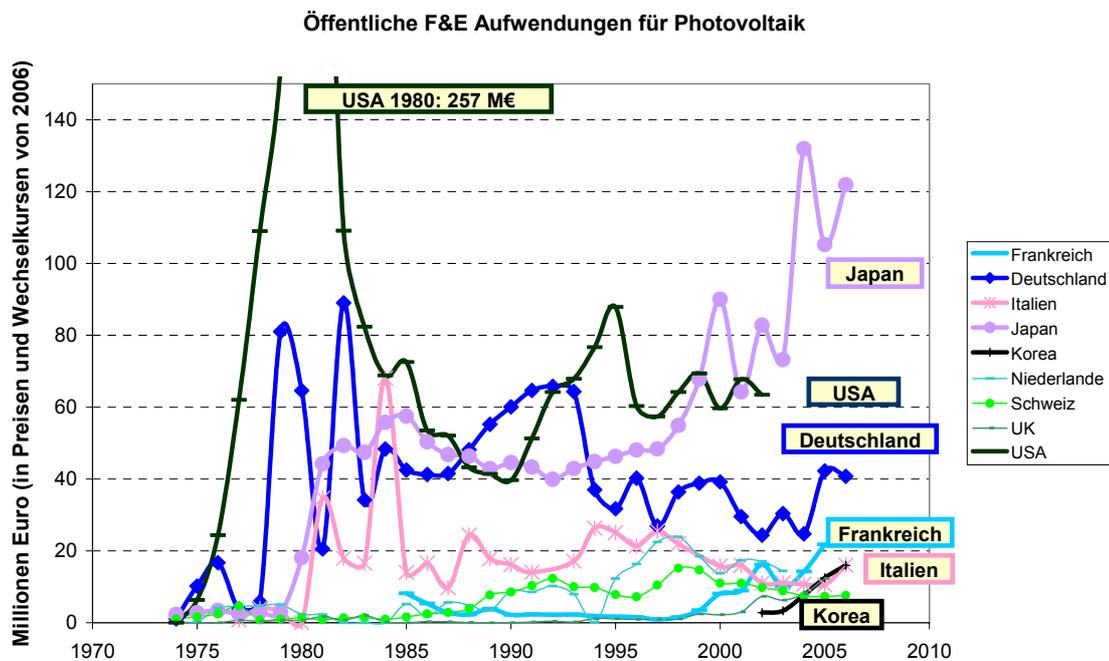
<sup>7</sup> Die Benutzung von Wechselkursen zur Umrechnung auf Euro bringt wegen der Wechselkursschwankungen, speziell zwischen Dollar und Euro, eine gewisse Verzerrung mit sich.

Abbildung 2-9: Öffentliche F&E Aufwendungen für Windkraftanlagen in IEA Ländern



Quelle: IEA (2007)

Abbildung 2-10: Öffentliche F&E Aufwendungen für Photovoltaik in IEA Ländern



Quelle: IEA (2007)

Aus dem zeitlichen Verlauf der F&E Ausgaben können folgende Kernaussagen gewonnen werden:

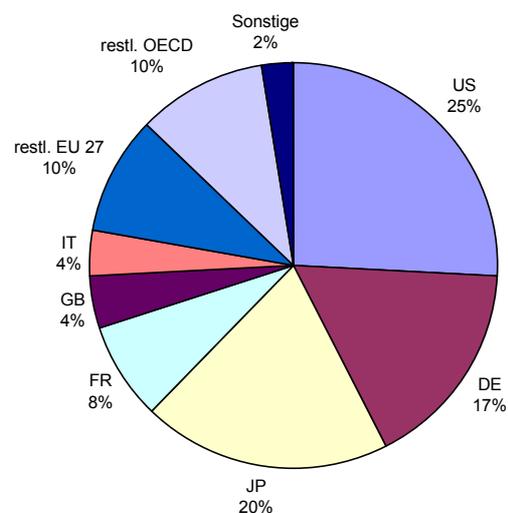
- Nach der großen Welle der erneuerbaren Förderung in der ersten Hälfte der achtziger Jahre (USA in der Spitze über 1100 Millionen Euro), ebte die Förderung in vielen Ländern stark ab, um dann erst wieder zwischen 1995 und 2000 verstärkt einzusetzen (Abbildung 2-8). Die Zeit zwischen 1985 und 1995 war in den meisten Ländern aus der Sicht der Erneuerbaren für F&E eine magere Zeit. In Deutschland verlief die Entwicklung allerdings gegenläufig. 1993 überholte Deutschland sogar die USA bei den F&E Ausgaben, um dann aber bis 2004 wieder kontinuierlich zu fallen. In Japan dagegen, aber auch in Frankreich und Korea, nahm die Förderung für die Erneuerbaren in den letzten Jahren stärker zu. Bemerkenswert sind auch die Anstrengungen der Schweiz bei den F&E Ausgaben in den 1990er Jahren, welche die zeitweilig starke Stellung dieses Landes beim RPA erklären können (Abbildung 2-7).
- Die Gesamtentwicklung bei den F&E Ausgaben für Erneuerbare spiegelt sich in den einzelnen Technologielinien, mit individuellen Ausprägungen wider. Auch hier ist der starke Einbruch der achtziger Jahre zu verzeichnen sowie eine gewisse Erholung nach 1995. Auch hier zeigen sich die gegenläufigen Anstrengungen Deutschlands in den Neunzigern mit einem anschließenden Rückgang. Bei der Windenergie könnte der Rückgang in Deutschland damit erklärbar sein, dass öffentlich geförderte F&E mehr und mehr durch –nicht in der Statistik erfasste - private F&E ersetzt wurde. Allerdings stellt sich auch hier die Frage, ob trotz privater F&E längerfristige Themen wie widerstandsfähigere Materialien, Offshore-Technologien und neue Konzepte nicht weiterhin eine breite Rolle in der öffentlichen F&E einnehmen sollten. Das Beispiel Dänemarks, das gleichfalls eine wettbewerbsfähige Windindustrie hat ähnlich wie Deutschland, zeigt, dass hier die Förderung der Forschung kontinuierlich zunahm und in letzter Zeit Deutschland teilweise überrundete. Auch Newcomer wie Korea haben bei der F&E für Wind stark zugelegt. Leider weist die IEA keine F&E Zahlen für Energietechnologien bei Ländern wie Indien und China aus; solche Zahlen dürften aber weitere interessante Informationen liefern.
- Bei der Photovoltaik ist das Bild ähnlich wie für Wind; hier ragen besonders die F&E Anstrengungen Japans heraus, gegenüber dem Deutschland doch deutlich zurückgefallen ist. Länder wie Frankreich und Korea haben ihr F&E Förderung in dem Bereich Photovoltaik stärker ausgeweitet als Deutschland in den letzten Jahren.

Dieses Bild zeigt, dass Deutschland bei den öffentlichen F&E Ausgaben für erneuerbare Energien gegenüber einzelnen Konkurrenten doch teilweise auch deutlich verloren hat.

### 2.3.1.3 Effiziente und emissionsarme Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien

In der Produktgruppe der effizienten und emissionsarmen Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien finden sich folgende Technologielinien wieder: Effiziente Gas- und Kohlekraftwerkstechnologien, effiziente Kraftwerkskonzepte, CO<sub>2</sub>-arme Kraftwerke, Blockheizkraftwerke (BHKWs). In dieser Produktgruppe liegt Deutschland mit 17 % der Patentanmeldungen leicht unter dem Mittel des gesamten Handlungsfeldes Energieerzeugung. Die Werte für Japan (20 %), die USA (24 %) sowie die EU27 insgesamt (43 %) entsprechen ebenfalls dem Mittel des gesamten Handlungsfeldes. Die restlichen OECD Länder (10 %, hier vor allem die Schweiz) und die sonstigen Länder (2 %) haben ebenfalls nur geringfügig unterdurchschnittliche Werte bei dieser Produktgruppe im Vergleich zum gesamten Feld Energieerzeugung.

Abbildung 2-11: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente bei der Produktgruppe der effizienten und emissionsarmen Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien

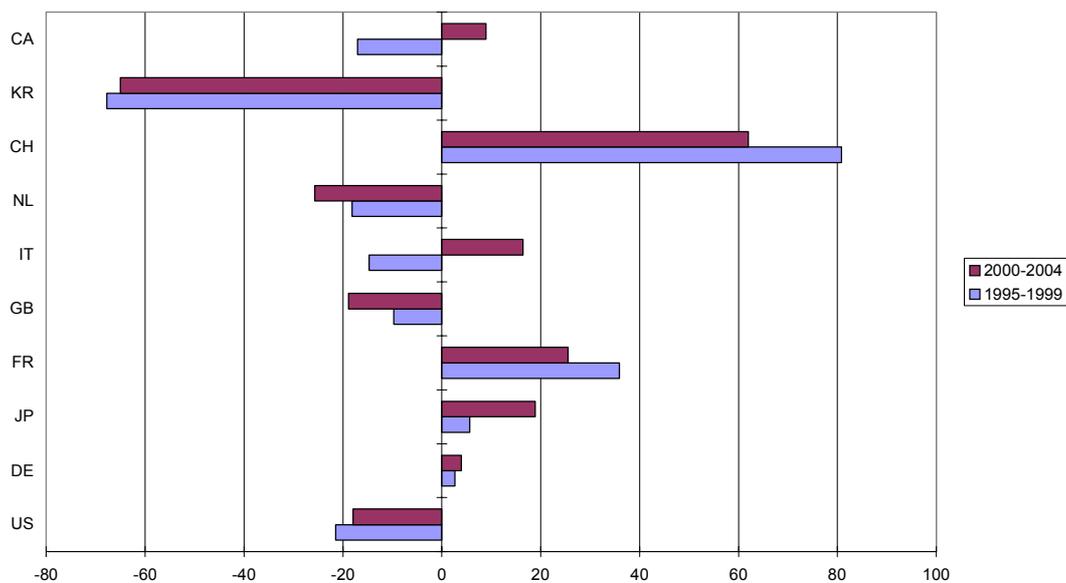


Beim RPA (Abbildung 2-12) liegt Deutschland bei den effizienten und emissionsarmen Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien nur bei einer leicht positiven Spezialisierung mit Werten deutlich unter dem gesamten Handlungsfeld Energieerzeugung. Vor allem die Schweiz und Frankreich, aber auch Kanada, Italien und Japan weisen hier größere RPA-Werte auf als Deutschland, während alle anderen Länder negative RPA-Werte zeigen.

Eine disaggregierte Betrachtung auf der Ebene der einzelnen Technologielinien ergibt, dass die USA bei den Technologien für CO<sub>2</sub>-arme Kraftwerke und bei der Gaskraftwerkstechnik deutlich stärker spezialisiert sind als Deutschland. Deutschland liegt bei den CO<sub>2</sub>-armen Kraftwerken aber an zweiter Stelle. Japan ist besser als Deutschland aufgestellt bei den Patentanteilen für die effizienten klassischen Kohlekraftwerkstechnologien und für die kombinierte Kraft-Wärme-Kopplung (BHKWs).

Im RPA nach Technologielinien zeigt sich, dass Deutschland bei der Kohlekraftwerkstechnologie allerdings eine ungünstigere Spezialisierung aufweist als im Durchschnitt der Produktgruppe (RPA=22). Dies wird aber durch eine positive Spezialisierung bei den effizienten Kraftwerkskonzepten wie den GuD-Anlagen (RPA=37) kompensiert.

Abbildung 2-12: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die Produktgruppe effiziente und emissionsarme Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien



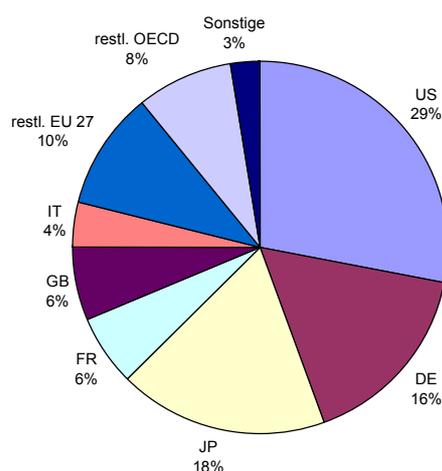
### 2.3.1.4 Wasserstoff sowie dezentrale Erzeugungs- und neue Verteilungstechnologien

In diesem Abschnitt werden Entwicklungen bei der Produktgruppe der Wasserstoffwirtschaft sowie bei der Produktgruppe der dezentralen Erzeugungs- und neuen Verteilungstechnologien zusammen behandelt.

Deutschland liegt bei den Wasserstofftechnologien mit 16 % der Patentanteile auf dem dritten Platz, deutlich hinter den USA mit 29 % (Abbildung 2-13). Die Zahl der japanischen Patente in diesem Bereich hat besonders stark seit 2000 zugenommen. Die

EU27 schneidet bei dieser Produktgruppe mit 42 % der Patentanteile im Durchschnitt des Handlungsfeldes ab. Dies liegt vor allem auch an der etwas stärkeren Stellung Großbritanniens bei den Patentanteilen. Die übrigen OECD Länder, auch Korea, und die restlichen Länder der Welt fallen bei dieser Produktgruppe nur wenig ins Gewicht. Nur Kanada hat noch nennenswerte Anteile unter den übrigen OECD Ländern.

Abbildung 2-13: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente bei der Produktgruppe Wasserstoff



Beim RPA (Abbildung 2-14) ist Deutschland bei den Wasserstoffstechnologien im Vergleich zum gesamten Handlungsfeld schwächer. In den Jahren 2000 bis 2004 fiel Deutschland zurück, während der RPA in den Jahren 1995 bis 1999 noch positiv war. Aber auch der Spitzenreiter USA bei den Patentanteilen fällt im RPA zurück. Positive Spezialisierung weisen insbesondere Kanada sowie verschiedene EU-Länder auf (Niederlande, Italien, Großbritannien, Frankreich). Auch in Japan nimmt die Spezialisierung bei den Wasserstoffstechnologien zu.

Bei der Produktgruppe dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte liegt Deutschland mit 18 % der Patentanteile ebenfalls auf dem dritten Platz hinter den USA (24 %) und Japan (22 %) (Abbildung 2-15). Damit hat Deutschland bei dieser Produktgruppe eine ähnliche Stellung bei den Patentanteilen wie im Durchschnitt des gesamten Handlungsfeldes. Die EU27 schneidet bei dieser Produktgruppe mit 38 % der Patentanteile unterdurchschnittlich ab. Im Vergleich zur Periode 1995 bis 1999 war hier ein Rückgang zu beobachten.

Abbildung 2-14: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die Produktgruppe Wasserstoff

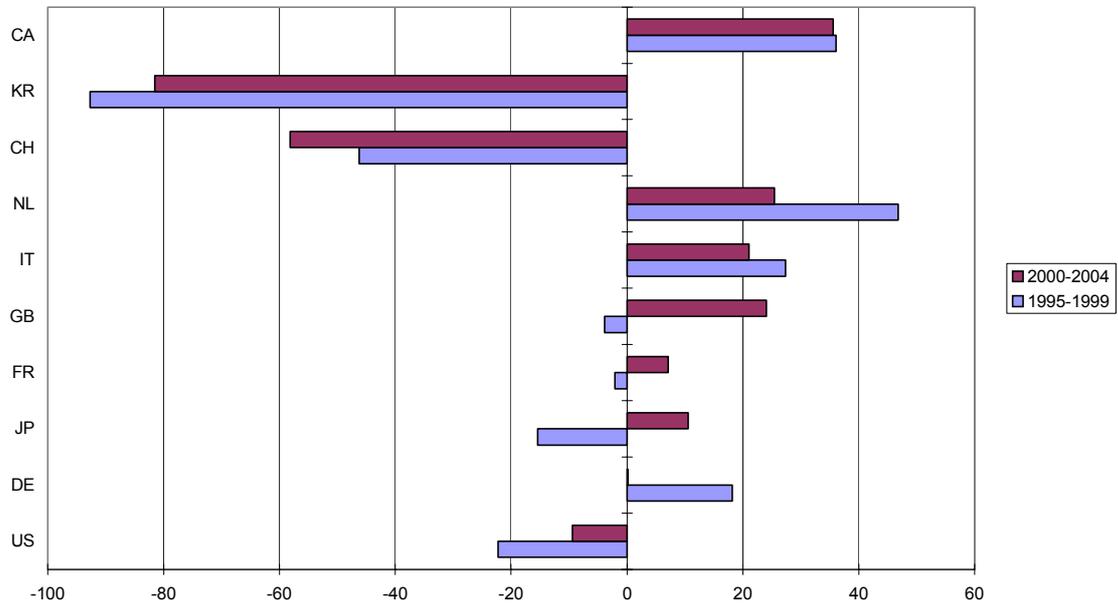
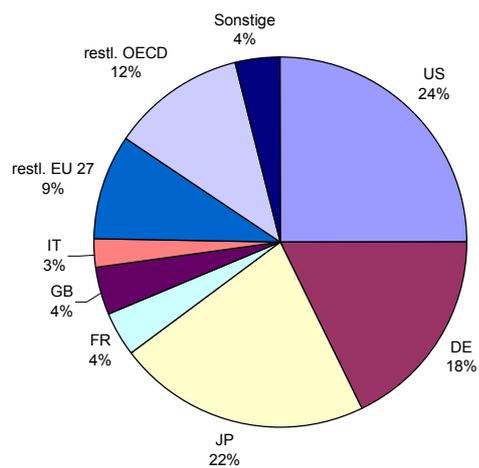
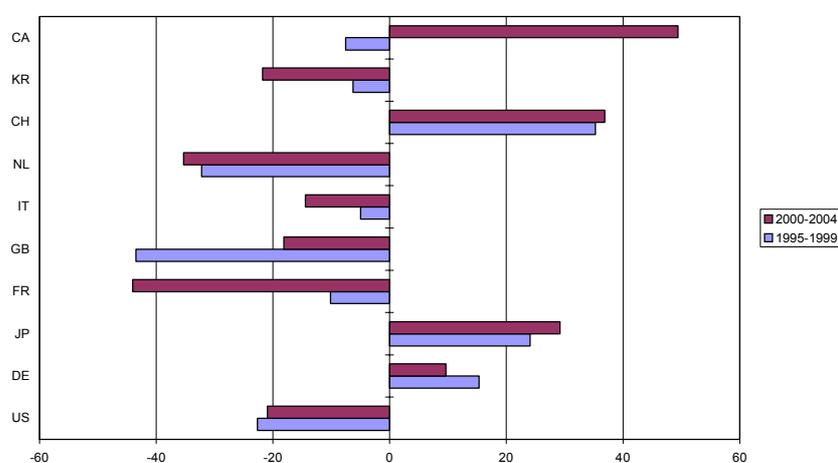


Abbildung 2-15: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente bei der Produktgruppe dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte



Bei den RPA-Werten zeigt sich allerdings für Deutschland eine moderat positive Spezialisierung bei der dezentralen Energieerzeugung und bei neuen Verteilungskonzepten. Kanada und die Schweiz weisen eine stark positive Spezialisierung auf, allerdings bei einem niedrigeren Gesamtniveau bei den Patentanteilen im Vergleich zu Deutschland. Auch Japan weist eine zunehmend positive Spezialisierung der Patente in dieser Produktgruppe auf.

Abbildung 2-16: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die Produktgruppe dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte

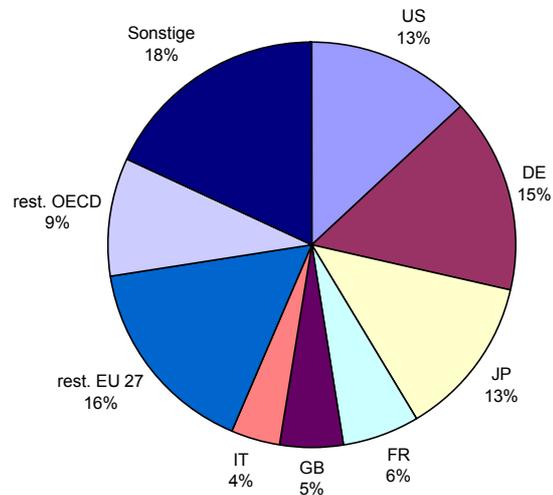


## 2.3.2 Außenhandelsindikatoren

### 2.3.2.1 Überblick Handlungsfeld

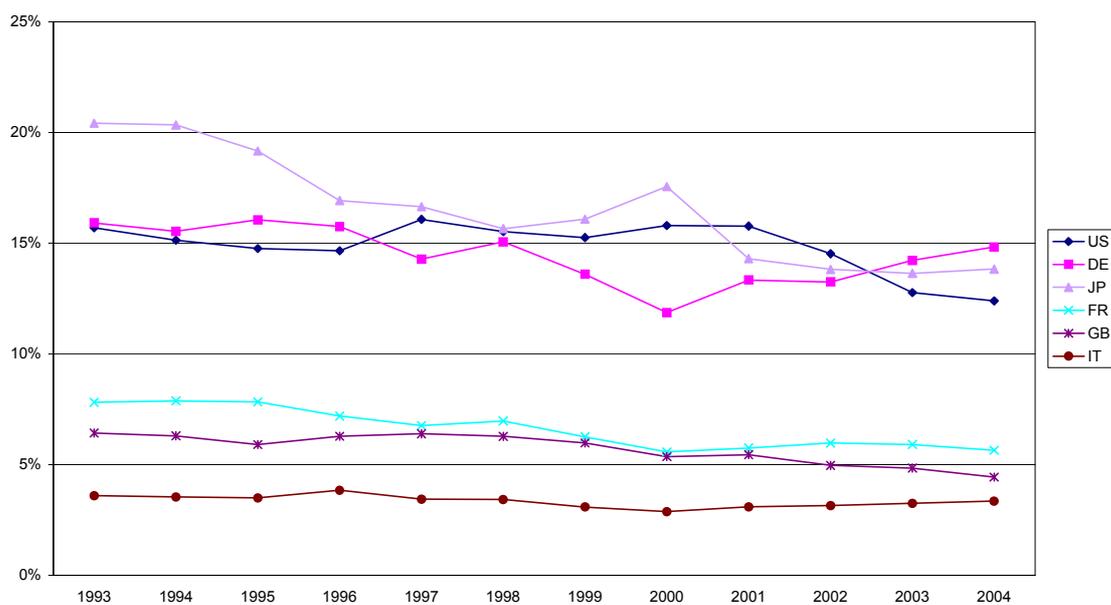
Außenhandelsindikatoren messen die aktuelle Wettbewerbsfähigkeit in einem Technologiefeld auf dem internationalen Markt. Gemessen an den Welthandelsanteilen (Abbildung 2-17), das heißt am Anteil der nationalen Exporte an der Summe aller Exporte, nimmt Deutschland beim Außenhandel mit Gütern einer nachhaltigen Energieerzeugung mit 15 % die Führungsposition vor den USA und Japan ein, die beide je einen Anteil von 13 % erreichen. Danach folgt Frankreich mit 6 %. Insgesamt entfallen auf Länder der EU27 Anteile von zusammen 46 % am Welthandel (inklusive des EU-internen Außenhandels). Bemerkenswert sind die hohen Anteile beim Außenhandel von China (8,5 %) und von Mexiko (4,2 %) bei den sonstigen Ländern.

Abbildung 2-17: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Energieerzeugung



In der zeitlichen Veränderung (Abbildung 2-18) zeigt sich, dass Deutschland das ursprüngliche Niveau von 1993, nach einem Abfall bis zum Jahr 2000 auf 12 % beim Welthandelsanteil, fast wieder erreicht hat, während die USA und Japan in diesem Feld eher mit einem Rückgang zu kämpfen haben. Andere EU-Länder wie Frankreich und Großbritannien hatten ebenfalls einen Rückgang ihres Welthandelsanteils zu verzeichnen, sodass ihr Abstand zu Deutschland zunahm.

Abbildung 2-18: Zeitliche Veränderung der Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Energieerzeugung



Während die Welthandelsanteile die absolute Stärke eines Sektors im internationalen Vergleich beschreiben, kennzeichnen die RCA-Werte den Grad der Außenhandelspezialisierung in einem bestimmten Handlungsfeld im Vergleich zu anderen Produkten. Deutschland weist auch bei diesem Indikator eine positive Spezialisierung auf, allerdings mit Werten die deutlich hinter denen von Japan und den USA, sowie anderen EU-Ländern liegen. Stark negative Werte sind für Kanada und Korea zu verzeichnen. (Abbildung 2-19). Auch im zeitlichen Verlauf zeigt sich, dass die Werte des RCA für Deutschland eher zurückgehen (Abbildung 2-20). Wichtig ist die Anmerkung, dass eine ähnliche Entwicklung, wenn auch auf noch höherem Niveau, ebenfalls für Japan zu beobachten ist. Andere Länder wie die USA, Frankreich oder Italien verzeichnen eher eine Zunahme ihrer Außenhandelspezialisierung. Die hinter dieser Entwicklung liegenden Tendenzen werden im Folgenden noch auf der Ebene der einzelnen Produktgruppen diskutiert.

Abbildung 2-19: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für das Handlungsfeld Energieerzeugung

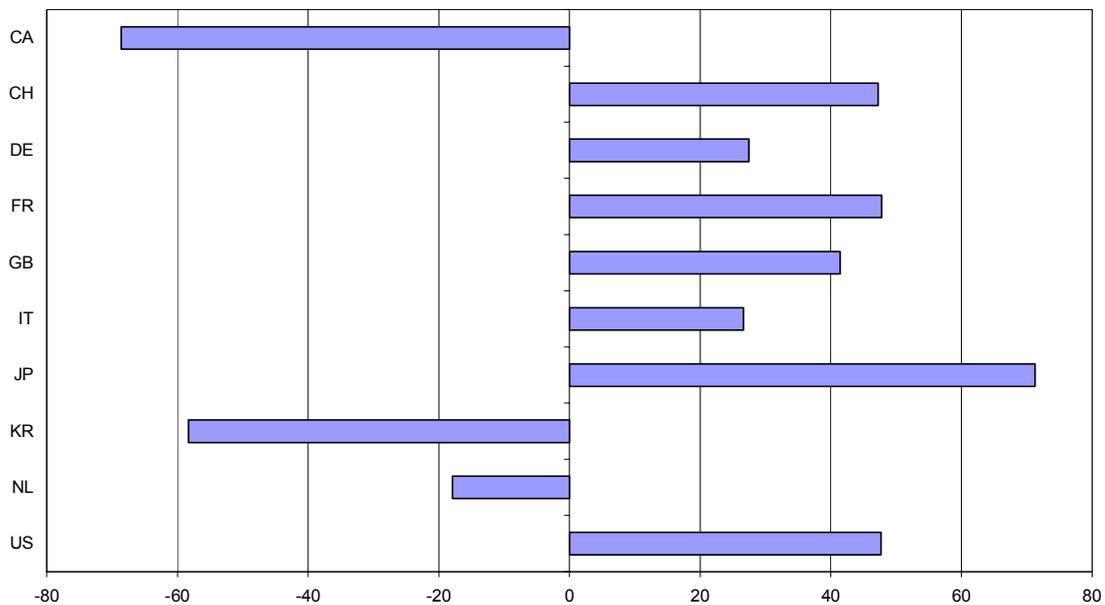
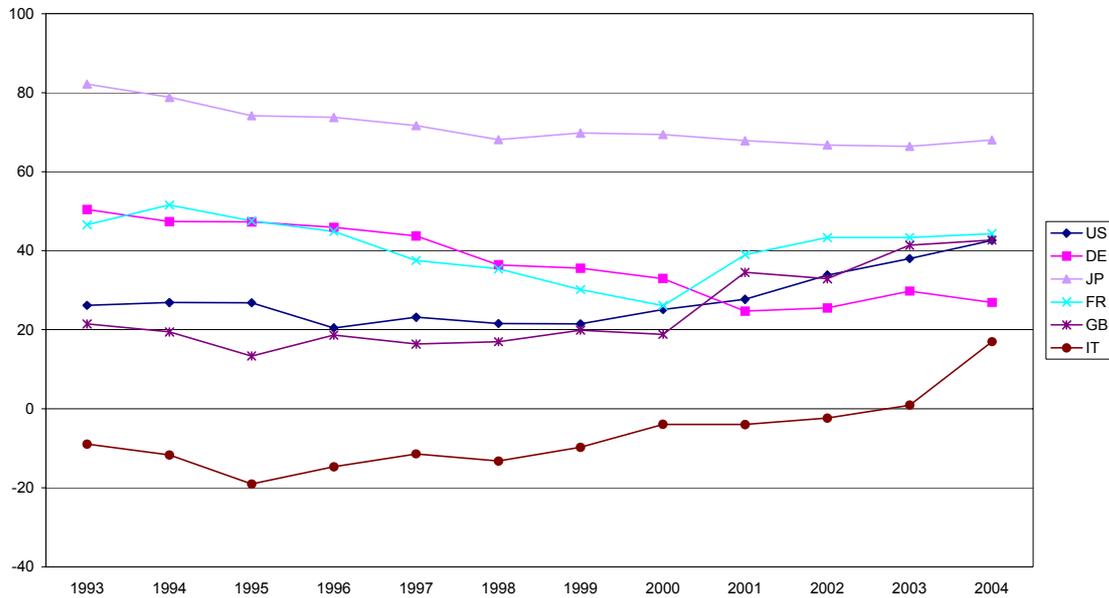


Abbildung 2-20: Zeitliche Veränderung der RCA-Werte der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Energieerzeugung



Alles in allem nimmt Deutschland aufgrund seines hohen absoluten Welthandelsanteils und seines positiven RCA-Wertes auch beim Außenhandel mit Energieerzeugungsprodukten einen Spitzenplatz ein. Die hohen Welthandelsanteile entwickelten sich positiv, während der Rückgang beim RCA durch Sonderfaktoren insbesondere bei den erneuerbaren Energien erklärt werden kann (siehe Abschnitt 2.3.3.2). Japan und nach wie vor die USA sind die stärksten Konkurrenten in diesem Bereich, aber auch China hat erstaunlich hohe Marktanteile im Bereich der Energieerzeugung. In Zukunft wird sich dieser Anteil sicher deutlich erhöhen.

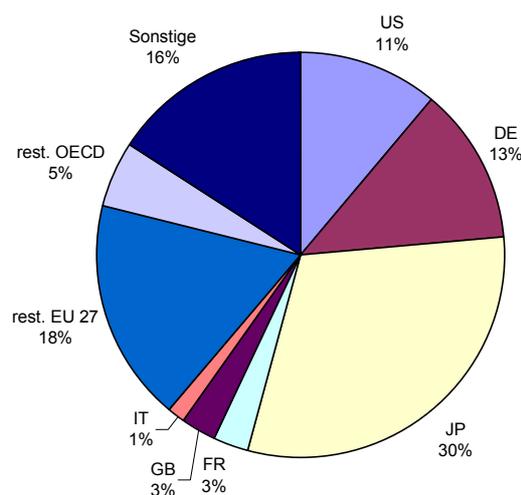
Die oben angeführten Zahlen weisen alle einen nationalen Fokus auf, d. h. sie beinhalten auch die Exporte innerhalb der EU. Betrachtet man hingegen die EU als einheitlichen Wirtschaftsraum, d. h. ohne die Exporte zwischen den EU-Mitgliedsländern, fällt der gesamte Welthandel rechnerisch geringer aus. Gleichzeitig fällt der Welthandelsanteil der EU geringer aus als die Summe der Welthandelsanteile der einzelnen EU-Mitgliedsländer bei einer rein nationalen Betrachtung, während die Welthandelsanteile der übrigen Länder einen höheren Wert einnehmen. Auf dieser Datenbasis beträgt der Welthandelsanteil der EU27 22,8 %. Mit Abstand folgen die USA (16 %), Japan (15 %) und China (12 %). Gleichzeitig nimmt der RCA der EU27 einen Wert von 44 ein. Im Handlungsfeld der Nachhaltigen Energieerzeugung hat sich die EU damit auf Exporte außerhalb Europas spezialisiert. Dies ist strategisch von besonderer Bedeutung, da gerade in diesen Märkten erhebliche Zuwachsraten zu erwarten sind.

### 2.3.2.2 Erneuerbare Energien

Beim Welthandel mit Technologien zur Erzeugung von erneuerbaren Energien (Abbildung 2-21) war Japan im Jahr 2004 unangefochten Spitze mit einem Welthandelsanteil von 30 %, in weitem Abstand gefolgt von Deutschland (13 %) und den USA (11 %). Die Länder der EU27 repräsentieren zusammen einen Anteil von 38 %, und lagen damit unterdurchschnittlich im Vergleich zum gesamten Feld der Energieerzeugung. Dänemark hat sich mit 6,6 % Welthandelsanteil einen bemerkenswerten vierten Platz erobert. China hat unter den sonstigen Ländern einen bemerkenswerten Welthandelsanteil von 4,2 % in diesem Bereich, ebenso wie Malaysia mit 4,8 %.

Ein Blick auf die einzelnen Technologielinien der Produktgruppe der Erneuerbaren (vgl. Abbildung-Anhang A.1-3) zeigt, dass Deutschland bei den meisten Erneuerbaren im Vergleich zu den anderen aufgeführten Ländern die höchsten Welthandelsanteile ausweist, insbesondere bei den Wasserturbinen (Welthandelsanteil 23 %) und bei der Windenergie (11 %). Bei der Windenergie ist vor allem Dänemark hervorzuheben, das im Jahr 2004 mit 80 % Welthandelsanteil weit vor Deutschland lag. Spanien belegte hier mit etwas mehr als 3 % Welthandelsanteil einen dritten Platz. Bei der Photovoltaik war der Anteil von Deutschland mit 9 % bescheiden gegenüber dem Japans (über 42 %) und dem der USA (knapp 13 %). Auch China lag mit nahezu 6 % Welthandelsanteil bei der Photovoltaik gut im Rennen. Bei den Solarkollektoren zeichnet sich auch Österreich durch hohe Welthandelsanteile aus (knapp 6 %).

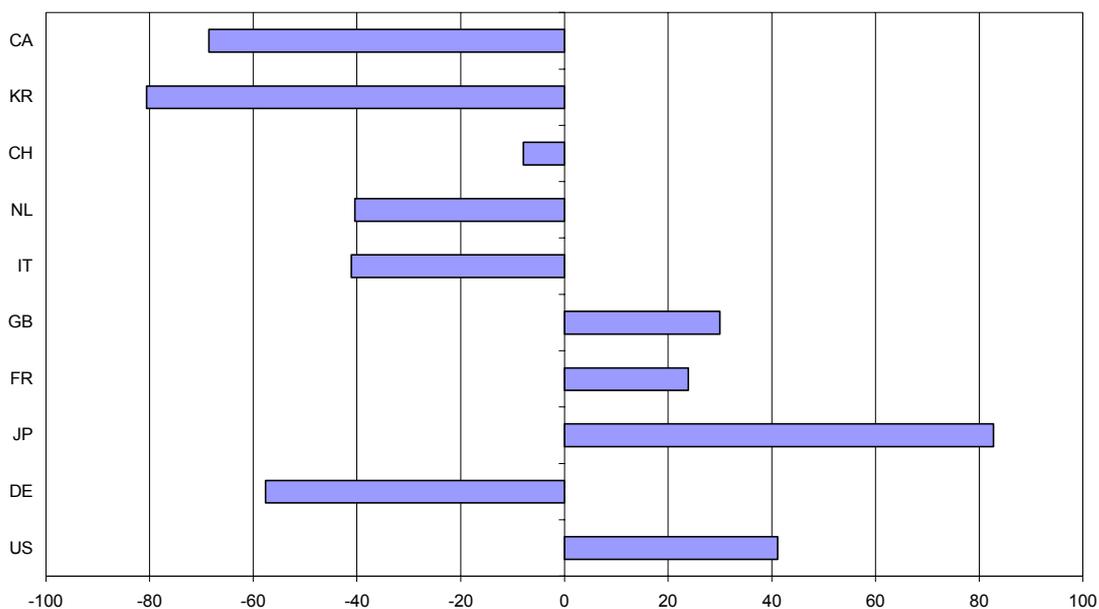
Abbildung 2-21: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe Erneuerbare Energien



Bei den RCA-Werten (Abbildung 2-22), die ja, wie weiter oben erwähnt, den Grad der Außenhandelspezialisierung in einem bestimmten Technologiefeld im Vergleich zu anderen Produktion darstellen, wies Deutschland bei der Produktgruppe Erneuerbare Energien deutlich negative Werte auf, während zum Beispiel insbesondere Japan, aber auch die USA eine positive Spezialisierung aufweisen, mithin also mehr Produkte aus dieser Gruppe exportieren als im Durchschnitt aller exportierten Produkte der jeweiligen Länder.

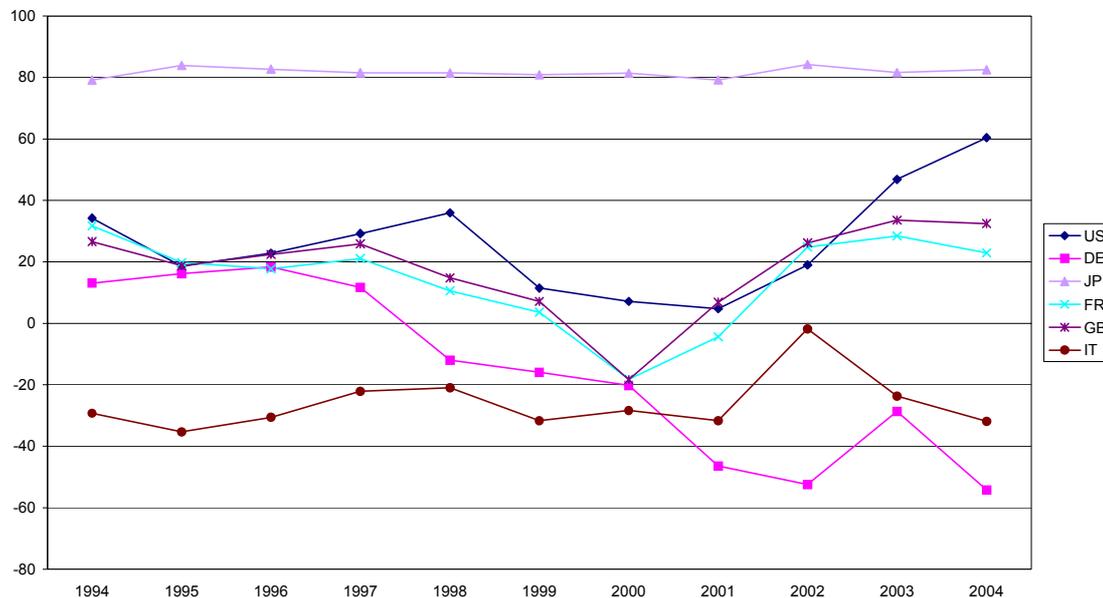
Ein Blick auf die einzelnen Technologielinien der Produktgruppe Erneuerbare Energien zeigt, dass Deutschland im Zeitraum 2000 bis 2004 für nahezu alle Technologielinien – mit Ausnahme der Wasserkraft – eine negative Spezialisierung aufweist. Japan hat eine besonders herausragend positive Spezialisierung für die Photovoltaik, gefolgt von den USA. Frankreich hat eine stark positive Spezialisierung bei den Anlagen zur solaren Wärmeerzeugung.

Abbildung 2-22: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für die Produktgruppe Erneuerbare Energien



Auch in der zeitlichen Entwicklung variierte der deutsche RCA (Abbildung 2-23) von leicht positiver Spezialisierung zu einer negativen Spezialisierung, während Japan über die ganze Periode hinweg einen stark positiven RCA von 80 behielt, mithin deutlich mehr Technologien in der Produktgruppe Erneuerbare Energien im Vergleich zum Mittel seiner Industrie exportierte. Bei anderen Ländern wie USA, Frankreich und Großbritannien kehrte sich ein Trend zu negativer Spezialisierung wieder um.

Abbildung 2-23: Zeitliche Veränderung der RCA-Werte der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe Erneuerbare Energien



Der negative deutsche RCA-Wert überrascht zunächst. Erst eine genauere Analyse verdeutlicht, was hinter diesen Zahlen steckt:

- Der massive Nachfrageschub bei regenerativen Energieträgern in Deutschland (vgl. Abbildung 2-24) hat bei den Produzenten zunächst seine Wirkungen beim Inlandsabsatz gezeigt. Bei hohen technologischen Vorsprüngen und bei hohen Skalenvorteilen wird der Produktions- und Exportschub erst zeitlich nachgelagert wirksam.
- Der Nachfragezuwachs fiel insbesondere bei der Windkraft und der Photovoltaik so stark aus, dass der Kapazitätsaufbau im Inland schwerlich Schritt halten konnte. Im Ergebnis ist ein nicht unerheblicher Teil der Nachfrage durch Importe gedeckt worden. Hier kam auch zum Tragen, dass die dänische Inlandsnachfrage für die auf dem Weltmarkt führenden dänischen Anbieter im gleichen Zeitraum an Dynamik verlor und diese ihre Absatzmöglichkeiten verstärkt im Ausland suchten<sup>8</sup>.
- Trotz der starken Konzentration auf den lukrativen Inlandsmarkt ist es deutschen Anbietern von Erneuerbare-Energien-Technologien gelungen, auch die Exporte überdurchschnittlich zu steigern.

Insgesamt lassen diese Argumente erkennen, dass es sich beim Absinken der deutschen RCA-Werte um einen temporären Aspekt handeln dürfte. Dieses Argument wird auch dadurch gestützt, dass der RWA-Wert, der nur die Ausfuhren aber nicht die Ein-

<sup>8</sup> Der Zubau an Windkraftleistung in Dänemark kam 2004 praktisch zum Erliegen (vgl. DENA, 2005).

führen berücksichtigt, für Deutschland im Jahr 2004 einen Wert von +10 ausweist und damit deutlich über dem RCA liegt. Während aufgrund der hohen Importe der RCA also negativ ist, weist Deutschland bei den Exporten eine positive Spezialisierung im Außenhandel auf.

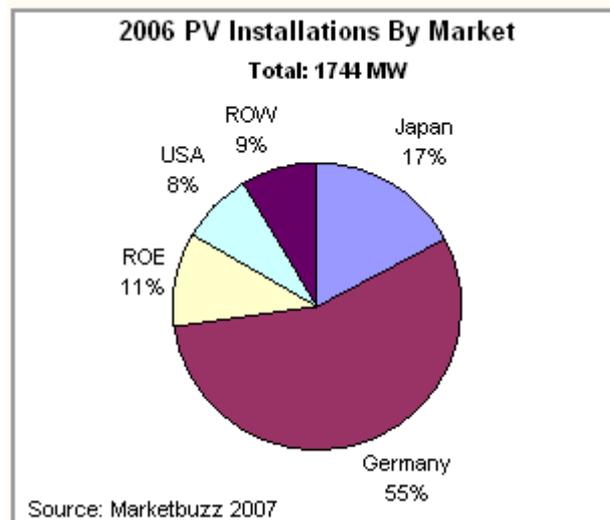
Um die deutsche Wettbewerbsposition bei den erneuerbaren Energien vertieft zu untersuchen, wurden speziell für Deutschland Nacherhebungen durchgeführt, um den Zeithorizont der Analyse – die bisher herangezogenen Zahlen beziehen sich auf den Zeitraum bis 2004 – zumindest punktuell weiter auszudehnen. Dabei zeigt sich, dass der RCA-Wert Deutschlands für die Produktgruppe Erneuerbare Energien weitgehend unverändert geblieben ist, während der RWA nochmals deutlich angestiegen ist und mit einem Wert von 33 eine beträchtliche Spezialisierung anzeigt. Die detaillierte Analyse für die beiden treibenden Technologielinien Windkraft und Solarzellen zeigt die Hintergründe dieser Entwicklung auf:

- Der RCA für Windkraft ist im Jahr 2005 erstmals deutlich positiv geworden und von einem stark negativen Wert (-90 in 2003 und 2004) auf einen positiven Wert (+25) im Jahr 2005 angestiegen. Da der Welthandelsanteil Deutschlands auf über 30 % hochschnellte, hat sich der RWA-Wert auf 81 erhöht. Damit bestehen in Deutschland seit 2005 bei der Windkraft klare Spezialisierungsvorteile im Außenhandel und eine extrem starke Exportspezialisierung. Die technologischen Stärken, die sich auch in der Patentspezialisierung zeigen, konnten damit nach der Abflachung des heimischen Booms im Außenhandel voll ausgespielt werden.
- Der RCA für Solarzellen verblieb mit -81 auch in 2005 in einem Bereich, der durch starke Einfuhren gekennzeichnet ist. Gleichzeitig ist der RWA aber leicht angestiegen, zeigt mit -10 aber noch immer eine leichte unterdurchschnittliche Exportspezialisierung an. Auch im Jahr 2005 war Japan klar der Marktführer bei PV.

Bei den Solarzellen kann der bei der Windkraft im Jahr 2005 eingetretene Umkehrtrend zwar noch nicht in den offiziellen Statistikwerten beobachtet werden. Allerdings gibt es aus Verbandsveröffentlichungen Hinweise, dass sich für das Jahr 2006 auch bei der Photovoltaik eine Wende abzeichnet (vgl. Marketbuzz 2007 sowie BSW 2007). Der deutsche Markt repräsentierte 2006 etwa 55 % des gesamten Weltmarktes bei der netzgebundenen PV. Im Jahr 2006 wuchs dieser Markt um 16 %. Der japanische heimische Markt hingegen betrug nur 17 % und wuchs kaum in 2006. Damit bedienen japanische Hersteller im Jahr 2006 nur noch ca. 39 % des Weltmarktes nach 46 % im Jahr davor. Im letzten Jahr haben sich nach Angaben des Bundesverbands Solarwirtschaft e.V. hingegen die Ausfuhren aus Deutschland deutlich nach oben verändert: Mitte 2007 stammte bereits jede vierte weltweit installierte Solarzelle aus deutscher Fertigung und 40 % der in Deutschland produzierten Solarzellen werden exportiert (BSW 2007). Andererseits setzen auch neue Konkurrenten wie China zum Sprung auf

die Solarindustrie an (siehe Kasten 2-1 und Abbildung 2-25). Dieser Herausforderung kann Deutschland nur durch eine weiterhin zügige Entwicklung des heimischen Marktes gekoppelt mit einer Fortführung der ökologischen Industriepolitik in diesem Feld erfolgreich begegnen.

Abbildung 2-24: Größe der nationalen Märkte für PV 2006



#### Kasten 2-1

Industry Overview Solar Panels: China is the second-biggest supplier of solar panels in Asia after Japan.

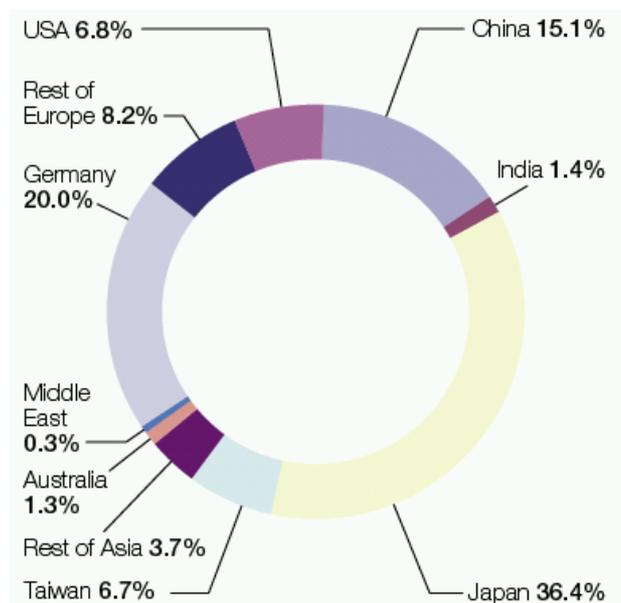
Production and exports in the line continue to grow at a rapid rate. According to the China Battery Industry Association, the country turned out 460MW of solar modules in 2006 for a 230 percent year-on-year increase. The EU remains the primary export destination of China-made solar panels, followed by Asia and North America. Demand comes mainly from Germany, Spain, Japan, Belgium and the US, which together absorb more than 60 percent of exports. Combined shipments to these countries exceeded US\$1.5 billion in 2006. Germany is China's single-biggest market for solar panels, accounting for nearly one-third of exports. The three-month period between October and December 2006, however, saw a slowdown in shipments with revenue dropping 40 percent from the previous quarter. This continued in early 2007 when export value fell nearly 6 percent. The decline coincided with Germany's crackdown on the domestic solar panels industry. The country required strict compliance with standards such as the UL and prohibited the importation of PV modules with an efficiency rating of less than 16 percent. In addition, the Renewable Energy Sources Act of July 2004, which helped spur China's solar panel exports to Germany, is currently under review. The regulation may be amended to reduce imports in line with efforts to encourage solar panel manufacture within Germany. Suppliers have already boosted production to take advantage of subsidies and other incentives.

Despite these difficulties, China makers will still be targeting the EU in coming months. PV technology continues to grow in popularity in other member countries, driven by various programs promoting renewable energy sources. Spain is one of the fastest-growing markets for China-made solar panels, with exports soaring more than 700 percent in 2006. Shipments in the seven months ending July 2007 have already replicated this impressive growth rate. Customs figures show that China exported US \$ 604 million worth of solar panels over the period, 772 percent higher than a year earlier. One explanation behind this tremendous growth is Royal Decree 436, which provides favorable feed-in tariffs for grid-connected PV systems. Demand is expected to increase further as a result of the Renewable Energy Plan in Spain for 2005-2010. The program aims to meet 12 percent of energy needs with renewable sources by 2010. Programs in other countries have also gained momentum in the past two years, helping to propel the growth of China's PV exports.

Japan, the third-biggest market for China-made solar panels, has been implementing programs that promote the use of renewable energy since the early 1990s. Compared with Germany, Spain and the US, however, exports to Japan are growing at a more conservative pace, averaging 40 percent in the past two years. Japan has traditionally been a difficult market to enter, primarily because it is the largest supplier of solar panels in the world. Quality issues and the country's preference for domestically produced PV modules from leading makers such as Sharp, Kyocera, Mitsubishi and Sanyo hamper imports. Despite this limitation, China's exports to this market in the same seven-month period surged 39 percent to reach US\$131 million.

Quelle: Global Sources 2007

Abbildung 2-25: Anteile an der Solarzellenproduktion 2006



Quelle: EPIA / Greenpeace / Photon International (2007)

Auch in anderen Bereichen der Erneuerbaren wird China zu einem wichtigen Faktor. Laut eines neuen Berichts des Worldwatch Institute, der am 14. November 2007 veröffentlicht wurde (Worldwatch Institute, 2007, siehe Kasten 2-2), werde die aufstrebende asiatische Supermacht die weltweit führenden europäischen, japanischen und nordamerikanischen Erzeuger von Solar- und Windenergie in den kommenden drei Jahren übertreffen.

#### Kasten 2-2

"Powering China's Development: The Role of Renewable Energy.

At current growth rates, the report says China will likely achieve - and probably even exceed - its target of obtaining 15% of its energy from renewables in 2020, up from 8% currently. By 2050, it could even reach 30%, according to the report, "Powering China's Development: The Role of Renewable Energy", published on 14 November 2007. "More than \$50 billion was invested in renewable energy worldwide in 2006, and China is expected to invest over \$10 billion in new renewables capacity in 2007, second only to Germany," the report points out. It says a combination of ambitious targets, strong government policies and the manufacturing performance of Chinese companies could enable China to quickly "leapfrog" competitors in industrialised countries. "A combination of policy leadership and entrepreneurial savvy is leading to spectacular growth in renewable energy, increasing its share of the market for electricity, heating, and transport fuels," said Eric Martinot, a Worldwatch senior fellow and co-author of the report. "China is poised to become a leader in renewables manufacturing, which will have global implications for the future of the technology." Chief among those is wind power, "the fastest-growing power generation technology in China," according to the report, which notes a doubling in installed capacity in 2006 alone. But China is also catching up fast in solar, where the country is already leading the hot water market with 40 million solar systems installed - nearly two thirds of global capacity. "More than 10% of Chinese households rely on the sun to heat their water," the report points out, saying the figure could rise to one third by 2020. In Europe, the next frontier in terms of wind power is offshore, with projects in the North Sea tipped to boost installed capacity and help resolve the intermittency issue with more stable wind conditions. But EWEA, the European Wind Energy Association, says more could be done on the policy side. "Certain issues need to be addressed, such as those related to grid extension, operation and reinforcement and to R&D in some fundamental areas," EWEA said, adding that "a European policy for offshore wind energy is needed."

Quelle: Worldwatch Institute (2007)

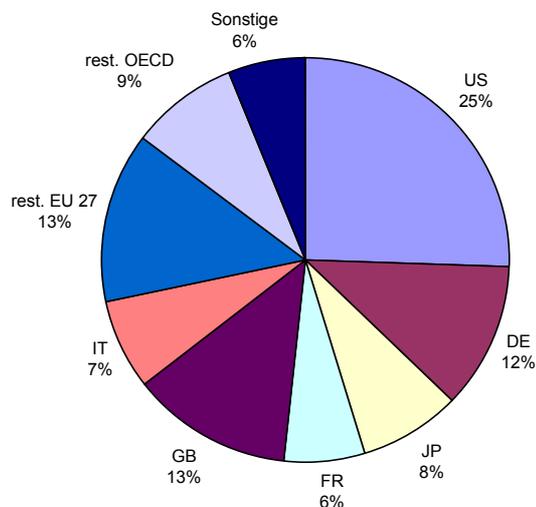
### 2.3.2.3 Effiziente und emissionsarme Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien

Beim Welthandel mit effizienten und emissionsarmen Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien hat die USA mit 25 % einen deutlich überdurchschnittlichen Anteil im Vergleich zum gesamten Handlungsfeld der Energieerzeugung, bei dem die USA nur 13 % Anteil aufweisen. Japan fällt dagegen mit nur 8 % weit hinter seinem Durchschnitt für das ganze Feld zurück. Deutschland liegt ebenfalls bei dieser Technologielinie etwas

unter dem Durchschnitt. Insbesondere Großbritannien, aber auch Frankreich und Italien haben hier überdurchschnittliche Welthandelsanteile. Mithin liegt die EU27 mit einem Welthandelsanteil von 51 % deutlich an der Spitze. Bei den übrigen Ländern zeichnet sich die Schweiz noch durch einen höheren Welthandelsanteil von 4,4 % aus, China liegt bei 2,2 % (Abbildung 2-26).

Ein Blick auf die einzelnen Technologielinien der Produktgruppe effizienter und emissionsarmer Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien zeigt, dass Deutschland bei den wichtigen Kohlekraftwerkstechnologien (inklusive CCS-Technologien), sowie bei den Gasturbinen Stärken im Export aufweist. Die USA halten vor allem bei den Gasturbinen mit über 30 % des Weltmarktes eine starke Stellung, während Japan mit 25 % Weltmarktanteil bei den Kohlekraftwerken herausragt. In Großbritannien sind KWK-Anlagen diejenige Technologie, für welche mit über 20 % der größte Welthandelsanteil ausgewiesen wird. Bei letzterer Technologie halten auch Länder wie Japan und Finnland substantielle Welthandelsanteile.

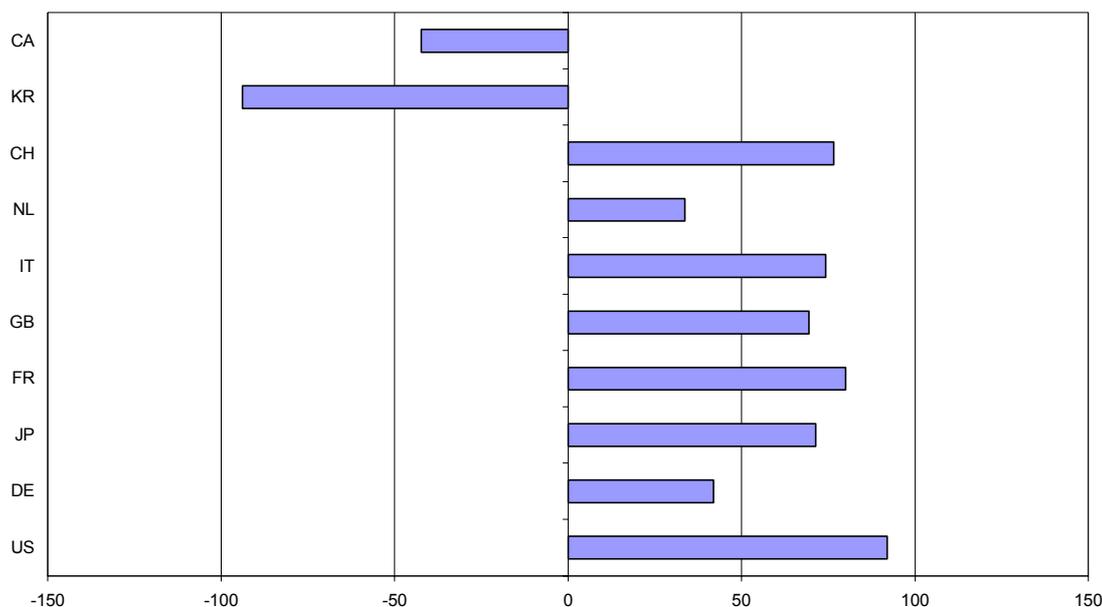
Abbildung 2-26: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe der effizienten und emissionsarmen Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien



Bei den RCA-Werten der wichtigsten Exportländer für die Produktgruppe effiziente und emissionsarme Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien (Abbildung 2-27) weist Deutschland eine deutlich positive Spezialisierung auf. Allerdings gilt dies noch mehr für andere wichtige Industrieländer, insbesondere die USA. Ein Blick auf die einzelnen Technologielinien zeigt, dass Deutschland vor allem bei den CCS-relevanten Technologien eine positive Marktspezialisierung aufweist, ebenso wie für die Kohlekraftwerke, mithin diese Technologien sich besser im Export behaupten als der Durchschnitt der deutschen Wirtschaft. Bei den für Kohlekraftwerke relevanten Technologien weisen

aber Länder wie Großbritannien, Frankreich oder Japan eine deutlich positivere Spezialisierung des Marktes auf.

Abbildung 2-27: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für die Produktgruppe Effiziente und emissionsarme Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien



#### 2.3.2.4 Wasserstoff und Dezentrale Energieerzeugung/neue Verteilungskonzepte (einschließlich Energiespeicher)

Bei den für eine Wasserstoffwirtschaft wichtigen Technologien hält Deutschland einen weit überdurchschnittlichen Welthandelsanteil von 25 % (Abbildung 2-28). Da auch der Anteil von Frankreich (18 %) und Italien (10 %) sehr hoch ist, entfallen auf Länder aus der EU27 ca. 62 % des Welthandelsanteils, allerdings inklusive des EU-internen Außenhandels. Der US-Anteil liegt nur bei ca. 9 %, der von Japan bei 15 %, etwas über dem Durchschnitt des gesamten Handlungsfeldes. Beim RCA (Abbildung 2-29) gibt es kaum Unterschiede zwischen den aufgeführten Ländern: alle, mit Ausnahme Koreas, weisen eine stark positive Spezialisierung bei den Technologien für die Wasserstoffwirtschaft aus.

Abbildung 2-28: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe der Wasserstofftechnologien

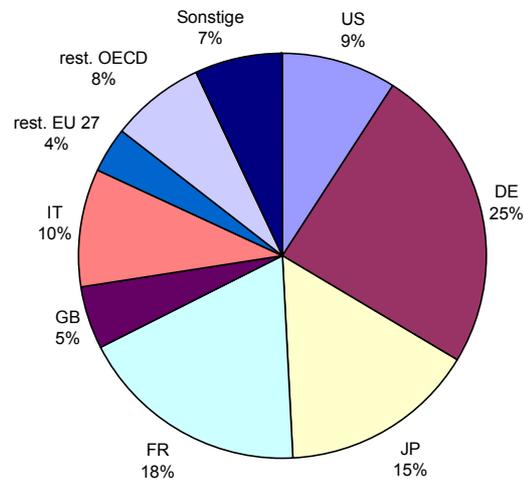
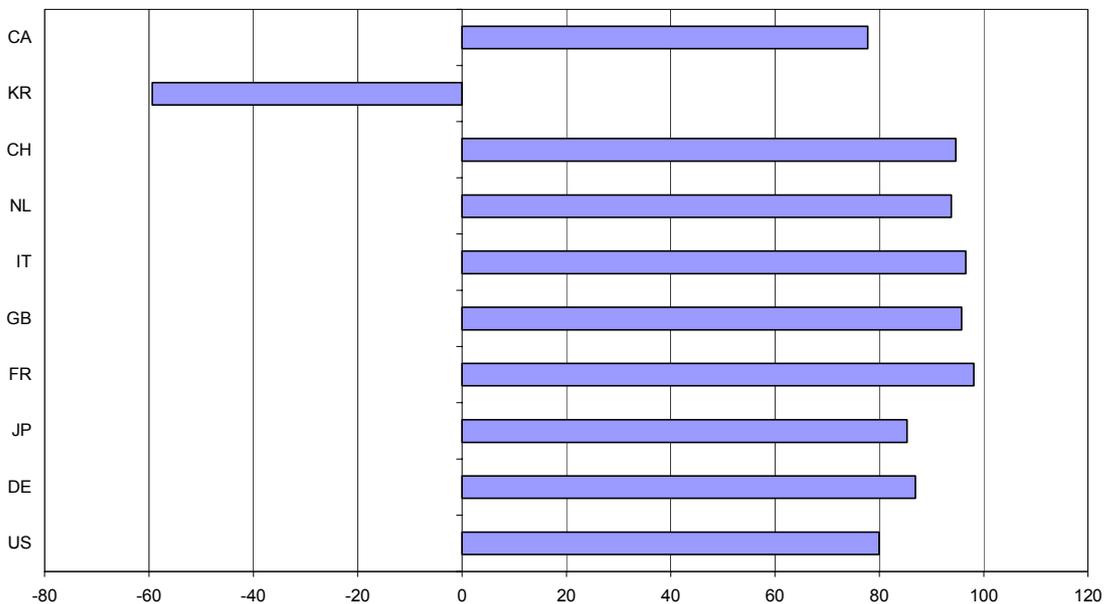


Abbildung 2-29: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für die Produktgruppe Wasserstoffwirtschaft



Bei der Produktgruppe dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte hält Deutschland einen im Vergleich zum gesamten Handlungsfeld Energieerzeugung leicht überdurchschnittlichen Welthandelsanteil von 16 % (Abbildung 2-30). Die Länder der EU27 kommen zusammen auf ca. 45 % Welthandelsanteil, allerdings inklusive EU-

internen Außenhandel. Die USA und Japan weisen leicht unterdurchschnittliche Welthandelsanteile auf. Bei den sonstigen Ländern fällt noch China mit einem relativ hohen Welthandelsanteil von über 10 % auf. Die disaggregierte Betrachtung der Welthandelsanteile auf der Ebene der Technologielinien Energiespeicherung und Dezentrale Energieerzeugung zeigt, dass Deutschland bei letzteren hohe Welthandelsanteile ausweist, während Japan bei den Speichern die höchsten Welthandelsanteile hält. Beim RCA (Abbildung 2-31) weist Deutschland im Bereich dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte eine vergleichsweise stark positive Spezialisierung auf und liegt hier nach Japan und Frankreich an dritter Stelle. Ein ähnliches Bild ergibt sich hier bei den Technologielinien, wo Deutschland bei der dezentralen Energieerzeugung nach Japan und Frankreich auf Platz drei liegt mit einer positiven Spezialisierung. Bei der Energiespeicherung weist Deutschland aber ein negatives Spezialisierungsmuster auf.

Abbildung 2-30: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte

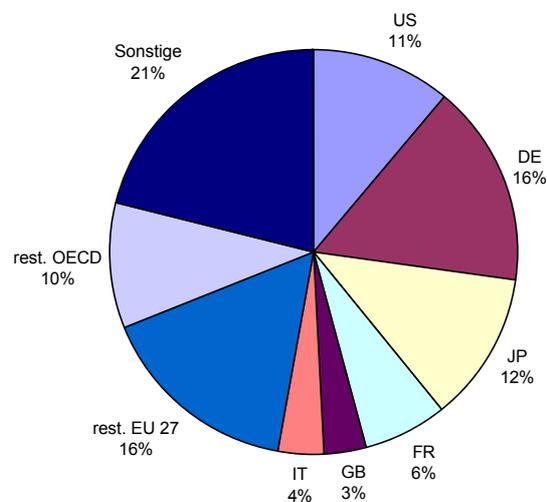
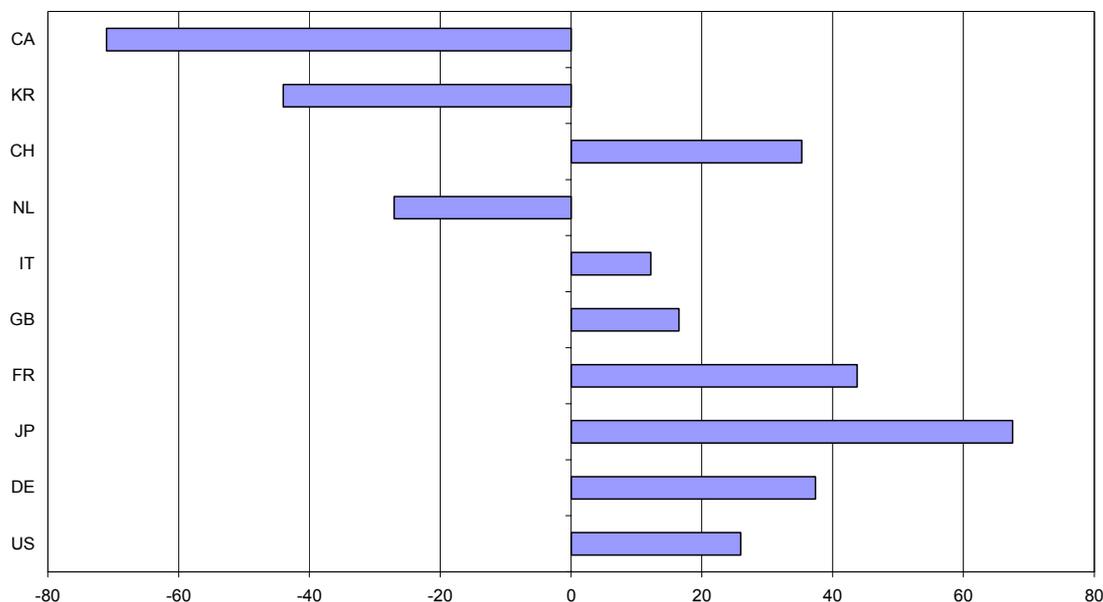


Abbildung 2-31: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für die Produktgruppe dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte



## 2.4 Schlussfolgerungen für die Perspektive 2020

Im Mittelpunkt der vorangegangenen Analyse stand die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie im Bereich der Energieerzeugung. In Tabelle 2-1 und Tabelle 2-2 sind die Ergebnisse zusammengefasst und um die Einschätzungen zum Marktpotenzial ergänzt. Die grafische Zusammenfassung der verschiedenen Vergleichsindikatoren für Patente und Außenhandel zeigt Abbildung 2-32

Es kann festgehalten werden, dass Deutschland – in Abhängigkeit der betrachteten Produktgruppe – eine mittlere bis sehr starke Stellung aufweist. Dies gilt sowohl für die Patente als auch den Außenhandel. Die schlechte Stellung von Deutschland in den Exportrelationen für die erneuerbaren Energien sind als temporäres Phänomen einzuschätzen, das durch die Dynamik des Marktwachstums in Deutschland (z. B. PV Markt 55 % des Weltmarktes in 2006) und damit zusammenhängende Sogwirkungen der Einfuhren bedingt ist. Die im Jahr 2005 zu beobachtende Trendwende im Bereich der Windenergie zeigt auf, wie die Kopplung von technologischer Marktführung und Etablierung eines heimischen Marktes mittelfristig auch zu Exporterfolgen führt.

Tabelle 2-1: Vergleich von Innovationsdynamik, Wettbewerbsfähigkeit und Marktpotenzial der verschiedenen Technologielinien im Handlungsfeld Energieerzeugung

Technologielinie	Patente		Außenhandel		Marktpotenzial
	relative Position	wichtigste Konkurrenten	relative Position	wichtigste Konkurrenten	
<b>Energieerzeugung gesamt</b>	hoch	JP, CH <sup>9</sup>	sehr gut	USA, JP, CH	hoch bis sehr hoch
Erneuerbare Energien	hoch	JP, (USA, CN)	gut (D größter Markt !)	JP, USA	sehr hoch
Effiziente und emissionsarme Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien	mittel	JP, F, CH	gut - sehr gut	USA, JP, CH, GB, F	hoch
Wasserstofftechnologien	mittel	JP, GB, (USA),	gut - sehr gut	USA, JP	hoch
Dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte	gering bis mittel	JP, FR	sehr gut	JP, FR	hoch bis sehr hoch

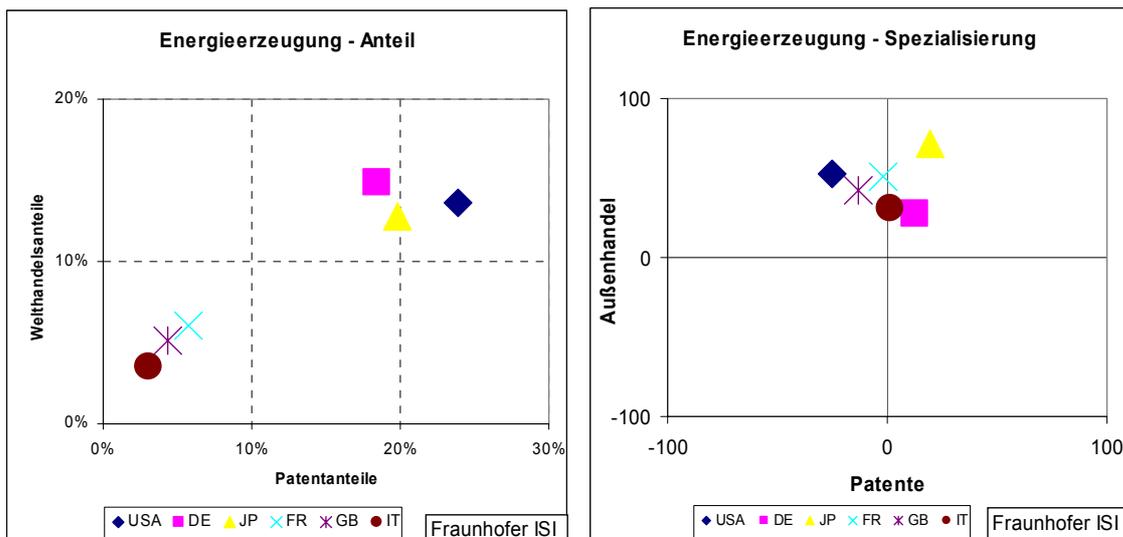
<sup>9</sup> Die gute Stellung der Schweiz ist vor allem auf die Produktgruppe Effiziente und emissionsarme Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien zurückzuführen, die in der Schweiz mit Unternehmen wie ABB bereits seit langem Tradition hat.

Tabelle 2-2: Spezialisierungsindikatoren der 10 patentstärksten Länder und Chinas

Handlungsfeld	Indikator	US	DE	JP	FR	GB	IT	NL	CH	KR	CA	CN
Energieerzeugung gesamt	RPA	-	+	+	0	-	0	0	+	-	+	-
	RCA	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-
Erneuerbare Energien	RPA	-	+	+	-	-	-	+	0	-	0	+
	RCA	+	-	+	+	+	-	-	0	-	-	-
Effiziente/emissionsarme Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien	RPA	-	0	+	+	-	+	-	+	-	0	-
	RCA	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
Wasserstofftechnologien	RPA	0	0	+	0	+	+	+	-	-	+	-
	RCA	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-
Dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte	RPA	+	-	+	+	+	-	-	0	-	-	-
	RCA	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-

„+“ = RPA / RCA > 10, „0“ = -10 < RPA / RCA < 10, „-“ = RPA / PCA < -10

Abbildung 2-32: Überblick über die Leistungsfähigkeit im Handlungsfeld Energieerzeugung



Für die einzelnen Produktgruppen des Handlungsfeldes Nachhaltige Energieerzeugung ergab die Analyse folgende Ergebnisse:

- **Erneuerbare Energien:** Diese bilden das Rückrat einer nachhaltigen Energieerzeugung. Deutschland liegt bei den Patentanmeldungen vor den USA und Japan an erster Stelle. Beim RPA schneidet Deutschland, neben Japan, bei den erneuerbaren Energien deutlich positiver als im Durchschnitt des gesamten Handlungsfeldes ab, zeigt also überdurchschnittlich innovatives Verhalten in dieser Produktgruppe. Deutschland ist damit gut in der Breite bei den Patenten der Produktgruppe Erneuerbare positioniert, aber noch nicht Spitze in allen einzelnen Technologielinien. Insbesondere bei der Technologielinie Photovoltaik liegt Deutschland hinter Japan, das bei dieser Technologielinie auf eine längerfristig konstante Politik der Förderung zurückblicken kann. Beim Welthandel mit Technologien zur Erzeugung von erneuerbaren Energien ist Japan unangefochten Spitze mit einem Welthandelsanteil von 30 %, in weitem Abstand gefolgt von Deutschland (13 %). Bei den RCA-Werten, die den Grad der Außenhandelspezialisierung in einem bestimmten Technologiefeld im Vergleich zu anderen Produktion darstellen, weist Deutschland negative Werte auf, während zum Beispiel insbesondere Japan, aber auch die USA eine positive Spezialisierung aufweisen, mithin also mehr Produkte aus der Gruppe der erneuerbaren Energien exportieren als im Durchschnitt aller exportierten Produkte der jeweiligen Länder. Dies kann durch temporäre Sonderfaktoren erklärt werden: Die Expansion des deutschen Marktes bei einzelnen Technologien wie Wind und PV war in dem betrachteten Zeitraum bis 2004 so groß, dass es zu einem Importsog gekommen ist. Bei den Windenergietechnologien hat sich dieser Indikator in den neuesten Zahlen für 2005 aber bereits stark zum Positiven verändert.
- **Effiziente und emissionsarme Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien:** Deutschland liegt an dritter Stelle der Patentanmeldungen, und damit leicht unter dem Mittel des gesamten Handlungsfeldes Energieerzeugung. Beim RPA liegt Deutschland bei den effizienten und emissionsarmen Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien nur bei einer leicht positiven Spezialisierung. Deutschland hat allerdings eine positive Spezialisierung bei den effizienten Kraftwerkskonzepten wie den GuD-Anlagen. Auch bei den Welthandelsanteilen liegt Deutschland nach den USA und Großbritannien auf dem dritten Platz. Bei den RCA-Werten für die Produktgruppe effiziente und emissionsarme Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien hat Deutschland eine deutlich positive Spezialisierung. Allerdings gilt dies noch mehr für andere wichtige Industrieländer. Deutschland weist vor allem bei den wichtigen kohlebasierten Energieerzeugungstechnologien (Kohlekraftwerke inklusive CCS-Technologien) sowie bei den Gasturbinen Stärken im Export auf.
- **Wasserstoff sowie dezentrale Erzeugungs- und neue Verteilungstechnologien:** Deutschland liegt bei den Wasserstofftechnologien auf dem dritten Platz der Patentanteile deutlich hinter den USA und hinter Japan. Beim RPA fiel Deutschland bei den Wasserstofftechnologien in den Jahren 2000 bis 2004 zurück, während der

RPA in den Jahren 1995 bis 1999 noch positiv war. Allerdings hat Deutschland in dieser Produktgruppe noch einen überdurchschnittlichen Welthandelsanteil und liegt an erster Stelle. Beim RCA gibt es kaum Unterschiede zwischen den wichtigen Ländern: sie weisen überwiegend eine stark positive Spezialisierung bei den Technologien für die Wasserstoffwirtschaft aus. Allerdings muss betont werden, dass die Außenhandelsindikatoren wegen des frühen Stadiums der Technologie noch auf relativ geringen Produktströmen beruhen. Bei den Patenten zu dezentraler Energieerzeugung und neuen Verteilungskonzepten liegt Deutschland ebenfalls auf dem dritten Platz hinter den USA und Japan, beim Außenhandel auf dem ersten Platz. Bei den RPA-Werten zeigt sich für Deutschland eine moderat positive Spezialisierung für diese Produktgruppe. Beim RCA weist Deutschland im Bereich dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte eine vergleichsweise stark positive Spezialisierung auf und liegt an dritter Stelle.

Zusammenfassend lassen sich aus der vorangegangenen Analyse für das Handlungsfeld Energieerzeugung die in Tabelle 2-3 dargestellten Stärken, Schwächen, Chancen und Herausforderungen in Deutschland ableiten.

Tabelle 2-3: Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Energieerzeugung

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gute Wissensbasis und technologisches Potenzial in wichtigen Technologiefeldern (z. B. Wind, PV, Kohle)</li> <li>• Erhebliche internationale Wettbewerbserfolge der Technologiehersteller; hohe Weltmarktanteile heimischer Unternehmen als gute Ausgangsposition für weiteres Umsatzwachstum in einer Reihe von Technologielinien</li> <li>• Innovation und Diffusion durch Energie- und Klimapolitik getrieben, sowie durch Fragen der Versorgungssicherheit</li> <li>• Hohe „Sichtbarkeit“ der Rolle der Erneuerbaren in der Öffentlichkeit</li> <li>• Stark organisierte Unternehmen im Bereich der erneuerbaren Energien und der Kraftwerkstechnologien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stark expandierender Weltmarkt</li> <li>• Reinvestitionsbedarf im Kraftwerksbereich, der erlaubt, erneuerbare Energien und CO<sub>2</sub>-arme fossile Kraftwerke verstärkt einzusetzen</li> <li>• Diskussion über neue Politikinstrumente (Emissionshandel, Grüne Zertifikate, EU Richtlinie für erneuerbare Energien, Einspeisegesetze, KWK-Richtlinie) für Generierung von Nachfrage und Ausrichtung auf effiziente Technologieinnovationen nutzen</li> <li>• Preissteigerungen bei energetischen Rohstoffen nutzen, um Innovationen voranzutreiben</li> </ul>
Schwächen	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Noch zu geringe Größe der Märkte für Erneuerbare (insbesondere PV und eingeschränkt noch bei Wind – bei letzterer haben sich die Verhältnisse in den letzten beiden Jahren deutlich verändert) in anderen Ländern im Vergleich zu Deutschland. Daher noch zu geringe Exportmöglichkeiten</li> <li>• Kostenniveau einzelner Technologien noch zu hoch</li> <li>• Fehlender gesellschaftlicher Konsens bei CO<sub>2</sub>-armen Technologien zur Nutzung von Kohle und Gas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Politikentwicklungen wie die EU Richtlinie für erneuerbare Energien noch stärker zu nutzen, um Technologielinien weiter zu stärken</li> <li>• Konkurrenz durch technologiestarke Entwicklungsländer frühzeitig zu berücksichtigen (PV in China)</li> <li>• Erfolgreiche Anreizpolitiken (z. B. für Erneuerbare) in andere Länder „exportieren“, um größere Märkte für die Produkte zu schaffen</li> <li>• Systematischere Einbindung „neuer Technologiefelder“ wie Nano/Biotechnologien in die Entwicklung von Energieerzeugungstechnologien</li> </ul>

In der Perspektive 2020 ergeben sich aus dieser Situation folgende für die Politik zentralen Schlussfolgerungen:

- Es muss eine Stärkung der Nachfrage nach dezentralen Erzeugungstechnologien und eine Schaffung breiterer Märkte in anderen Ländern, insbesondere in Europa erfolgen. Dann kann Deutschland von der starken Stellung bei einzelnen Technologielinien wie der Windenergie oder Solarthermie auch wirklich profitieren. Dies bedeutet insbesondere auch, die Chancen der anstehenden Umsetzung der europäischen Ziele für erneuerbare Energien (20% für 2020) zu nutzen, um die Nachfrage nach den genannten Technologien in Europa zu stärken.

- Um die Nachfrage nach dezentralen Erzeugungstechnologien zu stärken, müssen erfolgreiche Politikinnovationen, welche in der Vergangenheit in Deutschland zum Erfolg der Entwicklung von Erneuerbaren Energien und dezentralen Erzeugungstechnologien beigetragen haben (z. B. feste Einspeisetarife für erneuerbare Energien unter dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz) in andere Länder Europas und weltweit übertragen werden. In vielen Ländern wurden in den letzten Jahren in der Tat feste Einspeisetarife eingeführt. Gerade bei der europäischen Kommission gibt es aber auch gegenläufige Tendenzen mit dem Argument, dass feste Einspeisetarife nicht zu einem liberalisierten Markt passen und daher Quotensysteme das bessere Förderinstrument seien. In keinem Land hat dieses Instrument aber bisher zu einem substantiellen Ausbau der erneuerbaren Energien geführt. Deutschland muss daher, um seine starke Stellung im Export der Erneuerbaren weiter ausbauen zu können, klare Position in Brüssel zur Unterstützung der festen Einspeisetarife beziehen.
- Weiterhin sollte Deutschland mögliche neue Mechanismen der internationalen Technologiekooperation zum Klimaschutz, die in Weiterentwicklung des Kyotoabkommens diskutiert werden, nutzen, um die Verbreitung der sauberen Erzeugungstechnologien zu stärken. Auch hier bieten sich Chancen des „Politikexports“ zur Stärkung der Exportposition deutscher Unternehmen.
- Eine weitere Empfehlung zur Fortsetzung und Steigerung der Exporterfolge bei den einzelnen Technologielinien ist eine weitere Stärkung der Organisiertheit der Unternehmen im Bereich der erneuerbaren Energien. Diese sind zwar im Vergleich zur Energieeffizienz bereits deutlich besser organisiert. Nichtsdestotrotz müssen auch hier weitere Fortschritte erzielt werden, damit der Ausbau der erneuerbaren Energiewirtschaft weiter geregelt erfolgen kann.

## 3 Zukunftsmarkt Energieeffizienz

### 3.1 Abgrenzung und Technologiebeschreibung

Nachhaltige Energieerzeugung und die Reduzierung der Energienachfrage bilden die beiden zentralen Elemente eines nachhaltigen Energiesystems. Die Technologielinien im Bereich Energieeffizienz betreffen vor allem die Sektoren Haushalte, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD) und Industrie. Energieeffizienz im Transportsektor wird – zusammen mit anderen Technologielinien wie Biotreibstoffen – im Handlungsfeld „Nachhaltige Mobilität“ untersucht. Diese drei Sektoren decken in den meisten Ländern ca. 70 % der Endenergienachfrage ab. Gebäude, einschließlich ihrer Infrastruktur und den in den Gebäuden genutzten Elektrogeräten haben hierbei den größten Anteil am Endenergiebedarf mit rund 40 %.

Die wichtigsten Produktgruppen im Handlungsfeld Energieeffizienz unterscheiden sich nach den Energieanwendungszwecken:

- In der Produktgruppe **Energieeffiziente Gebäudetechnik**<sup>10</sup> werden zum einen energieeffiziente Gebäudekomponenten erfasst wie Wärmeisolation, Isolierglas, kontrollierte Lüftung und Klimatisierung, energieeffiziente konventionelle Heizsysteme und Wärmepumpen. Schwieriger sind Systemaspekte in Gebäuden wie Niedrigenergie/Passivhausbauweise abzubilden. Dennoch wurden auch hier ansatzweise Gruppen bei den Patenten definiert. Weiterhin wurde auch die Gebäudeautomation als wichtiger Systemaspekt für energieeffiziente Gebäude aufgenommen. Diese ist vor allem für komplexere Gebäude im GHD-Sektor relevant.
- Bei den **Stromanwendungen im Gebäudebereich** sind energieeffiziente Beleuchtung und energieeffiziente Elektrogeräte Schlüsselbereiche einer Reduktion der Stromnachfrage.
- **Energieeffiziente Verfahren und Prozesse in der Industrie** betreffen einzelne Branchen wie die Eisen-/Stahlproduktion, Papierproduktion etc.
- **Energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien** beinhalten Technologien, welche weitgehend unabhängig von einer bestimmten Branche eingesetzt werden: Wärmetauschanlagen, energieeffiziente Elektromotoren, Pumpen, Ventilatoren etc. Auch energieeffiziente Industrieöfen und Trockner wurden in diese Katego-

---

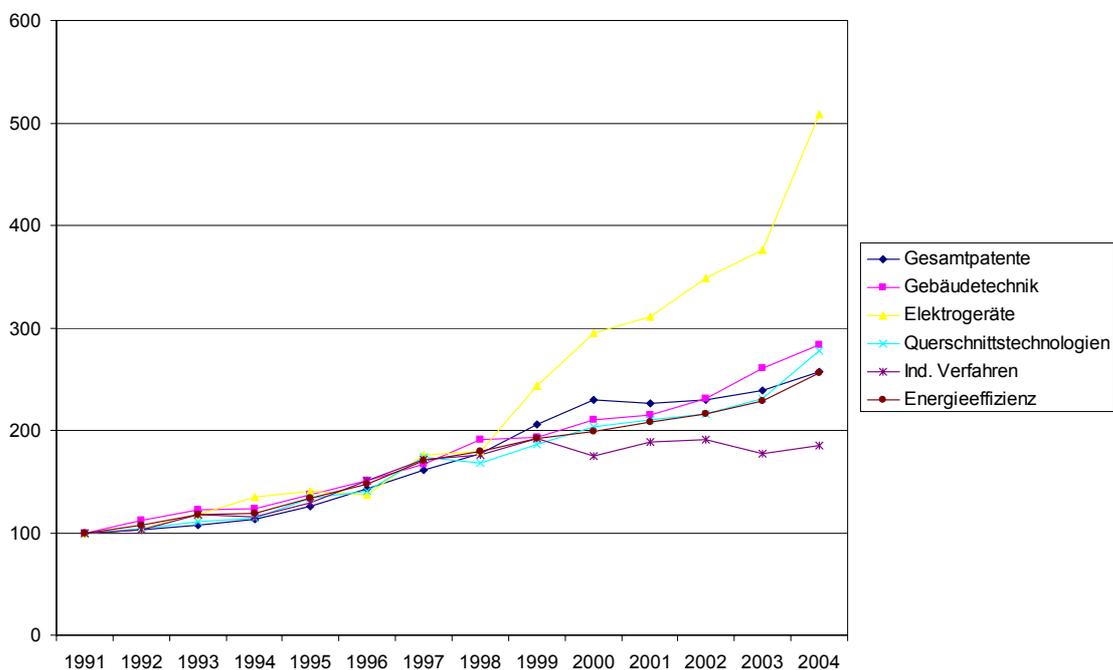
<sup>10</sup> Die Diffusion der effizienten Technologien gerade im Gebäudebereich wird in Zukunft verstärkt auch organisatorische Innovationen (z. B. integrierte energetische Gebäudesanierung – als Dienstleistung, Contracting) erfordern. Dies ist in der EU-Richtlinie zur Energieeffizienz und zu Energiedienstleistungen angelegt, der zufolge ein größerer Markt für Dienstleistungen in Europa in den nächsten zehn Jahren entstehen soll. Die Dynamik in diesem Bereich kann als hoch eingeschätzt werden, ist aber aufgrund des nicht-technischen Charakters nicht mit Indikatoren zu hinterlegen.

gorie eingereicht, obwohl diese beiden Technologien in der Regel eine branchenspezifische Ausprägung haben.

### 3.2 Innovationsdynamik und Marktpotenzial

Im Zeitraum 1991 bis 2004 zeigt sich, dass die Innovationsdynamik des Handlungsfeldes Energieeffizienz gemessen an den absoluten Patentanmeldungen etwa im Einklang mit der Gesamtentwicklung der Patente steht. Einem Wachstum aller Anmeldungen auf knapp 260 % steht in etwa ein gleiches Wachstum bei der Energieeffizienz in 2004 im Vergleich zu 1991 gegenüber, wobei das Handlungsfeld in den letzten fünf Jahren des Betrachtungszeitraums leicht unter der Gesamtentwicklung lag. Eine überdurchschnittliche Patentdynamik ist in den letzten Jahren bei den Elektrogeräten zu beobachten. Demgegenüber ist bei den industriellen Querschnittstechnologien seit Anfang des Jahrhunderts kein weiteres Wachstum der Patentzahlen eingetreten.

Abbildung 3-1: Innovationsdynamik der jährlichen Patentanmeldungen im Handlungsfeld Energieeffizienz im Vergleich zu allen Anmeldungen (1991= 100)



Eine Einschätzung des Marktpotenzials im Handlungsfeld Energieeffizienz und seiner zukünftigen Entwicklung bis 2020 zeigt bereits Abbildung 2-2 in Kapitel 2. Die Energie-

effizienz nimmt im Vergleich zu anderen Handlungsfeldern in ihrer Bedeutung und erwarteten Entwicklung des Marktpotenzials (von 450 Millionen auf etwa 900 Millionen Euro im Jahr 2020) einen Spitzenplatz ein. Innerhalb des Handlungsfeldes kommt energieeffizienten elektrischen Technologien die größte Bedeutung zu. Hinsichtlich der Akteursgruppen entfallen auf die Industrie in etwa 40 % des Marktes, während der Gebäudebereich einschließlich nicht-industrieller elektrischer Technologien ca. 60 % Marktanteil repräsentiert (vgl. DIW/ISI/Berger 2007 sowie Berger 2007).

### **3.3 Internationale Analyse der technologischen Leistungsfähigkeit**

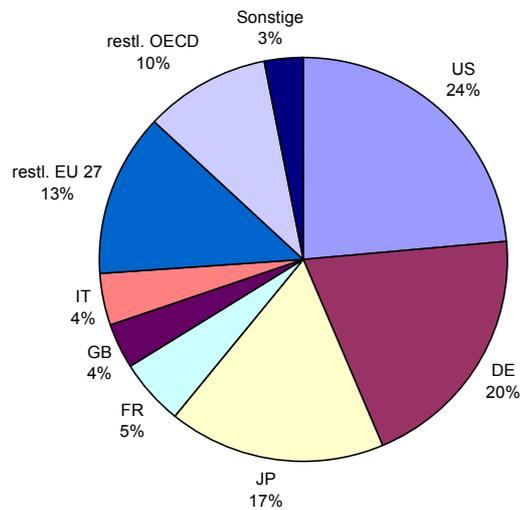
#### **3.3.1 Patentanalyse**

In diesem Abschnitt der Untersuchung steht die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands im internationalen Vergleich im Vordergrund. Innovativität und technische Leistungsfähigkeit von Unternehmen werden unter anderem durch vergleichende Methoden wie Patentanteile und RPA-Werte beschrieben. In einem weiteren Schritt wird die Wettbewerbsfähigkeit mit Hilfe von Außenhandelsindikatoren analysiert.

##### **3.3.1.1 Überblick Handlungsfeld**

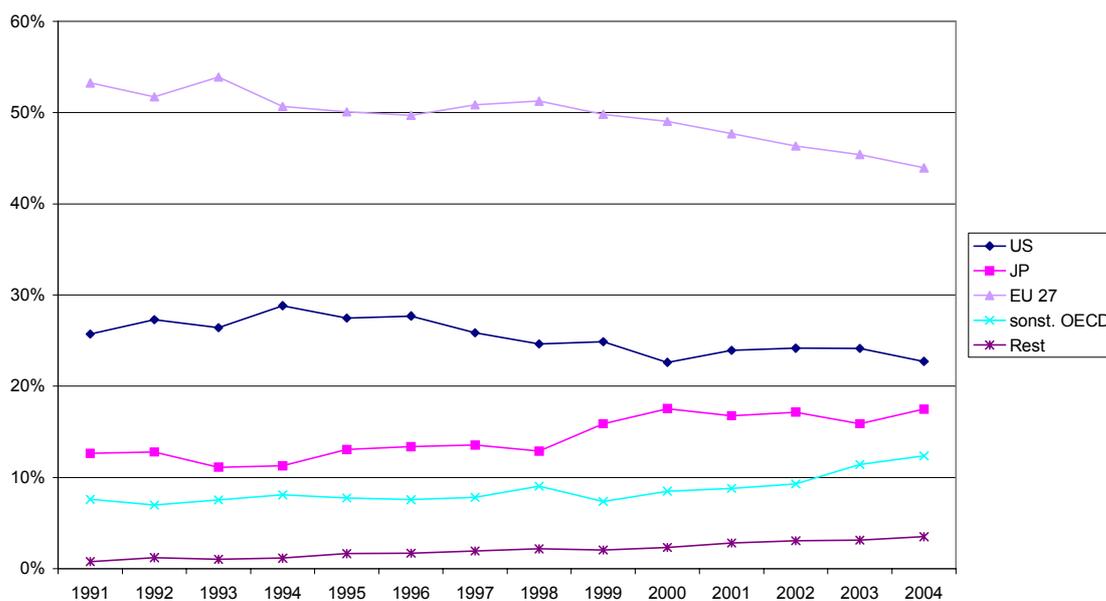
Abbildung 3-2 zufolge teilen sich drei Länder 61 % der Patente im Handlungsfeld Energieeffizienz: die USA liegt mit 24 % an der Spitze, gefolgt von Deutschland mit 20 % und Japan mit 17 % aller Patentanmeldungen. Mit deutlichem Abstand folgen Frankreich (5 %), Großbritannien und Italien (jeweils 4 %). Darüber hinaus kommen alle verbleibenden EU27-Staaten zusammen nur auf 13 % und alle dann noch verbleibenden OECD-Staaten auf 10 % aller in dem Bereich angemeldeten Patente. Die EU27 hält daher mit 46 % knapp die Hälfte aller Patente in diesem Handlungsfeld.

Abbildung 3-2: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente im Handlungsfeld Energieeffizienz 2000 bis 2004



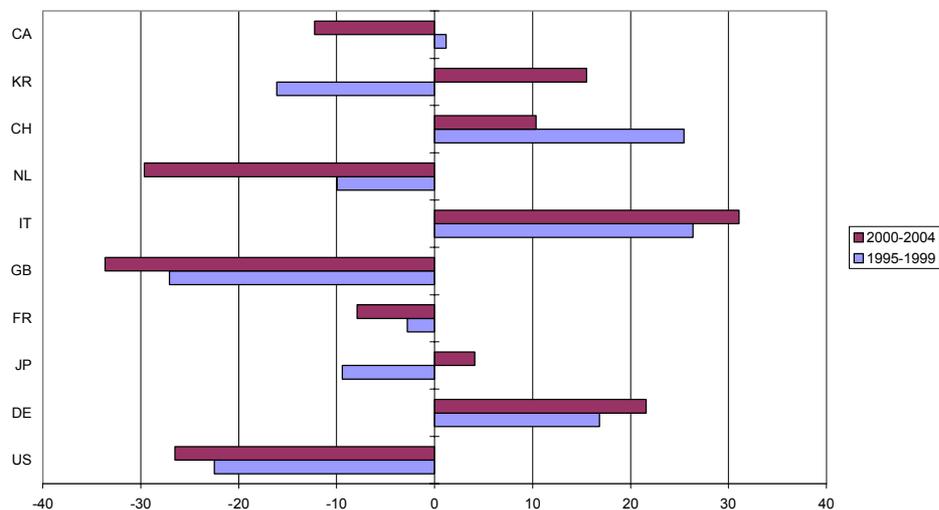
In der zeitlichen Entwicklung der Patentzahlen (Abbildung 3-3) zeigte sich ein Rückgang der Anteile der beiden Spitzenreiter EU27 und USA im Handlungsfeld Energieeffizienz seit 1991, während die Anteile Japans und der sonstigen OECD-Staaten stiegen. Auch im Rest der Welt nahmen die Anteile zu, allerdings noch auf niedrigem Niveau. Der deutsche Anteil ging – mit Fluktuationen – leicht auf etwas unter 20 % zurück. Für den Rückgang in der EU verantwortlich sind vor allem die Entwicklungen in Frankreich und in Großbritannien.

Abbildung 3-3: Zeitliche Veränderung der Patentanmeldungen wichtiger Länder bzw. Ländergruppen im Handlungsfeld Energieeffizienz 1991 bis 2004



Der RPA (Abbildung 3-4) vergleicht den Anteil der Patente in einem Handlungsfeld mit dem Patentanteil aller innerhalb eines Landes angemeldeten Patente. Die meisten der gezeigten Länder weisen negative RPA-Werte auf, d. h. eine unterdurchschnittliche Spezialisierung in diesem Gebiet – ein Trend, der sich in Ländern wie USA, Niederlande, Frankreich und Großbritannien seit 2000 noch verstärkt hat. In Deutschland, der Schweiz und Italien ist der RPA deutlich positiv. In Korea und abgeschwächt in Japan ergeben sich zumindest seit 2000 positive RPAs. Bei den Trends ist aber jeweils das absolute Niveau der Patentanteile (Abbildung 3-2) mit zu berücksichtigen.

Abbildung 3-4: RPA-Werte verschiedener Länder im Handlungsfeld Energieeffizienz



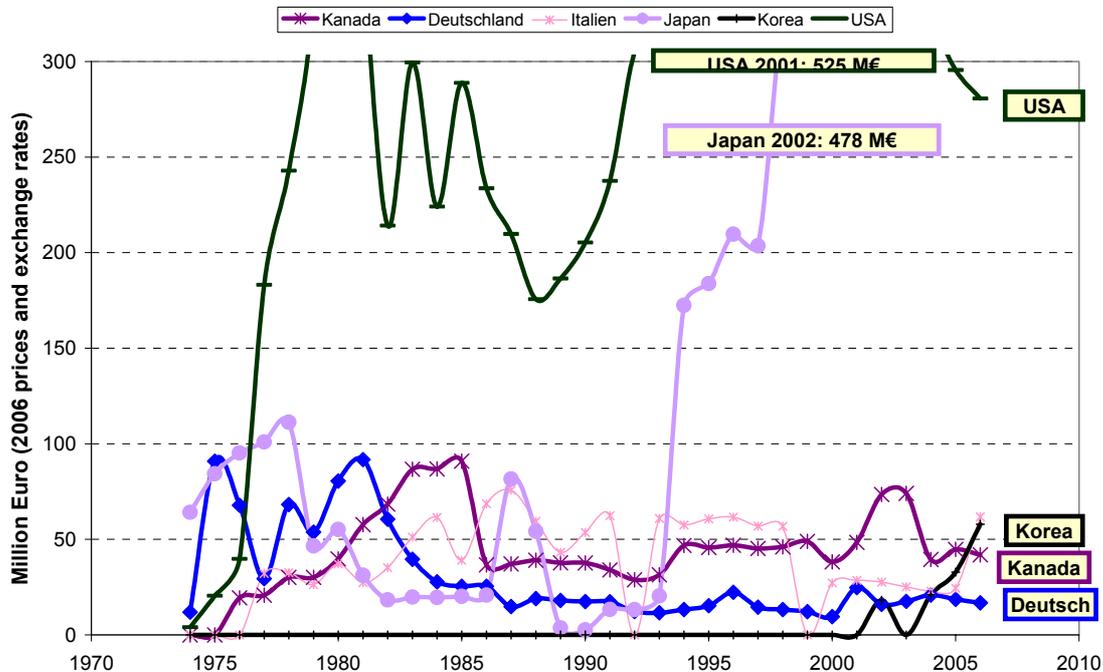
Alles in allem nimmt Deutschland aufgrund seines hohen absoluten Patentanteils und seines positiven RPA-Wertes einen Spitzenplatz ein. Die Patentanteile blieben bei Deutschland auf hohem Niveau leicht rückläufig. Italien weist ebenfalls eine positive Spezialisierung im Handlungsfeld Energieeffizienz auf; allerdings sind die Patentanteile fünfmal geringer als in Deutschland. In Japan nehmen die Patentanteile zwar zu; jedoch war die Spezialisierung des Landes lange Zeit negativ ausgeprägt.

Auch für die Energieeffizienz ist der Vergleich mit den öffentlichen F&E Aufwendungen interessant (IEA, 2007). Diese sind in Abbildung 3-5 in Euro<sub>2006</sub><sup>11</sup> für einige wichtige Länder im zeitlichen Verlauf von 1974 bis 2006 dargestellt. Die öffentlichen F&E Ausgaben für Energieeffizienz stellen allerdings nur einen Teil der gesamten F&E Ausga-

<sup>11</sup> Die Benutzung von Wechselkursen zur Umrechnung auf Euro bringt wegen der Wechselkursschwankungen, speziell zwischen Dollar und Euro, eine gewisse Verzerrung mit sich.

ben dar. Auch private Akteure führen F&E in diesem Bereich durch. Außerdem ist F&E für Energieeffizienz auch in anderen Forschungsbereichen (z. B. für neue Materialien) enthalten.

Abbildung 3-5: Öffentliche F&E Aufwendungen für Energieeffizienz in IEA Ländern



Quelle: IEA (2007)

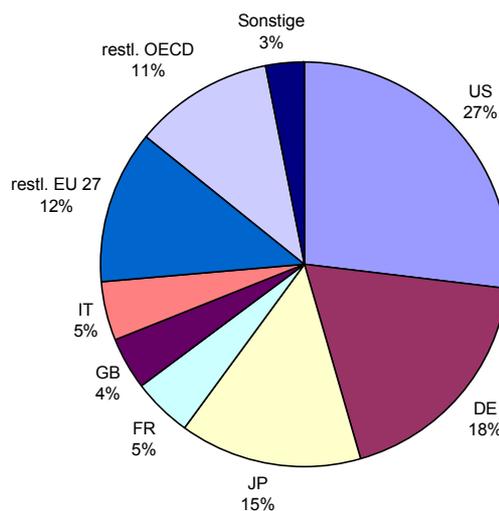
Auch bei der Energieeffizienz ebte wie bei den Erneuerbaren nach der großen Welle in der ersten Hälfte der achtziger Jahre (USA in der Spitze ca. 500 Millionen Euro jährlich), die Förderung in vielen Ländern stark ab, um dann erst wieder zwischen 1995 und 2000 verstärkt einzusetzen. Allerdings fiel ab der ersten Hälfte der 1990er Jahre die weitere Entwicklung unterschiedlich aus: während eine Reihe von Ländern, darunter insbesondere USA, Japan, und Korea die öffentlichen Budgets für F&E bei der Energieeffizienz wieder in die Höhe fuhren, stiegen die Ausgaben Deutschlands nur wenig an. Sogar kleinere Länder wie Finnland, Schweden, die Schweiz oder Kanada weisen teilweise ähnliche oder höhere F&E Budgets wie Deutschland aus. Dies könnte daraufhin deuten, dass die Rolle der F&E-Förderung aus öffentlicher Hand in diesem Handlungsfeld vergleichsweise gering war, und dass hier, im Vergleich zu Wettbewerbern, Nachholbedarf besteht.

Im Folgenden wird untersucht, in welchen Produktgruppen des Handlungsfeldes Energieeffizienz Deutschland im internationalen Bereich besondere Technikkompetenzen aufweist.

### 3.3.1.2 Energieeffiziente Gebäudetechnik

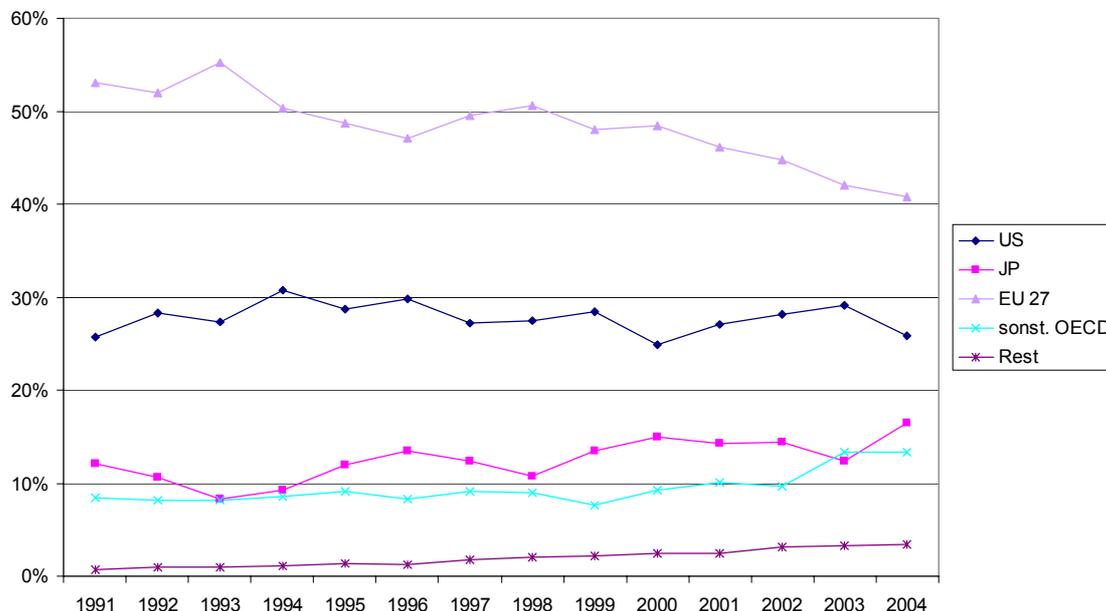
Energieeffiziente Gebäude weisen die größten Einsparpotenziale zur Bekämpfung des Treibhauseffektes auf und zwar sowohl in kalten als auch in sehr warmen und feuchten Klimazonen. Einen wichtigen Indikator für das technische Potenzial Deutschlands in diesem Bereich im internationalen Vergleich geben die in Abbildung 3-6 dargestellten Anteile verschiedener relevanter Länder an der Gesamtpatentzahl wieder. Deutschland ist mit 18 % der Patentanmeldungen etwas schlechter positioniert als im gesamten Handlungsfeld Energieeffizienz und liegt damit deutlich hinter den USA (27 %), die hier überdurchschnittlich abschneiden. Japan schneidet ebenfalls etwas unterdurchschnittlich ab (15 %). Auch die EU27 schneiden bei der Produktgruppe Energieeffiziente Gebäudetechnik leicht unter dem Durchschnitt ab.

Abbildung 3-6: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente bei der Produktgruppe Energieeffiziente Gebäudetechnik



Im zeitlichen Verlauf (Abbildung 3-7) zeigt sich allerdings, dass die EU27 als Ganzes seit 1999 stärker an Boden verlieren, während die USA ihren Anteil weitgehend behaupten konnte. Japan, die übrige OECD und der Rest der Welt haben dagegen stärker zugelegt. Auch in Deutschland gingen in den letzten Jahren die Patentanteile nicht unbedeutend auf unter 17 % zurück. Großbritannien und Frankreich weisen wie im gesamten Handlungsfeld auch bei der energieeffizienten Gebäudetechnik die stärksten Rückgänge aus.

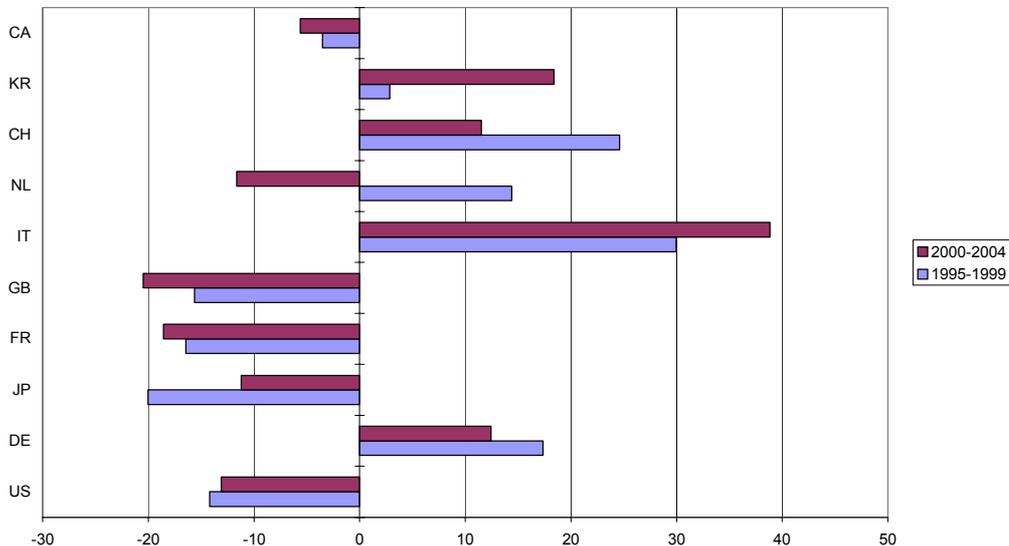
Abbildung 3-7: Zeitliche Veränderung der Patentanmeldungen wichtiger Länder bzw. Ländergruppen bei der Produktgruppe Energieeffiziente Gebäudetechnik 1991 bis 2004



Beim RPA (Abbildung 3-8) schneidet Deutschland bei der energieeffizienten Gebäudetechnik zwar immer noch positiv ab, aber schlechter als im Durchschnitt des gesamten Handlungsfeldes. Länder, die bei der energieeffizienten Gebäudetechnik überdurchschnittlich gut im Vergleich zum gesamten Handlungsfeld abschneiden sind Italien, die Schweiz (mit abnehmender Tendenz nach 2000) und zunehmend Korea, allerdings auf niedrigem Niveau. Alle übrigen Länder weisen deutlich unterdurchschnittliche Spezialisierung bei den Patenten der Produktgruppe Energieeffiziente Gebäudetechnik aus.

Betrachtet man die Patentanteile der einzelnen Technologielinien der Produktgruppe Energieeffiziente Gebäudetechnik differenzierter, zeigen sich hohe Patentanteile der USA vor allem bei Isolierglas und Gebäudeautomatisierung. Deutschland hat hohe Patentanteile bei den energieeffizienten Heizungssystemen, ebenfalls bei der Gebäudeautomatisierung und bei den systemaren Aspekten der energieeffizienten Gebäudetechnik, Japan bei der Raumklimatisierung, den Wärmepumpen und bei Isolierglas. Die Gebäudeautomatisierung trägt auch in Ländern wie Italien, Frankreich und Großbritannien überdurchschnittlich zum Patentaufkommen bei. In Italien sind Patente im Bereich der Heizungssysteme besonders relevant.

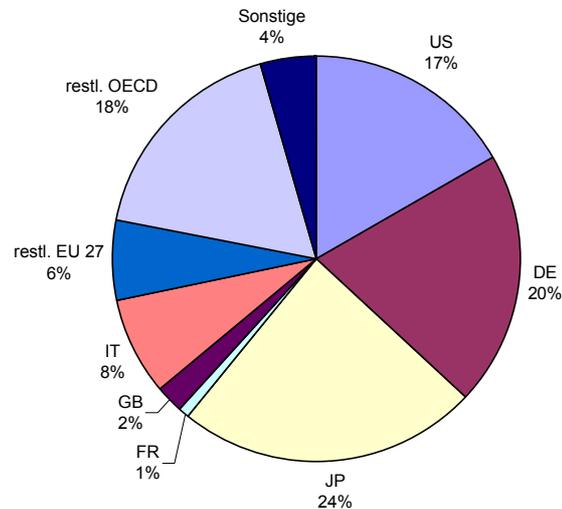
Abbildung 3-8: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die Produktgruppe Energieeffiziente Gebäudetechnik



### 3.3.1.3 Energieeffiziente Elektrogeräte

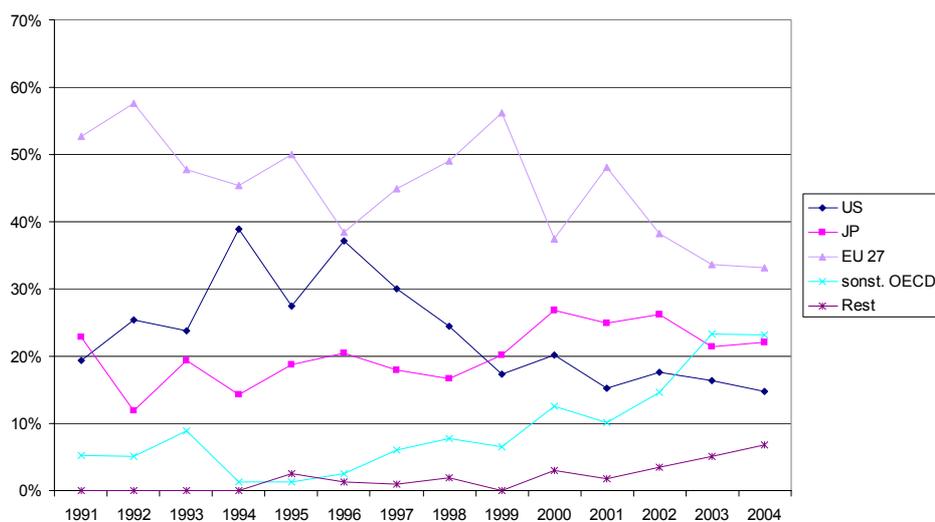
Elektrogeräte tragen zwar zum Endenergieeinsatz weniger bei als die Gebäudeheizung und Klimatisierung, da aber Strom als Energieträger eingesetzt wird, ist der Primärenergiebedarf und damit die potenziellen CO<sub>2</sub>-Einsparungen, je nach Strommix deutlich höher. Deutschland liegt hier mit 20 % der Patentanmeldungen im Mittel des gesamten Handlungsfeldes Energieeffizienz, wird aber von Japan deutlich überrundet (24 %), während die USA (17 %) hinter Deutschland liegen (Abbildung 3-9). Die EU27 schneiden bei der Produktgruppe der Energieeffizienten Elektrogeräte mit 37 % deutlich unterdurchschnittlich im Vergleich zum gesamten Handlungsfeld ab. Die restlichen OECD Länder liegen mit 18 % in der Periode 2000 bis 2004 über dem Durchschnitt; dies ist vor allem auf Korea zurückzuführen, dessen Patentanteil zuletzt 20 % erreichte (2004).

Abbildung 3-9: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente bei der Produktgruppe der Energieeffizienten Elektrogeräte



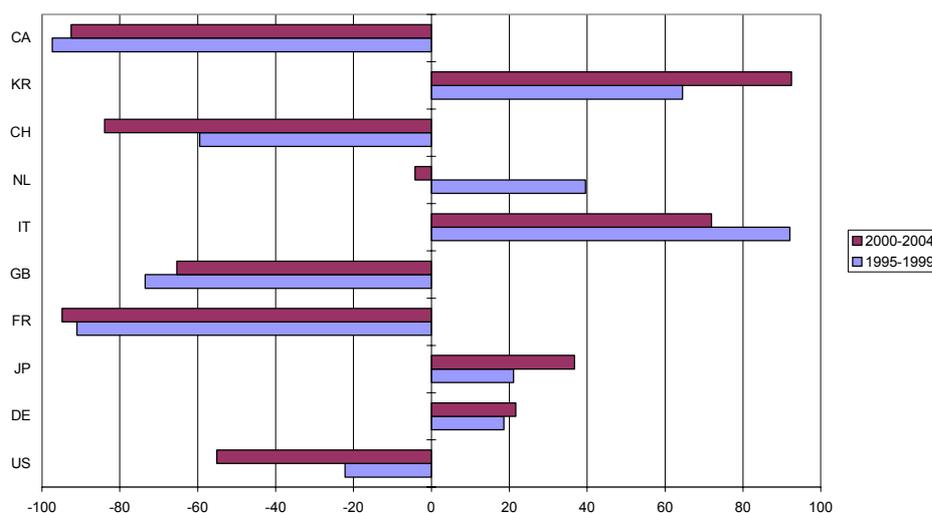
Im zeitlichen Verlauf (Abbildung 3-10) verlieren sowohl die EU27 als auch die USA Patentanteile, während Japan den Anteil noch leicht steigern konnte. Vor allem Korea legte jedoch sehr stark zu und erhöhte damit den Anteil der übrigen OECD-Länder. Bei den restlichen Ländern zeichnet sich vor allem China durch zunehmende Patentanteile bei dieser Produktgruppe aus.

Abbildung 3-10: Zeitliche Veränderung der Patentanmeldungen wichtiger Länder bzw. Ländergruppen bei der Produktgruppe der Energieeffizienten Elektrogeräte 1991 bis 2004



Beim RPA (Abbildung 3-11) hat Deutschland bei den energieeffizienten Elektrogeräten eine positive Spezialisierung mit Werten ähnlich wie für das gesamte Handlungsfeld Energieeffizienz. Korea, Italien und Japan wiesen hier jedoch deutlich größere RPA-Werte auf, während alle anderen Länder negative RPA-Werte zeigen.

Abbildung 3-11: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die Produktgruppe Energieeffiziente Elektrogeräte



Differenziert man die Patentanteile nach den Technologielinien Energieeffiziente Beleuchtung und Energieeffiziente Haushaltsgeräte, so zeigt sich, dass bei ersterer vor allem Japan, die USA und Deutschland hohe Patentanteile halten, während bei letzterer Deutschland, Korea und Italien führend sind. China weist zunehmend bei der Beleuchtung höhere Patentanteile auf.

### 3.3.1.4 Energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien

Industrielle Querschnittstechnologien wie Pumpen, Ventilatoren, Druckluftsysteme und andere Elektromotoren werden überwiegend mit Strom betrieben und wirken sich daher beim Primärenergieverbrauch und den CO<sub>2</sub>-Emissionen, je nach Strommix, stärker aus als brennstoffverbrauchende Aggregate. Einige Querschnittstechnologien wie Dampferzeuger, Trockner, Industrieöfen setzen Brennstoffe ein, vor allem Erdgas. Deutschland steht mit 24 % der Patentanmeldungen deutlich an der Spitze gefolgt von den USA (21 %) und Japan (20 %). Damit liegt Deutschland bei dieser Produktgruppe über dem Durchschnitt des gesamten Handlungsfeldes Energieeffizienz (Abbildung 3-12). Die EU27 schneidet aber trotz der starken Stellung Deutschlands nur im Durchschnitt des gesamten Handlungsfeldes ab. Frankreich hat zwar noch überdurchschnittliche Patentanteile bei dieser Produktgruppe; die übrigen EU-Länder fallen deutlich ab.

Die restlichen OECD Länder und die restlichen Länder der Welt halten derzeit eher kleinere Anteile an den Patenten.

Abbildung 3-12: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente in der Produktgruppe der Energieeffizienten industriellen Querschnittstechnologien

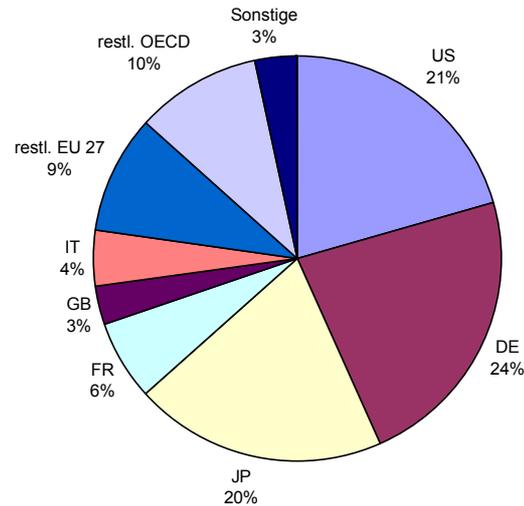
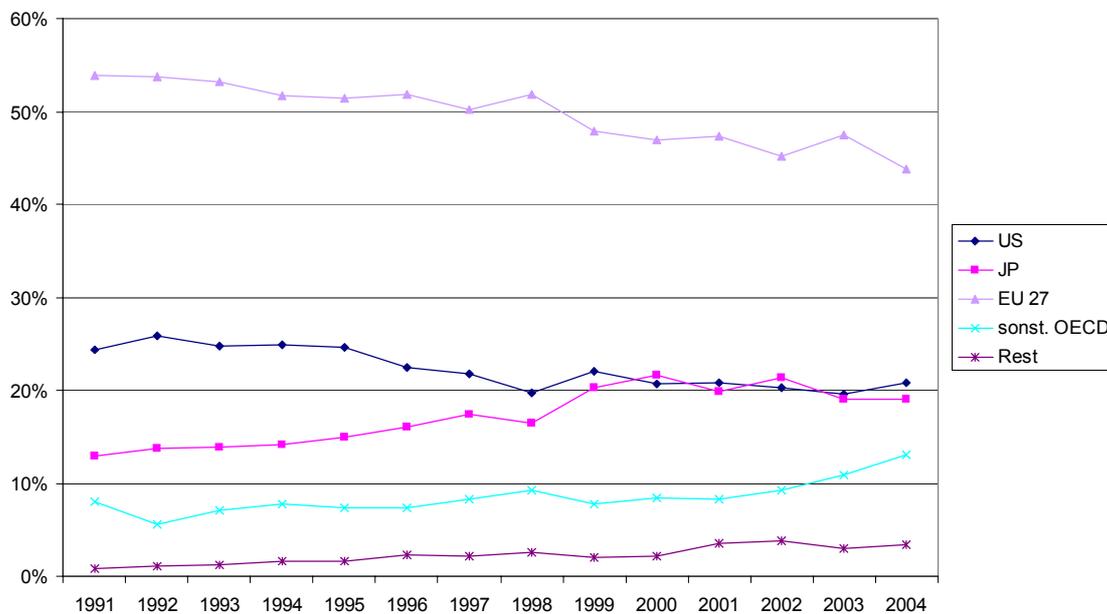


Abbildung 3-13: Zeitliche Veränderung der Patentanmeldungen wichtiger Länder bzw. Ländergruppen bei der Produktgruppe der Energieeffizienten industriellen Querschnittstechnologien 1991 bis 2004

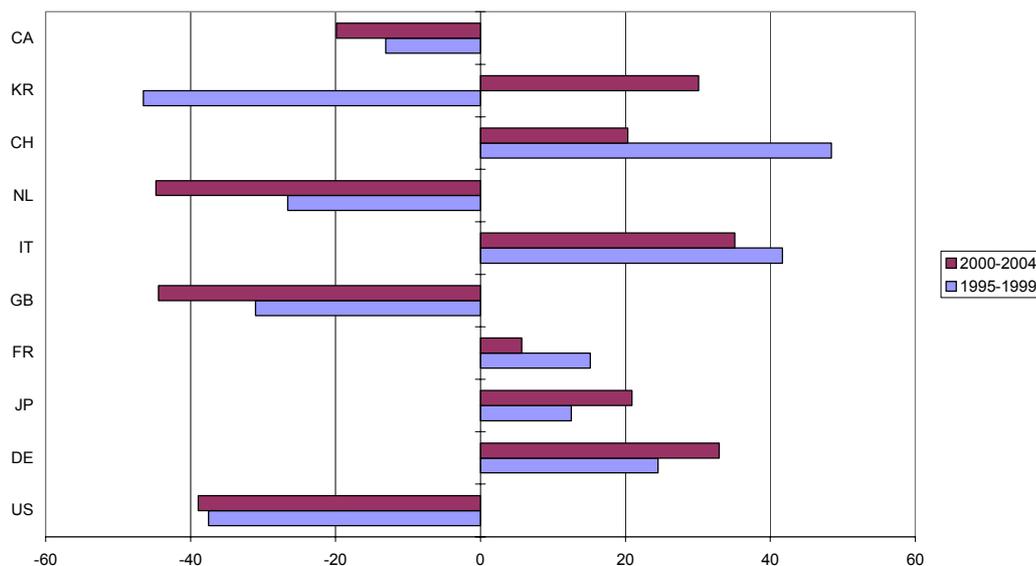


Im zeitlichen Verlauf (Abbildung 3-13) verlieren auch hier sowohl die EU27 als auch die USA Patentanteile, während Japan zumindest bis 1999 den Anteil noch steigern kann-

te. Bei Deutschland ist der Rückgang jedoch begrenzter als in den anderen Ländern. Bei energieeffizienten industriellen Querschnittstechnologien legte vor allem Korea stark zu und erhöhte damit den Anteil der übrigen OECD-Länder. Bei dieser Gruppe spielt noch die Schweiz eine gewisse Rolle; ihr Anteil ist aber rückläufig. Auch sonstige OECD Länder wie die Türkei haben zunehmende Anteile auf niedrigem Niveau. Bei den restlichen Ländern zeichnet sich noch China durch zunehmende Patentanteile bei dieser Produktgruppe aus, allerdings ebenfalls noch auf sehr niedrigem Niveau.

Beim RPA (Abbildung 3-14) hat Deutschland bei den industriellen Querschnittstechnologien im Vergleich zum gesamten Handlungsfeld eine stärker positive Spezialisierung. Positive Werte weisen auch die Schweiz (rückläufig) und Korea (zunehmend), sowie Italien, Frankreich und Japan auf. Bei den übrigen Ländern, insbesondere USA und Großbritannien sind die RPA-Werte negativ.

Abbildung 3-14: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien

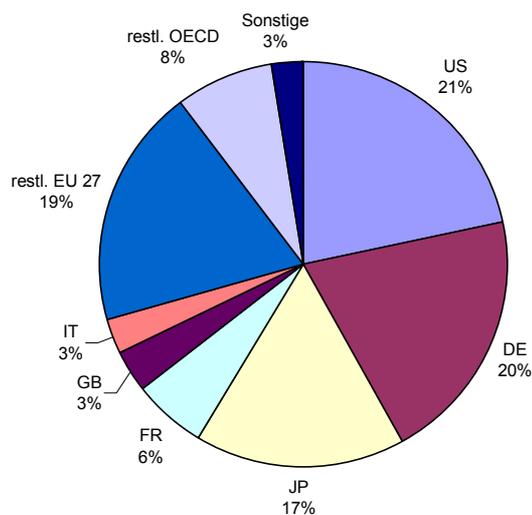


Bei den Patentanteilen nach Technologielinien der Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien (Abbildung-Anhang A.2-3) zeigt sich die Spitzenstellung Deutschlands bei den Elektromotoren (zusammen mit Japan) und bei den Dampferzeugern. Deutschland hält gleichmäßig bei allen Querschnittstechnologien eine herausragende Stellung mit Ausnahme der Kühlung, wo die USA, Japan und Italien gut positioniert sind.

### 3.3.1.5 Energieeffiziente industrielle Verfahren und Prozesse

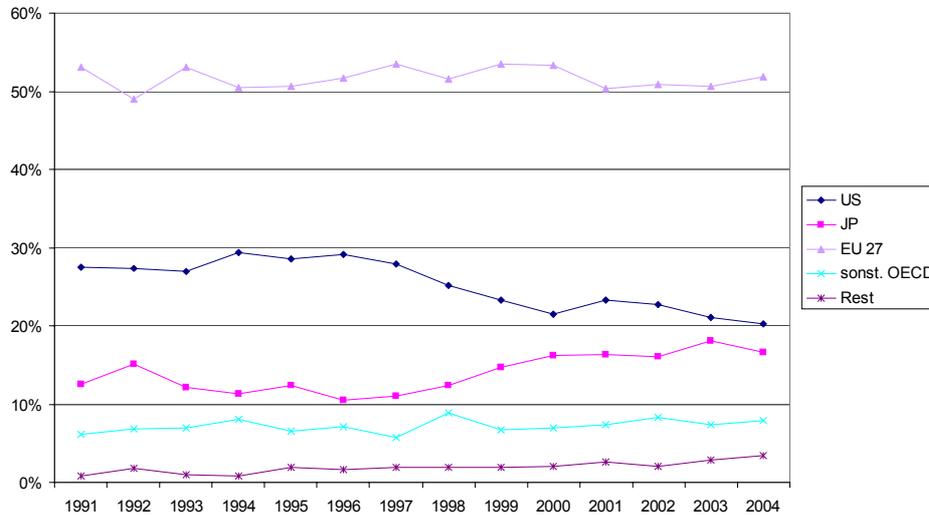
Industrielle Verfahren und Prozesse sind eine relativ heterogene Gruppe von Technologien, die verschiedene Industriebranchen wie Eisen/Stahl oder Papierindustrie umfasst. Deutschland liegt hier mit 20 % der Patentanmeldungen dicht hinter den USA (21 %) und vor Japan (17 %). Damit folgt Deutschland bei dieser Produktgruppe dem Durchschnitt des gesamten Handlungsfeldes Energieeffizienz (Abbildung 3-15). Die EU27 schneidet bei dieser Technologielinie mit 51 % der Patentanteile überdurchschnittlich gut ab. Dies liegt vor allem an der starken Stellung kleinerer Länder wie Finnland und Schweden mit einer sehr wettbewerbsfähigen Zellstoff- und Papierindustrie. Die östlichen EU-Länder fallen kaum ins Gewicht. Die übrigen OECD Länder, auch Korea, und die restlichen Länder der Welt haben bei dieser Produktgruppe nur wenig Bedeutung. Lediglich Kanada und die Schweiz haben noch nennenswerte Anteile unter den übrigen OECD Ländern.

Abbildung 3-15: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente bei der Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Verfahren und Prozesse



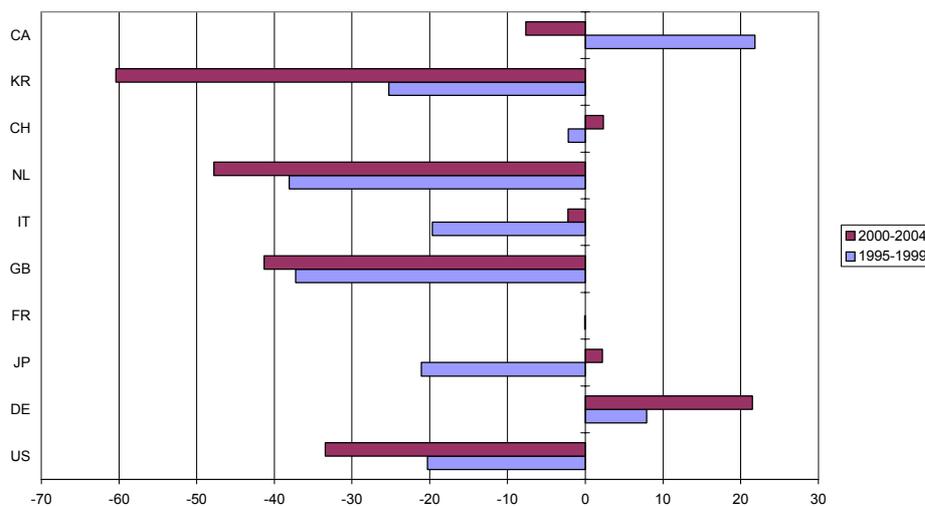
In der zeitlichen Entwicklung zeigt sich, dass sich die EU27 bei dieser Produktgruppe mit über 50 % Patentanteilen neben Japan und der restlichen OECD, gut behauptet, während der Patentanteil der USA kontinuierlich von 30 auf 20 % gesunken ist. Der deutsche Anteil hat noch deutlich im Zeitverlauf von 17 % auf 20 % zugenommen.

Abbildung 3-16: Zeitliche Veränderung der Patentanmeldungen wichtiger Länder bzw. Ländergruppen bei der Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Verfahren und Produktionsprozesse 1991 bis 2004



Die starke Stellung Deutschlands bei dieser Produktgruppe zeigt sich auch bei den RPA-Werten, wo Deutschland das einzige Land mit einer deutlich positiven Spezialisierung ist. Nur Japan und die Schweiz bewegen sich in der Nähe der Null bei den RPA-Werten. Korea hat erstaunlich negative Werte.

Abbildung 3-17: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Verfahren und Prozesse

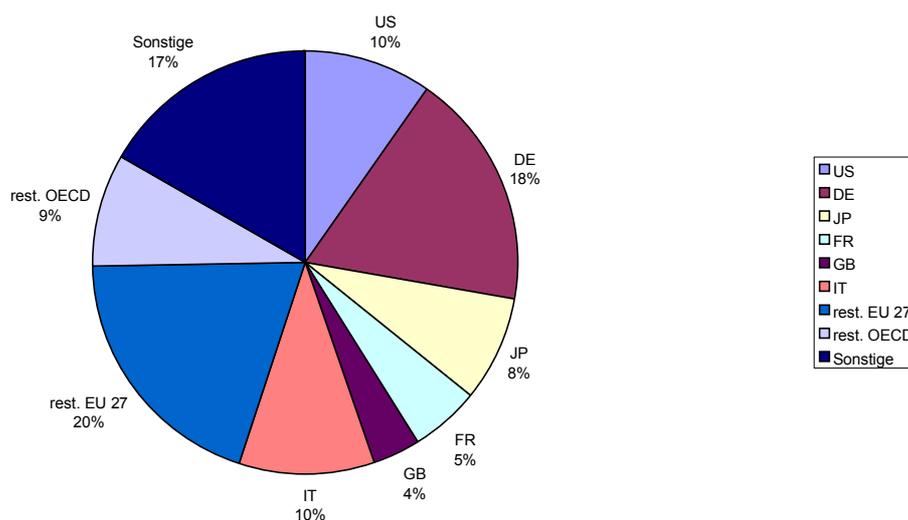


### 3.3.2 Außenhandelsindikatoren

#### 3.3.2.1 Überblick über das Handlungsfeld

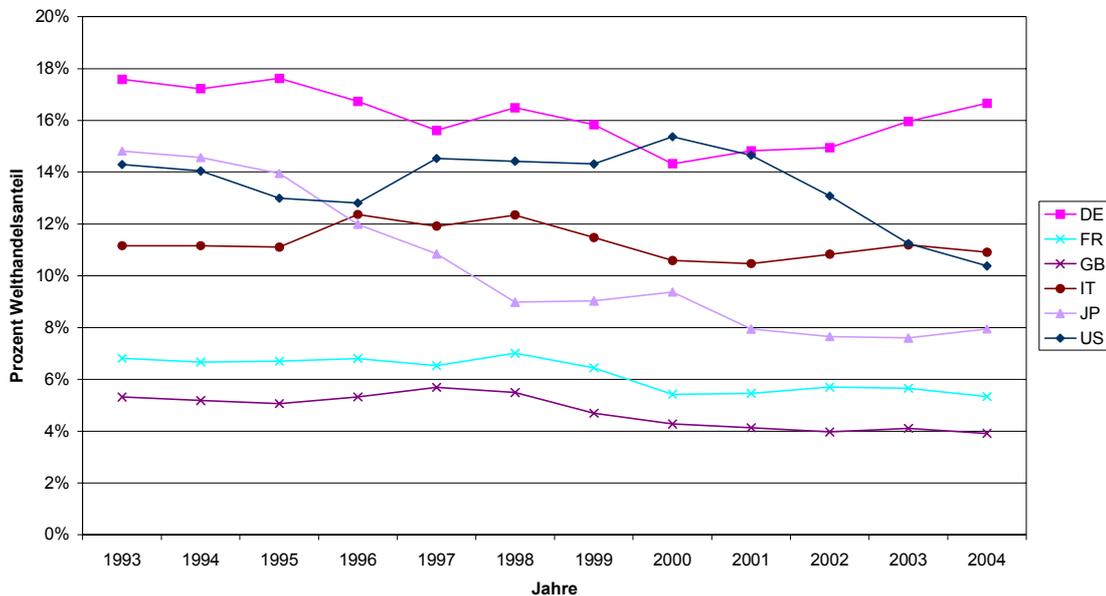
Außenhandelsindikatoren messen die aktuelle Wettbewerbsfähigkeit in einem Technologiefeld auf dem internationalen Markt. Bei den Welthandelsanteilen (Abbildung 3-18), das heißt beim Anteil der nationalen Exporte an der Summe aller weltweiten Exporte, nimmt Deutschland im Außenhandel von Energieeffizienzgütern mit 18 % die Führungsposition vor den USA und Italien ein, die beide je einen Anteil von 10 % erreichen. Danach folgt Japan mit 8 %. Die einzelnen Länder der EU27 halten zusammen einen Anteil von 57 % am Welthandel mit Energieeffizienzgütern. Darin ist allerdings auch der EU-interne Handel zwischen diesen Ländern beinhaltet.

Abbildung 3-18: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Energieeffizienz



In der zeitlichen Veränderung (Abbildung 3-19) zeigt sich, dass Deutschland ausgehend von fast 18 % im Jahre 1993 nach einem leichten Abfall bis zum Jahr 2000 in den letzten Jahren wieder seine Position festigen konnte, während die USA und Japan in diesem Feld eher mit einem Rückgang zu kämpfen haben. Andere EU-Länder wie Frankreich, Großbritannien und Italien hatten ebenfalls zurückgehende Welthandelsanteile zu verzeichnen, sodass ihr Abstand zu Deutschland in Zukunft tendenziell noch wachsen wird.

Abbildung 3-19: Zeitliche Veränderung der Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Energieeffizienz

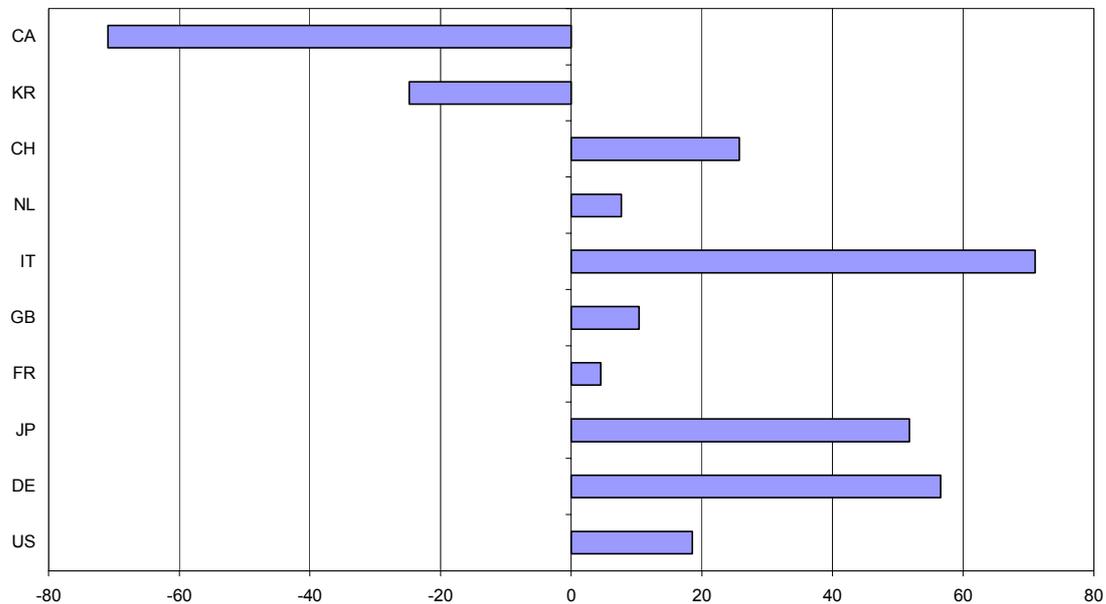


Während die Welthandelsanteile die absolute Stärke eines Sektors im internationalen Vergleich beschreiben, kennzeichnen die RCA-Werte den Grad der Außenhandelspezialisierung in einem bestimmten Technologiefeld im Vergleich zu anderen Produkten. Deutschland weist auch bei diesem Indikator eine gute Stellung auf mit dem zweithöchsten RCA für die Energieeffizienz nach Italien und vor Japan (Abbildung 3-20). Stark negative Werte sind für Kanada und Korea zu verzeichnen, während andere EU-Länder eine nur leicht positive Außenhandelspezialisierung aufweisen. Nur die Schweiz und die USA haben noch eine einigermaßen deutlich positive Spezialisierung im Bereich der Energieeffizienz. Ein Land wie Korea konnte also seine Spezialisierung bei den Patenten (noch) nicht in eine Spezialisierung beim Außenhandel umsetzen.

In der zeitlichen Entwicklung sind die RCA-Werte für die wichtigsten Länder recht stabil. Lediglich Japan, Frankreich und Großbritannien verzeichneten stärkere Rückgänge.

Alles in allem nimmt Deutschland aufgrund seines hohen absoluten Welthandelsanteils und seines positiven RCA-Wertes auch beim Außenhandel mit Energieeffizienzprodukten einen Spitzenplatz ein. Die hohen Welthandelsanteile und der RCA blieben bei Deutschland im Laufe der Zeit relativ stabil, wenn auch leicht rückläufig. Italien und Japan weisen ebenfalls eine positive Spezialisierung beim Außenhandel im Handlungsfeld Energieeffizienz auf; allerdings sind die Welthandelsanteile deutlich geringer als in Deutschland. In Japan nimmt die positive Exportspezialisierung bei der Energieeffizienz im Laufe der Zeit ab.

Abbildung 3-20: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Energieeffizienz

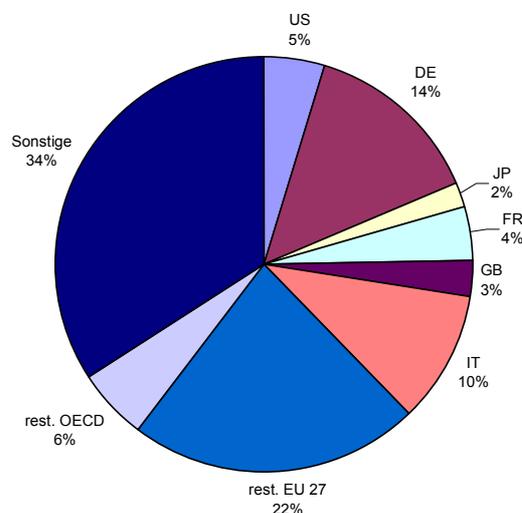


Die oben angeführten Zahlen weisen alle einen nationalen Fokus auf, d. h. sie beinhalten auch die Exporte innerhalb der EU. Betrachtet man hingegen die EU als einheitlichen Wirtschaftsraum, d. h. ohne die Exporte zwischen den EU-Mitgliedsländern, fällt der gesamte Welthandel rechnerisch geringer aus. Gleichzeitig fällt der Welthandelsanteil der EU geringer aus als die Summe der Welthandelsanteile der einzelnen EU-Mitgliedsländer bei einer rein nationalen Betrachtung, während die Welthandelsanteile der übrigen Länder einen höheren Wert einnehmen. Da ein erheblicher Teil der Exporte der EU-Mitgliedsländer in andere EU-Länder geht, beträgt der Welthandelsanteil der EU27 auf dieser Datenbasis ohne Intra-EU-Handel 33%. Auf die USA und auf China entfallen jeweils in etwa 13 %, auf Japan 11 %. Auch ohne Berücksichtigung des internen EU-Handels beliefert die EU27 damit die restliche Welt in einer ähnlichen Größenordnung wie die USA, Japan und China zusammen. Gleichzeitig nimmt der RCA der EU27 einen Wert von 78 und damit eine sehr ausgeprägte Spezialisierung ein. Im Handlungsfeld der Energieeffizienz hat sich die EU auch ganz deutlich auf Exporte nach außerhalb Europa spezialisiert.

### 3.3.2.2 Energieeffiziente Gebäudetechnik

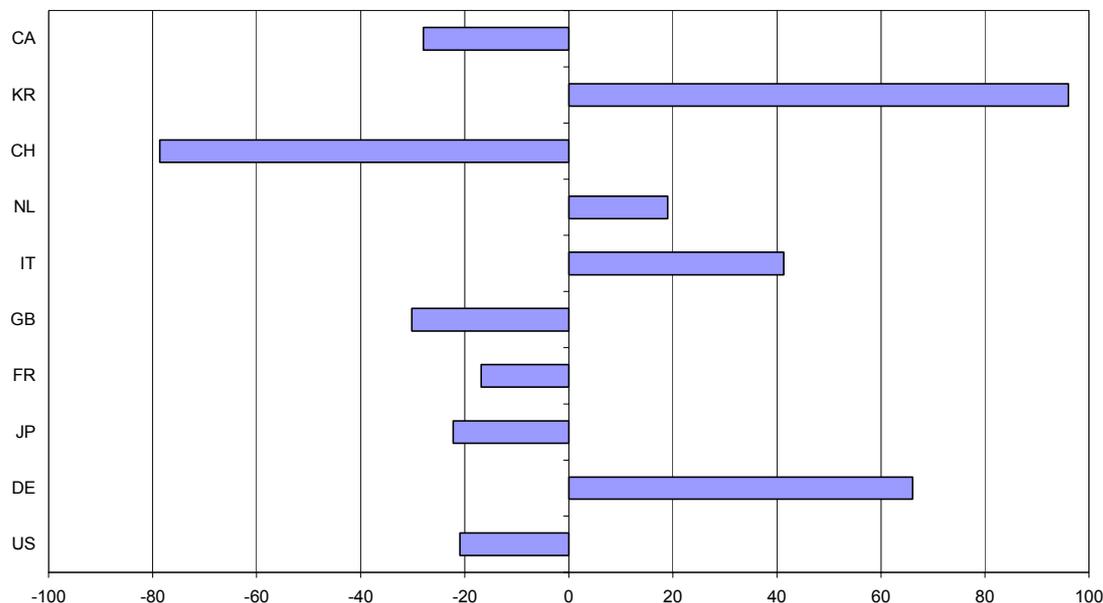
Wie aus Abbildung 3-21 ersichtlich, sind die Welthandelsanteile der wirtschaftsstarken Länder bei der energieeffizienten Gebäudetechnik deutlich geringer als beim gesamten Handlungsfeld der Energieeffizienz (USA 5 %, Japan 2 %). Auch der deutsche Anteil ist mit 14 % etwas geringer als der Durchschnitt des gesamten Handlungsfeldes. Besonders auffallend sind die hohen Anteile der übrigen EU-Länder und der restlichen Länder.

Abbildung 3-21: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe Energieeffiziente Gebäudetechnik



Eine deutlich positive Außenhandelspezialisierung weisen bei der energieeffizienten Gebäudetechnik nur Deutschland, Italien und Korea (im Unterschied zum Gesamtbild des Handlungsfeldes) auf (Abbildung 3-22). Bei den einzelnen Technologielinien der Produktgruppe zeigt Deutschland überwiegend positive Außenhandelspezialisierungen, mit Ausnahme der Klimageräte. Hier zeichnet sich vor allem Korea durch einen deutlich positiven RCA aus. Bei anderen Ländern wie Japan und den USA trägt dieser Posten eher zu einer negativen Spezialisierung bei und überwiegt die positiven Beiträge anderer Technologielinien. Die Niederlande treten, trotz insgesamt mäßiger Außenhandelspezialisierung bei dieser Produktgruppe, vor allem bei den Brennwertkesseln hervor, welche durch die Politik erfolgreich angestoßen wurden: die Niederlande haben über viele Jahre hinweg Brennwertkessel finanziell stark gefördert und heute Marktanteile von 100 % erreicht. Auch Japan zeigt bei dieser Technologielinie eine stark positive Spezialisierung. Italien ist ähnlich wie Deutschland bei allen Kategorien, mit Ausnahme der Klimageräte, gut spezialisiert.

Abbildung 3-22: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für die Produktgruppe Energieeffiziente Gebäudetechnik



Deutschland hält eine Spitzenstellung bei den meisten Technologielinien der Produktgruppe. Eine Ausnahme bilden wieder die Klimageräte. Hier hält Korea einen sehr hohen Welthandelsanteil von nahezu 20 %. Italien weist ebenfalls hohe Welthandelsanteile bei den verschiedenen Technologielinien mit Ausnahme bei der Wärmeisolierung und den Klimageräten auf.

### 3.3.2.3 Energieeffiziente Elektrogeräte

Der deutsche Anteil am Welthandel ist auch hier mit 15 % etwas geringer als im Durchschnitt des gesamten Handlungsfeldes (Abbildung 3-23). Japan (11 %) und Italien (11 %) liegen im Vergleich zum gesamten Handlungsfeld über dem Durchschnitt, während die USA in etwa den gleichen Welthandelsanteil wie beim Handlungsfeld insgesamt aufweisen. Besonders auffallend sind die hohen Anteile der übrigen EU-Länder und der restlichen Länder. Die Mitgliedsländer der EU27 halten für die Elektrogeräte einen Welthandelsanteil von 55 %. Allerdings schließt dies den EU-internen Handel mit ein.

Abbildung 3-23: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe der Energieeffizienten Elektrogeräte

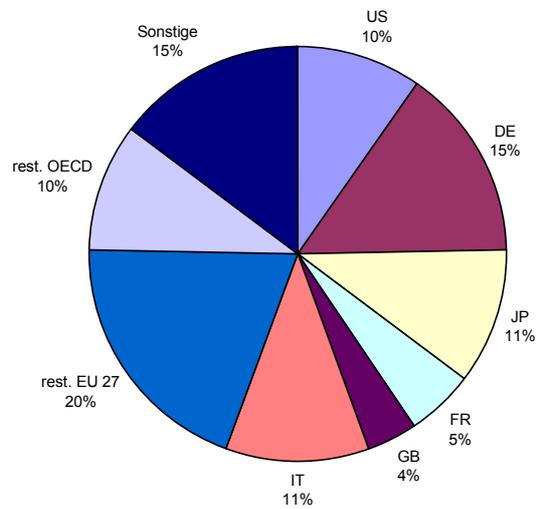
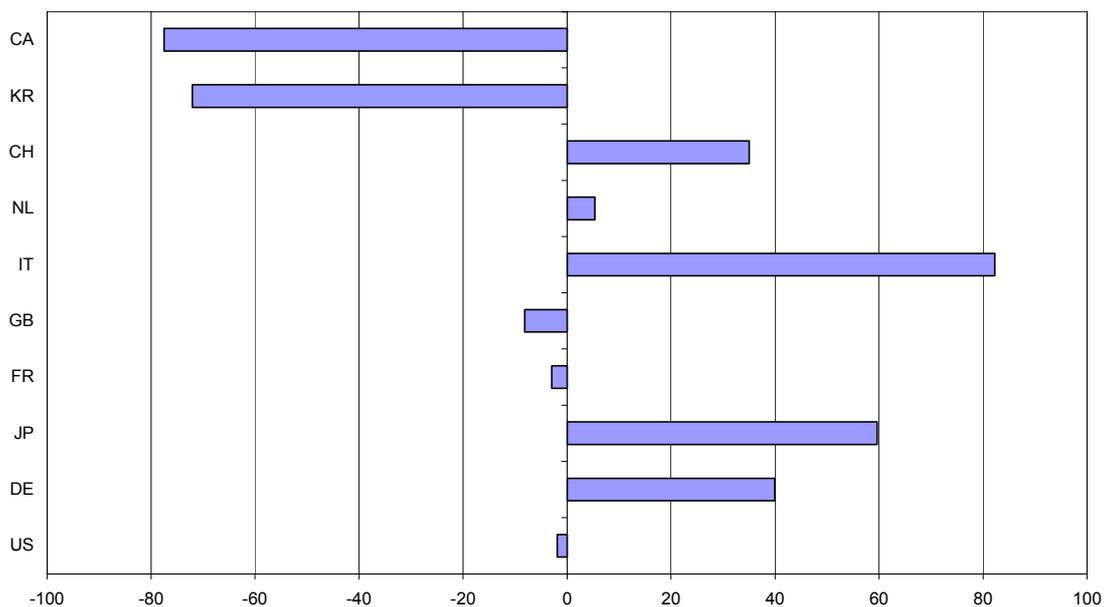


Abbildung 3-24: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für die Produktgruppe Energieeffiziente Elektrogeräte



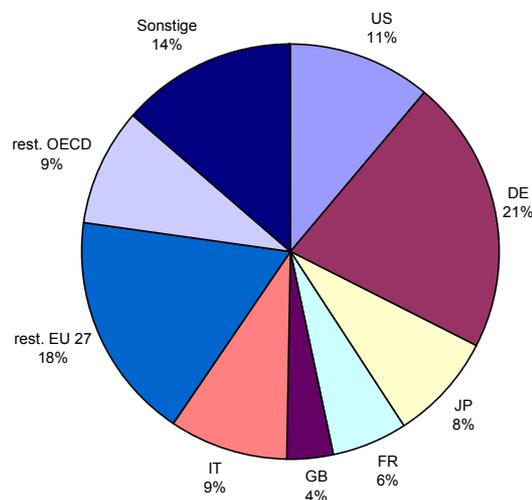
Deutschland weist nach Italien und Japan die dritte Position bei der Exportspezialisierung in dieser Produktgruppe aus (Abbildung 3-24). Die übrigen Länder mit Ausnahme der Schweiz haben keine ausgeprägt positive Exportspezialisierung; Kanada und Korea sogar eine stark negative. Im zeitlichen Verlauf gehen die RCA-Werte von Deutschland und Japan allerdings etwas zurück (gleiches gilt für Frankreich und Groß-

britannien auf viel niedrigerem Niveau), während die Außenhandelspezialisierung von Italien bei den Elektrogeräten auf gleich hohem Niveau bleibt.

### 3.3.2.4 Energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien

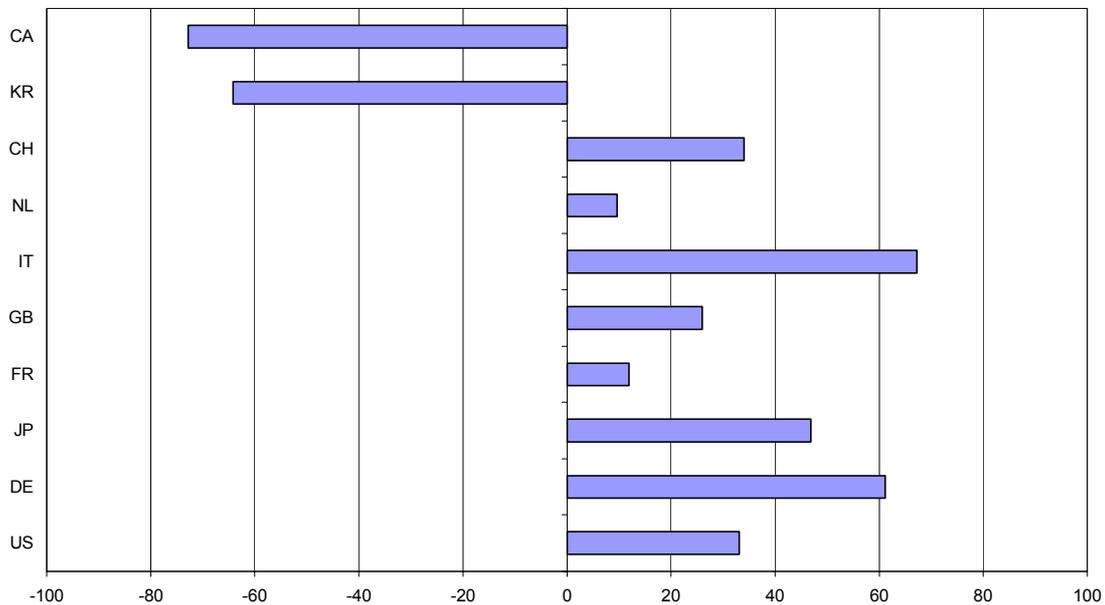
Deutschland hat bei den energieeffizienten industriellen Querschnittstechnologien mit 21 % überdurchschnittlich hohe Welthandelsanteile im Vergleich zum gesamten Handlungsfeld, welche gut mit den hohen Patentanteilen korrelieren. Die USA (11 %) und Japan (8 %) liegen näher bei ihrem Durchschnitt für das Handlungsfeld als Ganzes. Die einzelnen Länder der EU27 kommen zusammen auf 58 % der Welthandelsanteile.

Abbildung 3-25: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien



Mit Ausnahme Kanadas und Koreas schneiden bei dieser Produktgruppe alle aufgeführten Länder positiv in der Exportspezialisierung ab (Abbildung 3-26). Diese ist besonders stark bei Italien, Deutschland und Japan ausgeprägt. Bei der detaillierten Betrachtung nach Technologielinien der Produktgruppe liegt eine besonders ausgeprägte Spezialisierung bei den Wärmetauschern in den USA, Italien und Korea vor, während Deutschland und die Schweiz vor allem bei den Elektromotoren hohe RCA-Werte aufweisen. Deutschland, Italien und Japan halten Spitzenstellungen auch bei den übrigen industriellen Querschnittstechnologien.

Abbildung 3-26: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für die Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien



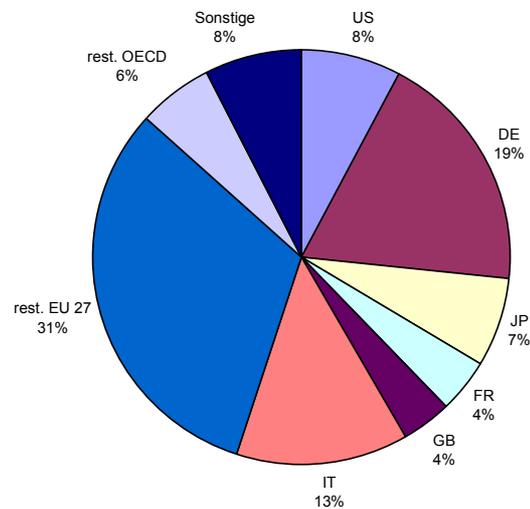
Deutschland ist führend bei allen dreien der betrachteten Technologielinien der Produktgruppe. Auch Italien ist, mit Ausnahme der Elektromotoren, relativ gut aufgestellt. Japan und die USA liegen schon deutlich zurück in ihren Außenhandelsanteilen nach Technologielinien, wobei sich beide noch am ehesten bei den sonstigen industriellen Querschnittstechnologien abheben.

Im zeitlichen Verlauf weisen Italien und Deutschland durchgängig eine stabile Außenhandelsspezialisierung im Bereich der industriellen Querschnittstechnologien auf, während der RCA der USA und Großbritanniens zugenommen, der von Japan stark abgenommen hat.

### 3.3.2.5 Energieeffiziente industrielle Verfahren und Prozesse

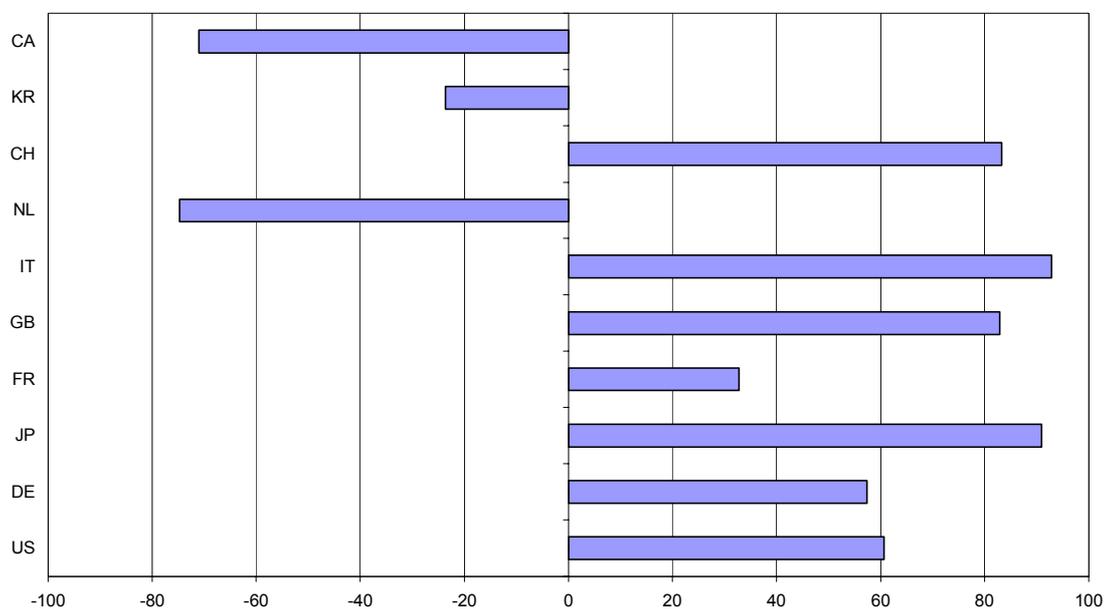
Deutschland hat bei der Produktgruppe Energieeffiziente industriellen Verfahren und Prozesse mit 19 % einen leicht überdurchschnittlich hohen Welthandelsanteil im Vergleich zum gesamten Handlungsfeld (Abbildung 3-27). Auch hier korrelieren die hohen Handelsanteile gut mit den hohen Patentanteilen. Die USA (8 %) und Japan (7 %) liegen unter ihrem Durchschnitt für das Handlungsfeld; Italien hält einen überdurchschnittlichen Handelsanteil. In der Summe ist der Anteil der einzelnen Länder der EU27 am Welthandel mit 71 % außergewöhnlich hoch.

Abbildung 3-27: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer bei der Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Prozesse und Verfahren



Bei der Außenhandelspezialisierung für die Produktgruppe der Energieeffizienten Verfahren und Produktionsprozesse liegt Deutschland gut, aber auch eine Reihe von anderen Ländern wie Italien, Japan, Großbritannien und die USA zeigen stark positive RCA-Werte (Abbildung 3-28). In der zeitlichen Entwicklung zeichnet sich Deutschland wie auch Italien und Japan durch relative Konstanz der hohen Spezialisierung aus. Die USA und Frankreich wiesen dagegen eine zeitweise stark zurückgehende Spezialisierung in dieser Produktgruppe auf.

Abbildung 3-28: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für die Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Prozesse und Verfahren



### 3.4 Schlussfolgerungen für die Perspektive 2020

Im Mittelpunkt der vorangegangenen Analyse stand die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie im Bereich der Energieeffizienz. In Tabelle 3-1 sind die Ergebnisse der Patent- und Außenhandelsanalyse zusammengefasst und um die Einschätzungen zum Marktpotenzial ergänzt. Tabelle 3-2 fasst die Spezialisierungsindikatoren der 10 patentstärksten Länder plus China zusammen. China wurde der Übersicht aufgrund des großen Marktpotenzials des Landes hinzugefügt. Die grafische Zusammenfassung der verschiedenen Vergleichsindikatoren für Innovationsdynamik und Wettbewerbsfähigkeit zeigt Abbildung 3-29.

Tabelle 3-1: Vergleich von Leistungsfähigkeit und Marktpotenzial der verschiedenen Produktgruppen im Handlungsfeld Energieeffizienz

Produktgruppe	Patente		Außenhandel		Marktpotenzial
	relative Position	wichtigste Konkurrenten	relative Position	wichtigste Konkurrenten	
<b>Energieeffizienz gesamt</b>	hoch	IT, KR, CH	sehr gut	IT, JP	sehr hoch
Energieeffiziente Gebäudetechnik	mittel	IT, KR	sehr gut	KR, IT	sehr hoch
Energieeffiziente Elektrogeräte	hoch	KR, IT, JP	gut - sehr gut	IT, JP, CH	hoch
Energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien	hoch	KR, IT	sehr gut	IT, JP	hoch
Energieeffiziente industrielle Prozesse und Verfahren	hoch	(CH, JP)	gut	IT, GB, JP, CH	hoch bis sehr hoch

Tabelle 3-2: Spezialisierungsindikatoren der 10 patentstärksten Länder und China

Handlungsfeld	Indikator	US	DE	JP	FR	GB	IT	NL	CH	KR	CA	CN
Energieeffizienz gesamt	RPA	-	+	0	0	-	+	-	+	+	-	0
	RCA	+	+	+	0	0	+	0	+	-	-	0
energieeffiziente Gebäudetechnik	RPA	-	+	-	-	-	+	-	+	+	0	0
	RCA	-	+	-	-	-	+	+	-	+	-	+
energieeffiziente Elektrogeräte	RPA	-	+	+	-	-	+	0	-	+	-	+
	RCA	0	+	+	0	0	+	0	+	-	-	+
Industrielle Querschnittstechnologien	RPA	-	+	+	0	-	+	-	+	+	-	0
	RCA	+	+	+	0	+	+	0	+	-	-	-
Industrielle Prozesse und verfahren	RPA	-	+	0	0	-	0	-	0	-	0	-
	RCA	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-

„+“ = RPA / RCA > 10, „0“ = -10 < RPA / RCA < 10, „-“ = RPA / PCA < -10

Abbildung 3-29: Überblick über die Leistungsfähigkeit im Handlungsfeld Energieeffizienz

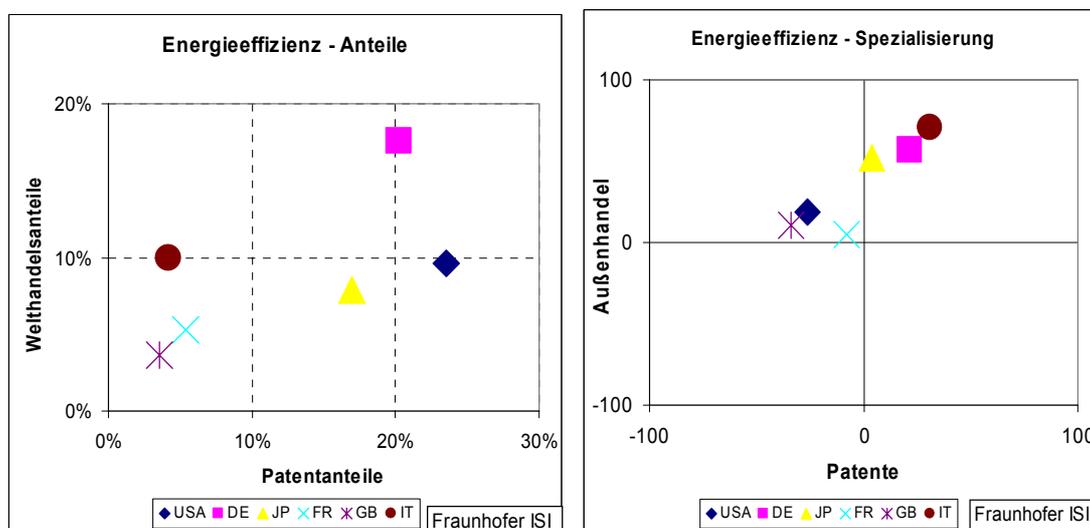


Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2 zeigen, dass Deutschland durchgängig bei allen Produktgruppen des Handlungsfeldes Energieeffizienz eine starke bis sehr starke Stellung aufweist, und zwar sowohl bei den Patenten als auch im Außenhandel. Für die einzelnen Produktgruppen des Handlungsfeldes ergab die Analyse folgende Ergebnisse:

- **Energieeffiziente Gebäudetechnik:** Energieeffiziente Gebäude weisen die größten Einsparpotenziale zur Bekämpfung des Treibhauseffektes auf und zwar sowohl in kalten als auch in sehr warmen und feuchten Klimazonen. Deutschland ist mit dem zweiten Platz hinter den USA bei den Patentanmeldungen in dieser Produktgruppe etwas schlechter positioniert als im gesamten Handlungsfeld Energieeffizienz. In den letzten Jahren gingen die Patentanteile Deutschlands auch zurück. Beim RPA schneidet Deutschland bei der energieeffizienten Gebäudetechnik zwar immer noch positiv ab, aber schlechter als im Durchschnitt des gesamten Handlungsfeldes. Deutschland hat hohe Patentanteile bei den energieeffizienten Heizungssystemen, ebenfalls bei der Gebäudeautomatisierung und bei den systemaren Aspekten der energieeffizienten Gebäudetechnik. Der deutsche Anteil am Welthandel ist in dieser Produktgruppe etwas geringer als der Durchschnitt des gesamten Handlungsfeldes, wobei dies aber auch auf andere wichtige Industrienationen zutrifft. Beim RCA hat Deutschland in den einzelnen Technologielinien der Produktgruppe mit Ausnahme der Klimageräte eine überwiegend positive Außenhandelspezialisierung.
- **Energieeffiziente Elektrogeräte:** Elektrogeräte tragen zwar zum Endenergieeinsatz weniger bei als die Gebäudeheizung und Klimatisierung, da aber Strom eingesetzt wird, sind die Primärenergie und CO<sub>2</sub>-Einsparungen, je nach Strommix deutlich höher. Deutschland wird bei den Patentanmeldungen von Japan deutlich überrundet. Beim RPA hat Deutschland bei den energieeffizienten Elektrogeräten eine positive Spezialisierung mit Werten ähnlich wie für das gesamte Handlungsfeld Energieeffizienz. Die relativ gute Stellung Deutschlands ist vor allem auf die Haushaltsgeräte zurückzuführen. Der deutsche Anteil am Welthandel ist etwas geringer als der

Durchschnitt des gesamten Handlungsfeldes, aber dennoch liegt Deutschland bei dieser Produktgruppe auf dem ersten Platz. Bei der Exportspezialisierung in dieser Produktgruppe weist Deutschland nach Italien und Japan die dritte Position aus.

- **Energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien:** Industrielle Querschnittstechnologien wie Pumpen, Ventilatoren, Druckluftsysteme und andere Elektromotoren verbrauchen überwiegend Strom und wirken sich daher beim Primärenergieverbrauch und den CO<sub>2</sub>-Emissionen, je nach Strommix, stärker aus als brennstoffverbrauchende Aggregate. Andere Querschnittstechnologien wie Dampferzeuger, Trockner, Industrieöfen setzen Brennstoffe ein, vor allem Erdgas. Deutschland steht bei den Patentanmeldungen deutlich an der Spitze. Auch beim RPA hat Deutschland bei den industriellen Querschnittstechnologien im Vergleich zu den anderen Produktgruppen dieses Handlungsfeldes eine stärker positive Spezialisierung. Eine Spitzenstellung hat Deutschland vor allem bei den Patentanmeldungen für Elektromotoren und bei den Dampferzeugern. Auch bei den Exporten liegt Deutschland bei dieser Produktgruppe deutlich an der Spitze. Bei der Außenhandelspezialisierung gemessen am RCA liegt Deutschland auf einem sehr guten zweiten Platz nach Italien.
- **Energieeffiziente industrielle Verfahren und Prozesse:** Industrielle Verfahren und Prozesse sind eine relativ heterogene Gruppe von Technologien, die verschiedene Industriebranchen wie Eisen/Stahl oder die Papierindustrie umfasst. Deutschland liegt bei den Patentanmeldungen dicht hinter den USA und folgt bei dieser Produktgruppe dem Durchschnitt des gesamten Handlungsfeldes Energieeffizienz. Die starke Stellung Deutschlands bei dieser Produktgruppe zeigt sich auch bei den RPA-Werten, wo Deutschland das einzige Land mit einer deutlich positiven Spezialisierung ist. Deutschland besetzt auch hier den ersten Platz bei den Welthandelsanteilen und liegt relativ gut bei der Außenhandelspezialisierung.

Zusammenfassend lassen sich aus der vorangegangenen Analyse für das Handlungsfeld Energieeffizienz die in Tabelle 3-3 dargestellten Stärken, Schwächen, Chancen und Herausforderungen in Deutschland ableiten.

Tabelle 3-3: Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Energieeffizienz

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gute Wissensbasis und technologisches Potenzial in wichtigen Technologiefeldern</li> <li>• Erhebliche internationale Wettbewerbs-erfolge der Technologiehersteller; hohe Weltmarktanteile heimischer Unternehmen als gute Ausgangsposition für weiteres Umsatzwachstum in einer Reihe von Technologielinien</li> <li>• Innovation und Diffusion durch Energie- und Klimapolitik getrieben, sowie durch Fragen der Versorgungssicherheit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stark expandierender Weltmarkt</li> <li>• Reinvestitionsbedarf im Kraftwerksbereich, der erlaubt, Energienachfrage und -versorgung neu auszutarieren</li> <li>• Diskussion über neue Politikinstrumente (Emissionshandel, Energieeffizienzrichtlinie) für Generierung von Nachfrage für und Ausrichtung auf energieeffiziente Technologieinnovationen nutzen</li> <li>• Preissteigerungen bei energetischen Rohstoffen nutzen, um Innovationen voranzutreiben</li> </ul>
Schwächen	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trotz breitem gesellschaftlichen Konsens zur Rolle der Energieeffizienz Aktivitäten ungleich verteilt über verschiedene Technologielinien (geringe Anreize für industrielle Querschnittstechnologien)</li> <li>• Unternehmen deutlich weniger stark organisiert als im Bereich der erneuerbaren Energien</li> <li>• Mangelnde „Sichtbarkeit“ der Rolle der Effizienztechnologien in der Öffentlichkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Politikentwicklungen wie die Energieeffizienzrichtlinie noch stärker zu nutzen, um Technologielinien weiter zu stärken</li> <li>• Konkurrenz durch technologiestarke Entwicklungsländer frühzeitig zu berücksichtigen</li> <li>• Erfolgreiche Anreizpolitiken in andere Länder „exportieren“, um größere Märkte für die Produkte zu schaffen</li> <li>• Systematischere Einbindung „neuer Technologiefelder“ wie Nano/Biotechnologien in die Entwicklung energieeffizienter Prozesse und Produkte</li> </ul>

In der Perspektive 2020 ergeben sich aus dieser Situation folgende für die Politik zentralen Schlussfolgerungen:

- Auch für Energieeffizienztechnologien gibt es, ähnlich wie bei den erneuerbaren Energien die Möglichkeit der Stärkung der Nachfrage nach energieeffizienten Lösungen in anderen Ländern. Allerdings hat Deutschland bei der Energieeffizienz nicht die gleichen erfolgreichen Politikinstrumente vorzuweisen wie bei den erneuerbaren Energien. Deutschland setzt bei der Energieeffizienz im Wesentlichen auf Förderprogramme (z. B. KfW Gebäudesanierungsprogramme), auf Regulierung (z. B. für den Wärmeschutz), auf das europäische Emissionshandelssystem und freiwillige Selbstverpflichtungen, wobei letztere aber in der Regel nur „Business-as-Usual“ Lösungen umgesetzt haben. Chancen ergeben sich aus der anstehenden Umsetzung der europäischen Richtlinie für Energieeffizienz und Energiedienstleistungen, die Deutschland im eigenen Land und in Europa nutzen sollte, um die Nachfrage nach energieeffizienten Lösungen zu stärken. Diese Richtlinie sieht insbesondere die Anregung eines Marktes für Energiedienstleistungen vor.

- Energieeffizienz bei industriellen Querschnittstechnologien wie Druckluftherstellung, Elektromotoren, Pumpen, Ventilatoren etc. ist ein bisher weitgehend vernachlässigtes Gebiet, obwohl z. B. industrielle Querschnittstechnologien 60 bis 70 % der industriellen Stromnachfrage und ca. 30 % der Brennstoffnachfrage im industriellen Sektor ausmachen. Daher sollte die Nachfrage bei Technologielinien wie den energieeffizienten industriellen Querschnittstechnologien stärker stimuliert werden, z. B. durch die Einführung von Energieaudits, Benchmarkingsystemen und Fördermöglichkeiten für diese Technologien, die bisher im politischen Rahmen wenig betrachtet wurden. Ein verstärkter nachfrageseitiger Schub könnte hier die sehr starke Stellung Deutschlands weiter festigen. Zugleich sind von einer Internationalisierung einer derartigen Politik deutliche positive Außenhandelseffekte für Deutschland zu erwarten.
- Erfolgreiche Politikinnovationen, welche in der Vergangenheit zum Erfolg der Entwicklung von energieeffizienten Lösungen beigetragen haben, sollten in andere Länder Europas und weltweit übertragen werden. Hierzu zählen beispielsweise die KfW-Förderprogramme für den Gebäudebestand.
- Weiterhin sollte Deutschland auch für die Energieeffizienztechnologien mögliche neue Mechanismen der internationalen Technologiekooperation zum Klimaschutz, die in Weiterentwicklung des Kyotoabkommens diskutiert werden, nutzen, um die Verbreitung der Effizienztechnologien zu stärken.

## 4 Zukunftsmarkt Materialeffizienz

### 4.1 Abgrenzung und Technologiebeschreibung

Effizienzanalysen und Optimierungsansätze in Unternehmen konzentrieren sich in der Regel auf den Kostenfaktor der Personalkosten. Die Bruttoproduktionskosten im verarbeitenden Gewerbe enthalten jedoch neben den Personalkosten die Kostenblöcke Material und Energie, Abschreibungen und Mieten sowie sonstige Kosten. Etwa 25 % der Kosten sind Personalkosten. Der zentrale Kostenfaktor im verarbeitenden Gewerbe ist jedoch der Kostenblock Material. 40 % der Bruttoproduktionskosten sind Materialkosten (Baron 2005). Die Bedeutung der Materialeffizienz gelangt zunehmend in das öffentliche Bewusstsein.

Wichtige Ansatzpunkte zur Reduktion des nicht-erneuerbaren Rohstoff- und Materialverbrauchs sind die Produktgruppen Nachwachsende Rohstoffe, Ökodesign sowie rohstoff- und materialeffizienten Produktionsprozesse. Dabei ist im Handlungsfeld die Bedeutung der nachwachsenden Rohstoffe sowohl bei den Patenten als auch im Weltmarkt am größten.

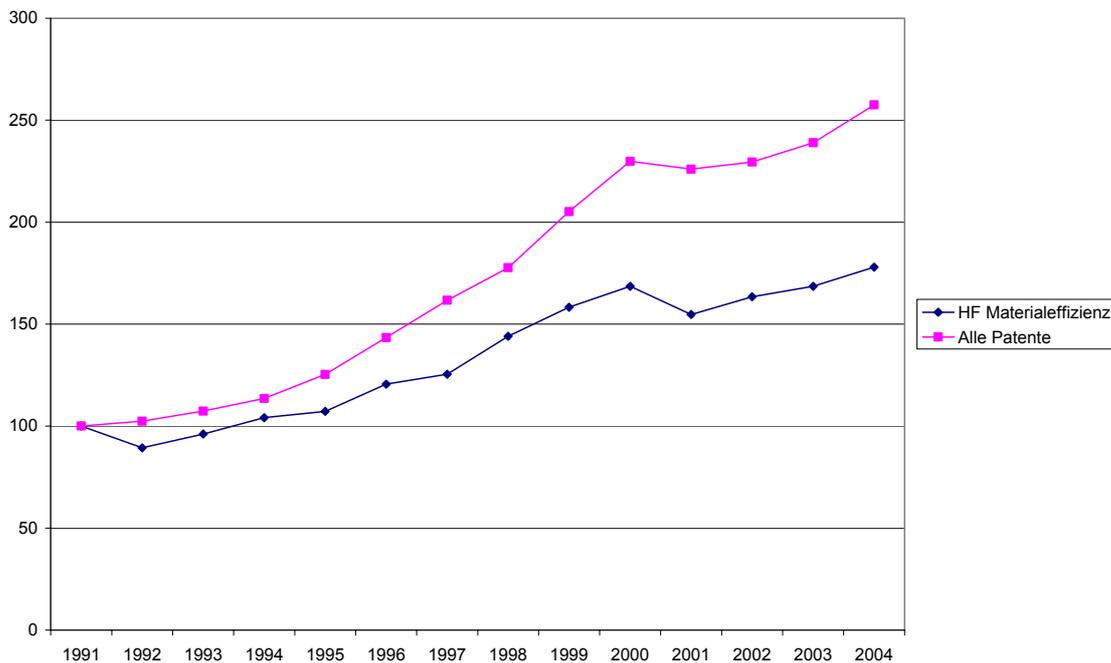
- Die Nutzung **nachwachsender Rohstoffe** hat in vielen Industriebereichen eine lange Tradition. Während in der Vergangenheit häufig auf Basis nachwachsender Stoffe hergestellte Produkte durch Produkte auf fossiler Basis verdrängt wurden (z. B. Zelluloid, Linoleum), richtet sich das Augenmerk in jüngster Vergangenheit auf Rohstoff- und Abbaubarkeitserwägungen wieder verstärkt auf Produkte auf nachwachsender Rohstoffbasis. Dies hat in einigen Bereichen zu einem Verdrängungsprozess der fossilen Produkte geführt. Die Produktgruppe der nachwachsenden Rohstoffe gliedert sich in die Technologielinien Öle und Fette, natürliche Baumaterialien, Feedstocks für die chemische Produktion sowie Biokunststoffe.
- **Ökodesign** hat den Grundgedanken, Produkte möglichst umweltfreundlich zu gestalten. Es stellt sich als eine Sammlung von verschiedenen Technologien dar, zu denen neben neueren Dienstleistungskonzepten wie car sharing, print-on-demand auch traditionelle Technologien wie z. B. der Leichtbau, Faserverstärkung oder Korrosionsschutz gehören. Methodisch war es aber nicht möglich, Begrifflichkeiten wie Lebensdauererlängerung oder Dematerialisierung in der Patent- oder Außenhandelsklassifikation nachzugehen. Im Rahmen des Handlungsfeldes Materialeffizienz wird Ökodesign durch Patentanalysen zum Korrosionsschutz, zur Faserverstärkung und zu sonstigen innovativen Produkten abgebildet.
- **Rohstoff- und materialeffiziente Produktionsprozesse** beinhalten verschiedene Teilaspekte wie Optimierung der Produktionsprozesse z. B. durch die Reduzierung von Verschleiß oder durch Verbesserung bzw. Vergleichmäßigung der Qualität, wie eine bessere Auslastung von Geräten, Anlagen und Spezialmaschinen oder wie wertschöpfungskettenübergreifende Optimierungen. Diese Technologien beinhalten

alle eine Minimierung des Abfalls und werden deshalb im Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft, Abfall, Recycling mit untersucht.

## 4.2 Innovationsdynamik und Marktpotenzial

Die in Abbildung 4-1 dargestellte Patentdynamik im Handlungsfeld Materialeffizienz ist deutlich geringer als die Dynamik aller Patente. Dies deutet darauf hin, dass dieses Handlungsfeld bisher noch nicht ausreichende Bedeutung bei den Innovationsanstrengungen findet. Allerdings muss bedacht werden, dass die Technologien, die hinter Rohstoffeffizienz stehen, schwieriger abzugrenzen sind als in anderen Handlungsfeldern, da sie oft rohstoff-, produktions- oder branchenspezifisch sind und neben technischen Lösungen auch Dienstleistungen oder Managementmethoden und Ansätze der Materialsubstitution eine große Rolle spielen (DIW/ISI/Roland Berger 2007). Hier ist in weiterführenden Arbeiten zu prüfen, ob gerade bei diesen bisher in den Indikatoren nur unzulänglich abgebildeten Bereichen eine hohe Innovationsdynamik findet.

Abbildung 4-1: Innovationsdynamik der jährlichen Patentanmeldungen im Handlungsfeld Materialeffizienz im Vergleich zu allen Anmeldungen (1991= 100)



Ein erster Hinweis hierfür liefert für die Einschätzung der Innovationsdynamik des Handlungsfeldes in der japanischen Delphi-Studie. Der erwartete Wissenszuwachs wurde als Indikator für die künftige Innovationsdynamik herangezogen; er ist im Handlungsfeld groß, streut allerdings breit unter den Technologielinien mit mittelfristigen

Werten zwischen 3,9 und 7 Punkten. Auch mittel- und langfristig ist der erwartete Wissenszuwachs im Handlungsfeld überdurchschnittlich groß (bis zu 7 Punkten). Der Zeitbedarf für die technische Realisierung und Markteinführung wird für einige Technologielinien als relativ gering eingestuft, so wird z. B. die Schließung bestimmter Stoffkreisläufe bis 2010 im Markt erwartet. Stärker integrierte Technologien scheinen einer überdurchschnittlichen Verzögerung der Markteinführung zu unterliegen.

Die Technologielinien im Handlungsfeld Rohstoffeffizienz bestehen aus zahlreichen Einzeltechnologien, deren **Marktpotenzial** sich quantitativ noch nicht vollständig eingrenzen lässt. Dies liegt auch an der vergleichsweise geringen rohstoffbezogenen Forschungstätigkeit. Während nach der ersten Ölkrise in den Jahren 1972/1973 eine massive Beschäftigung mit den Möglichkeiten einer effizienten Energienutzung und ihren Auswirkungen auf den künftigen Energiebedarf eingesetzt hat, ist ein als ähnlich dramatisch empfundener Anlass bei den Rohstoffen bisher ausgeblieben (DIW/ISI/Roland Berger 2007). So wurden bisher nur einige Bereiche quantifiziert: Schätzungen zu den weltweit erbrachten Dienstleistungen für die Abfallentsorgung (inkl. die Erfassung von Siedlungs- und Industrieabfällen, ihre Sortierung, das Recycling und die Beseitigung auf Deponien, einschließlich der thermischen, mechanisch-biologischen oder sonstigen Vorbehandlung) liegen bei ca. 270 Mrd. € pro Jahr. Davon entfallen etwa 55 Mrd. € auf die EU (vgl. Kap. 7). Exemplarisch für die Technologielinie des Rohstoffmanagements wurde von DIW/ISI/Roland Berger (2007) die Pulverlackierung als ein ressourcenschonendes Produktionsverfahren herausgegriffen. Der weltweite Umsatz mit Pulverlacken wird auf 2,5 Mrd. € geschätzt, mit stark steigender Tendenz. Der Trend wird wesentlich durch das Bestreben nach Lack- und Kosteneinsparung getragen (Frost & Sullivan 2003). Dem Lackumsatz ist ein nicht bekanntes Marktvolumen für die Applikationstechnik hinzuzurechnen. Nach Berger (2007) kann das jährliche Marktvolumen im Handlungsfeld auf ca. 40 Mrd. Euro geschätzt werden. Hervorzuheben ist die enorme Wachstumsrate von 8 %/a, die von Berger (2007) für die künftigen Jahre für plausibel gehalten wird und die zu einem Marktvolumen von ca. 130 Mrd. Euro im Jahr 2020 führen würde.

### **4.3 Internationale Analyse der technologischen Leistungsfähigkeit**

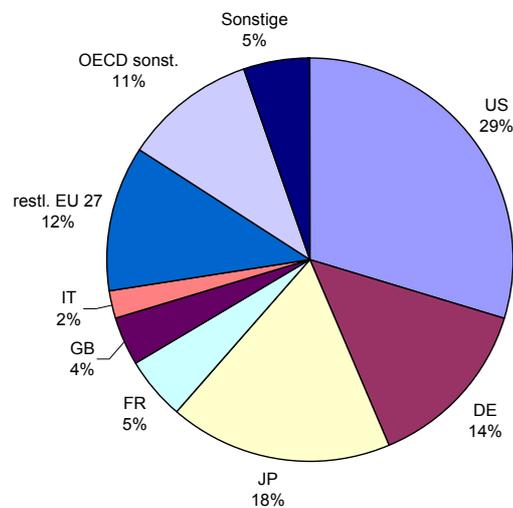
Zur Beschreibung der Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands wird die technische Leistungsfähigkeit von Unternehmen durch Patentanteile und RPA-Werte beschrieben. Während Patente zeitlich immer einige Jahre vor der technologischen Umsetzung liegen, wird die Wettbewerbsfähigkeit auf dem Weltmarkt in einem weiteren Abschnitt mit Hilfe von Außenhandelsindikatoren erfasst.

## 4.3.1 Patentanalyse

### 4.3.1.1 Überblick Handlungsfeld

Die meisten Patentanmeldungen stammen aus der USA (29 %), gefolgt von Japan (18 %) und Deutschland (14 %). Der Anteil der EU 27 an den Patenten beträgt ca. 37 %. Die größte Anzahl der Patentanmeldungen im Handlungsfeld Materialeffizienz lag im Bereich der Nutzung nachwachsender Rohstoffe.

Abbildung 4-2: Patentanteile im Handlungsfeld Materialeffizienz



Beim Blick auf den zeitlichen Verlauf der Patentanteile fällt auf, dass seit 1991 die Anteile der Patentanmeldungen aus den USA und der EU 27 abgenommen haben, während Anmeldungen aus Japan und Nicht-OECD Staaten jeweils um ca. 5 %-Punkte gestiegen sind.

Abbildung 4-3: Entwicklung der Patentanteile im Handlungsfeld Materialeffizienz

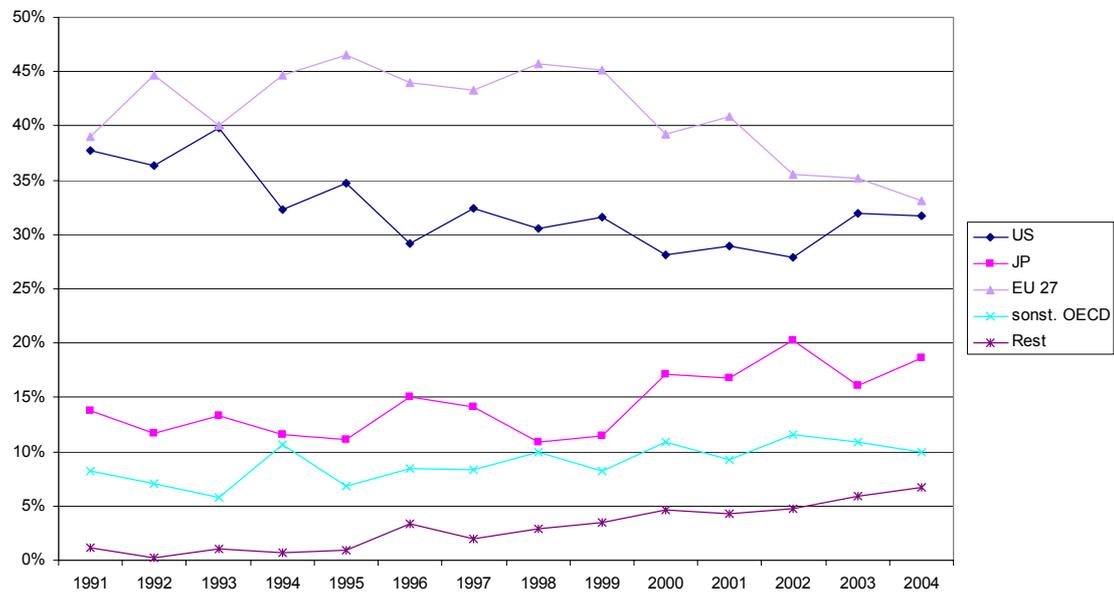
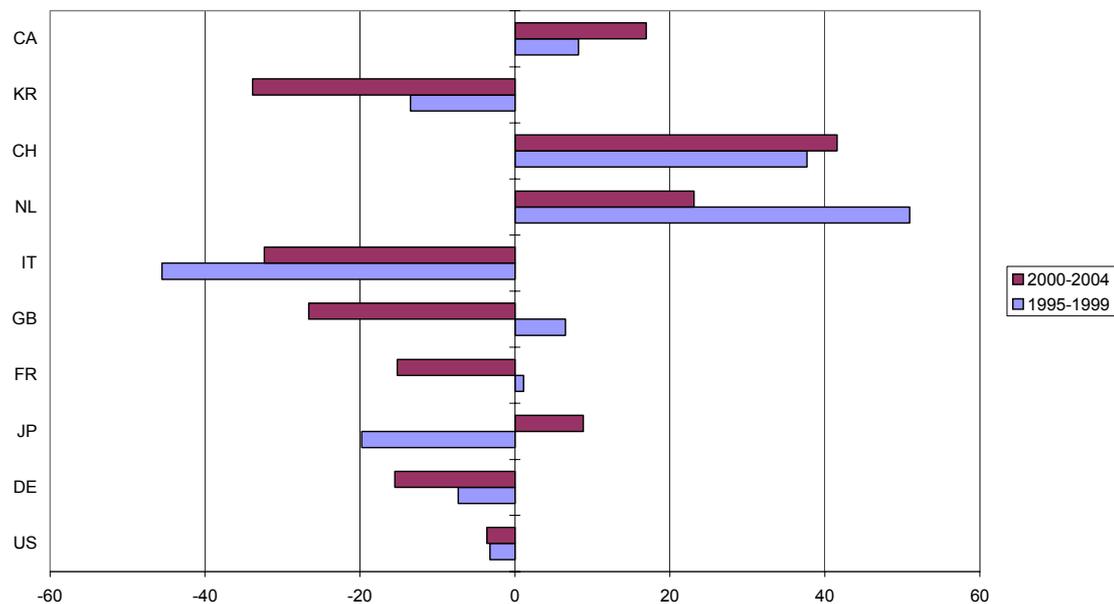


Abbildung 4-4: Relative Patentanteile im Handlungsfeld Materialeffizienz



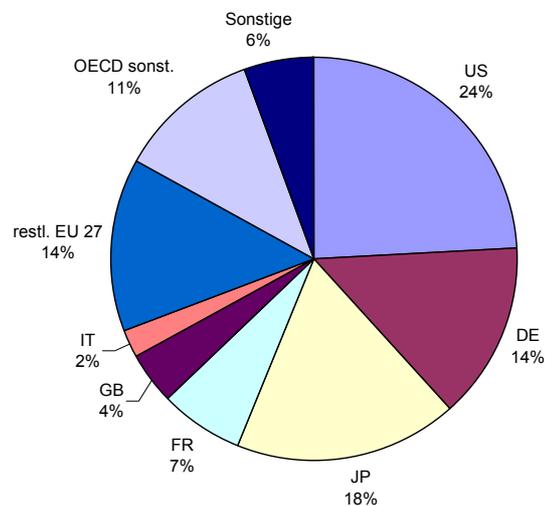
Wie in Abbildung 4-4 dargestellt, hat in der Schweiz, Kanada und den Niederlanden eine Spezialisierung auf Patente zur Materialeffizienz stattgefunden. In den anderen Ländern war das Handlungsfeld unterdurchschnittlich in den Patenten vertreten. Diese Tendenz hat sich häufig im Zeitabschnitt 2000 bis 2004 noch verstärkt. Nur in Italien und Japan ist der RPA im Zeitraum 2000 bis 2004 besser geworden, wobei Japan sogar einen positiven RPA erzielen konnte.

Die RPA für das Handlungsfeld Materialeffizienz werden aufgrund der hohen Anzahl von Patentanmeldungen von der Produktgruppe Nachwachsende Rohstoffe bestimmt, für das sich ein ähnliches Bild ergibt.

#### 4.3.1.2 Nachwachsende Rohstoffe

Die meisten Patentanmeldungen stammen aus der USA (24 %), gefolgt von Japan (18 %) und Deutschland (14 %). Der Anteil der Länder der EU27 an den Patenten in der Techniklinie Nachwachsende Rohstoffe beträgt ca. 41 %.

Abbildung 4-5: Patentanteile in der Produktgruppe Nachwachsende Rohstoffe



Der Anteil der Patentanmeldungen aus den USA ist in den letzten 14 Jahren um ca. 10 %-Punkte zurückgegangen. Einen ebenso starken Rückgang gab es auch für den Patentanteil der EU27-Länder seit 1999, nachdem der Anteil mit über 50 % gleichmäßig hoch war. Im betrachteten Zeitraum ist der Anteil Japans und der restlichen Nicht-OECD Länder gestiegen.

Abbildung 4-6: Entwicklung der Patentanteile in der Produktgruppe Nachwachsende Rohstoffe

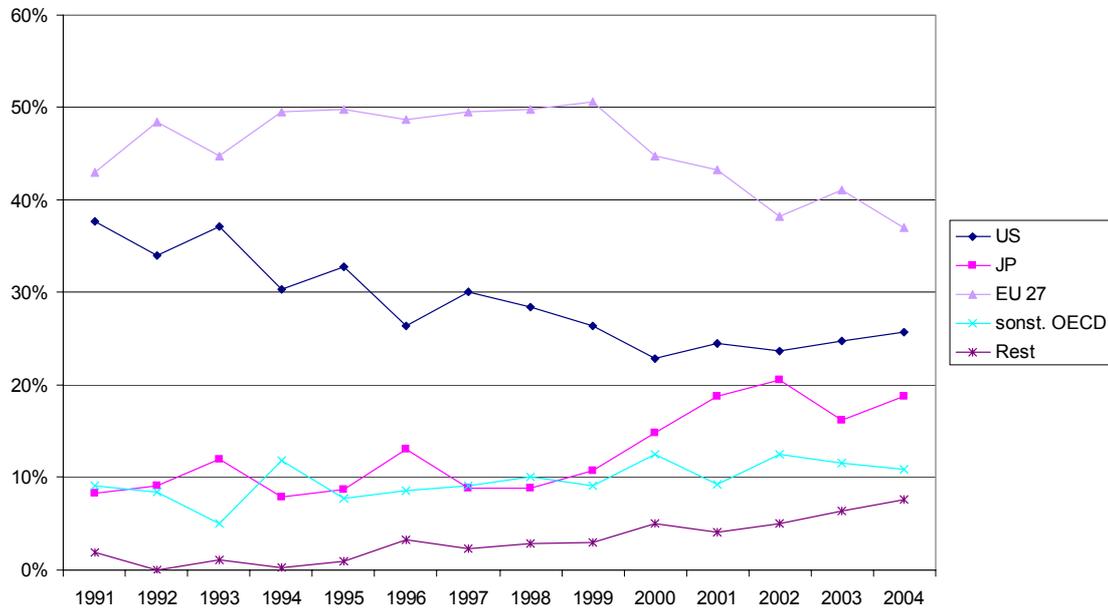
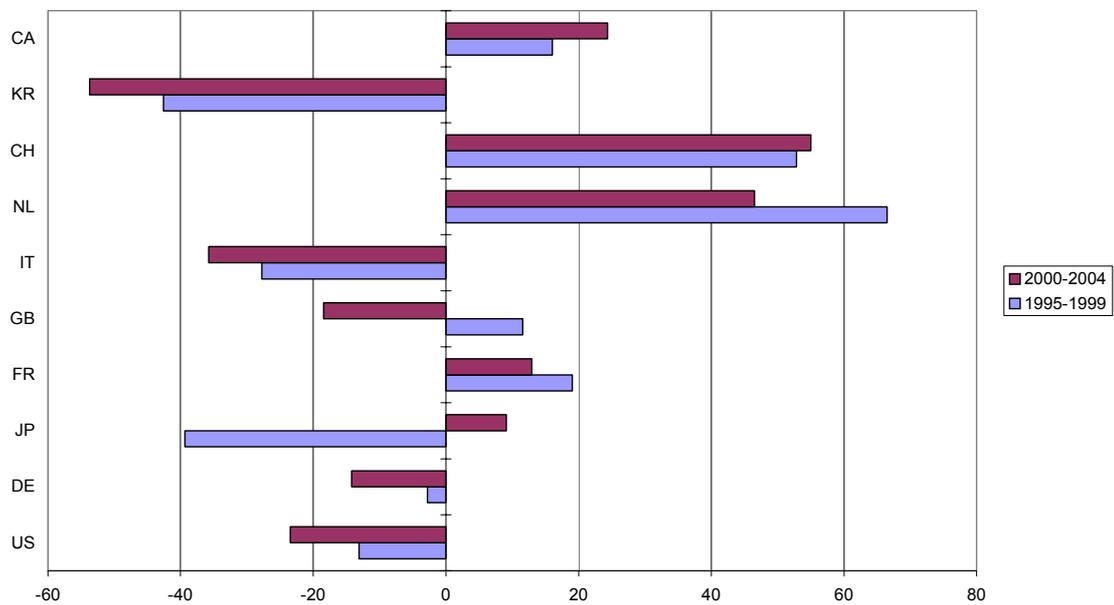


Abbildung 4-7: Relative Patentanteile in der Produktgruppe Nachwachsende Rohstoffe



In der Produktgruppe Nachwachsende Rohstoffe zeigen Kanada, die Schweiz, die Niederlande Frankreich und, für den Zeitraum 2000 bis 2004, auch Japan eine über-

durchschnittliche Patentaktivität. Für 2000 bis 2004 haben vor allem Korea und Italien, aber auch Großbritannien die USA und Deutschland unterdurchschnittliche Patentaktivitäten. In Japan finden sich unter den Patenten zu nachwachsenden Rohstoffen vor allem Aktivitäten, die Polymere betreffen.

#### 4.3.1.3 Ökodesign

In der Produktgruppe Ökodesign stellen Anmeldungen zum Korrosionsschutz die größte Gruppe, gefolgt von Patenten zu innovativen Produkten und zur Faserverstärkung.

Für die Jahre 2000 bis 2004 erfolgten die weitaus meisten Anmeldungen zu Ökodesign in den USA (41 %). Japan hatte einen Anteil von 18 %, gefolgt von Deutschland mit 14 %. Der Anteil der EU 27 beträgt 28 %.

Der zeitliche Verlauf beim Ökodesign ist nicht so heterogen wie bei den nachwachsenden Rohstoffen, tendenziell verringert sich der Anteil der Länder der EU27 und Japans etwas zugunsten der Nicht-OECD Länder. Bedingt durch die geringere Anzahl der Patente erfolgt der Kurvenverlauf mit Abweichungen nach unten oder oben, da sich die Änderung von Patentanmeldungen prozentual stark auswirkt.

Abbildung 4-8: Patentanteile in der Produktgruppe Ökodesign

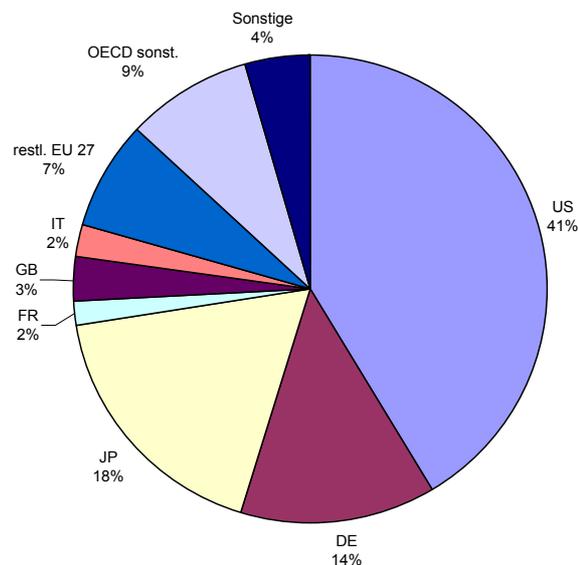


Abbildung 4-9: Entwicklung der Patentanteile in der Produktgruppe Ökodesign

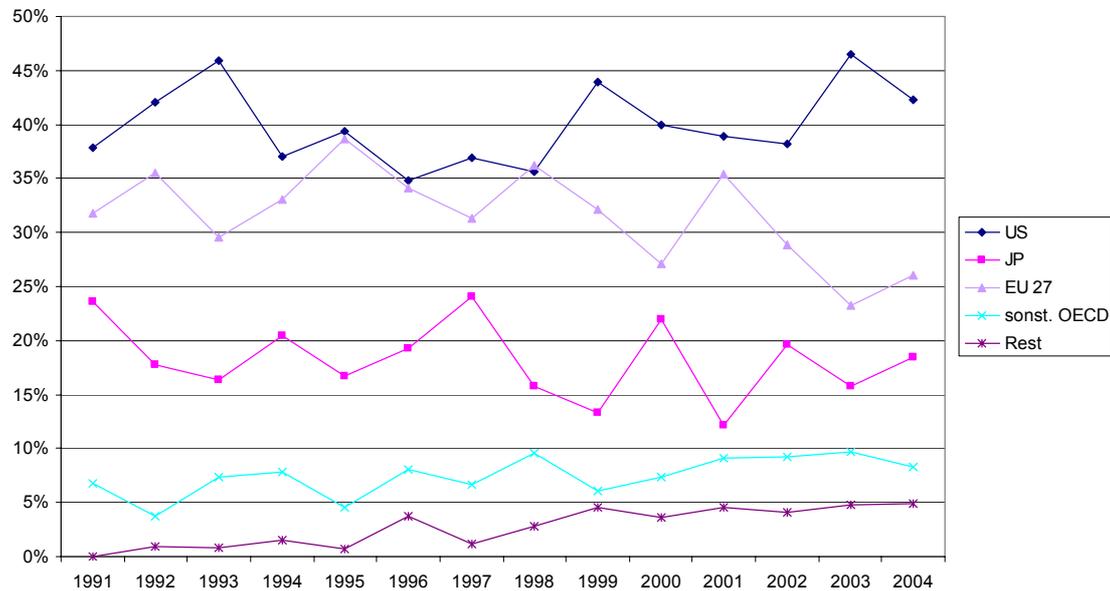
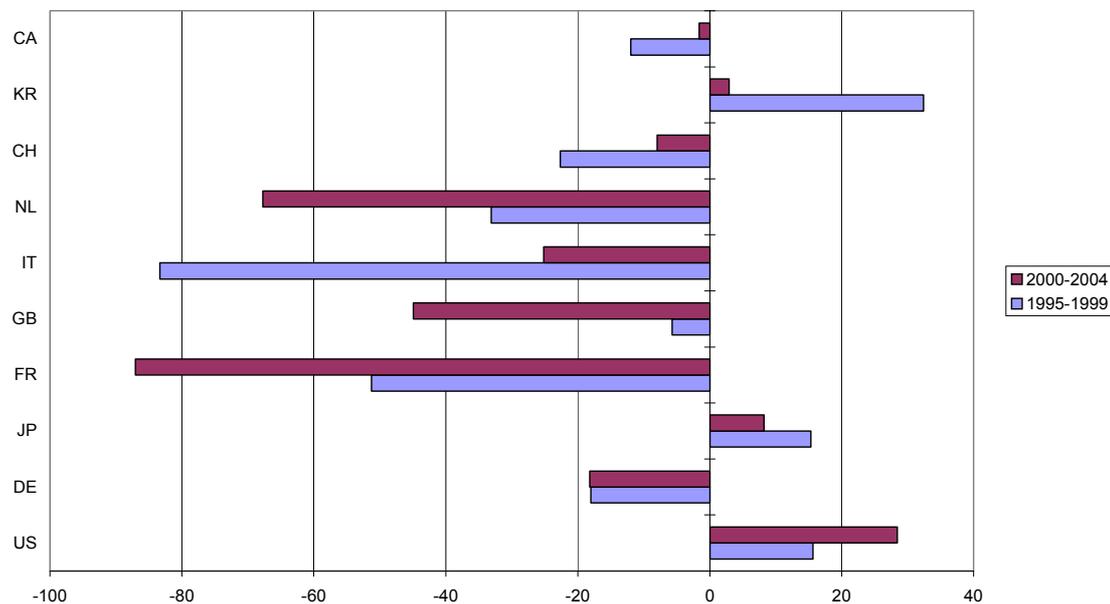


Abbildung 4-10: Relative Patentanteile in der Produktgruppe Ökodesign



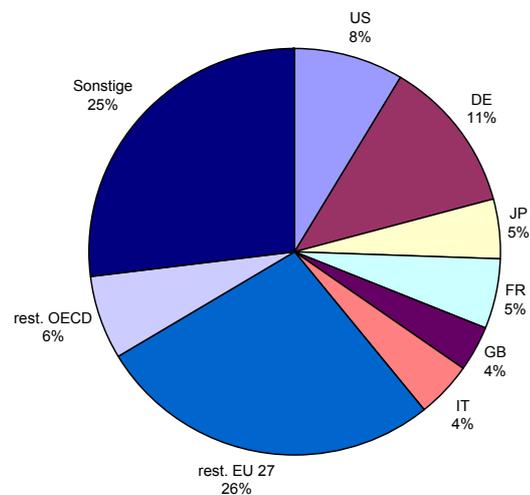
Für die meisten Länder zeigt der relative Patentanteil negative Werte, was auf unterdurchschnittliche Patentaktivitäten hinweist. Nur Korea, Japan und die USA haben überdurchschnittliche Patentaktivitäten, wobei in den USA und Korea die höheren Zuwächse bei Patenten zu innovativen Produkten und bei Japan bei Korrosionsschutzpatenten lagen.

## 4.3.2 Außenhandelsindikatoren

### 4.3.2.1 Überblick Handlungsfeld

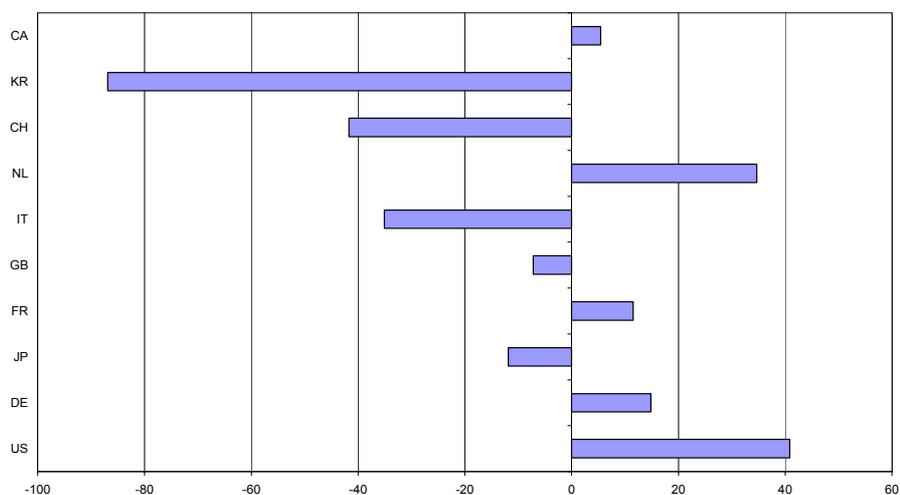
Im Bereich der Materialeffizienz hat Deutschland mit 11 % den größten Anteil am Welt-handel von ca. 112 Mrd. US \$ für 2004, gefolgt von den USA mit 8 % und Japan und Frankreich mit jeweils 5 %. Der Anteil der EU 27 betrug 50 %; nicht der OECD angehörende Länder bestreiten insgesamt ein Viertel des Welthandels.

Abbildung 4-11: Welthandelsanteile im Handlungsfeld Materialeffizienz



Beim RCA haben vor allem die USA (RCA = 41) und die Niederlande (35), aber auch Deutschland (15), Frankreich (12) und Kanada (5) komparative Vorteile. Großbritannien (-7), Japan (-12), Italien (-35), die Schweiz (-42) und Korea (-87) sind im internationalen Wettbewerb weniger gut positioniert.

Abbildung 4-12: RCA im Handlungsfeld Materialeffizienz

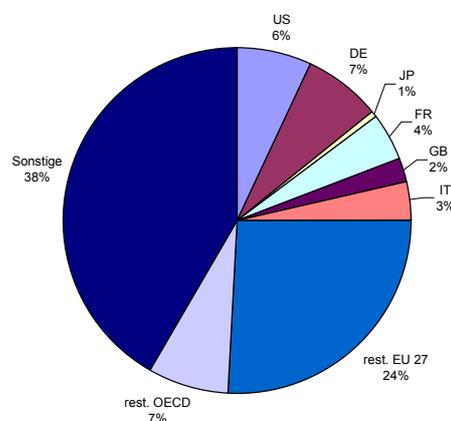


Die oben angeführten Zahlen weisen alle einen nationalen Fokus auf, d. h. sie beinhalten auch die Exporte innerhalb der EU. Betrachtet man hingegen die EU als einheitlichen Wirtschaftsraum, d. h. ohne die Exporte zwischen den EU-Mitgliedsländern, fällt der gesamte Welthandel rechnerisch geringer aus. Gleichzeitig fällt der Welthandelsanteil der EU geringer aus als die Summe der Welthandelsanteile der einzelnen EU-Mitgliedsländer bei einer rein nationalen Betrachtung, während die Welthandelsanteile der übrigen Länder einen höheren Wert einnehmen. Da ein erheblicher Teil der Exporte der einzelnen EU-Mitgliedsländer in andere EU-Länder geht, beträgt der Welthandelsanteil der EU27-Länder auf dieser Datenbasis ohne Intra-EU-Handel knapp 24 %. Er liegt damit in etwa doppelt so hoch wie der Wert für die USA. Auf Japan und China entfallen jeweils deutlich weniger als 10 %. Gleichzeitig nimmt der RCA der EU27 einen Wert von 39 ein. Hier liegt die EU gleichauf mit den USA. Japan weist hier eine durchschnittliche Spezialisierung auf, China eine unterdurchschnittliche. Insgesamt verdeutlichen diese Zahlen eine gute Ausgangsposition der EU im Handel mit den zugehörigen Produktgruppen.

#### 4.3.2.2 Nachwachsende Rohstoffe

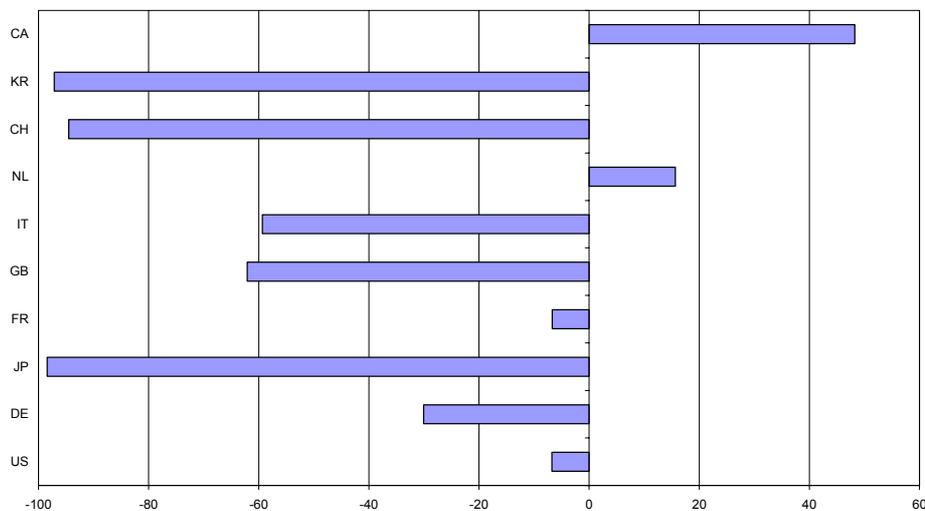
Beim Welthandel mit nachwachsenden Rohstoffen gibt es keine Länder mit herausragenden Positionen wie bei den anderen Handlungsfeldern. Deutschland ist mit 7 % beteiligt, vor den USA mit 6 % und Frankreich mit 4 %. Der Anteil der EU 27 ist 40 %; den größten Anteil machen aber die sonstigen Länder mit 38 % aus, unter denen sich auch Brasilien mit 7 % befindet. Das dicht besiedelte Japan hat nur einen Anteil von ca. 1 %.

Abbildung 4-13: Welthandelsanteile in der Produktgruppe Nachwachsende Rohstoffe



Der Welthandelsanteil in den einzelnen Technologielinien der Produktgruppe Nachwachsende Rohstoffe ist bei den betrachteten Ländern sehr unterschiedlich. Während bei natürlichen Baumaterialien (Holz) Kanada den größten Anteil hat, sind es bei Ölen und Fetten die Niederlande und die USA. Bei den Chemierohstoffen haben, neben Deutschland, vor allem Frankreich, die USA und die Niederlande größere Anteile am Welthandel. Bei den natürlichen Polymeren hat die USA den größten Anteil vor Frankreich und Großbritannien.

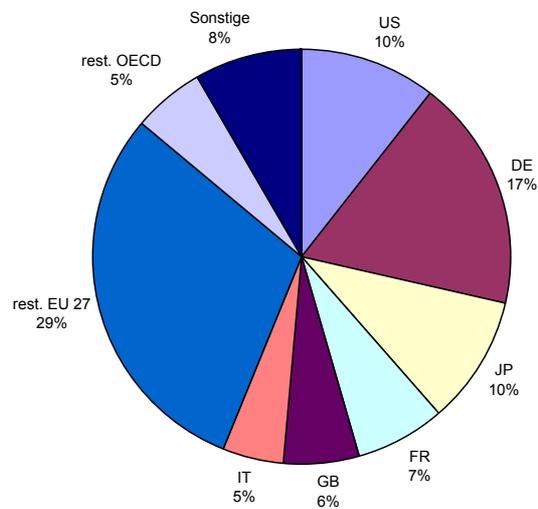
Abbildung 4-14: RCA in der Produktgruppe Nachwachsende Rohstoffe



### 4.3.2.3 Ökodesign

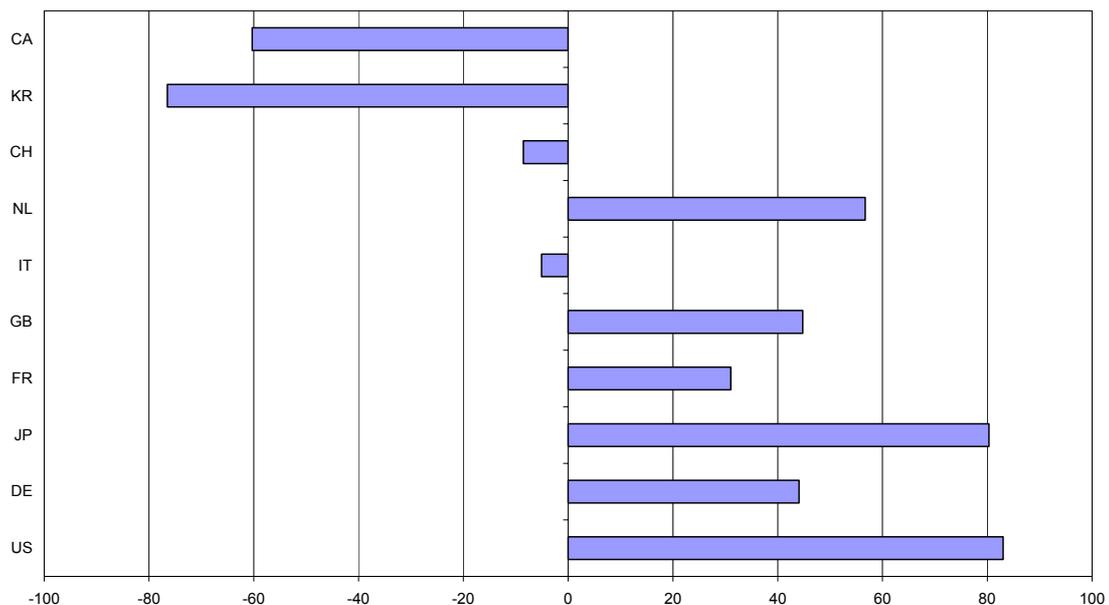
In der Produktgruppe Ökodesign wurden im Außenhandel die Technologielinien Korrosionsschutz und Faserverstärkung untersucht. Den größten Anteil hatte Deutschland mit 17 % vor den USA und Japan mit jeweils 10 %. Der Anteil der EU 27 lag bei 67 %.

Abbildung 4-15: Welthandelsanteile in der Produktgruppe Ökodesign



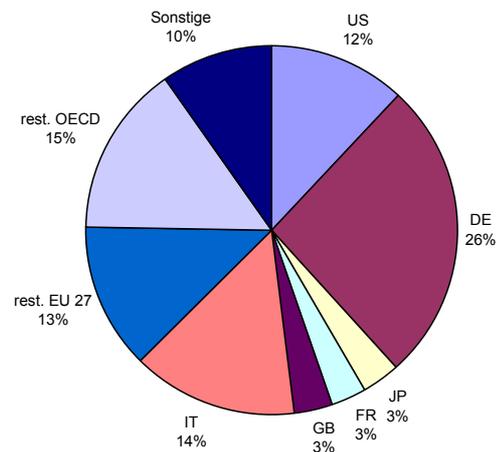
Die USA und Japan haben im Außenhandel mit einem RCA von  $> 80$  klare komparative Vorteile. Die RCA der europäischen Staaten sind zumeist positiv und liegen zwischen 56 für die Niederlande und -5 für Italien, wobei der italienische RCA seit einigen Jahren kontinuierlich besser wird. Vor allem Kanada und Korea haben eine schwache Wettbewerbsposition am Markt.

Abbildung 4-16: RCA in der Produktgruppe Ökodesign



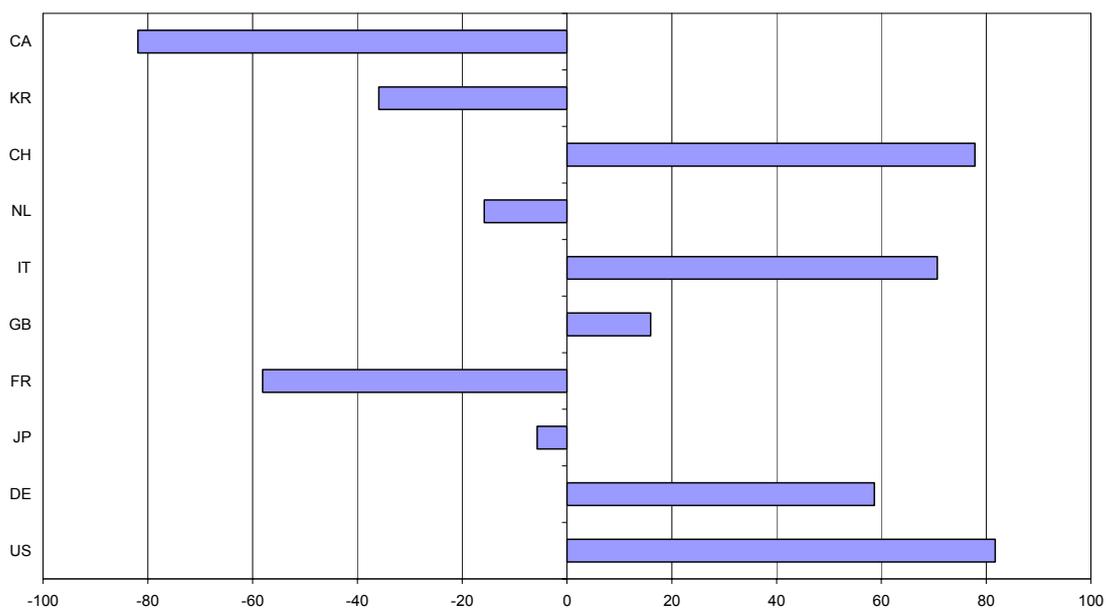
Zusätzlich wurde im Außenhandel die Technologielinie der Kunststoffadditive untersucht. Deutschland hat einen Anteil von 26 % des Weltmarktes, die Staaten der EU insgesamt 62 %. Den zweitgrößten Anteil hat Italien mit 14 % vor den USA mit 12 %.

Abbildung 4-17: Welthandelsanteile in der Technologielinie Kunststoffadditive



Auch beim RCA sind die drei Länder mit dem größten Welthandelsanteil gut im Wettbewerb positioniert: USA mit 82, Italien mit 70 und Deutschland mit 59. Daneben hat auch die Schweiz mit einem RCA von 78 komparative Vorteile, während vor allem Kanada mit -82 eine schwache Position am Weltmarkt hat (vergleiche Abbildung 4-18).

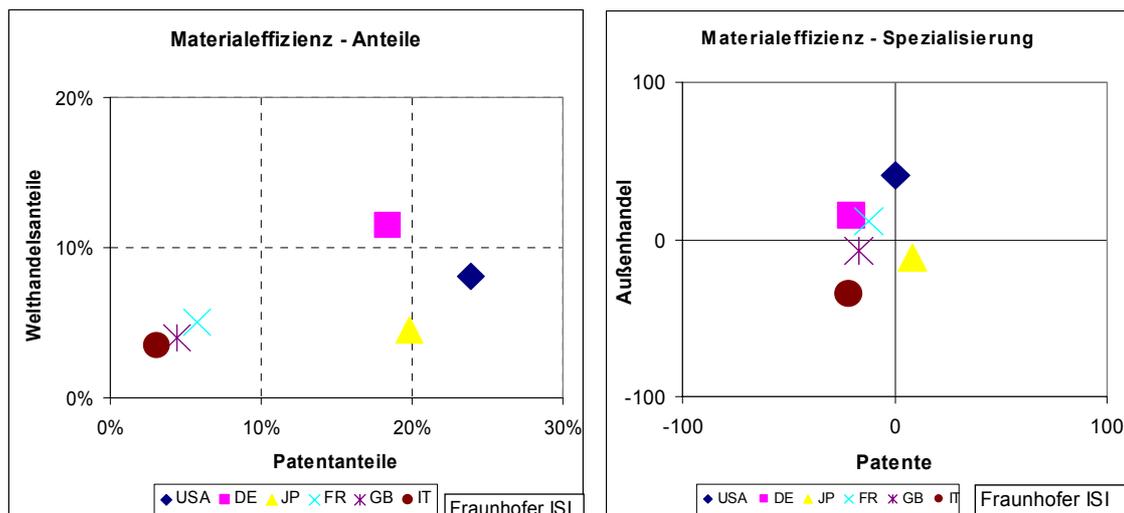
Abbildung 4-18: RCA in der Technologielinie Kunststoffadditive



#### 4.4 Schlussfolgerungen für die Perspektive 2020

Die folgende Abbildung 4-19 fasst die Ergebnisse des internationalen Vergleichs im Handlungsfeld Materialeffizienz zusammen. Insgesamt ist Deutschland im Bereich der Materialeffizienz zwar nicht schlecht aufgestellt, allerdings ist die gute Ausgangslage weniger stark ausgeprägt als in den meisten anderen Handlungsfeldern. Die Analyse der Patentdaten zeigt, dass der Anteil Deutschlands an den Patenten in allen Produktgruppen konstant bei 14 % liegt. Die EU27 kommt auf einen Patentanteil von kumuliert 37 %. Bei den nachwachsenden Rohstoffen nimmt im Zeitverlauf aber der Anteil der (industrialisierten) EU27 zugunsten der Schwellenländer ab. Der deutsche RPA ist in allen Produktgruppen leicht negativ, was auf unterdurchschnittliche Patentaktivitäten sowohl für nachwachsende Rohstoffe als auch für Ökodesign hinweist. Deutschland sollte hier den Anschluss nicht verlieren, da die verstärkte Nutzung nachwachsender Rohstoffe, u. a. als Energieträger innerhalb der EU und den USA erklärte Absicht ist.

Abbildung 4-19: Überblick über die Leistungsfähigkeit im Handlungsfeld Materialeffizienz



Die internationale Wettbewerbsfähigkeit ist für die Produktgruppe Nachwachsende Rohstoffe schlechter als bei Ökoeffizienz, da auch viele Schwellenländer im Bereich der Rohstoffe präsent sind. Deutschland ist als traditioneller Chemiestandort vor allem dort stark, wo nachwachsende Rohstoffe als Feedstock eingesetzt werden, dies gilt auch für andere europäische Staaten wie die Niederlande oder Frankreich. Auch für den Handel mit Kunststoffadditiven profitiert Deutschland von der Kunststoffindustrie. Beim Ökodesign ist Deutschland, wie die meisten europäischen Staaten, gut aufgestellt und hat einen größeren Welthandelsanteil als Japan oder die USA, obwohl diese einen deutlich besseren Wettbewerbsvorteil (gemessen als RCA) haben. Wenn man die großen Wirtschaftsräume betrachtet und den Intra-EU-Handel aus den Welthan-

delszahlen herausrechnet, hält die EU27 einen Welthandelsanteil von knapp 24 %. Sie liegt damit klar vor den USA und ist auch bezüglich des RCA deutlich spezialisiert.

Tabelle 4-1: Vergleich von Leistungsfähigkeit und Marktpotenzial der verschiedenen Produktgruppen im Handlungsfeld Materialeffizienz

Produktgruppe	Patente		Außenhandel		Marktpotenzial
	relative Position	wichtigste Konkurrenten	relative Position	wichtigste Konkurrenten	
<b>Materialeffizienz gesamt</b>	hoch	US,JP	sehr gut	US, JP, FR	sehr hoch
Nachwachsende Rohstoffe	hoch	US, JP	sehr gut	BR, US, FR	sehr hoch
Ökodesign	hoch	US, JP	gut	US, JP	hoch

Im Vergleich zur Diskussion bei erneuerbaren Energien oder der Energieeffizienz werden die politischen und gesellschaftliche Ziele für einen effizienten Einsatz von Materialien weniger intensiv diskutiert. Konkrete Vorgaben für Materialien finden sich nur im Bereich des Abfalls, etwa in der Verpackungsverordnung oder der Altautoverordnung. In Zukunft ist aber absehbar, dass eine weltweit wachsende Rohstoff- und Materialnachfrage, bedingt durch steigenden Bedarf in China, Indien und anderen schnell wachsenden Volkswirtschaften, zunehmend in den Blickpunkt der Politik geraten wird. Materialeffizienz kann dazu beitragen, den Schwankungen des Weltmarktpreises für Materialien nicht so stark ausgeliefert zu sein. Die Ergebnisse der Indikatoren zur Leistungsfähigkeit verdeutlichen, dass Deutschland insbesondere seine Wissenskompetenzen wesentlich ausbauen sollte, um eine Spitzenstellung im Bereich der Materialeffizienz einnehmen zu können.

Auch in der deutschen Bevölkerung wird die Bedeutung materialeffizienter Produkte nur wenig thematisiert. Ökodesign und Leichtbau werden häufig nur unter Aspekten der Energieeinsparung wahrgenommen. Demgegenüber ist die Bedeutung nicht-energetischer Ressourcen noch weniger ausgeprägt. Hier könnten Informationskampagnen, analog den Informationen zu Energietechnologien wie z. B. durch BINE, Industrie und Konsumenten über die Bedeutung von Materialeffizienz aufklären. Hierzu kann Deutschland die Erfahrungen der Energieeffizienzkampagnen auswerten und nutzen.

Tabelle 4-2: Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Materialeffizienz

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deutschland hat wichtige Akteure im Bereich der Recyclingtechnologien</li> <li>• Traditionell Chemische Industrie in Deutschland gut etabliert, entsprechend gute Anknüpfungspunkte bei z. B. Kunststoffadditiven, nachwachsenden Rohstoffen als Chemierohstoffe oder Biokunststoffe</li> <li>• Gründung der Materialeffizienzagentur auf Initiative des BMWi, Bewusstseinschärfung für Materialeffizienz z. B. durch Materialeffizienzpreis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostensenkung beim Material, nachdem Potenziale bei den Lohnkosten schon weitgehend ausgeschöpft wurden</li> <li>• Die unternehmensinternen Potenziale der Materialeffizienz können gehoben werden</li> <li>• Materialverknappung aufgrund geringerer Reserven führt zu höheren Preisen und damit zum möglichen rentablen Einsatz von aufwendigeren Technologien (z. B. Recyclingverfahren)</li> <li>• Weiterer Aufbau von Unternehmensnetzwerken zur rentablen Steigerung von Materialeffizienz (z. B. im NeMat analog zu lokal eingeführten Energieeffizienztischen)</li> </ul>
Schwächen	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nur selten verankerte Zielvorgaben, mit Materialien effizient umzugehen. Bestehende Vorgaben gibt es v. a. unter abfallwirtschaftlichen Gesichtspunkten (z. B. VerpackV, AltfahrzeugV)</li> <li>• Keine Zielvorgaben zur Verbesserung der Materialeffizienz Rohstoffen, deren Versorgung besonders vulnerabel ist</li> <li>• Im Gegensatz zu Energieeffizienz wird Materialeffizienz erst langsam mehr Aufmerksamkeit gewidmet</li> <li>• Innovationsdynamik im Bereich Ökodesign ist in Deutschland vergleichsweise gering, obwohl ihm eine Schlüsselrolle für Lebensdauer und Materialverbrauch zukommt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit, da Deutschland als rohstoffarmes Land besonders von Störungen der Rohstoffversorgung betroffen wäre</li> </ul>

## 5 Zukunftsmarkt Nachhaltige Mobilität

### 5.1 Abgrenzung und Technologiebeschreibung

Für die detaillierte Analyse wird das Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität zunächst in fünf Produktgruppen gegliedert, welche individuelle Ansatzpunkte einer ökologisch nachhaltigen Entwicklung der Mobilität beschreiben: Fahrzeugtechnik, Antriebe, Infrastrukturen, Emissionsminderungstechnologien und alternative Kraftstoffe.

Innerhalb der fünf Produktgruppen werden folgende Technologielinien als besonders Erfolg versprechend im Sinne einer nachhaltigen Mobilitätsentwicklung angesehen:

- **Antriebstechnik und Kraftstoffe:** Hybride Antriebssysteme zur kurzfristigen Emissionsvermeidung sowie als Brückentechnologie zu rein elektrischen Antrieben, mobile Brennstoffzellen, die regenerative Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff und elektrischer Energie sowie die kontinuierlichen Verbesserungen des Wirkungsgrades von Verbrennungsmotoren (z. B. durch das HCCI-Verfahren = Homogeneous Charge Compression Injection/Gleichmäßige Ladung durch Kompression und Einspritzung) und von Düsenantrieben.
- **Fahrzeugbau:** Leichtbau, die Multifunktionalität und Attraktivität von Schienenfahrzeugen und deren weitere Kompatibilität mit dem Straßenverkehr zur leichteren Einbindung in logistische Ketten, weitere Verbesserung der Aerodynamik von Luftfahrzeugen sowie ein allgemeines Größenwachstum der Transportgefäße<sup>12</sup>.
- **Infrastrukturen und Verkehrssysteme:** Entflechtung von Personen- und Güterverkehr auf der Schiene, Hafenausbau und Kapazitätserweiterung der Binnenverkehrsträger im Hafenhinterlandbereich sowie auf internationalen Korridoren (Ausbau der Trans-Europäischen Netze/TEN), Verkehrssteuerung (Traffic Demand Management) in Ballungsräumen sowie telematikgestütztes Informations- und Mobilitätsmanagement zur Verlagerung der Nachfrage auf umweltfreundliche Verkehrsträger.
- **Emissionsminderung:** Weiterentwicklung von Filter und Katalysatoren und Einsatz im Bahn- und Schiffsbereich sowie Lärminderungstechniken für alle Verkehrsträger.
- **Biokraftstoffe:** Produktion hochwertiger Synthesegase aus Biomasse beliebiger Zusammensetzung im industriellen Maßstab

Eine nachhaltige Verkehrspolitik muss sich entsprechend auf mehrere Säulen stützen: Technologische Verbesserung seitens der Antriebssysteme und Kraftstoffe einerseits und eine Verkehrsverlagerung auf umweltfreundlichere Alternativen durch verbesserte Angebote und ein angemessenes Mobilitätsmanagement andererseits. Der größte

---

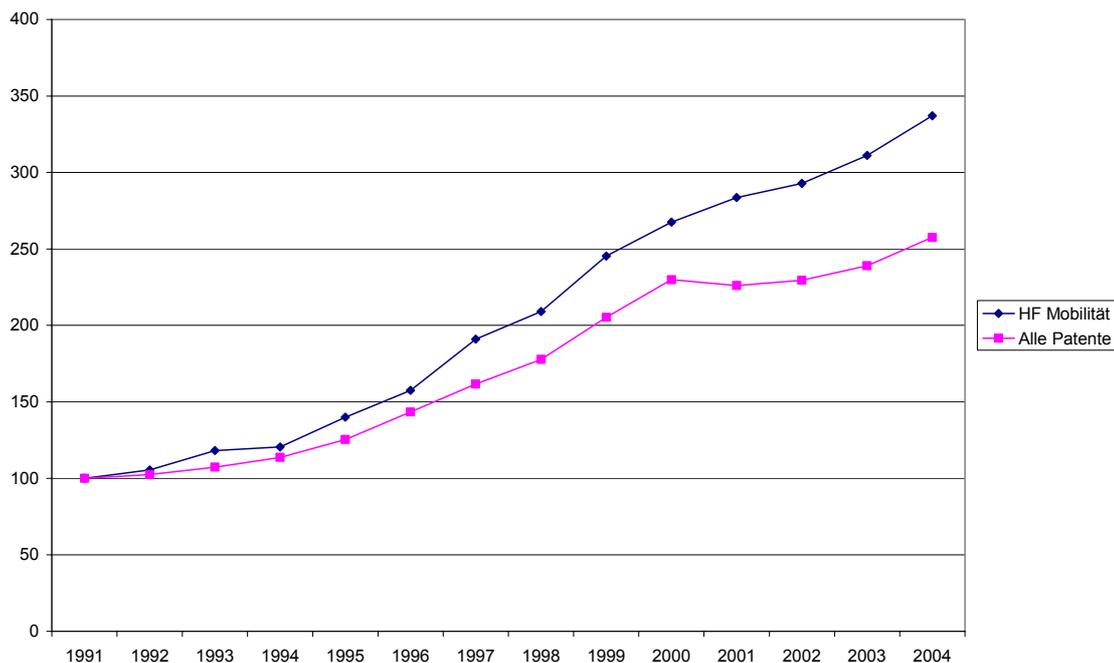
<sup>12</sup> Bei der Beurteilung der Nachhaltigkeit darf jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass dies unter Umständen auch zu einer Verdrängung noch umweltfreundlicherer Alternativen führen könnte, z. B. wenn der EuroCombi Bahngüterverkehr substituieren würde.

Handlungsdruck wird hierbei in den großen und schnell wachsenden Metropolen von Industrie- wie Entwicklungsländern sowie im globalen See- und Luftverkehr aufgrund der enormen Wachstumsraten gesehen. Der Politik kommt dabei die Aufgabe zu, technologische Entwicklung auf diesen Feldern durch die Vorgabe geeigneter ökonomischer und regulatorischer Rahmenbedingungen zu beschleunigen.

## 5.2 Innovationsdynamik und Marktpotenzial

Im Zeitraum 1991 bis 2004 zeigt sich die Innovationsdynamik des Handlungsfeldes Nachhaltige Mobilität gemessen an den absoluten Patentanmeldungen deutlich dynamischer als die Gesamtwirtschaft. Einem Wachstum aller Anmeldungen auf 260 % steht ein Wachstum bei nachhaltigen Mobilitätstechnologien um 340 % in 2004 im Vergleich zu 1991 gegenüber.

Abbildung 5-1: Innovationsdynamik der jährlichen Patentanmeldungen im Handlungsfeld Mobilität im Vergleich zu allen Anmeldungen (1991 = 100)

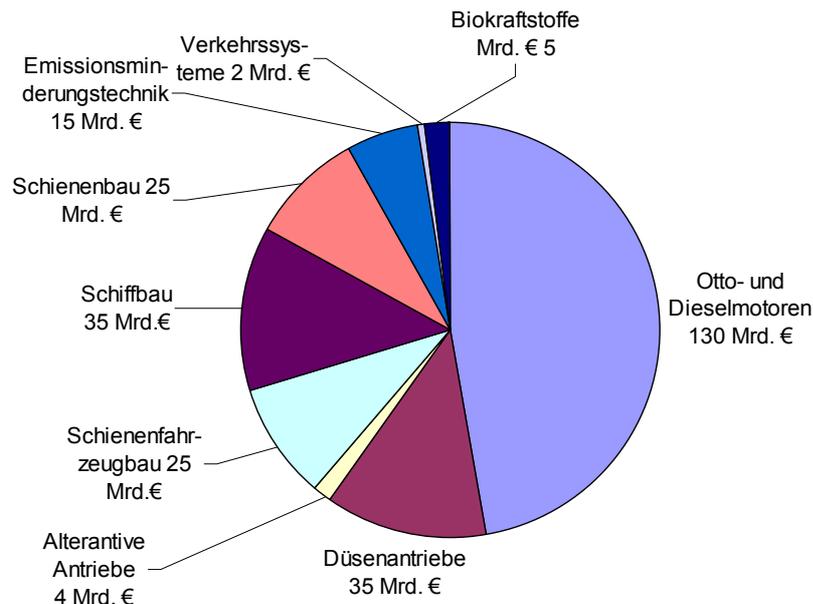


Innerhalb des Handlungsfeldes zeigen die Emissionsminderungstechnologien, allerdings gemessen an einem relativ geringen Niveau insgesamt, mit großem Abstand den dynamischsten Verlauf. Eine etwas unterdurchschnittliche Entwicklung der Patentdynamik weist die Verkehrsinfrastruktur auf. In absoluten Zahlen wurden über 50 % der weltweiten Patentanmeldungen in der Produktgruppe Antriebstechnologien erteilt.

Durch innermotorische Verbesserungen tragen diese erheblich zur Verminderung fahrzeugseitiger Emissionen bei (DIW/ISI/Roland Berger (2007)).

Das Marktvolumen für nachhaltige Mobilitätstechnologien wird mit 300 bis 360 Mrd. Euro weltweit abgeschätzt (DIW/ISI/Roland Berger 2007), womit die Investition in diese Technologien durchaus erhebliche Potenziale für einen ökonomischen Erfolg birgt. 50 % des Marktpotenzials entfallen dabei auf effiziente Verbrennungsmotoren mit klassischen Kraftstoffen (Otto- und Dieselmotoren). Mit jeweils ca. 10 % Marktanteil (25 bis 35 Mrd. Euro) bildet der Flugzeug-, Schiffs- und Eisenbahnfahrzeugbau sowie die Produktgruppe der Emissionsminderungstechnologien (15 Mrd. Euro) ein erhebliches Marktpotenzial. Aufgrund der weltweit steigenden Mobilitätsnachfrage wird den Bereichen Kfz- und Flugzeugbau das größte Wachstumspotenzial zugesprochen.

Abbildung 5-2: Marktpotenziale ausgewählter Produktgruppen und Technologielinien im Handlungsfeld Mobilität



Quelle: DIW/ISI/Berger (2007)

## **5.3 Internationale Analyse der technologischen Leistungsfähigkeit**

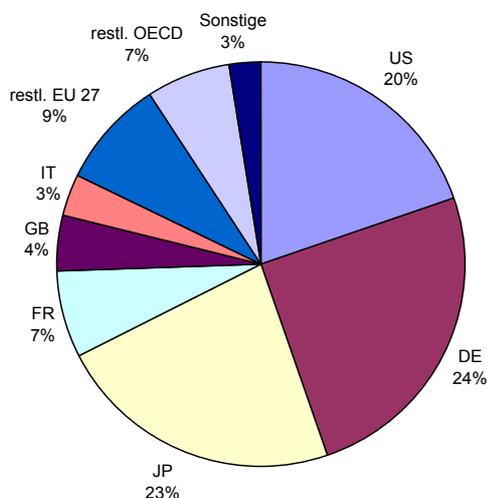
### **5.3.1 Patentanalyse**

#### **5.3.1.1 Überblick Handlungsfeld**

Die Forschungs- und Entwicklungstätigkeit im Bereich der nachhaltigen Mobilität konzentriert sich auf einige Länder. 67 % der weltweiten Patentanmeldungen erfolgten im Jahr 2004 durch drei Länder (USA 20 %, Deutschland 24 %, Japan 23 %). Unter Hinzunahme von Frankreich (7 %) ergibt sich sogar ein Anteil der vier größten Industrieländer von 74 % an den weltweiten Patentanmeldungen. Im Gegensatz hierzu halten die Nicht-OECD-Länder lediglich einen Anteil der Patentanmeldungen von 3 %. Zum Vergleich: Die Exporte mit Produkten nachhaltiger Mobilitätstechnologien Deutschlands, Japans und der USA betragen 2004 37 % und die der Nicht-OECD-Staaten 21 %.

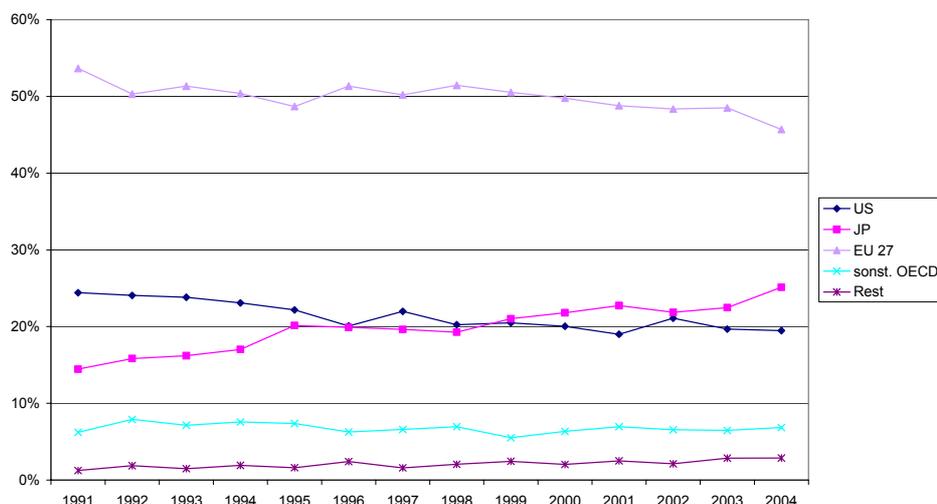
Diese Konzentration ergibt sich zunächst aus der weltweiten Struktur der Automobil- und Fahrzeugindustrie, aber auch aus der Struktur der Umwelt- und Verkehrsgesetzgebung in den einzelnen Ländern. So verfolgen beispielsweise die EU, die USA und Japan relativ strenge Luftreinhaltegesetze, was die Fahrzeugindustrie zur Entwicklung neuer Strategien zur Einhaltung dieser gesetzlichen Vorgaben zwingt. Des Weiteren spielt die Förderung des öffentlichen Personenverkehrs und des Eisenbahngüter- und Personenverkehrs, vornehmlich in Europa und Japan, eine wesentliche Rolle bei der Entwicklung neuer Technologien. Zukünftig ist jedoch zu erwarten, dass auch China bei der Entwicklung neuer Verkehrstechnologien präsenter wird. Zum einen machen die boomende Wirtschaft und die großen Entfernungen in China die Anwendung effizienter Systeme erforderlich, zum anderen ließ die chinesische Regierung ein Bekenntnis zum verstärkten Umweltschutz vor dem Hintergrund drastischer Umweltprobleme in den chinesischen Metropolen verlautbaren. Ähnliche Gegebenheiten herrschen auch in den großen Metropolen Indiens und Südamerikas, womit auch diesen Regionen ein gewisses Interesse an der Anwendung und gegebenenfalls auch Entwicklung neuer Verkehrstechnologien zugesprochen werden kann. Als Beispiel sei hier das Transmillenium-Konzept der kolumbianischen Hauptstadt Bogotá genannt, welches als bisher einzige Maßnahme des Clean Development Mechanism (CDM) im Bereich Verkehr anerkannt wurde.

Abbildung 5-3: Weltweite Patentanteile im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität nach Ländern



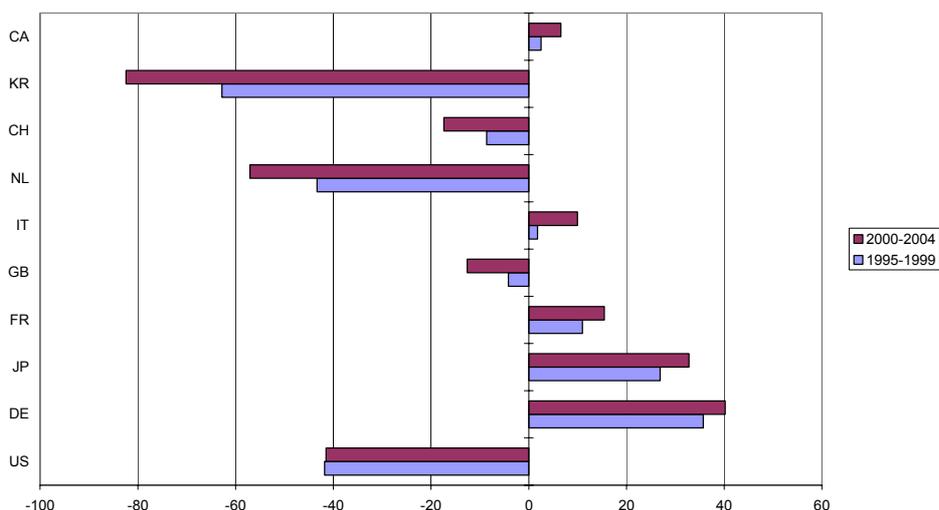
Im zeitlichen Verlauf der Patentanmeldungen sind mehrere Trends zu beobachten. Europa konnte innerhalb der letzten 13 Jahre seine dominierende Stellung klar behaupten, auch wenn die Patentanteile auf knapp 50 % leicht absanken. Ein ähnlicher Verlauf, jedoch auf einem niedrigeren Niveau (20 % bis 25 %) ist auch für die USA zu beobachten. Nutznießer dieser Entwicklung ist eindeutig Japan, dessen Weltpatentanteil von unter 15 % 1991 auf über 25 % 2004 gestiegen ist. Für die restlichen OECD-Staaten und die Nicht-OECD-Staaten zeichnet sich in der langfristigen Entwicklung zwar kein eindeutiger Trend ab, jedoch deutet sich für letztere (z. B. China) in jüngster Zeit eine Steigerung ihrer Patentaktivitäten an.

Abbildung 5-4: Entwicklung der Patentanteile im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität



Die vergleichbaren Anteile der weltweiten Patentanmeldungen für Japan, Deutschland und die USA legen, vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Größen dieser Volkswirtschaften, die Vermutung nahe, dass die relativen Patentanteile des Handlungsfeldes Nachhaltige Mobilität sehr unterschiedlich ausfallen. Dies wird durch den Indikator RPA bestätigt. Während Deutschland und Japan sowie mit Abstand Frankreich und Italien deutlich positive Spezialisierungsgrade aufweisen, fällt dieser für die USA negativ aus. Auch die Niederlande und Korea zeigen deutlich negative RPA-Werte. In den Niederlanden fehlt jedoch eine Automobilindustrie als Motor für Patentanmeldungen, während bei der koreanischen Automobilindustrie vermutet werden muss, dass sie stärker auf die Produktion als auf die Forschung eingestellt ist. Die übrigen Länder (Kanada, Schweiz, Großbritannien, Italien) zeigen eher einen neutralen Spezialisierungsgrad.

Abbildung 5-5: Relative Patentanteile im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität



Das Gesamtbild der relativen Patentanteile für das Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität spiegelt in etwa auch die Spezialisierungsgrade in den Produktgruppen Antriebs-, Fahrzeugs- und Emissionsminderungstechnologien wider. Für die Produktgruppen Verkehrsinfrastruktur und Biokraftstoffe ergibt sich jedoch ein etwas anderes Bild der Spezialisierung. Eine detaillierte Analyse nach Technologielinien wird in den folgenden Abschnitten vorgenommen.

Von den Patentanmeldungen des gesamten Handlungsfeldes machen die Produktgruppen Antriebstechnologien (54 %) sowie Fahrzeugtechnik und -design (23 %) den größten Anteil aus. Weiter entfallen 13 % der Anmeldungen auf Biokraftstoffe, 7 % auf die Verkehrsinfrastruktur und schließlich 3 % auf Emissionsminderungstechnologien.

### 5.3.1.2 Antriebstechnologien

Mit 54 % der Patentanmeldungen weltweit stellen die Antriebstechnologien die bedeutendste Produktgruppe innerhalb des Handlungsfeldes dar. Entsprechend sind die Patentanteile der einzelnen Länder denen des Gesamthandlungsfeldes Nachhaltiger Mobilität sehr ähnlich. Der Patentanteil der USA fällt hier jedoch, zugunsten von Deutschland und Japan, etwas geringer aus. Insgesamt beträgt der Patentanteil dieser drei Länder im Bereich der Antriebstechnologien 75 %, während er im Bereich des Gesamtfeldes Nachhaltige Mobilität „nur“ bei 67 % liegt. Im zeitlichen Verlauf stellt sich die EU27 in etwa konstant dar, während Japan seit den 1990er Jahren Patentanteile zu Lasten der USA in der Größenordnung von 10 % gewinnen konnte.

Abbildung 5-6: Patentanteile der Produktgruppe Antriebstechnologien

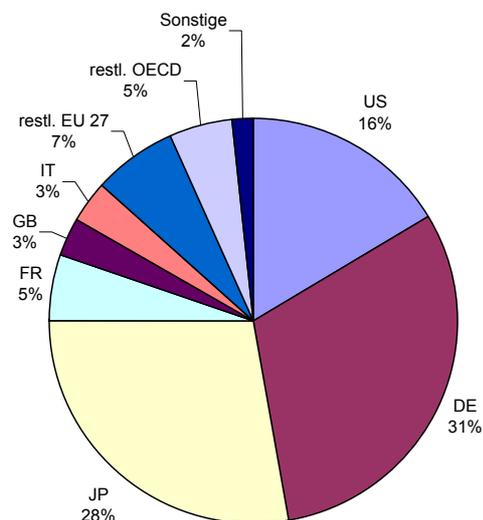
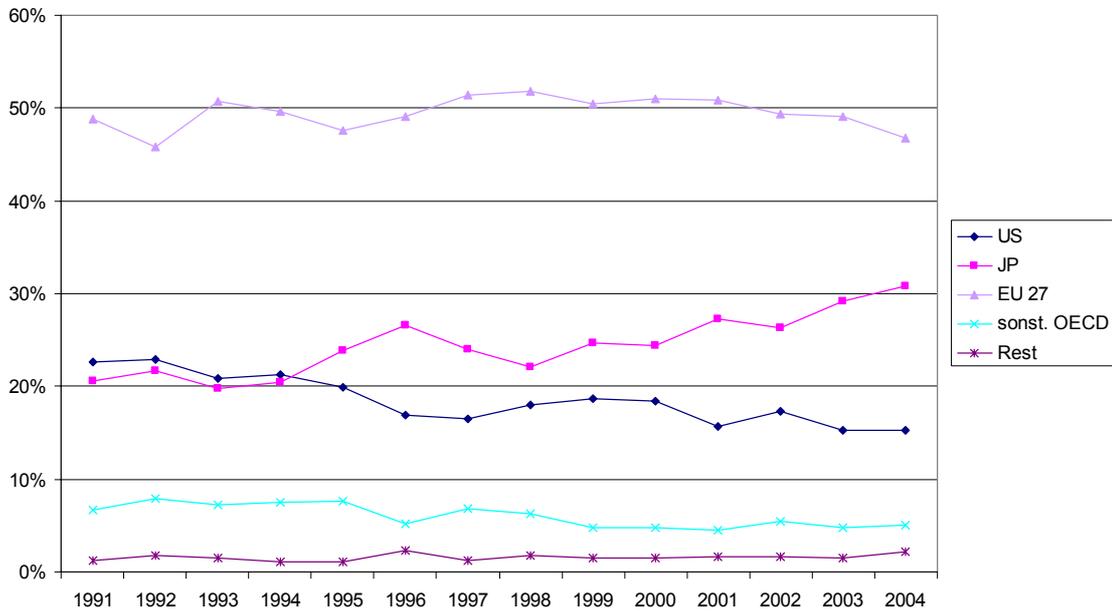
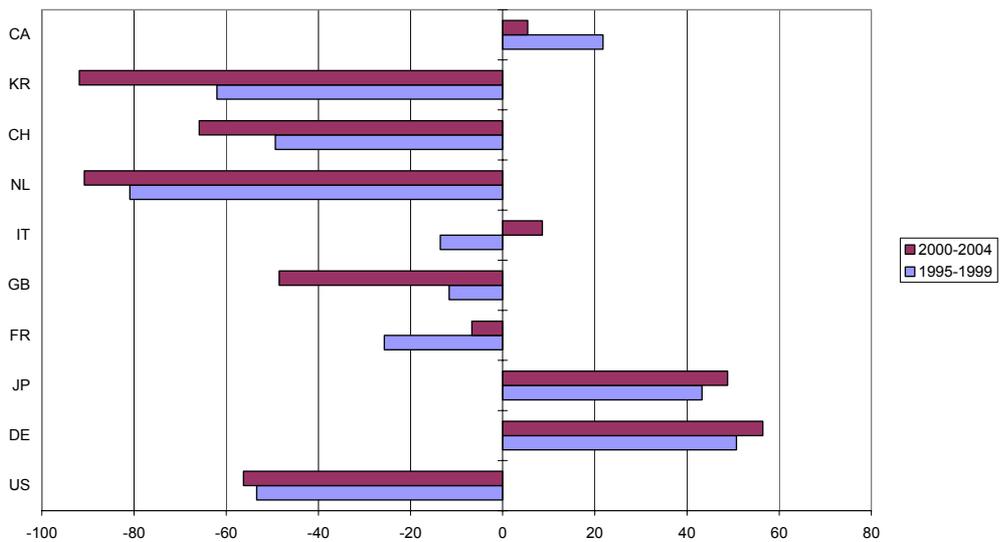


Abbildung 5-7: Entwicklung der Patentanteile der Produktgruppe Antriebstechnologien



Die relativen Patentanteile als Maß für die Spezialisierung eines Landes fallen im Bereich der Antriebstechnologien deutlicher aus als im Gesamtfeld Nachhaltige Mobilität. Auch hier zeigt sich eine klar positive Spezialisierung für Deutschland und Japan, während diese für die USA klar negativ ausfällt. Gemäß obiger Diskussion sind die Gründe hierfür jedoch auch in der Anmeldepraxis anderer Sektoren zu suchen.

Abbildung 5-8: Relative Patentanteile der Produktgruppe Antriebstechnologien



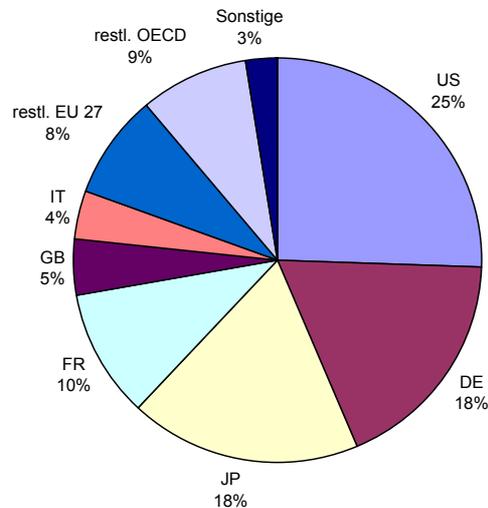
Bezogen auf die einzelnen Technologielinien im Produktbereich der Antriebstechnologien (mobile Brennstoffzellen, hybride Antriebstechnologie, Verbrennungsmotoren) zeigen sich durchaus unterschiedliche Profile für die einzelnen Länder. So ist Deutschland überdurchschnittlich im Bereich der Verbrennungsmotoren vertreten, die USA hingegen im Bereich Brennstoffzellen. Japan lässt sich durch ein hohes Entwicklungspotenzial im Bereich der mobilen Brennstoffzellen wie im Bereich der hybriden Antriebssysteme charakterisieren.

Die Erklärung hierfür ist in dem Einschlagen verschiedener Entwicklungspfade in der Vergangenheit zu sehen. Während Deutschland frühzeitig auf die Diesel-Technologie zum Einsparen von Kraftstoffen gesetzt hat, war diese Technik für japanische und US-Kunden sowie Hersteller nicht „sauber“ genug. Hier entwickelten sich entsprechend andere Technologien, um den schärfer werdenden Umweltstandards gerecht zu werden. Auch sind die Arten der Umweltstandards unterschiedlich: während in den USA und in Japan vornehmlich die Bekämpfung von Smog in den großen Metropolen Ziel der Umweltpolitik war, nahmen in Europa Fragen der Energieeffizienz einen hohen Stellenwert ein.

### **5.3.1.3 Fahrzeugtechnik und Design**

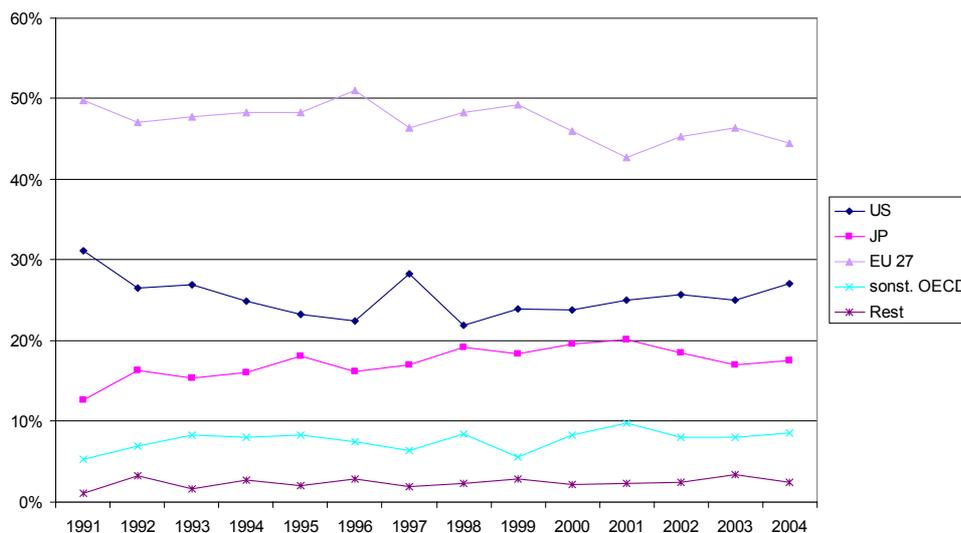
In der Produktgruppe Fahrzeugtechnologie und -design ist die Verteilung der Patentanteile sehr ähnlich wie im gesamten Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität. Die USA, Deutschland, Japan und Frankreich teilen sich hierbei gut 70 % der gesamten weltweiten Patentanmeldungen, jedoch ist die Rolle der USA und Japans in dieser Produktgruppe gegenüber der Produktgruppe Antriebstechnologien vertauscht. Während 2004 im Bereich der Antriebstechnologien der Patentanteil Deutschlands und Japans deutlich über dem der USA lag, hielten die USA im Bereich der Fahrzeugtechnologie mit 25 % einen deutlich höheren Anteil verglichen mit Deutschland und Japan (jeweils 18 %).

Abbildung 5-9: Patentanteile der Produktgruppe Fahrzeugtechnik und -design



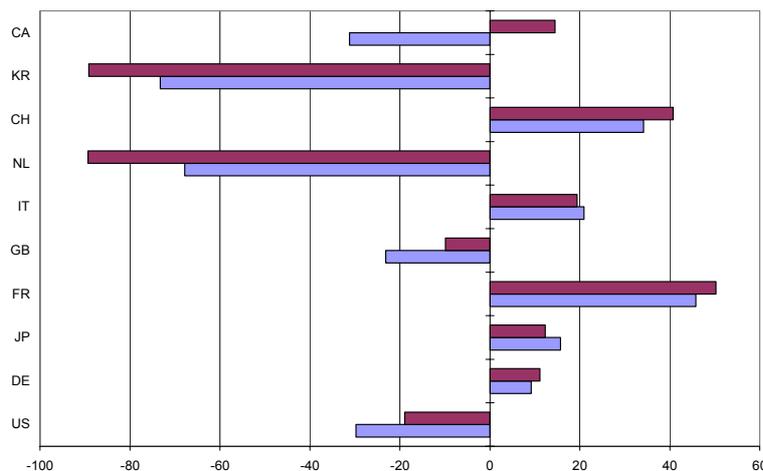
Im zeitlichen Verlauf der Weltpatentanteile stellt sich die EU27 rückläufig dar, bewegt sich aber immer noch auf einem hohen Niveau. Seit 1991 sank deren Patentanteil von knapp 50 % auf wenig über 40 % in 2004. Japan konnte in der zweiten Hälfte der 1990er Jahre Patentanteile gewinnen. Der Anteil der USA sank in der ersten Hälfte der 1990er zwar ab, hat sich aber seither mit leicht steigender Tendenz erhöht. Die sonstigen Länder konnten ihren Anteil an den weltweiten Patentanmeldungen im Bereich Fahrzeugtechnik und Design seit 1991 nicht steigern.

Abbildung 5-10: Entwicklung der Patentanteile der Produktgruppe Fahrzeugtechnik und -design



Auch in der Produktgruppe Fahrzeugtechnik und -design weisen Deutschland und Japan einen positiven, die USA einen negativen Spezialisierungsgrad auf. Diese fallen jedoch bei Weitem nicht so ausgeprägt aus wie im Bereich der Antriebstechnologien. Im Bereich der Fahrzeugtechnologien und -designs weisen Frankreich, Italien und China einen höheren Spezialisierungsgrad auf als Deutschland und Japan. Deutlich negative RPA-Werte zeigen hingegen Korea und die Niederlande.

Abbildung 5-11: Relative Patentanteile der Produktgruppe Fahrzeugtechnik und -design

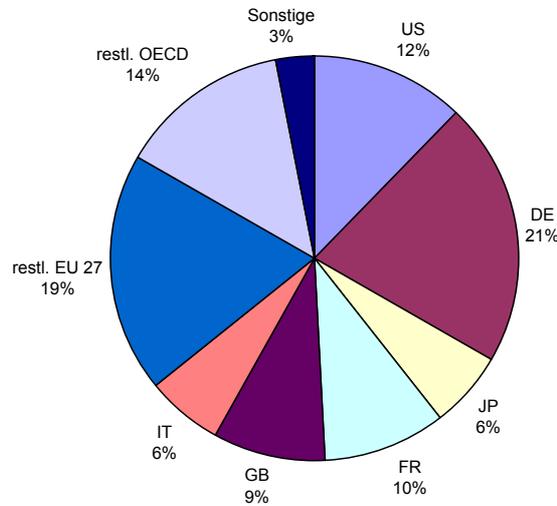


Die Produktgruppe Fahrzeugtechnik und -design wird unterschieden nach den Hauptverkehrsträgern Straßenfahrzeuge, Wasserfahrzeuge, Luftfahrzeuge und Schienenfahrzeuge. Bezogen auf diese Einteilung zeigen die einzelnen Länder sehr unterschiedliche Stärken. Deutlich tritt der hohe Patentanteil der Vereinigten Staaten im Bereich der Luftfahrzeuge, sowie Deutschlands im Bereich der Eisenbahnen hervor. Auffällig sind ferner die hohen Patentanteile Japans im Bereich der Straßen- und Eisenbahnfahrzeuge. Für die übrigen Länder lassen sich zwar auch Unterschiede zwischen den Technologielinien feststellen, diese sind aber nicht derart ausgeprägt.

#### 5.3.1.4 Verkehrsinfrastruktur

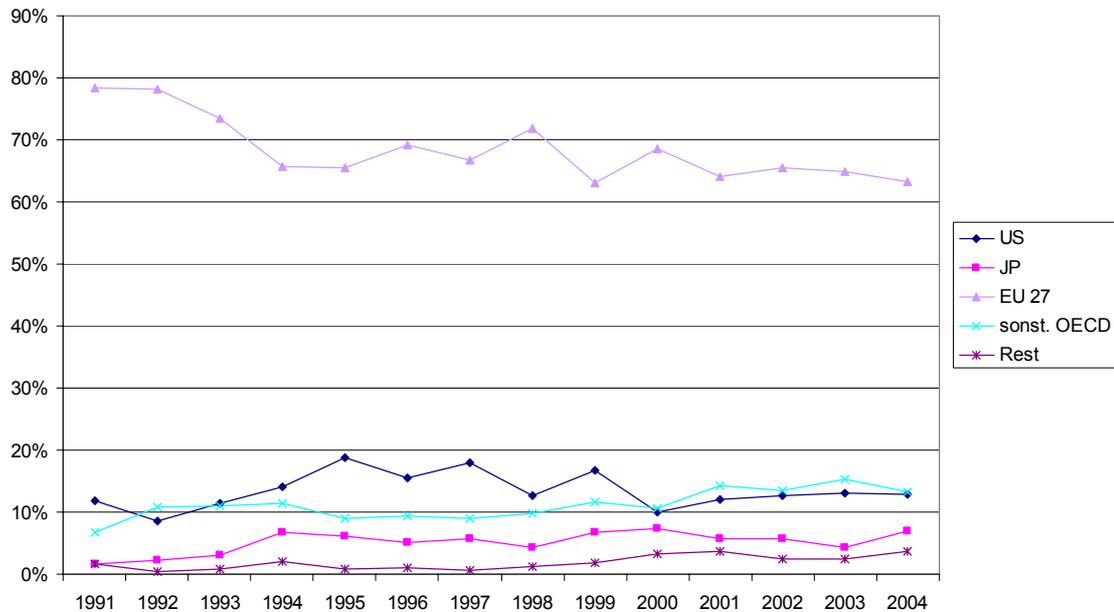
Mit einem Anteil von 7 % an den Gesamtpatentanmeldungen weltweit stellen die Verkehrsinfrastrukturen innerhalb des Handlungsfeldes Nachhaltige Mobilität eher einen kleinen Bereich dar. Die Patentanteile der einzelnen Länder sind jedoch komplett unterschiedlich zu den Bereichen Antriebstechnologien sowie Fahrzeugtechnik und -design. Hier halten die USA, Deutschland, Japan und Frankreich lediglich einen Anteil an den Gesamtpatentanmeldungen von 49 %. Mit einem Anteil von 48 % sind die restlichen OECD-Länder nahezu gleichauf, während die Nicht-OECD-Länder einen verschwindend geringen Anteil haben.

Abbildung 5-12: Patentanteile der Produktgruppe Verkehrsinfrastruktur



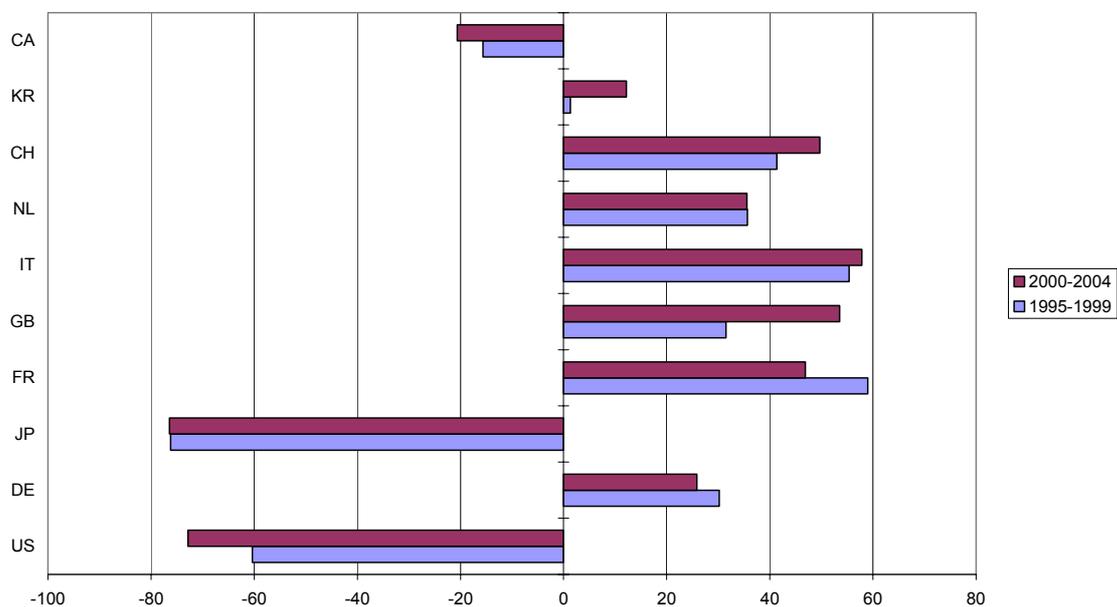
Der Verlauf der Patentanteile der wichtigsten Länder über die Zeit ist nahezu konstant. Lediglich die EU27 muss einen leichten Rückgang von 80 % Anfang der 1990er Jahre auf etwas über 60 % in 2004 verzeichnen und büßte damit ihre marktbeherrschende Stellung von Anfang der 1990er Jahre bei der Entwicklung der Verkehrsinfrastrukturen ein.

Abbildung 5-13: Entwicklung der Patentanteile der Produktgruppe Verkehrsinfrastruktur



Die Produktgruppe Verkehrsinfrastrukturen ist geprägt durch eine unterdurchschnittliche Patentaktivität Nordamerikas und Japans. Während der relative Patentanteil für diese Länder negativ ist, weisen alle anderen Länder einen positiven Spezialisierungsgrad auf. Der RPA der großen europäischen Länder bewegt sich zwischen 40 und 60, für Deutschland ergibt sich jedoch nur ein relativer Patentanteil zwischen 20 und 30. Damit weist Deutschland zwar einen positiven Spezialisierungsgrad im Bereich der Verkehrsinfrastrukturen auf, fällt jedoch hinter den restlichen europäischen Ländern zurück.

Abbildung 5-14: Relative Patentanteile der Produktgruppe Verkehrsinfrastruktur



Die Patente der Verkehrsinfrastruktur können in Straßen- und Luftfahrtinfrastruktur einerseits und in Eisenbahninfrastruktur andererseits unterschieden werden (vgl. Abbildung-Anhang A.4-3 im Anhang). Demnach hat Deutschland einen etwa doppelt so hohen Anteil an Patenten bei der Technologielinie Eisenbahninfrastruktur, als bei der Straßen- und Luftfahrtinfrastruktur. Das Bild für die USA und Japan erscheint umgekehrt, für Japan spielen weltweite Anmeldungen an Patenten der Eisenbahninfrastrukturen sogar überhaupt keine Rolle. Bei den übrigen europäischen Ländern entsprechen sich die Anteile für Eisenbahn- und Straßen- bzw. Luftfahrtinfrastrukturen in etwa.

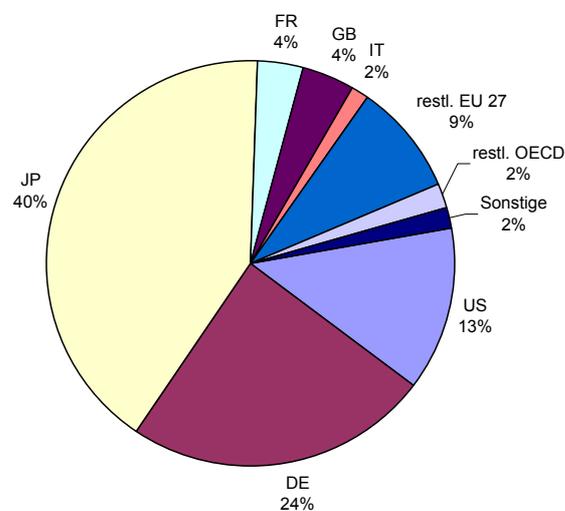
### 5.3.1.5 Emissionsminderung durch Filter und Katalysatoren

Verglichen mit den Antriebstechnologien stellt die Produktgruppe der Technologien zur Minderung an Abgasemissionen durch Filter und Katalysatoren einen relativ kleinen Markt dar. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass innermotorische Maßnahmen zur Effi-

zizienzsteigerung und zur Minderung von Emissionen dem Technologiefeld Nachhaltige Antriebstechnologien zugeordnet wurden.

Die weltweiten Patentanmeldungen in dieser Produktgruppe werden nahezu vollständig von einigen wenigen Ländern dominiert. Führend ist Japan mit einem Anteil von 40 %, gefolgt von Deutschland (24 %) und den USA (13 %). Weitere 19 % der weltweiten Patentanmeldungen entfallen auf die restlichen EU27-Staaten, während die übrigen OECD- und Nicht-OECD-Staaten lediglich einen Anteil von 4 % aufweisen.

Abbildung 5-15: Patentanteile der Produktgruppe Emissionsminderung

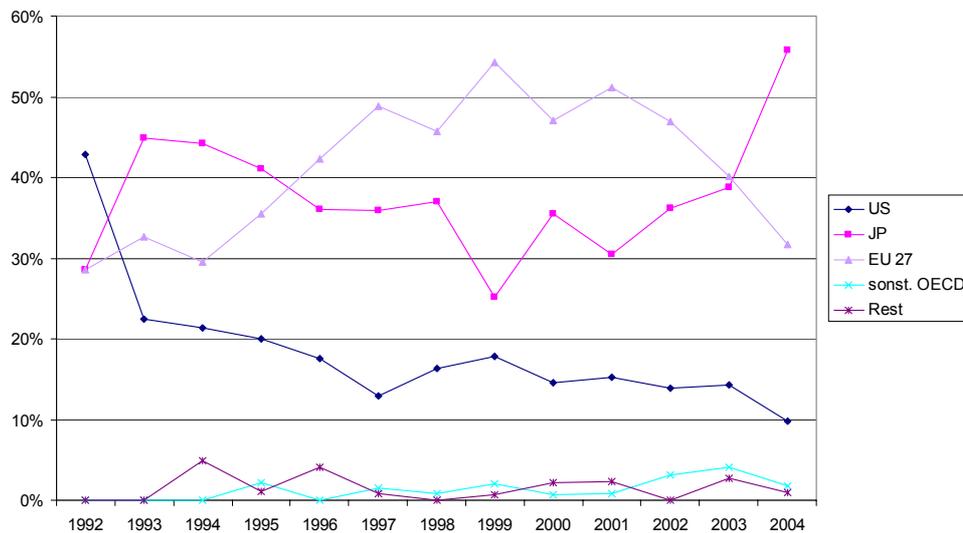


Die Konzentration der Forschungs- und Entwicklungsleistung auf einige wenige Länder ist vornehmlich durch nationale Gesetzgebungen zur Luftreinhaltung zu erklären. Der zeitliche Verlauf der Patentanteile im Bereich Emissionsminderungstechnologien macht dies deutlich. Seit den 80er Jahren verfolgen einige amerikanische Metropolen scharfe Umweltgesetzgebungen zur Eindämmung der Smoghäufigkeiten. Hieraus leitete sich eine marktbeherrschende Stellung der US-amerikanischen Automobilindustrie zu Beginn der 1990er Jahre im Bereich von Filter und Katalysatorstechnologien ab. Aufgrund der Bedeutung des amerikanischen Marktes zogen aber europäische und japanische Automobilbauer bald nach, sodass der Anteil der USA an den weltweiten Patenten in diesem Bereich bis 2004 auf etwa 10 % abnahm.

Am Verlauf der Patentanteile europäischer Automobilhersteller im Bereich von Filter- und Katalysatorstechnologien lässt sich die Abgasgesetzgebung der Europäischen Union (Euro-Normen) gut ableiten. Nach Einführung der EURO-1-Norm 1992 stieg der Anteil europäischer Patentanmeldungen für Emissionsminderungstechnologien auf zwischenzeitlich etwa 50 %, sank aber bis zum Jahr 2004 wieder auf einen Wert von

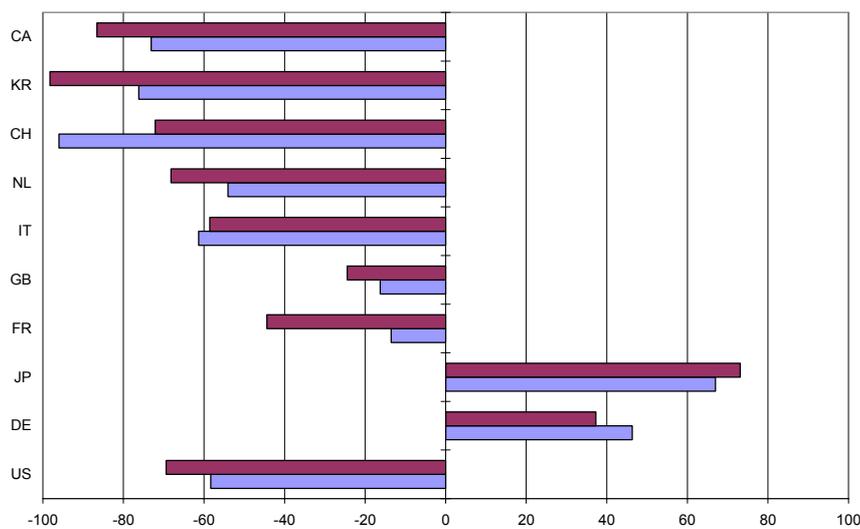
30 % ab. Entsprechend steigt der Patentanteil japanischer Automobilbauer seit Beginn des 21. Jahrhunderts kontinuierlich an und erreichte 2004 einen Höchststand von nahezu 60 %.

Abbildung 5-16: Entwicklung der Patentanteile der Produktgruppe Emissionsminderung



Die starke Stellung Japans, aber auch der hohe Patentanteil Deutschlands, schlagen sich deutlich in den Spezialisierungsindikatoren wider. So ist der relative Patentanteil lediglich für Japan und Deutschland positiv, während dieser für alle übrigen Länder negativ ausfällt.

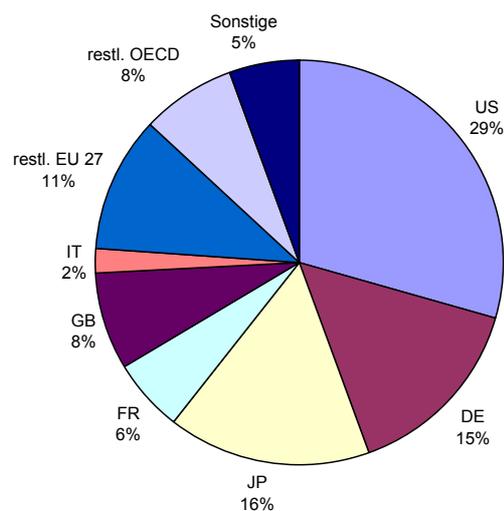
Abbildung 5-17: Relative Patentanteile der Produktgruppe Emissionsminderung



### 5.3.1.6 Biokraftstoffe

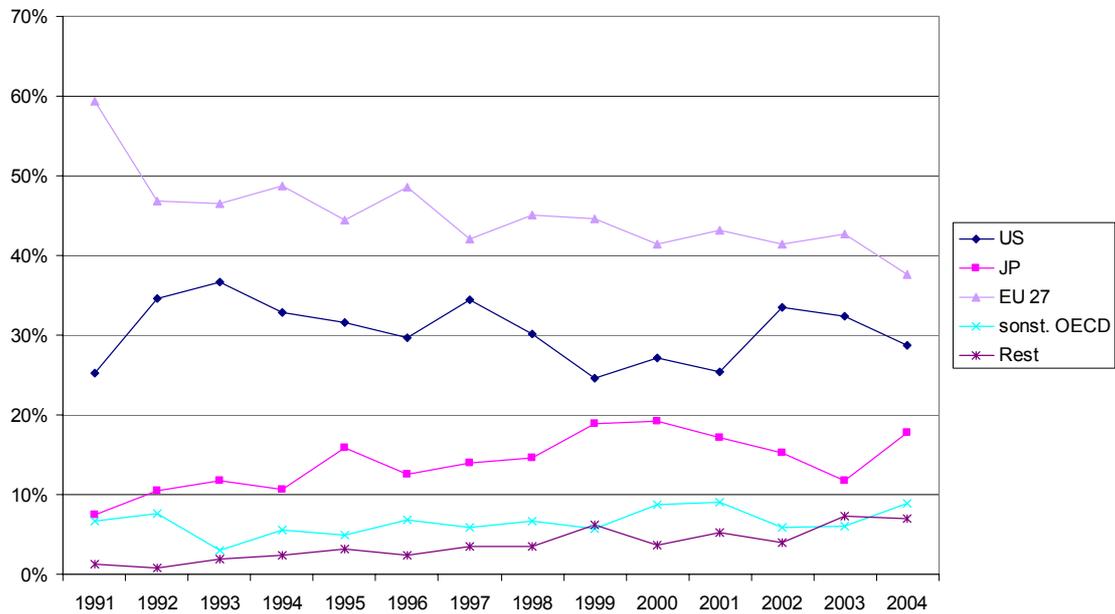
Mit einem Anteil von 13 % an den Patentanmeldungen im Handlungsfeld stellt der Bereich Biokraftstoffe einen durchaus nennenswerten Forschungs- und Entwicklungsbereich dar. Die Patententwicklung wird durch die Vereinigten Staaten mit einem Anteil an der internationalen Patenttätigkeit von 29 % dominiert, gemeinsam verfügen die 27 EU-Mitgliedsstaaten jedoch über 42 % der Patente weltweit. Die Patentkonzentration im Bereich der Biokraftstoffe ist weniger stark ausgeprägt als im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität insgesamt. Dies ist auf die breite Verfügbarkeit des Rohstoffs auch für Nicht-Industrieländer sowie auf spezifische nationale Strategien zur Verminderung der Abhängigkeit von Erdöl zurückzuführen. So ist die Beimengung von Bioethanol zu Vergaserkraftstoffen für Pkw und Kleinflugzeuge bereits seit Langem in einigen Ländern gängige Praxis (Brasilien, USA, Osteuropa) oder wird geprüft (Japan, Deutschland).

Abbildung 5-18: Patentanteile der Produktgruppe Biokraftstoffe



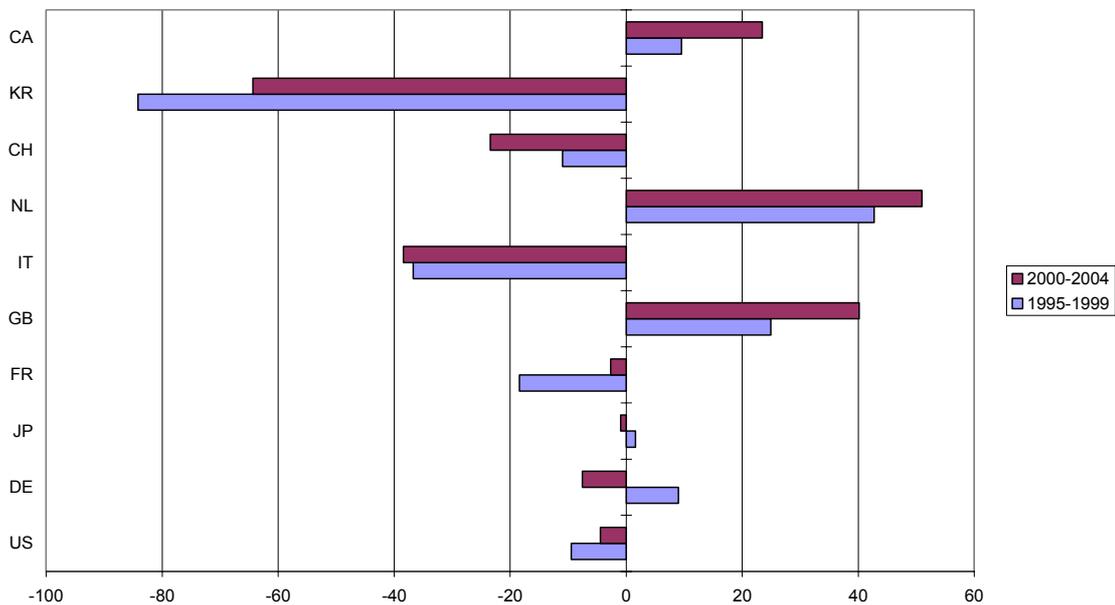
Im zeitlichen Verlauf ergeben sich nur geringe Veränderungen der Weltpatentanteile der einzelnen Länder. Allerdings zeigt die EU27 einen kontinuierlich sinkenden Patentanteil, während der Japans leicht ansteigt. Diese eher verhaltenen Entwicklungstrends sind jedoch durch größere Fluktuationen einzelner Länder überlagert.

Abbildung 5-19: Entwicklung der Patentanteile der Produktgruppe Biokraftstoffe



Insgesamt kann für die USA, Japan, Deutschland und, mit Einschränkungen auch für Frankreich, eine durchschnittliche Repräsentanz des Bereichs Biokraftstoffe bei den Patentanmeldungen festgehalten werden. Eindeutig positive Spezialisierungsgrade ergeben sich für Kanada, Großbritannien und die Niederlande. Unterdurchschnittliche Patentanteile hingegen weisen Korea, Italien und die Schweiz auf.

Abbildung 5-20: Relative Patentanteile der Produktgruppe Biokraftstoffe



### 5.3.2 Außenhandelsindikatoren

#### 5.3.2.1 Überblick Handlungsfeld

Die weltweiten Exporte mit Gütern aus dem Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität sind weit weniger auf einzelne Länder konzentriert als die Patentanmeldungen. Zwar fallen auch hier die USA, Japan und Deutschland mit vergleichsweise hohen Anteilen am Welthandel auf und deren gemeinsame Marktposition ist mit 37 % beachtlich, diese fällt jedoch gegenüber dem Anteil an den weltweiten Patentanmeldungen von 67 % deutlich zurück. Auch entscheidend für die Beurteilung der Marktkonzentration ist, dass die Nicht-OECD-Staaten mit einem Welthandelsanteil von 21 % ein bedeutsames Exportvolumen aufweisen.

Die größten Welthandelsanteile weisen Japan und Deutschland mit jeweils 14 % auf. Im zeitlichen Verlauf zeigen die großen Industriestaaten der EU, Japan und die USA seit Beginn der 1990er Jahre insgesamt einen rückläufigen Trend ihres Welthandelsanteils im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität. Besonders deutlich fällt die Abnahme des Welthandelsanteils für Japan aus. Ausgehend von einem Welthandelsanteil von 22 % 1993 nahm dessen Position im folgenden Jahrzehnt um 8 Prozentpunkte ab. Für die übrigen der genannten Industriestaaten betrug der Rückgang zwischen einem und 3 Prozentpunkten, wobei deren zeitlicher Verlauf jedoch durch stärkere Schwankungen gekennzeichnet ist.

Abbildung 5-21: Welthandelsanteile im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität nach Exportländern

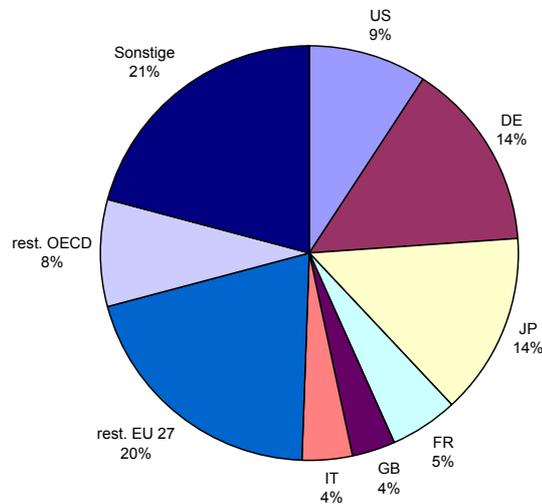
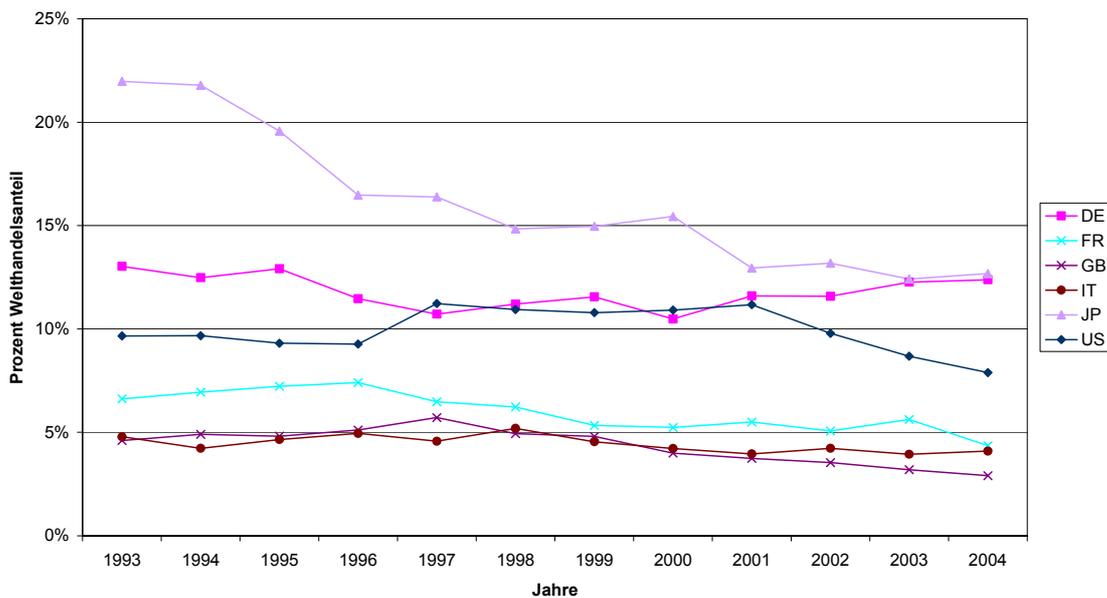


Abbildung 5-22: Entwicklung der Welthandelsanteile im Handlungsfeld Mobilität

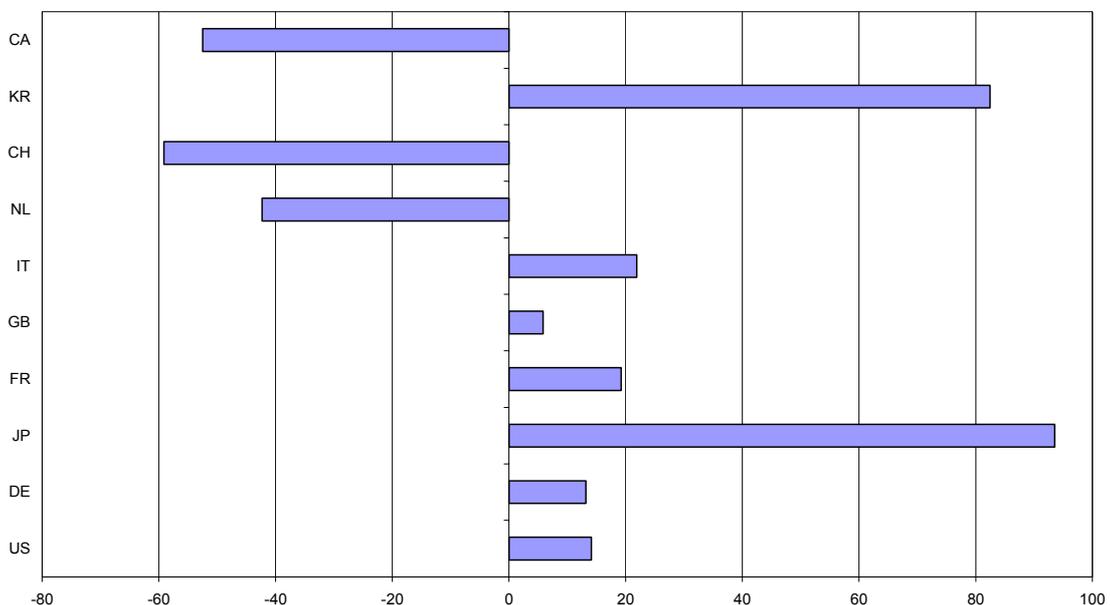


Insgesamt weisen die asiatischen Staaten Japan und Korea im Bereich der Mobilitäts-technologien den größten wirtschaftlichen Spezialisierungsgrad auf. Es ist zu vermuten, dass dies auf deren weltweit erfolgreiche Automobilindustrien zurückzuführen ist. Während diese wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit mit den Ergebnissen der relativen Patentanteile übereinstimmt, ergibt sich für Korea ein krasser Gegensatz der Indikatoren.

Eine Erklärung hierfür findet sich in der Anwendung des Potenzialansatzes zur Ermittlung von Außenhandelsvolumina und RCA-Indikatoren: Spezifisch auf Nachhaltigkeit und Effizienzsteigerung ausgerichtete Technologien oder deren Komponenten lassen sich mit Patentstatistik schärfer eingrenzen als mit der Außenhandelsstatistik. Entsprechend zeigen die hier dargestellten Handelsanteile einen umfassenden Anteil der Technologielinien auf, welche nicht immer auf die Erreichung nachhaltiger Ziele ausgerichtet sind. Für Korea ist zu vermuten, dass die Automobilindustrie dort noch auf die Anwendung bewährter Technologien setzt und damit, auch aufgrund niedriger Produktionskosten, einen großen Erfolg am Weltmarkt erzielt. Forschungen im Bereich neuer Konzepte und Technologien sind jedoch weniger ausgeprägt vorhanden, womit eine weitere Marktpenetration Koreas in Frage steht.

Eine ähnliche Diskrepanz stellt sich auch für die USA dar. Dies ist insbesondere erstaunlich, da die USA aufgrund strikter Umweltgesetze verstärkt Forschung im Bereich emissionsarmer Kraftfahrzeuge und der Luftfahrttechnik unternehmen. Die Zahlen legen jedoch den Schluss nahe, dass insgesamt konventionelle Fahrzeugtechnologien in den USA nach wie vor einen höheren Stellenwert als alternative Konzepte genießen.

Abbildung 5-23: RCA im Handlungsfeld Mobilität



Entsprechend dem Verlauf der Welthandelsanteile nimmt auch der Spezialisierungsgrad der großen EU-Mitgliedsstaaten und Japans seit 1993 leicht ab. Eine geringfügige Zunahme der Spezialisierung des Handels mit Mobilitätstechnologien ist, ausgehend von einem durchschnittlichen Niveau, für die USA zu verzeichnen.

Auf der Grundlage der verfügbaren Außenhandelsdaten wurde das Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität in die Produktgruppen

- Antriebstechnologien,
- Fahrzeugtechnik und Design,
- Verkehrsinfrastruktur,
- Emissionsminderung durch Filter und Katalysatoren sowie
- Verkehrskonzepte

untergliedert. Die Produktgruppe Verkehrskonzepte bezeichnet Technologien zur Steuerung und Beeinflussung des Verkehrs. Dieses Feld konnte im vorherigen Kapitel nicht durch Patentindikatoren quantifiziert werden und kann hier entsprechend im Folgenden nicht vergleichend zur Forschungs- und Entwicklungstätigkeit dargestellt werden.

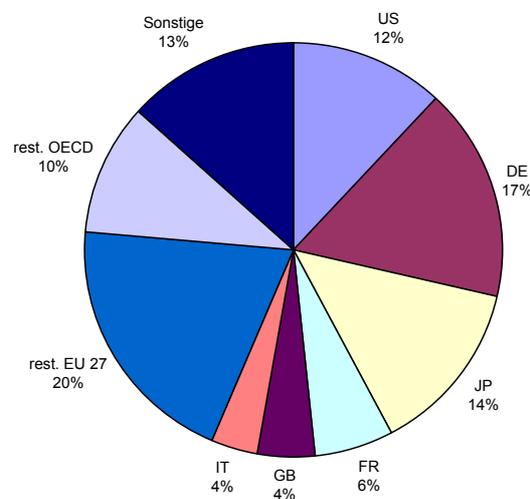
Insgesamt stellt sich das Welthandelsvolumen auf die Produktgruppen bezogen noch wesentlich konzentrierter als die Patentanmeldungen dar. Gemessen an den Exportströmen 2004 ergeben sich folgende Anteile der Produktgruppen am gesamten Exportvolumen des Handlungsfeldes: Antriebstechnologien 48 %, Fahrzeugtechnik und -design 42 %, Emissionsminderungstechnologien 5 %, Verkehrsinfrastruktur 4 % und Verkehrssysteme und -konzepte 1 %. Diese Technologien und deren Einzelkomponenten werden in den folgenden Abschnitten bezüglich der Marktkonzentration und Leistungsfähigkeit einzelner Länder untersucht.

Die oben angeführten Zahlen weisen alle einen nationalen Fokus auf, d. h. sie beinhalten auch die Exporte innerhalb der EU. Betrachtet man hingegen die EU als einheitlichen Wirtschaftsraum, d. h. ohne die Exporte zwischen den EU-Mitgliedsländern, fällt der gesamte Welthandel rechnerisch geringer aus. Gleichzeitig fällt der Welthandelsanteil der EU geringer aus als die Summe der Welthandelsanteile der einzelnen EU-Mitgliedsländer bei einer rein nationalen Betrachtung, während die Welthandelsanteile der übrigen Länder einen höheren Wert einnehmen. Da ein erheblicher Teil der Exporte der EU-Mitgliedsländer in andere EU-Länder geht, beträgt der Welthandelsanteil der EU27-Länder auf dieser Datenbasis ohne Intra-EU-Handel 19%. Er liegt damit in einer ähnlichen Größenordnung wie der japanische Welthandelsanteil. Auf die USA und auf China entfallen jeweils in etwa 13 %. Gleichzeitig nimmt der RCA der EU27 einen Wert von 23 ein. Im Handlungsfeld der Nachhaltigen Mobilität hat sich die EU damit auf Exporte nach außerhalb Europas spezialisiert.

### 5.3.2.2 Antriebstechnologien

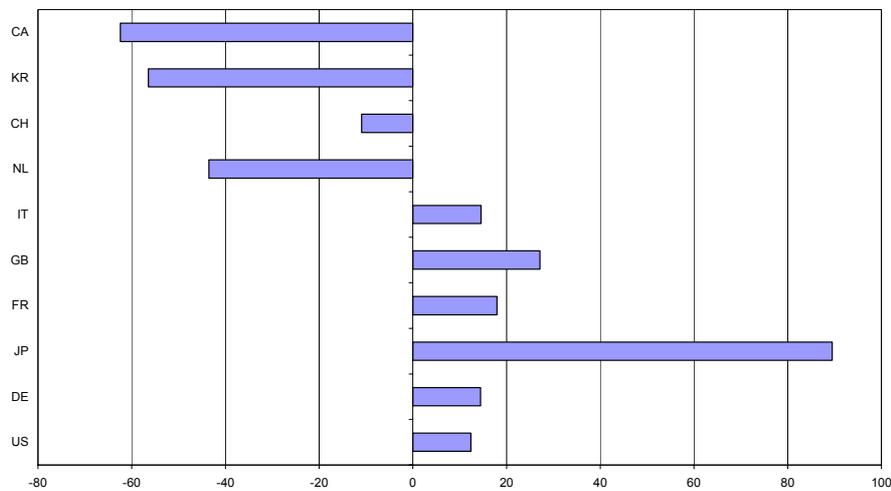
Die Produktgruppe Antriebstechnologien beschreibt, aus Ermangelung einer feineren statistischen Gliederung, den Gesamtbereich von Motoren und Generatoren zum Einsatz in Verkehrsmitteln. Die USA, Japan und Deutschlands bestreiten zusammen bereits 43 % des Welthandelsvolumen. Damit ist die Konzentration der wichtigsten Exportländer zwar konzentrierter als im Gesamtfeld Nachhaltige Mobilität, dennoch kommt es ebenfalls zu einen beachtlichen Welthandelsanteil der Nicht-OECD-Staaten in Höhe von 13 %.

Abbildung 5-24: Welthandelsanteile der Produktgruppe Antriebstechnologien



Insgesamt fällt die Darstellung des RCA-Wertes für die Produktgruppe Antriebstechnologien für Europa, die USA und Japan ähnlich aus wie für das Gesamthandlungsfeld Nachhaltige Mobilität. Hier weist Japan mit einem Spezialisierungsgrad von 90 den mit Abstand höchsten RCA-Wert auf. Bemerkenswert ist jedoch der deutlich negative RCA-Wert (annähernd -60) für Korea, was die obige Vermutung der Konzentration der koreanischen Industrie auf weniger forschungsintensive Komponenten bestärkt.

Abbildung 5-25: RCA der Produktgruppe Antriebstechnologien



Entsprechend der Patentanalysen wurde auch die Außenhandelsstärke der einzelnen Länder separat für die Technologielinien

- Verbrennungsmotoren,
- mobile Brennstoffzelle und
- hybride Antriebssysteme

untersucht (vgl. Abbildung-Anhang A.4-4 und Abbildung-Anhang A.4-5 im Anhang). Für diese Techniklinien ergeben sich z. T. deutliche Unterschiede bezüglich der Spezialisierung. Entsprechend den Vermutungen weisen fast alle Länder derzeit ein Spezialisierungsdefizit im Bereich der hybriden Antriebstechnik auf, während Japan und in geringem Maße Frankreich bei dieser Technologie als einzige Länder positiv hervortreten. Die leicht positiven Werte für Frankreich sind durch aktuelle Anstrengungen bei der Entwicklung und Vermarktung von Diesel-Elektro-Hybridfahrzeugen zu erklären. Die eindeutige Technologie- und Marktführerschaft in diesem Bereich obliegt, nicht zuletzt aufgrund von deren Kompetenz in der Akkutechnik, Japan.

Im Bereich der mobilen Brennstoffzellen ist eine eindeutige Marktführerschaft nicht erkennbar. Auf der Grundlage des RCA-Indikators ergeben sich klare Spezialisierungen für die USA, Deutschland, Japan und Italien. Die übrigen europäischen Länder sind in dieser Technologie eher durchschnittlich aufgestellt, womit sich für Europa insgesamt eine durchaus günstige Ausgangsposition für die weitere Entwicklung und Vermarktung mobiler Brennstoffzellen ergibt. Im Bereich der Verbrennungsmotoren diversifiziert sich die wirtschaftliche Spezialisierung weiter unter den betrachteten Staaten. Es zeigt sich jedoch auch hier der deutlich höchste Spezialisierungsgrad für Japan.

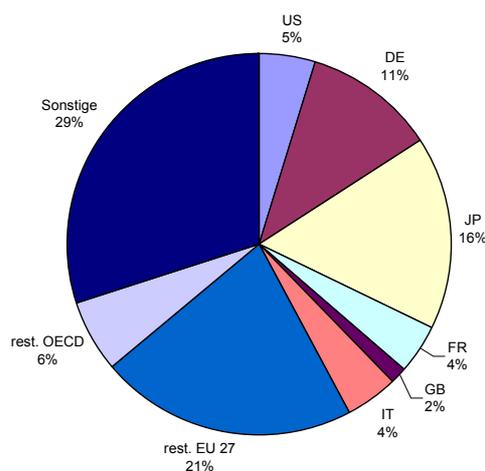
Diese Einschätzungen werden auch durch die Welthandelsanteile ausgewählter Länder nach Technologielinien etwas relativiert. Japan hält hier zwar die größten Welthandelsanteile bei den alternativen Antrieben (Hybride und Brennstoffzellen) belegt aber, knapp hinter Deutschland, den zweiten Platz bezüglich der Verbrennungsmotoren. Bezogen auf die Welthandelsanteile ist Deutschland daher insgesamt gut aufgestellt. Deutschland belegt nur geringfügig hinter Japan Rang zwei bei der hybriden Antriebstechnik und – allerdings weiter abgeschlagen – Platz drei hinter Japan und den USA bei der mobilen Brennstoffzelle.

Im zeitlichen Verlauf des Gesamtbereichs Antriebssysteme ergeben sich zwei Entwicklungstrends: Der Spezialisierungsgrad Deutschlands und Japans sank über die vergangenen elf Jahre um 10 bis 15 Prozentpunkte. Im gleichen Zeitraum stiegen die Spezialisierungsgrade der USA und der übrigen Industriestaaten Europas um einen ähnlichen Anteil. Entsprechend gleichen sich die Spezialisierungsgrade dieser Länder zunehmend an.

### 5.3.2.3 Fahrzeugtechnik und Design

Der Exportmarkt für die Produktgruppe Fahrzeugtechnik und Design ist noch weit weniger konzentriert als das Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität insgesamt. Der Welthandelsanteil Deutschlands, Japans und der USA zusammen (32 %) entspricht in etwa dem Anteil der Nicht-OECD-Staaten (29 %). Unter den genannten Industriestaaten tritt Japan am stärksten mit einem Welthandelsanteil von 16 % hervor, während die USA nur auf einen Anteil von 5 % kommt.

Abbildung 5-26: Welthandelsanteile der Produktgruppe Fahrzeugtechnik und -design

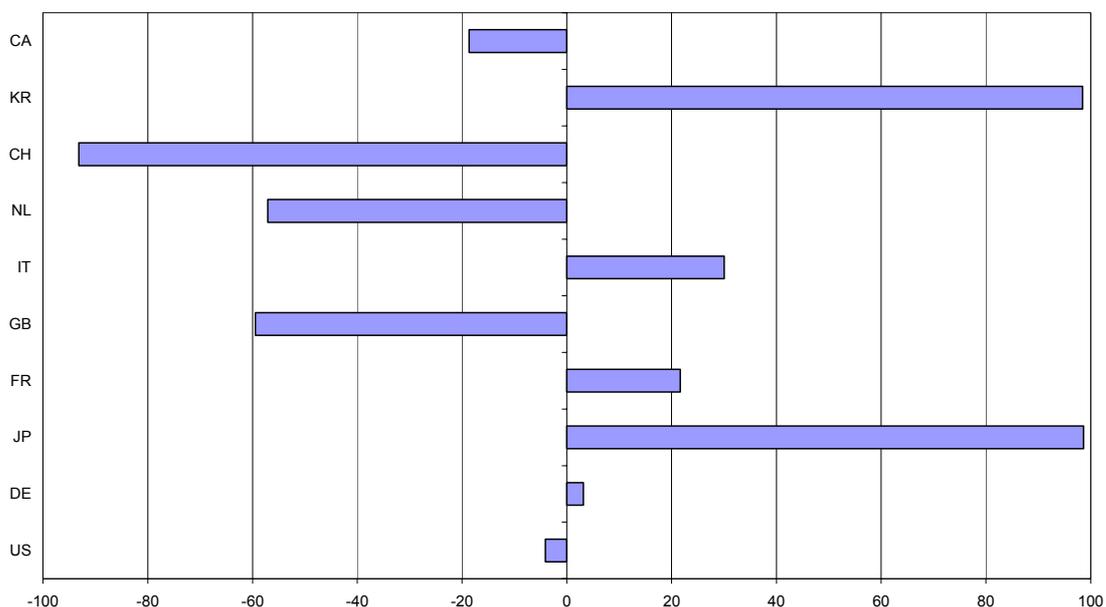


Eher uneinheitlich stellt sich das Bild für die Spezialisierungsgrade dar. Korea und Japan konzentrieren sich sehr stark auf diese Produktgruppe. Eine – deutlich schwächer

ausgeprägte – Spezialisierung weisen noch Italien, Frankreich und Deutschland auf. Die Produktgruppe stellt sich eher durchschnittlich für die USA, sowie deutlich unterdurchschnittlich für einige europäische Länder, hierunter Großbritannien, dar. Vor dem Hintergrund der Bedeutung der Automobilindustrie in diesen Ländern ist die unterdurchschnittliche Repräsentanz des Fahrzeugbereichs im Außenhandel ein Indiz für die eher auf den Binnenmarkt ausgerichtete Struktur des Sektors.

Im Wesentlichen sind die wirtschaftlichen Spezialisierungsgrade mittels des RCA konsistent zur Leistungsfähigkeit der Länder im Bereich der Patente. Größere Abweichungen ergeben sich für Korea und die Schweiz, was die obige These der gut positionierten aber auf konventionellen Technologien beruhenden koreanischen Fahrzeugindustrie unterstreicht. Die Situation in der Schweiz ist durch einen vergleichsweise hohen Entwicklungsaufwand insbesondere im öffentlichen Verkehr gekennzeichnet. Ohne eigene Fahrzeugindustrie ist das Land dennoch importabhängig und weist damit einen negativen Spezialisierungsgrad auf. Unter den übrigen Ländern weist China einen sehr hohen RCA-Wert auf, welcher durch die strenge Reglementierung des Importmarktes begründet werden kann.

Abbildung 5-27: RCA der Produktgruppe Fahrzeugtechnik und -design



Die Außenhandelsstatistiken erlauben eine feinere Unterteilung der Produktgruppe Fahrzeugtechnik und Design nach den einzelnen Verkehrsträgern (vgl. Abbildung-Anhang A.4-6 und Abbildung-Anhang A.4-7 im Anhang). Hiermit ergibt die Spezialisierung ausgewählter Länder folgendes Bild:

- Im Bereich der Straßenfahrzeuge weisen lediglich Korea, Japan und – mit Abstrichen – Frankreich positive Spezialisierungsgrade auf.
- Im Eisenbahnsektor gilt dies für mehrere Länder, wobei hier die höchsten RCA-Werte wieder für Japan und Korea ermittelt wurden.
- Bei Luftfahrzeugen weist Deutschland, gefolgt von Italien und den USA, den höchsten Spezialisierungsgrad auf. Hier erstaunt insbesondere der negative RCA-Wert für Frankreich. Verantwortlich für diese Verzerrungen könnte jedoch die Verbuchung der Absätze der Airbus-Gruppe sein.
- Im Technologiefeld Wasserfahrzeuge zeigen fünf der ausgewählten Länder einen sehr hohen Spezialisierungsgrad. Negative RCA-Werte ergeben sich für Deutschland, die Niederlande, Kanada und die Schweiz.

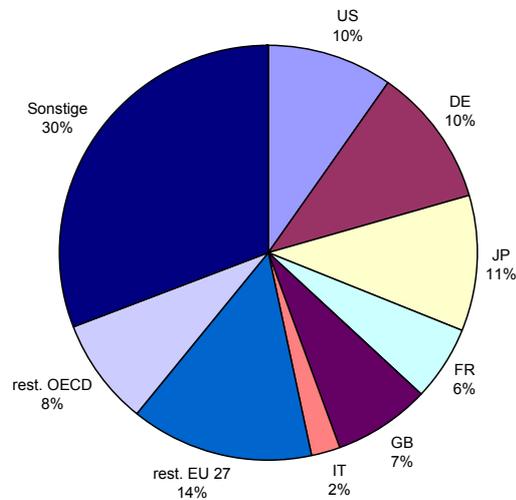
Die weltweiten Exportanteile bestätigen die Analysen des RCA, zeigen jedoch auch, dass die hohen Spezialisierungsgrade einzelner Länder aufgrund sehr geringer Welthandelsanteile zu relativieren sind. Dies gilt beispielsweise für die Schweiz, die Niederlande und Großbritannien. Als nennenswerte Konkurrenten verbleiben Korea, Japan, Deutschland und die USA.

Im Zeitvergleich stellt sich der hohe Spezialisierungsgrad Japans bei den Fahrzeugtechnologien als erstaunlich konstant dar. Abnehmende Trends sind in einem leichten Maß für Deutschland und Italien, sowie verstärkt für Großbritannien festzustellen. Konstante bis leicht positive Trends bei der Spezialisierung hingegen sind bei den USA und Frankreich festzustellen.

#### **5.3.2.4 Verkehrsinfrastruktur**

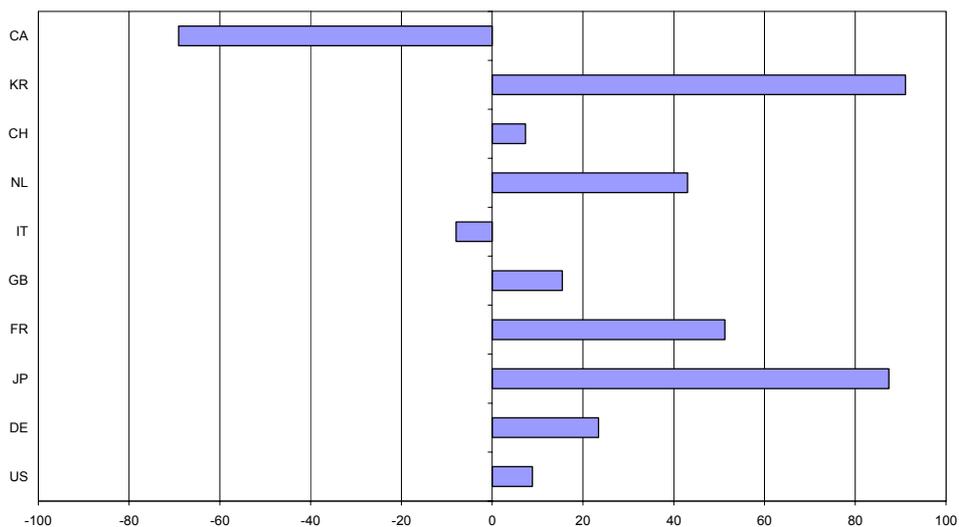
Gemessen am Welthandelsanteil der Nicht-OECD-Länder von 30 % im Jahr 2004 stellt sich die Produktgruppe Verkehrsinfrastrukturen als wenig konzentriert bzgl. der Marktmacht einiger Länder dar. Mit einem Welthandelsanteil von 31 % erreichen die drei stärksten Einzelländer USA, Deutschland und Japan eine ähnliche, im Vergleich zur Patenttätigkeit geringe, Marktstellung. Die EU27 erreicht 2004 insgesamt einen Welthandelsanteil an den Verkehrsinfrastrukturen von 39 %. Erklärt werden kann diese geringe Marktkonzentration mit der wenig forschungsintensiven Bereitstellung großer Teile der Verkehrsinfrastruktur.

Abbildung 5-28: Welthandelsanteile der Produktgruppe Verkehrsinfrastruktur



Die Außenhandelspezialisierung gemessen durch den RCA-Indikator fällt für fast alle betrachteten Volkswirtschaften positiv aus. Sie ist damit, abgesehen von zwei prominenten Ausnahmen, konsistent zur Patentspezialisierung. Die benannten Ausnahmen bezeichnen Japan und die USA, bei welchen ein positiver RCA einem negativen RPA-Wert gegenübersteht. Ähnlich wie im Fall der koreanischen Fahrzeugindustrie, legt dies die Vermutung einer auf bewährten Technologien basierenden Infrastrukturwirtschaft dieser beiden Länder nahe.

Abbildung 5-29: RCA der Produktgruppe Verkehrsinfrastruktur



Große Unterschiede bezüglich der Spezialisierung auf Infrastrukturen der einzelnen Verkehrsträger zeigt der Ausweis der RCA-Werte nach Technologielinien (vgl.

Abbildung-Anhang A.4-8 im Anhang). Besonders ausgeprägt erscheinen diese Unterschiede im Fall von Kanada, Korea und einigen europäischen Ländern. Die größten Spezialisierungsgrade im Straßenverkehr weisen Deutschland und Frankreich auf, gefolgt von Japan, Kanada und Großbritannien. Im Bahninfrastrukturbereich hat die USA, wiederum neben Deutschland und Frankreich, Japan und Italien, einen hohen RCA-Wert, was mit der großen Bedeutung des Bahnsektors für den Güterverkehr innerhalb der USA in Einklang steht.

Bei den Wasserinfrastrukturen weisen erwartungsgemäß Korea, Japan, die Niederlande, Großbritannien und Frankreich spezialisierte Wirtschaftsbereiche auf. Erstaunlicherweise gilt dies jedoch auch für die Schweiz, was mit deren Kompetenz im Umgang mit schwierigen geologischen Gegebenheiten bei der Anlage von Wasserstraßen zu erklären ist. Die Schweiz weist jedoch aufgrund ihrer Größe erwartungsgemäß einen nur geringen Marktanteil auf.

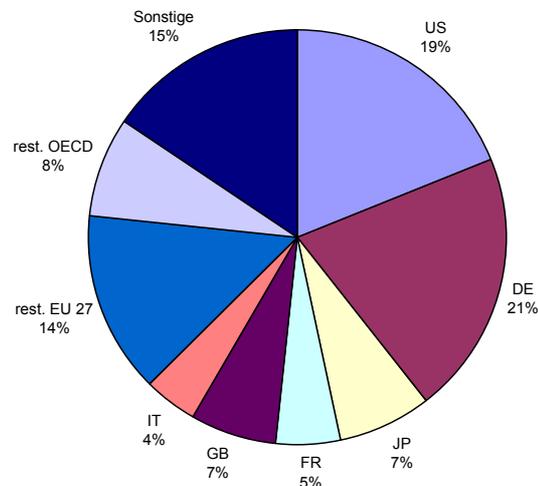
Die Welthandelsanteile der USA für alle drei Technologielinien sind in etwa identisch und mit knapp 10 % durchaus nennenswert. Entsprechend kommt der hohe RCA-Wert im Bereich der Bahninfrastrukturen durch geringe Importe in dieser Technologielinie zustande, wohingegen die Export-Import-Verhältnisse von Straßen und Wasserinfrastrukturen dem weltweiten Durchschnitt entsprechen. Für die übrigen dargestellten Länder spiegeln die Spezialisierungsgrade auch die Verhältnisse der Verkehrsträger in den Welthandelsanteilen wider.

Im zeitlichen Verlauf fällt insbesondere die hohe Dynamik der RCA-Werte Japans und Frankreichs auf. Während die USA, Großbritannien und Italien einen leicht abnehmenden Trend in der Spezialisierung aufweisen, erscheinen die Werte für Deutschland stabil.

### **5.3.2.5 Emissionsminderung durch Filter und Katalysatoren**

Emissionsminderungsverfahren erfordern einerseits eine hohe technologische Kompetenz und werden andererseits durch politische und rechtliche Vorgaben für bestimmte Märkte gefördert oder gar erzwungen. Dementsprechend konzentriert sich der Markt der Anbieter in dieser Produktgruppe mehr auf Industrieländer mit strengen Umweltgesetzgebungen. Dies sind die USA und die EU. Während die USA und Deutschland einen Welthandelsanteil von 40 % erreichen, fällt in dieser Produktgruppe Japan mit 7 % auf einen unterdurchschnittlichen Rang zurück. Die Nicht-OECD-Staaten weisen einen im Gegensatz zum Gesamtfeld Nachhaltige Mobilität geringeren Anteil von 15 % auf.

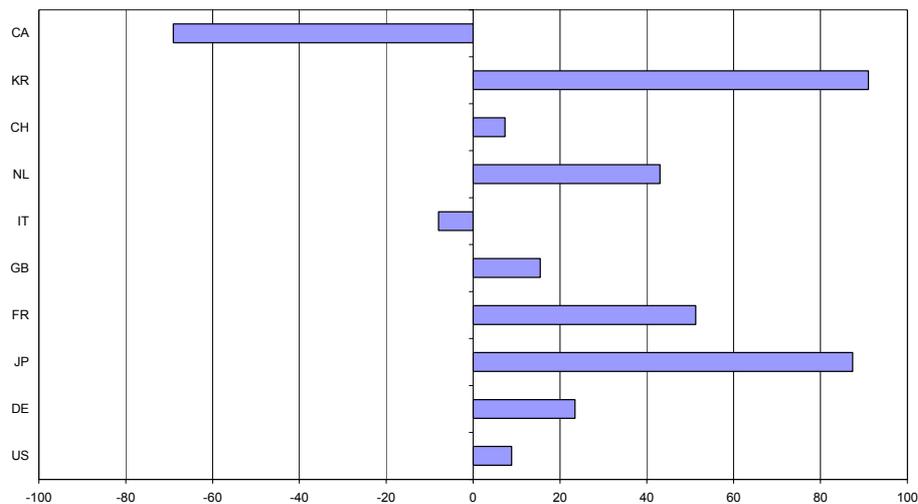
Abbildung 5-30: Welthandelsanteile der Produktgruppe Emissionsminderung



Für Japan und Deutschland mit positiven RPA- und RCA-Werten sowie für Kanada und Italien mit negativen RPA- und RCA-Werten stimmen die Aussagen der Patentanalyse mit denen der Außenhandelsstatistiken zur Spezialisierung der Länder in der Produktgruppe Emissionsminderungstechnologien überein. Für alle übrigen Länder, und hierbei insbesondere für die USA, Frankreich, die Niederlande und Korea, liefern die Indikatoren gegensätzliche Aussagen. Bei diesen Ländern stehen zum Teil überdurchschnittliche Leistungsfähigkeiten im Außenhandel (positive RCA) deutlich negativen technologischen Spezialisierungen (RPA) gegenüber.

Gemäß der obigen Interpretation deutet dies darauf hin, dass sich die einzelnen Länder auf unterschiedlichen Stufen des technologischen Entwicklungspfades befinden. Im Fall der USA hat die frühzeitige Einführung strenger Emissionsgesetze in Kalifornien eine intensive Forschungstätigkeit zu einem Zeitpunkt initiiert, zu dem Europa und Japan auf dem Feld der Emissionsminderungstechnologien noch keine nennenswerten Patentanmeldungen vorzuweisen hatten. Abbildung 5-16 belegt diesen Trend. Ebenso reflektiert der Höhepunkt der Patentanmeldungen in der EU-27 zwischen 1997 und 2001 die Verschärfung der Euro-Emissionsstandards, während die Bedeutung emissionsmindernder Technologien außerhalb der OECD in den nationalen Entwicklungsprogrammen nur langsam an Bedeutung gewinnt. Speziell im Fall Koreas und Chinas kann unterstellt werden, dass zunächst noch auf bewährte Technologien und bestehende Patente zurückgegriffen wird.

Abbildung 5-31: RCA der Produktgruppe Emissionsminderung



Der zeitliche Verlauf der Außenhandelsspezialisierung im Bereich der Emissionsminderungstechnologien erstaunt zunächst. Einerseits hatten französische Automobilhersteller Ende der 1990er Jahre sehr erfolgreich den Rußpartikelfilter zur Verminderung der Abgasbelastung von Dieselfahrzeugen eingeführt. Dieser technologischen Entwicklung steht jedoch ein starker Abfall des RCA-Wertes Frankreichs ab dem Jahr 2000 gegenüber.

Erklärt werden kann dieser Sachverhalt durch die Klassifizierung der Außenhandelsstatistik, durch welche die in Fahrzeuge eingebauten Partikelfilter nicht separat erfasst werden. Ferner waren Grenzwerte für den Ausstoß und die Konzentration von Feinstaub in der Umgebungsluft Ende der 1990er/Anfang der 2000er Jahre noch nicht sehr streng. Entsprechend konnten die deutschen Hersteller weiter ihr Ziel der innermotorischen Lösung des Feinstaubproblems verfolgen und verzichteten so auf den Import französischer Filtersysteme.

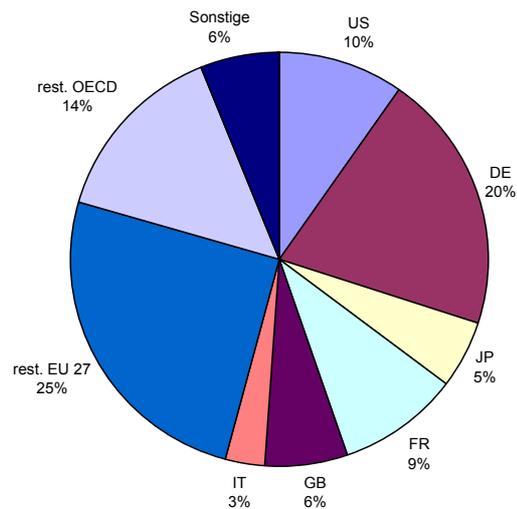
Des Weiteren spiegelt die Außenhandelsspezialisierung die Entwicklung der europäischen Abgasnorm (EURO-Standard), welche seit Anfang der 1990er Jahre die Grenzwerte für verschiedene Schadstoffmengen immer weiter herabgesetzt hat, nicht wider. Auch hierfür kann die Erklärung im überwiegenden Handel mit Fahrzeugen mit eingebauter Filter- und Katalysatortechnik gefunden werden.

### 5.3.2.6 Verkehrskonzepte

Die Produktgruppe Verkehrskonzepte beinhaltet im Wesentlichen Anlagen zur Verkehrssteuerung. Mit einem Welthandelsanteil der USA, Deutschlands und Japans von 35 % sowie der Nicht-OECD-Länder von 6 % zeigt der Markt eine im Vergleich zum

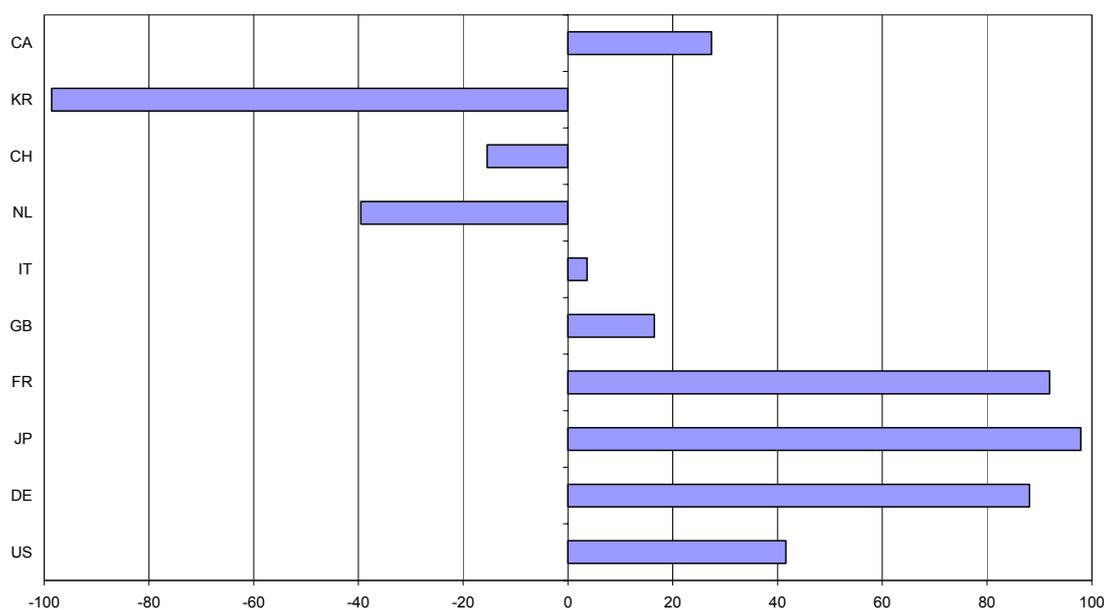
Gesamthandlungsfeld Nachhaltige Mobilität hohe Konzentration. Marktführer ist Deutschland mit einem Welthandelsanteil von ca. 20 %. Ca. zwei Drittel der Exporte entfallen auf die EU, wobei dies allerdings auch die EU-internen Exporte enthält. Insgesamt sind Deutschland und der EU in diesem Technologiefeld eine sehr gute wirtschaftliche Aufstellung zu bescheinigen.

Abbildung 5-32: Welthandelsanteile der Produktgruppe Verkehrskonzepte



Diese Einschätzung wird durch die RCA-Indikatoren zur Außenhandelspezialisierung unterstrichen. Hoch spezialisiert zeigen sich Japan, Frankreich und Deutschland. Insbesondere in Japan und Frankreich wurden in den letzten Jahren neue Systeme zur Überwachung und Optimierung des Verkehrsablaufs in Großstädten installiert. Deutschland ist ebenfalls im Bereich des Straßenverkehrs über Ampelsteuerungen, Detektor- und Verkehrsleitsysteme aktiv und erzielt darüber hinaus Exportergebnisse beim Einsatz moderner IuK-Technologien zur Betriebssteuerung und Nutzerinformation bei öffentlichen Nahverkehrssystemen. Das satellitengestützte Lkw-Mautsystem war erst 2005 einsatzfähig und wird durch die vorliegenden Statistiken noch nicht erfasst.

Abbildung 5-33: RCA der Produktgruppe Verkehrskonzepte



Der Markt der Verkehrssysteme ist durch die sporadische Installation mittlerer bis großer Systeme gekennzeichnet. Entsprechend verlaufen die Außenhandelskennzahlen sehr unregelmäßig. Insbesondere für Italien, Großbritannien und Japan zeigen sich größere periodische Einbrüche oder Peaks im Spezialisierungsgrad (RCA) seit 1993.

## 5.4 Schlussfolgerungen für die Perspektive 2020

Die folgende Abbildung 5-34 sowie Tabelle 5-1 fassen die Ergebnisse des internationalen Vergleichs im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität zusammen. Insgesamt zeigt sich eine hervorragende Ausgangsposition für Japan und Deutschland. Allerdings gibt es innerhalb des Handlungsfeldes unterschiedliche Schwerpunkte.

Abbildung 5-34: Überblick über die Leistungsfähigkeit im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität

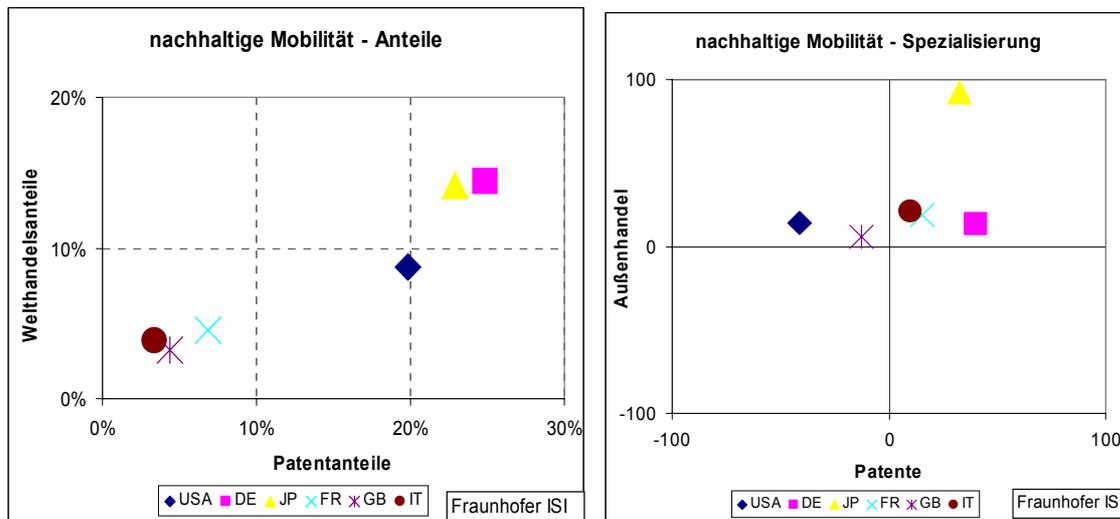


Tabelle 5-1: Vergleich von Leistungsfähigkeit und Marktpotenzial der verschiedenen Produktgruppen im Handlungsfeld Energieeffizienz

Produktgruppe	Patente		Außenhandel		Marktpotenzial
	relative Position	wichtigste Konkurrenten	relative Position	wichtigste Konkurrenten	
<b>Nachhaltige Mobilität gesamt</b>	<b>Sehr hoch</b>	<b>JP, US, (FR)</b>	<b>hoch</b>	<b>JP, US, (FR, GB)</b>	<b>sehr hoch</b>
Antriebstechnologien	sehr hoch	JP, (US, FR)	hoch bis sehr hoch	JP, US, (FR)	sehr hoch
Fahrzeugtechnik	hoch	US, JP, (FR)	hoch	JP (US, FR)	mittel
Verkehrsinfrastruktur	sehr hoch	(US, GB, FR)	hoch	JP (US, GB, FR)	sehr hoch
Emissionsminderung	sehr hoch	JP, US	sehr hoch	US (JP, FR)	hoch
Biokraftstoffe	hoch	US, JP, (GB)	:	:	mittel bis hoch
Verkehrssysteme	hoch	UP, US, (FR)	sehr hoch	US (FR, GB, JP)	Sehr hoch

Tabelle 5-2: Überblick über die Spezialisierung in den Produktgruppen des Handlungsfeldes Mobilität

Produktgruppe	Indikator	US	DE	JP	FR	GB	IT	NL	CH	KR	CA
Antriebstechnologien	RPA	-	+	+	0	-	+	-	-	-	0
	RCA	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
Fahrzeugtechnik	RPA	-	+	+	+	-	+	-	+	-	+
	RCA	0	0	+	+	-	+	-	-	+	-
Verkehrsinfrastruktur	RPA	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-
	RCA	+	+	+	+	+	0	+	0	+	-
Emissionsminderung	RPA	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	RCA	+	+	0	-	+	+	+	-	-	-
Biokraftstoffe	RPA	0	-	0	0	+	-	+	-	-	+
	RCA	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Verkehrssysteme	RPA	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
	RCA	+	+	+	+	+	0	-	-	-	+
Nachhaltige Mobilität gesamt	RPA	-	+	+	+	-	+	-	-	-	0
	RCA	+	+	+	+	0	+	-	-	+	-

(„+“ = RPA / RCA > 10, „0“ = -10 < RPA / RCA < 10, „-“ = RPA / RCA < -10).

Auch aus europäischer Perspektive ist das Handlungsfeld vielversprechend. Beim – ohne Intra-EU-Handel berechneten – Welthandelsanteil von 19 % liegt die EU27 zusammen mit Japan an der Spitze. Vor allem aber kommt knapp die Hälfte der weltweiten Patente im gesamten Handlungsfeld aus der EU27. In der Zukunft wird es für die EU als Ganzes darauf ankommen, diesen Bestand an Wissen auch in weitere marktfähige Produkte umzusetzen.

Für die Perspektive 2020 ergeben sich für die einzelnen Produktgruppen des Handlungsfeldes Nachhaltige Mobilität folgende Schlussfolgerungen:

- Antriebstechnologien: Japan und die großen europäischen Länder weisen in diesem Feld sowohl eine aktuell hohe Spezialisierung des Außenhandels als auch ein erhebliches Zukunftspotenzial durch eine ebenfalls bedeutende F&E-Spezialisierung auf. Gründe hierfür sind in der scharfen Umweltgesetzgebung und der Energiestrategie der EU sowie in den hohen europäischen Kraftstoffpreisen im Vergleich zur USA zu suchen. Diese verlangen neben End-of-Pipe-Technologien zur Abgasreini-

gung zunehmend auch innermotorische Lösungen und alternative Antriebe. Aufgrund der verhaltenen Forschungstätigkeit der USA und Koreas sind diese traditionellen Automobilländer insgesamt weniger stark als Konkurrenz in der zukünftigen Entwicklung verbesserter Antriebssysteme zu betrachten als Japan. Europa, und speziell Deutschland, haben jedoch noch einen erheblichen Aufholbedarf im Bereich alternativer Antriebe, wie Hybrid- oder Brennstoffzellensysteme. Diese Technologiebereiche werden insofern an Bedeutung gewinnen, da in der Optimierung traditioneller Verbrennungsmotoren allein nur noch begrenzte Potenziale zur Reduktion von Schadstoff- und Treibhausgasemissionen erwartet werden.

- **Fahrzeugtechnik und -design:** In diesem Technologiefeld zeigt sich deutlich der relative Vorteil fahrzeugproduzierender Länder außerhalb der traditionellen Industriestaaten. Durch den Einsatz konventioneller Technologie im Zusammenhang mit niedrigen Produktionskosten sind so Korea und zunehmend auch China auf dem Weltmarkt konkurrenzfähig und erzielen höhere Exportüberschüsse als beispielsweise Deutschland und die USA. Im Fall von China ist hierbei jedoch auch eine rigide Importkontrolle ausschlaggebend für den hohen außenwirtschaftlichen Spezialisierungsgrad. Für die europäische Fahrzeugindustrie sind diese Länder insgesamt eher als Konkurrenz zu betrachten als die USA, da der aktuelle wirtschaftliche Erfolg einerseits Neuentwicklungen zur Anpassung an hiesige technische Standards nötig macht, aber auch die Ressourcen hierfür generiert. Die weitaus größte Konkurrenz für den deutschen Markt stellen Japan und einige europäische Länder, insbesondere Frankreich und Italien, dar. Da Deutschland in der Produktgruppe Fahrzeugtechnik und Design zwar forschungsseitig gut, marktmäßig aber derzeit nur durchschnittlich aufgestellt ist, besteht hier noch ein gewisser Aufholbedarf. Ähnlich wie bei den alternativen Antrieben gilt, dass kommende technische Standards nur durch die flankierende Unterstützung außerhalb der weiteren Verbesserung der Verbrennungsmotoren, z. B. durch Leichtbau und Aerodynamik, erfolgreich sein können.
- **Verkehrsinfrastrukturen:** Zur Nachhaltigkeit des Verkehrssektors tragen neben einer erhöhten Umweltverträglichkeit auch der umweltschonende Bau der Verkehrswege und die Bereitstellung von leistungsfähigen Infrastrukturen zur Verlagerung des Verkehrs von Straße und Luft auf die umweltfreundlicheren Verkehrsträger Schiene und Wasser bei. In diesem Bereich sind insgesamt die großen EU-Mitgliedsstaaten wie auch Korea sowohl forschungs- als auch exportseitig spezialisiert. Forschungsseitig gut aufgestellt sind auch Italien, die Schweiz und China, während die USA und Japan lediglich bezüglich des Außenhandels gut positioniert sind. Differenziert nach Verkehrsträgern stellt sich das Bild sehr uneinheitlich dar, wobei die Positionierung Deutschlands sowohl bezüglich der Patentanmeldungen als auch bezogen auf den Außenhandel eine weltweite Führungsposition bei Straßen- und Schieneninfrastrukturen einnimmt. Dies gilt jedoch nicht für Schifffahrtsinfrastrukturen. Aufgrund des weltweit enormen Wachstums des Containerverkehrs wird die Entwicklung leistungsfähiger Hafeninfrastrukturen zukünftig ein zentrales Handlungsfeld innerhalb einer nachhaltigen Verkehrspolitik darstellen. Entsprechend wird der Bereich der

Hafeninfrastrukturen und deren zukünftige Gestaltung sowohl von der Bundesregierung als auch seitens der EU als vorrangiges Ziel benannt.

- Emissionsminderung durch Filter und Katalysatoren: Deutschland und Japan weisen als einzige Länder eine positive F&E-Spezialisierung in diesem Bereich auf. Der Hintergrund für das zurückhaltende Abschneiden der US-Industrie dürfte in der wesentlich früher eingeführten Katalysatorpflicht und sonstiger Umweltgesetze in den USA begründet sein. Neuere Entwicklungen sind insbesondere im Bereich der Dieselantriebe zu erwarten, welche für Pkw lediglich in Europa eine nennenswerte Rolle spielen. Die USA sind jedoch, neben Deutschland, Frankreich und einigen weiteren europäischen Ländern, durchaus erfolgreich im Export von Emissionsminderungstechnologien. Grundsätzlich sind die Handelszahlen jedoch mit Vorsicht zu betrachten, da das Feld Emissionsminderungstechnologien mit Filtern und Katalysatoren lediglich einzelne Komponenten von Fahrzeugen enthält; in Fahrzeugen eingebaute Komponenten werden nicht von der Außenhandelsstatistik erfasst. Insgesamt befindet sich Deutschland als einziges Land mit einem positiven RPA und RCA-Wert in einer hervorragenden Ausgangsposition bezüglich der zukünftigen Entwicklung. Unter Berücksichtigung weiter verschärfter Umweltrichtlinien weltweit, etabliert sich damit ein bedeutender und potenziell für Deutschland sehr erfolgreicher Zukunftsmarkt im Bereich der nachhaltigen Mobilitätstechnologien.
- Biokraftstoffe: Für die Entwicklung von Biokraftstoffen sowohl der ersten als auch der zweiten und dritten Generation liegt lediglich die Auswertung internationaler Patentanmeldungen vor; auf Initiative des Statistischen Bundesamtes wird derzeit allerdings über eine explizite Aufnahme in das internationale Warenverzeichnis diskutiert. Nach den Ergebnissen der Patentrecherche weisen nur Großbritannien, die Niederlande und Korea eine Spezialisierung im Handlungsfeld Biokraftstoffe auf. Für Deutschland ergibt sich für das Jahr 2004 eine unterdurchschnittliche Forschungs- und Entwicklungstätigkeit. Unter Berücksichtigung der aktuellen Aktivitäten bei der Forschung im Bereich BTL (Biomass to Liquid) ist dieses Ergebnis jedoch zu relativieren.
- Verkehrssysteme: Der Bereich Verkehrssysteme umfasst Anlagen zur Beeinflussung und Steuerung vornehmlich des Straßenverkehrs. Dieses Technologiefeld basiert im Wesentlichen auf der Entwicklung von Software, welche üblicherweise nicht patentiert wird. Spezialisierungen im Bereich Außenhandel weisen hier Nordamerika, Japan sowie viele europäische Länder auf. Die zeitlichen Verläufe sind jedoch, da es sich oft um große Einzelinstallationen handelt, sehr unregelmäßig. Aufgrund der wachsenden Verkehrsprobleme insbesondere in den schnell wachsenden Metropolen Asiens und Südamerikas, aber auch in Europa und den USA, wird der Markt für Verkehrssteuerung und Regulierung als sehr dynamisch eingestuft. Mit bedingt durch traditionell intensive Anwendungen im öffentlichen Verkehr und bei der Vernetzung von Verkehrssystemen hält Deutschland eine starke Position in diesem Markt.

Der Markt für nachhaltige Verkehrs- und Mobilitätstechnologien ist sehr dynamisch und wird, bedingt durch wachsende Verkehrsdichten, steigende Energiepreise und verschärfte Umweltgesetze in Zukunft noch weiter an Bedeutung gewinnen. Deutschland ist hierin durchaus gut aufgestellt, was durch Indikatoren der Spezialisierung auf den Gebieten Forschung und Entwicklung (F&E) sowie Außenhandel belegt wird. Dies gilt insbesondere für die Bereiche effiziente Verbrennungsmotoren, Straßen- und Schieneninfrastruktur, Filter und Katalysatoren sowie für Verkehrssteuerungssysteme.

In allen Bereichen bestehen jedoch starke Konkurrenzen, welche vornehmlich durch Japan und einige europäische Nachbarländer gebildet werden. Die USA ist hiervon etwas ausgenommen, da die dortige Industrie tendenziell mehr für den heimischen Markt produziert. Die USA und Korea zeichnen sich ferner durch geringe Forschungsaktivitäten auf dem Feld nachhaltiger Mobilitätstechnologien aus, was auf eine eher ungünstige Ausgangslage bezüglich der zukünftigen Marktentwicklung hinweist. China stellt eine unbekannte Größe dar. Zwar ist die Spezialisierung im Forschungsbereich nachhaltige Mobilität insgesamt negativ, doch hat die Regierung jetzt verschärfte Anstrengungen im Umweltschutz angekündigt, was vor dem enormen wirtschaftlichen Potenzial des Landes zu einer beachtlichen Marktdurchdringung, auch im Bereich neuer Technologien, führen könnte. Der Zeithorizont hierfür und die Stetigkeit des chinesischen Wirtschaftswachstums sind jedoch schwer einzuschätzen.

Europa und insbesondere Deutschland haben einen technologischen Nachholbedarf in den Bereichen alternative Antriebe (hybride Systeme, Brennstoffzellen), Fahrzeugtechnik (Leichtbau, Aerodynamik), Schifffahrtsinfrastrukturen (Häfen, Kanäle, Umschlaganlagen) sowie Biokraftstoffe. All diese Bereiche sind für eine nachhaltige Verkehrsentwicklung unerlässlich und können nur im Zusammenspiel sowie in Kombination mit Verbesserungen bestehender Systeme zu einer echten Reduktion von Schadstoff- und Treibhausgasemissionen in einer nennenswerten Größenordnung beitragen.

Aus der vorangegangenen Analyse sowie aus der Beobachtung der aktuellen Entwicklung im Umfeld Verkehr und Mobilität ergeben sich zahlreiche Stärken, Schwächen, Chancen und Herausforderungen aus europäischer und deutscher Sicht. Zusammenfassend lässt sich die Lage wie folgt charakterisieren: Einige europäische Länder halten in einzelnen technologischen Bereichen weltweit führende Stellungen, der Markt ist jedoch zersplittert und läuft somit Gefahr in Teilen vor dem aufkommenden Druck großer Schwellenländer nur schlecht gewappnet zu sein. Europa zeigt vereinzelt hervorragende politische Ansätze zur Stimulanz neuer Technologien durch moderne umweltpolitische Maßnahmen. Gewisse Risiken für Entwicklung, Produktion und Nachfrage nach Fahrzeugen mit alternativen Antrieben ergeben sich jedoch durch die prognostizierte demographische Entwicklung sowie durch national stark unterschiedliche gesetz-

liche Rahmenbedingungen. Eine detaillierte Zusammenstellung der Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken wird durch die SWOT-Analyse in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 5-3: Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hervorragende Wettbewerbsfähigkeit in traditionellen Sektoren (Motoren/Automobil, Emissionsminderungstechnologien, Schienenfahrzeuge und -infrastruktur, Luftfahrzeuge)</li> <li>• Eintritt in den Weltmarkt in neuen Technologien (Hybridantriebe französischer und schwedischer Hersteller, Wasserstoff- und Brennstoffzelle)</li> <li>• Ansätze zur Unterstützung von Innovationen in neuen Technologien durch fortschrittliche Umwelt- und Verkehrspolitik</li> <li>• Fortgeschrittene Liberalisierung und Vereinheitlichung der europäischen Märkte im Bereich des Straßen- und des Luftverkehrs (Transeuropäische Netze, Single European Sky)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Massiv expandierender Weltmarkt im Bereich der Logistikdienstleistungen (Containerverkehre) und des internationalen Luftverkehrs</li> <li>• Förderung neuer Politikinstrumente (Emissionshandel, Road Pricing) für Generierung von Nachfrage und Ausrichtung auf dezentrale Technologieinnovationen nutzen</li> <li>• Konvergenz der Technologiebereiche frühzeitig herbeiführen; Aufbau auf vorhandene Kompetenzen bei konventionellen Fahrzeugtechnologien zum Eintritt in neue Märkte</li> <li>• Erweiterung und Zusammenwachsen der EU und Förderung eines einheitlichen Eisenbahnraumes</li> <li>• Ehrgeizige Ziele zur Förderung erneuerbarer Energien und zur Reduktion von Klimagasemissionen</li> </ul>
Schwächen	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologischer Rückstand in Einzelbereichen durch einige europäische Länder (hybride Antriebstechnik, alternative Kraftstoffe, Schiffbau und -infrastrukturen)</li> <li>• Kein einheitlicher, flächendeckender Ansatz in der EU zur Schaffung eines Marktes für hocheffiziente Fahrzeuge nach dem Vorbild des Zero-Emission-Vehicle Programms in Kalifornien</li> <li>• Stark nationalstaatlich orientierte Struktur der Eisenbahnunternehmen behindert Wachstum des Schienenverkehrs und der Intermodalität in einem einheitlichen europäischen Eisenbahnraum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zunehmende Konkurrenz durch Aufholländer auch bei technologisch hochstehenden Produkten</li> <li>• Widerstand nationaler Bahngesellschaften gegen die Liberalisierung des Zugangs zum europäischen Schienennetz</li> <li>• Überalterung der europäischen Gesellschaft und Wegbrechen der Nachfrage im Personenverkehr (Schüler- und Ausbildungsverkehre)</li> <li>• Zunehmender Mangel an gut ausgebildeten Fachkräften in Forschungs- und Entwicklung sowie für Verkehrsdienstleistungen</li> </ul>

## 6 Zukunftsmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft

### 6.1 Abgrenzung und Technologiebeschreibung

Bei der Untersuchung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft gilt es zunächst, unterschiedliche Produktgruppen zu spezifizieren, damit dann mit Hilfe von Patent- und Außenhandelsanalysen verschiedene Aspekte der Wettbewerbsfähigkeit genauer charakterisiert werden können. Bei dieser Disaggregation des Handlungsfeldes wurde im Wesentlichen auf die Systematik des Vorgängerprojektes (DIW/ISI/Roland Berger 2007) rekurriert, wobei sich gewisse Veränderungen vor allem dadurch ergaben, dass das Analyseraster für die Patent- und Außenhandelszahlen seit dem Abschluss des Vorgängerprojektes bedeutend verfeinert werden konnten. So sind wir nun beispielsweise in der Lage, genauer zwischen der Wasserver- und Abwasserentsorgung zu differenzieren. Im Folgenden sei daher in aller Kürze die aktuelle Systematik aufgeführt.

#### 6.1.1 Wasserversorgung

Die Wasserversorgung umfasst sowohl die Förderung und Aufbereitung von Rohwasser (einschließlich Meerwasser) als auch dessen Verteilung an private und gewerbliche Verbraucher. Folgende Technologielinien können dieser Produktgruppe zugeordnet werden.

- Bevor das Wasser aufbereitet und verteilt werden kann, muss es zunächst aus Brunnen oder **Bohrlöchern** mit Hilfe von **Pumpen** gewonnen werden.
- Zwecks Aufbereitung werden unerwünschte Inhaltsstoffe (z. B. Kalk, Mangan, Eisen) mittels **physikalisch-chemischer Verfahren** gefällt oder geflockt und anschließend je nach Eigenschaft herausgefiltert, sedimentiert oder flотиert, oder das Wasser wird direkt über Ionenaustauscher gereinigt. Schließlich wird das Wasser durch Chlorierung oder Ozonierung hygienisiert.
- Bestandteile der zentralen Wasserverteilungsinfrastruktur sind vor allem **Pumpen**, **Schieber** und **Rohre**, aber auch **Wasserbehälter**, die häufig nicht nur einen Ausgleichspuffer zwischen Wasserangebot und -nachfrage darstellen, sondern auch einen ausreichenden Wasserdruck an den Entnahmestellen sicherstellen. Aus innovatorischer Sicht sind Pumpen, Schieber und Rohre auch zentrale Elemente von Druck- und Vakuumkanalisationen, die dann zum Einsatz kommen, wenn bspw. die Abwassermengen oder das Gefälle für konventionelle Leitungen zu gering sind.

- **Bau und Instandhaltung** von Wasserver- und Abwasserentsorgungsinfrastrukturen kommt insofern Bedeutung zu, als diese in größerem Umfang als heute durch Leckagedetektoren und Molchsysteme in situ überwacht und ggf. repariert werden. Bei der Errichtung neuer (zusätzlicher) Infrastrukturen, vor allem in dicht bebauten, urbanen Gebieten, kommt auch grabenlosen Bauverfahren eine besondere Bedeutung zu.
- **Membrangebundene Filtertechnologien** spielen sowohl bei der Bereitung von Trinkwasser und anderen hochqualitativen Wässern (auch aus Meerwasser) als auch bei der Reinigung aller Arten von Abwässern eine zunehmend wichtige Rolle. Letzteres umfasst auch die Nutzung von Regenwasser und das Recycling von Grau- und Prozesswässern. Die Möglichkeit, die entsprechenden Anlagen aufgrund der ihnen eigenen Modularität ohne allzu große Wirtschaftlichkeitseinbußen herunterzukalieren, macht die Membrantechnologie zu einer wesentlichen Grundlage jeder *dezentralen* Wasserwirtschaft.

### 6.1.2 Abwasserentsorgung

Die Abwasserentsorgung umfasst sowohl die Ableitung des Abwassers vom Ort seiner Entstehung als auch seine Reinigung, die es in der Regel in einen Zustand versetzt, in dem es gefahrlos in die Umwelt abgeleitet oder wiederverwertet werden kann. Die Entsorgung des anfallenden Klärschlamm fällt auch in diese Produktgruppe. Folgende Technologielinien werden dabei genauer untersucht:

- Die zentrale Abwasserableitung unterscheidet sich in einigen Punkten von der Wasserverteilungsinfrastruktur. Wegen des höheren (suspendierten) Feststoffgehaltes weisen die **Rohre** zumeist einen größeren Durchmesser auf und werden aus anderen Materialien hergestellt, während die **Pumpen** und Heber insbesondere im Zusammenhang mit dem Transport von Fäkalien und Schlämmen auf anderen Funktionsprinzipien (z. B. Verdrängungs- statt Rotationspumpen) basieren.
- **Abwasserreinigungsverfahren** zielen auf die Reinigung von Wasser ab, das im Gegensatz zu Regen- oder Grauwasser nicht alleine mit Hilfe der Filtration gereinigt werden kann. Daher treten biologische und physikalisch-chemische Prozesse hinzu, die im Konzept der Kläranlage integriert und an die jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden. Neuere Entwicklungen zielen auf die Entfernung neu erkannter Verunreinigungen (z. B. Rückstände von Medikamenten und endokrinen Stoffen) ab.
- Neben den großen, kommunalen Anlagen finden neuerdings auch leistungsfähige **Kleinkläranlagen** in dezentralen Anwendungen immer mehr Beachtung. Diese Entwicklung wird insbesondere durch die Kombination mit der **Membranfiltration** und des damit erreichbaren modularen Aufbaus verstärkt.

- Im Zusammenhang mit der Abwasserreinigung kann der Ressourcenverbrauch durch verändertes Prozessdesign, Energierückgewinnung und das Recycling von Rohstoffen verringert und damit die Wirtschaftlichkeit der Abwasserbehandlung insgesamt erhöht werden.
- Im Sinne eines wirtschaftlich und ökologisch sinnvollen Umgangs mit dem anfallenden Klärschlamm ist an eine Wiederverwertung der im Abwasser enthaltenen Ressourcen (z. B. Phosphatrecycling) zu denken. Darüber hinaus können alternative Sanitär- und Abwasserkonzepte dazu beitragen, bestimmte Kontaminationen von vornherein zu vermeiden oder die Menge anfallenden Klärschlammes durch geeignete Abwasserreinigungsverfahren zu reduzieren.

### 6.1.3 Wasserverbrauchseffizienz

Die Steigerung der **Wasserverbrauchseffizienz** ist neben der Reduktion des Stoffeintrages ein entscheidendes Element eines proaktiven Wassermanagements, das die Herausforderung der Versorgung mit ausreichenden Mengen Wassers hoher Qualität nicht allein auf die Angebotsseite beschränkt.

- **Waschmaschinen, Geschirrspüler und Armaturen** stehen hier stellvertretend für alle Geräte bzw. Installationen im privaten Bereich, die Wasser verbrauchen und bei denen eine Reduzierung des Wasser- (und Energie-)verbrauchs Kennzeichen des technischen Fortschritts ist.
- Angesichts der Tatsache, dass ein großer, in vielen Ländern sogar der größte Teil des Rohwassers für die Bewässerung in der Landwirtschaft verbraucht wird, spielen effiziente **Bewässerungstechnologien** eine besondere Rolle, da sie den Wasserverbrauch bei gleichbleibendem Ertrag um ein Mehrfaches senken können.

### 6.1.4 Hochwasserschutz

Die im Zuge einer zu erwartenden Klimaverschiebung vermutlich häufiger auftretenden Extremwetterereignisse stellen zunehmende Anforderungen an das Management aller Bestandteile der Wasserinfrastruktur im weiteren Sinn: Talsperren und Polder ebenso wie Kanalnetze einschließlich Anlagen zur Regenwasserbehandlung.

- **Wasserbauliche Maßnahmen** zur Kontrolle von Flüssen schließen auch Polder und Rückhaltebecken mit ein, die das Ausmaß eines Hochwassers und damit auch seine Auswirkungen abzumildern helfen.
- Eher reaktiver Natur sind dagegen der Bau bzw. die Erhöhung von **Deichen**, die Errichtung von **Spundwänden** zur akuten Hochwasserabwehr und der Schutz von Bauten gegen die Wirkung von Grundwasser.

- Instrumente zur **Messung** von Flüssigkeits-(Regenwasser-)ständen und -durchflüssen und anderen wetterrelevanten Parametern sowie Geräte bzw. Sonden zur Messung chemisch-biologischer Parameter erlauben es im Falle von Extremwetterereignissen, nach **Übermittlung** und **Verarbeitung** der gewonnenen **Daten** die Regen- und Schmutzwasserflüsse so zu steuern, dass ökologische und gesundheitliche Gefahren weitgehend abgewendet werden können.<sup>13</sup>

## 6.2 Innovationsdynamik und Marktpotenzial

Die Innovationsdynamik des Handlungsfeldes Nachhaltige Wasserwirtschaft schlägt sich im Zeitraum von 1991 bis 2004 in einem kontinuierlichen Anstieg der Patentanmeldungen von 100 auf 215 % nieder, womit sie hinter der generellen Entwicklung der Patentanmeldungen (mit einem Anstieg auf 260 %) deutlich zurückbleibt (vgl. Abbildung 6-1). Dieser Trend spiegelt sich auch in den Innovationsdynamiken der meisten Produktgruppen des Handlungsfeldes wider. Wie aus Abbildung 6-2 hervorgeht, weisen sowohl die Produktgruppen Wasserversorgung, Membrantechnik, Hochwasserschutz und Pumpen eine ähnliche Entwicklung wie das gesamte Handlungsfeld auf. Teilweise stärkere Anstiege weisen die Regenwassernutzung (555 %) und die Wasseranalytik (zwischenzeitlich 320 %) auf, wobei darauf hinzuweisen ist, dass diesen Bereichen oft kleine Patentzahlen zugrunde liegen, bei denen schon kleinere absolute Änderungen eine hohe (relative) Dynamik hervorrufen, die mit den Entwicklungen in den anderen Bereichen aber nicht unmittelbar vergleichbar ist.

---

<sup>13</sup> Allerdings ist eine Fokussierung allein auf den Bereich der Extremwetterereignisse bzw. des Hochwasserschutzes nicht möglich, da die relevanten Technikkomponenten auch in anderen Messsystemen relevant sind. Da außerdem die große Zahl der in diesem Bereich angemeldeten Patente zu einer deutlichen Verschiebung der im Folgenden diskutierten Patentkennziffern führen würde, wird sie im Einzelnen nachrichtlich erwähnt, bei der Charakterisierung des Gesamtbereiches Hochwasserschutz aber nicht berücksichtigt.

Abbildung 6-1: Innovationsdynamik im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft (gemessen an der Zahl der Patentanmeldungen; 1991= 100)

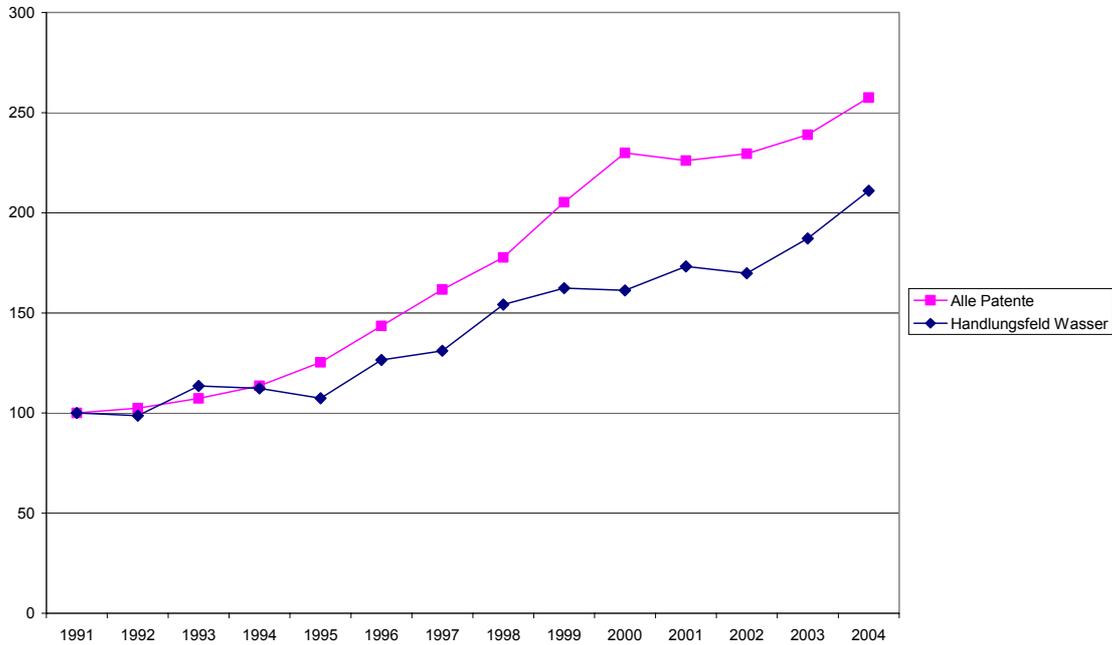
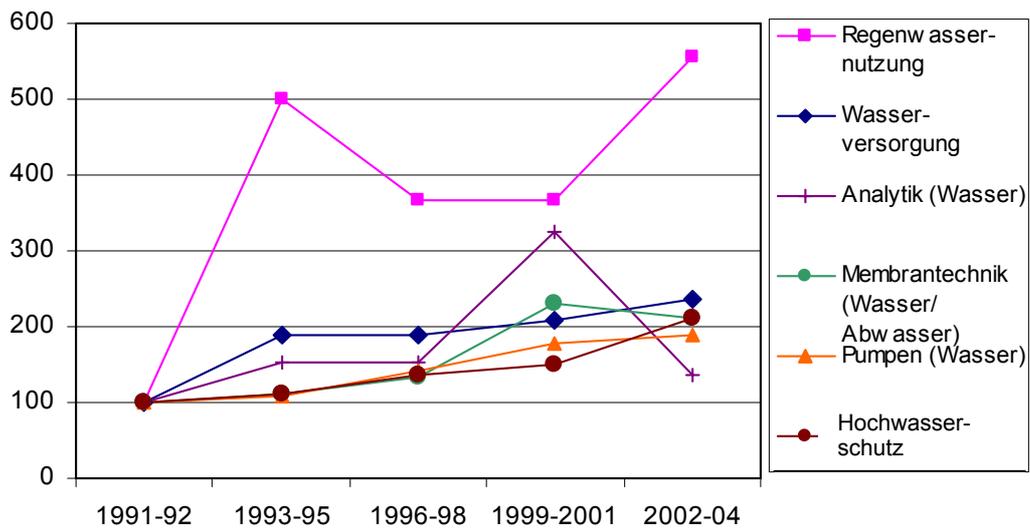
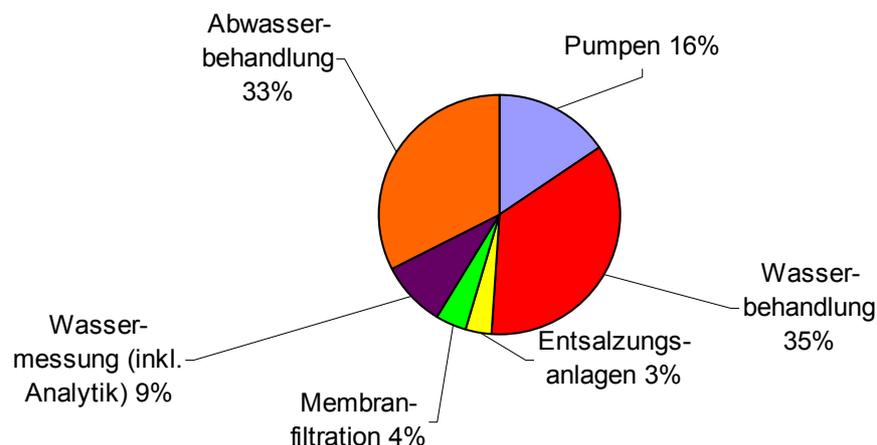


Abbildung 6-2: Relative Innovationsdynamik in verschiedenen Produktgruppen des Handlungsfeldes Nachhaltige Wasserwirtschaft (gemessen an der Zahl der Patentanmeldungen; 1991= 100)



Das Marktvolumen für Technologien der nachhaltigen Wasserwirtschaft wird von Frost und Sullivan (2003) für das Jahr 2006 in Deutschland, Europa und der Welt auf 23, 71 bzw. 213 Mrd. US-Dollar geschätzt. Berger (2007) schätzen das gegenwärtige Marktvolumen auf etwa 190 Mrd. Euro. In den Entwicklungsländern (einschließlich China und Indien) geht das World Water Council von einem zukünftigen Investitionsbedarf für Wasserinfrastruktur von 180 Mrd. US-Dollar pro Jahr aus, doppelt so viel wie gegenwärtig bereits investiert wird. Schon für die Erreichung der Millennium Development Goals (d. h. Halbierung des Bevölkerungsanteils ohne Zugang zu verbesserter Wasserversorgung und Abwasserentsorgung) der UNO wird der Investitionsbedarf auf jährlich 11,3 Mrd. US-Dollar beziffert (vgl. DIW/ISI/Roland Berger 2007). Insgesamt wird daher mit jährlichen Steigerungsraten des Marktvolumens von 6 % gerechnet, sodass sich für 2020 ein weltweites Marktvolumen von 480 Mrd. Euro ergibt (Berger 2007). Wie in Abbildung 6-3 dargestellt, entfallen jeweils ein Drittel dieses Marktpotenzials auf die Produktgruppen Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung. Anlagen zur Meerwasserentsalzung kommen auf 3 % und die Querschnittstechnologien Pumpen, Membranfiltration und Wassermessung (inkl. Analytik) erreichen Anteile von 16, 4 bzw. 9 %. Zusätzlich zu berücksichtigen sind dabei jährliche Steigerungsraten, die je nach Bereich zwischen 4 und 17 % liegen (DIW/ISI/Roland Berger 2007).

Abbildung 6-3: Prognostizierte Anteile ausgewählter Technologielinien am jährlichen Marktvolumen des Handlungsfeldes Nachhaltige Wasserwirtschaft für 2020



## 6.3 Internationale Analyse der technologischen Leistungsfähigkeit

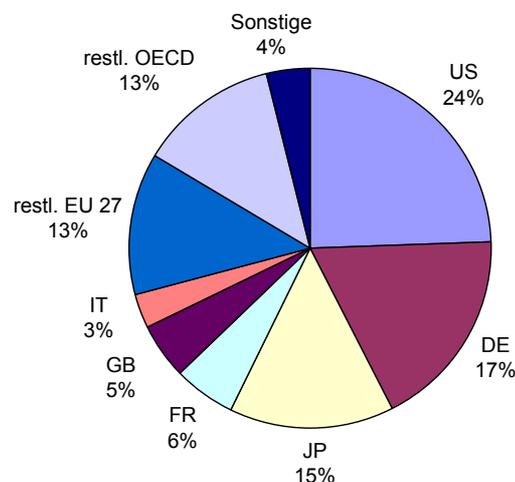
### 6.3.1 Patentanalyse

Nach der Darstellung der Zunahme der Patentanmeldungen als Maß für die Innovationsdynamik im Abschnitt 6.2 geht es in diesem Abschnitt um die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands im internationalen Vergleich, weshalb für die Analyse vor allem vergleichende Daten, d. h. Patentanteile und RPA-Werte zum Einsatz gelangen. Patentdaten geben dabei insbesondere Einblick in die Innovativität und technische Leistungsfähigkeit von Unternehmen, die eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung für deren spätere Wettbewerbsfähigkeit auf dem Markt ist. Der letztgenannte Aspekt wird in Abschnitt 6.3.2 für den internationalen Kontext mit Hilfe von Außenhandelsindikatoren erfasst.

#### 6.3.1.1 Überblick über das Handlungsfeld

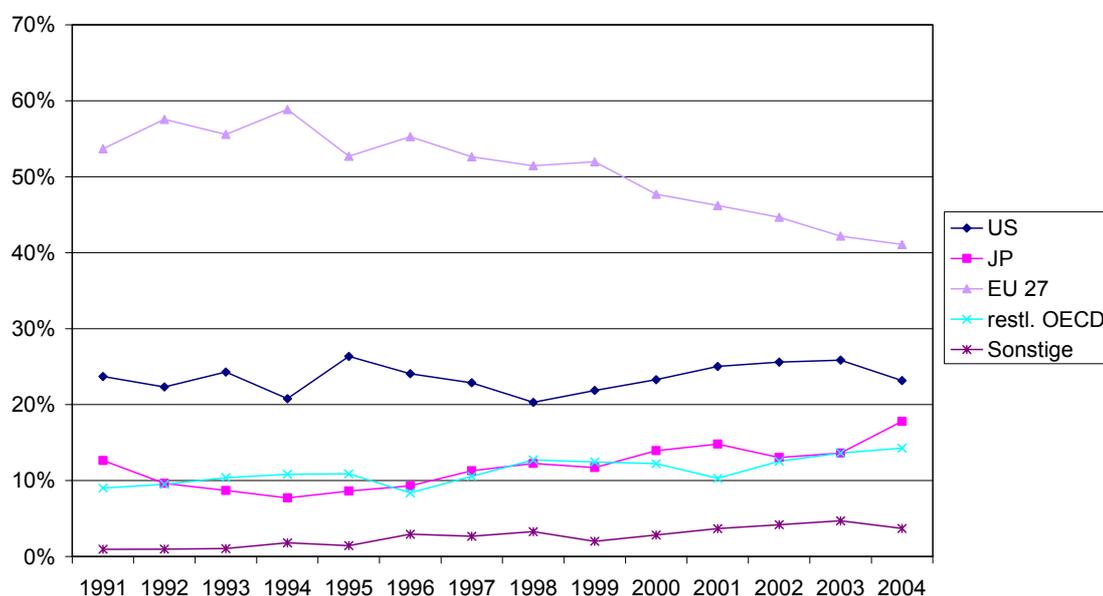
Wie in Abbildung 6-4 ausgewiesen, ist Deutschland mit 17 % aller Patentanmeldungen im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft das zweitstärkste Land nach den USA mit 24 %, knapp gefolgt von Japan mit 15 %. Im Vergleich dazu rangieren Frankreich, Großbritannien und Italien mit 6, 5 bzw. 3 % schon leicht abgeschlagen auf den Plätzen vier bis sechs. Darüber hinaus kommen alle verbleibenden EU27-Staaten zusammen nur auf 13 % und alle dann noch verbleibenden OECD-Staaten auf ebenfalls 13 % aller in dem Handlungsfeld angemeldeten Patente.

Abbildung 6-4: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft im Zeitraum 2000 bis 2004.



Neben dieser statischen Perspektive (auf für den Zeitraum 2000 bis 2004 erhobene Daten) ist darüber hinaus auch der Blick auf die zeitliche Entwicklung der Patentzahlen von Bedeutung. Wie Abbildung 6-5 zeigt, stagnieren die Patentanmeldungen der USA im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft seit 1991. Die Zahlen Japans und der sonstigen OECD-Staaten steigen, wenn auch nur ganz geringfügig. Der stärkere Anstieg im Rest der Welt kommt angesichts der niedrigeren absoluten Zahlen kaum zum Tragen. Deutlich ist demgegenüber die Abnahme (von hohem Niveau) bei den EU27-Staaten, eine Entwicklung die sich in ähnlicher Weise auch in Deutschland vollzog.

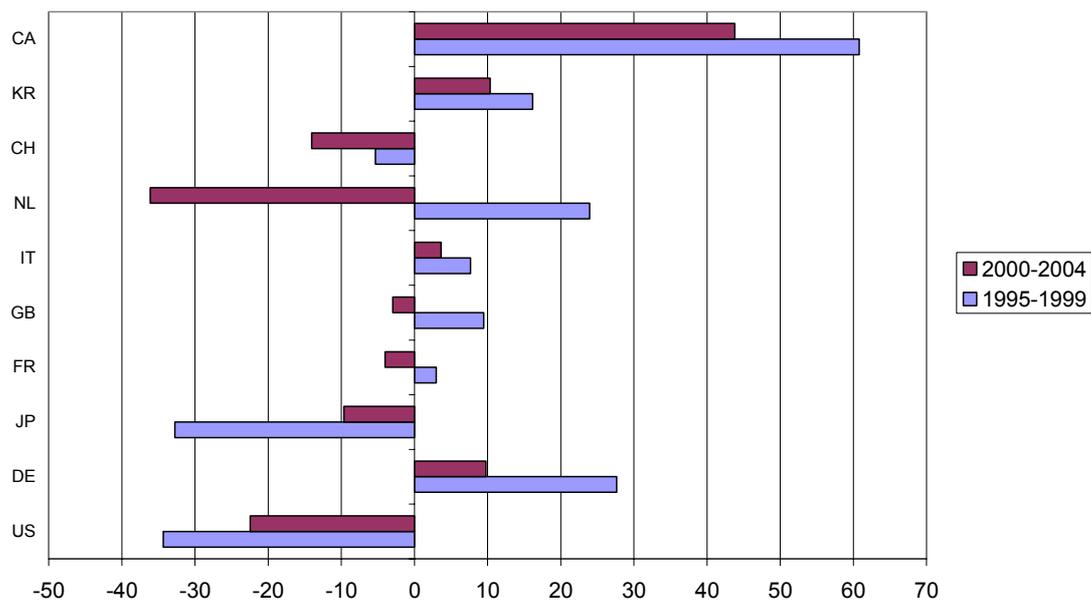
Abbildung 6-5: Zeitliche Veränderung der Patentanmeldungen wichtiger Länder bzw. Ländergruppen im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft im Zeitraum 1991 bis 2004



Um eine Aussage über die Innovationskraft als wesentlichen Inputfaktor für die Wettbewerbsfähigkeit verschiedener Länder(-gruppen) zu machen, soll schließlich noch der RPA als dritte Kenngröße herangezogen werden. Da der RPA nicht absolute Patentzahlen vergleicht, sondern den Anteil der Patente in einem Technikfeld an allen innerhalb eines Landes angemeldeten Patente, treten hier auch Länder in Erscheinung, in denen die Zahl der Patente absolut geringer ist. Wie Abbildung 6-6 zeigt, sind Korea und vor allem Kanada Länder, in denen ein bedeutender Teil der Innovationskraft in das Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft fließt. In den USA und Japan relativieren sich die hohen absoluten Zahlen des Wasserbereichs aus Abbildung 6-4 angesichts sehr hoher Patentzahlen für die jeweilige Gesamtwirtschaft; der resultierende RPA fällt deutlich negativ aus. Großbritannien, Frankreich und Italien wiederum, die in Abbildung 6-4 signifikante, aber nicht allzu hohe Patentanteile aufweisen, liegen vor

allein im Zeitabschnitt 2000 bis 2004 bei den RPA-Werten nahe 0, was auf das Fehlen einer Spezialisierung im Wasserbereich hindeutet. Demgegenüber war die Spezialisierung Deutschlands vor dem Jahr 2000 bedeutend und ist seitdem immer noch signifikant (RPA = 10).

Abbildung 6-6: RPA-Werte verschiedener Länder im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft



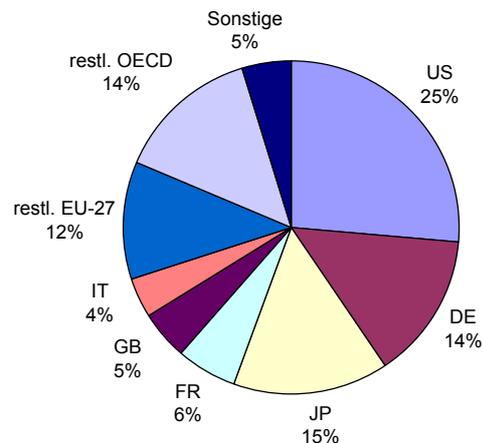
Insgesamt lässt sich die Analyse der Patentdaten im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft folgendermaßen zusammenfassen. Deutschland nimmt aufgrund seines hohen absoluten Patentanteils und seines positiven RPA-Wertes einen Spitzenplatz ein, der jedoch dadurch eine Einschränkung erfährt, dass alle Werte rückläufig sind. Ein weiterer Kandidat für einen Spitzenplatz ist Japan, das zwar eine geringere Patentspezialisierung als Deutschland, aber eine fast ebenso hohe Zahl von Anmeldungen aufweist und das als einziges bedeutendes Land eine steigende Tendenz der Werte aufweist. Schließlich ist noch Kanada hervorzuheben, das hinsichtlich der absoluten Patentzahlen zwar nur mit Italien vergleichbar ist, für das der RPA aber eine außerordentlich hohe Patentspezialisierung ausweist.

Nach der Analyse des Handlungsfeldes Wasser als Ganzes wird im Folgenden untersucht, in welchen Produktgruppen des Handlungsfeldes Deutschland im internationalen Bereich besondere Technikkompetenzen aufweist.

### 6.3.1.2 Wasserversorgung

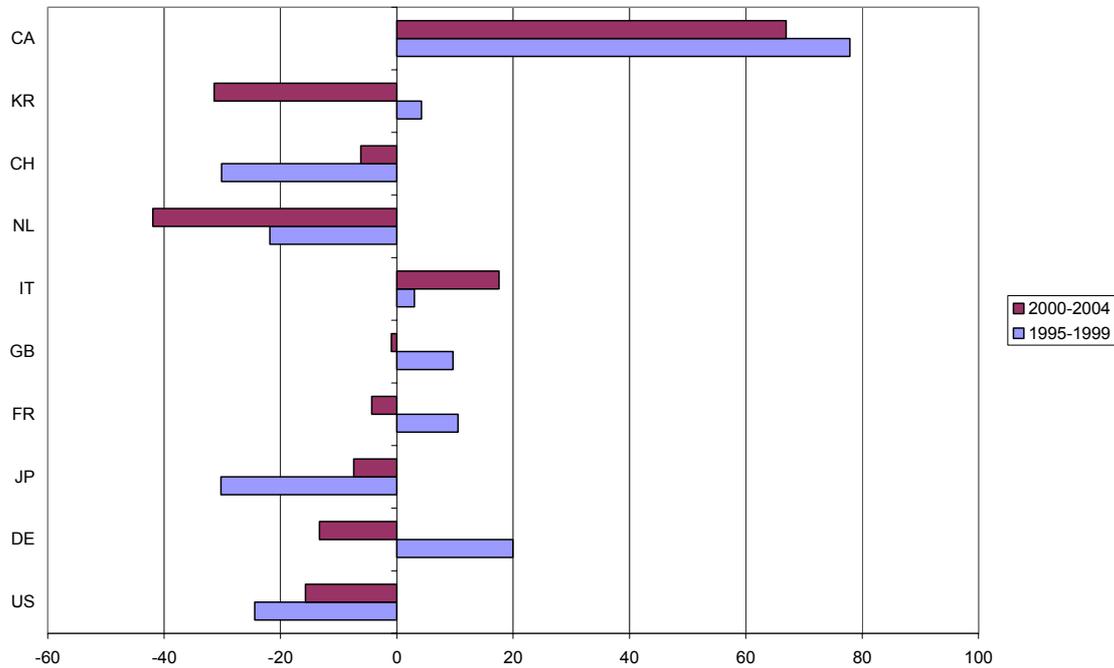
Einen ersten Hinweis auf das technische Entwicklungspotenzial Deutschlands in der Produktgruppe Wasserversorgung im internationalen Vergleich geben die in Abbildung 6-7 dargestellten Anteile verschiedener relevanter Länder an der Gesamtpatentzahl in diesem Bereich.

Abbildung 6-7: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente in der Produktgruppe Wasserversorgung



Offensichtlich ist Deutschland mit 14 % der Patentanmeldungen deutlich hinter den USA (27 %), aber nur knapp hinter Japan (15 %) positioniert. Frankreich, Großbritannien und Kanada folgen bereits mit deutlichem Abstand. Aussagekräftiger sind jedoch die Zahlen in Abbildung 6-8, die mit dem RPA ein Maß für die anhand von Patenten gemessene relative Stellung einer Technologielinie innerhalb einer Volkswirtschaft wiedergeben. Hier schneiden Italien und vor allem Kanada besonders gut ab, da die Patentzahlen in der Produktgruppe Wasserversorgung zwar absolut nicht so hoch sind, wohl aber relativ zur Gesamtzahl im jeweiligen Land. Hingegen werden durch den RPA die hohen Absolutzahlen der USA, Deutschlands, Japans, Frankreichs und Großbritanniens aufgrund der hohen Gesamtpatentzahlen deutlich relativiert. Dabei fällt auf, dass die RPA-Werte Großbritanniens, Frankreichs und vor allem Deutschlands, die in der zweiten Hälfte der 1990er Jahre noch deutlich positiv waren, nach dem Jahr 2000 in den negativen Bereich abfielen. Die USA, Japan und die Schweiz hingegen konnten sich von Werten unter -20 deutlich verbessern, die beiden letztgenannten dabei sogar an Deutschland vorbeiziehen.

Abbildung 6-8: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen in der Produktgruppe Wasserversorgung



Die in Abbildung 6-7 dargestellten Patentzahlen spiegeln die gesamte Produktgruppe der Wasserversorgung wider. Auf der Ebene der einzelnen Technologielinien gibt es deutliche Unterschiede zwischen den Ländern (vgl. Abbildung-Anhang A.5-1 im Anhang). Offensichtlich spielen in den USA und in Japan Wasseraufbereitung bzw. Meerwasserentsalzung eine herausragende Bedeutung, während in Deutschland Wasserverteilung und (semi-)dezentrale Wasseraufbereitung im Vordergrund stehen. In den anderen Ländern sind dagegen alle Bereiche recht ausgeglichen.

### 6.3.1.3 Abwasserentsorgung

Im Vergleich zur Wasserversorgung ist die technische Leistungsfähigkeit Deutschlands in der Produktgruppe Abwasserentsorgung deutlich besser. Nicht nur ist, wie aus Abbildung 6-9 ersichtlich, die absolute Zahl der Patente fast so hoch wie diejenige des Spitzenreiters USA, auch der RPA liegt trotz einer Verschlechterung im Zeitraum 2000 bis 2004 noch nahe bei 20 und damit nur knapp hinter Frankreich und dem wiederum deutlichen Spitzenreiter Kanada (vgl. Abbildung 6-10). Die USA, Italien und die Schweiz liegen vor allem im Zeitraum 2000 bis 2004 deutlich im negativen Bereich (nahe oder unter -40). Interessant sind schließlich noch die Niederlande und Korea, die vor dem Jahr 2000 beim RPA Spitzenpositionen einnahmen, danach aber in den negativen Bereich absanken.

Abbildung 6-9: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente in der Produktgruppe Abwasserentsorgung

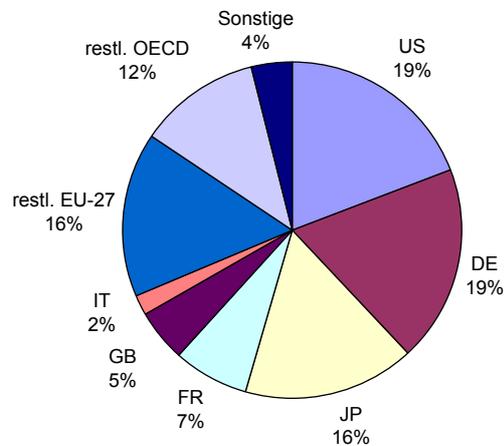
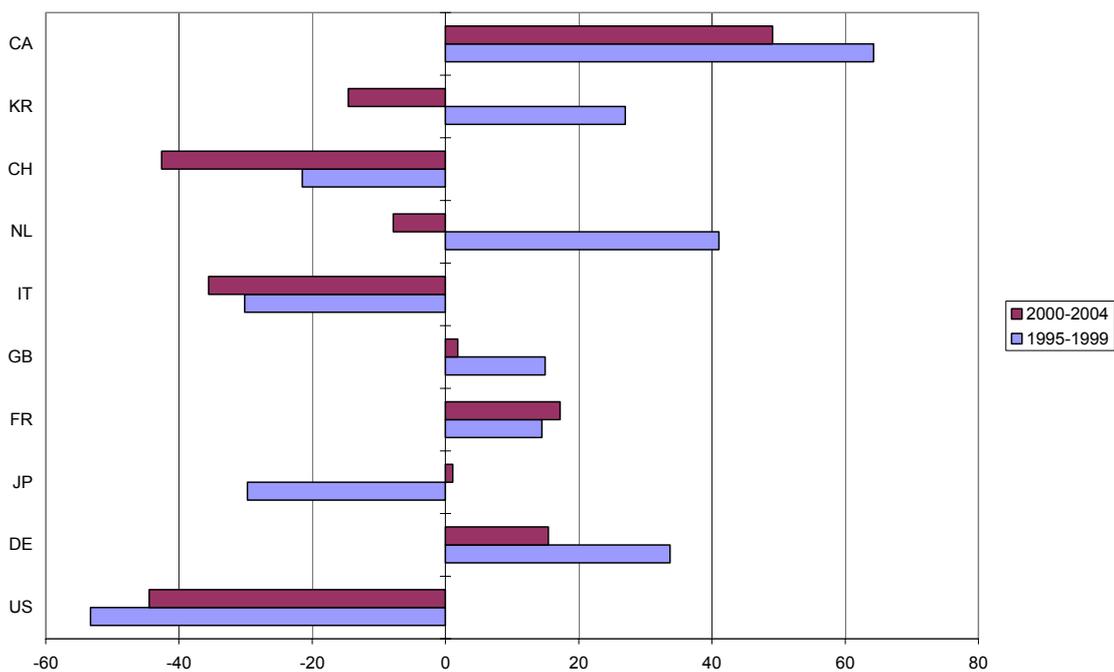


Abbildung 6-10: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen in der Produktgruppe Abwasserentsorgung



Innerhalb der Produktgruppe Abwasserentsorgung besitzt die USA Stärken vor allem bei den Technologielinien Wasseranalytik und semi-permeable Membrane. Deutschland weist eine besonders hohe Spezialisierung bei der Abwasserableitung, Japan bei semi-permeablen Membranen und der Schlammbehandlung auf (vgl. Abbildung-Anhang A.5-2 im Anhang). In Frankreich und Großbritannien hingegen bestehen zwischen diesen Technologielinien nur geringe Unterschiede in den Spezialisierungen.

### 6.3.1.4 Wassernutzungseffizienz

In der Produktgruppe Wassernutzungseffizienz weisen die USA vor Deutschland wieder mit Abstand den höchsten Patentanteil auf (vgl. Abbildung 6-11). Der Anteil ist so groß, dass die USA zumindest im Zeitraum 2000 bis 2004 einen kleinen, positiven RPA aufweisen (vgl. Abbildung 6-12), der aber kaum als nennenswerter Vorteil interpretiert werden kann. Dagegen ergibt sich für Deutschland auch in dieser Produktgruppe ein RPA von etwa 20 und damit eine signifikante Spezialisierung. Japan, Frankreich, Großbritannien und vor allem die Niederlande schneiden in dieser Produktgruppe dagegen deutlich schlechter ab und sogar Kanada weist einen negativen RPA auf. Überzeugend sind hingegen die Schweiz und mit RPAs von teilweise über 40 vor allem Italien und Korea.

Abbildung 6-11: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente in der Produktgruppe Wassernutzungseffizienz

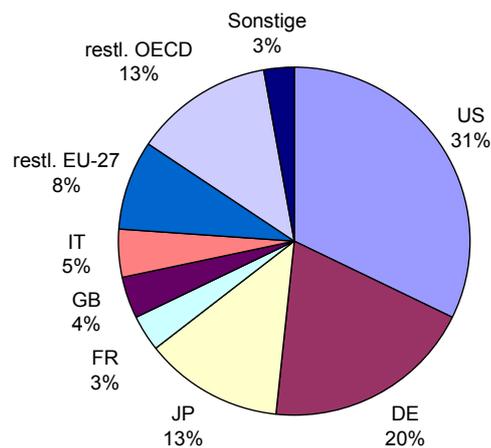
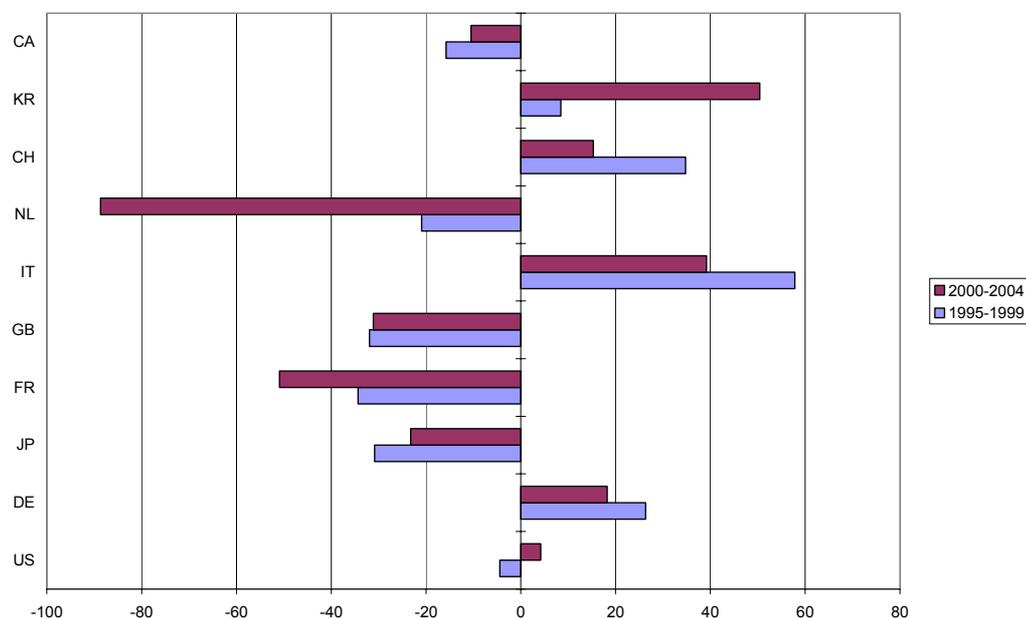


Abbildung 6-12: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen im Bereich der Wassernutzungseffizienz



### 6.3.1.5 Hochwasserschutz

In der Produktgruppe Hochwasserschutz nimmt Deutschland bei der Anzahl der Patentanmeldungen mit 21 % die Spitzenstellung deutlich vor den USA (14 %) ein (vgl. Abbildung 6-13). Gemessen an den im Durchschnitt des Handlungsfeldes Nachhaltige Wasserwirtschaft gemessenen Anteilen sind auch die Patentanteile Großbritanniens (11 %), Frankreichs (8 %) und der restlichen EU (19 %) auffallend groß, wogegen Japan (7 %) und vor allem Italien (0 %) gegenüber ihrem Durchschnitt im Handlungsfeld deutlich abfallen. Es überrascht daher kaum, dass auch die RPA-Werte der USA, Japans und Italiens deutlich im negativen Bereich (kleiner als -50; vgl. Abbildung 6-14) liegen, man also von einer ausgesprochenen Nicht-Spezialisierung ausgehen muss. Umgekehrt weisen Großbritannien, die Niederlande und Korea mit RPA-Werten von über 50 einen sehr hohen Grad technischer Spezialisierung in der Produktgruppe Hochwasserschutz auf. Deutschland liegt zusammen mit Frankreich im Bereich deutlicher, aber gemäßiger Spezialisierung mit RPA-Werten zwischen 20 und 35. Schließlich sind Kanada und die Schweiz zu erwähnen, die bis zum Jahr 1999 als mäßig bis stark spezialisiert gelten konnten, diese Stellung danach jedoch verloren.

Abbildung 6-13: Anteile verschiedener Länder an der Gesamtzahl angemeldeter Patente in der Produktgruppe Hochwasserschutz

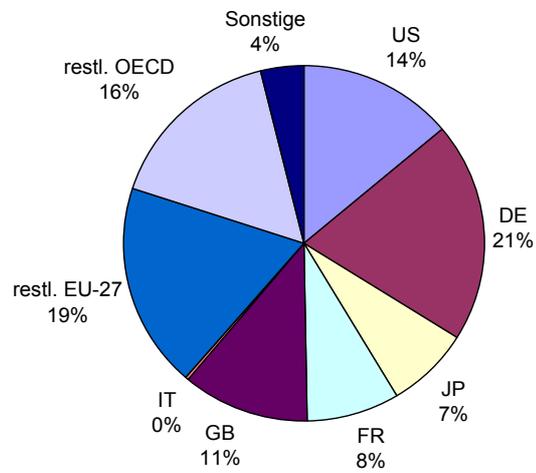
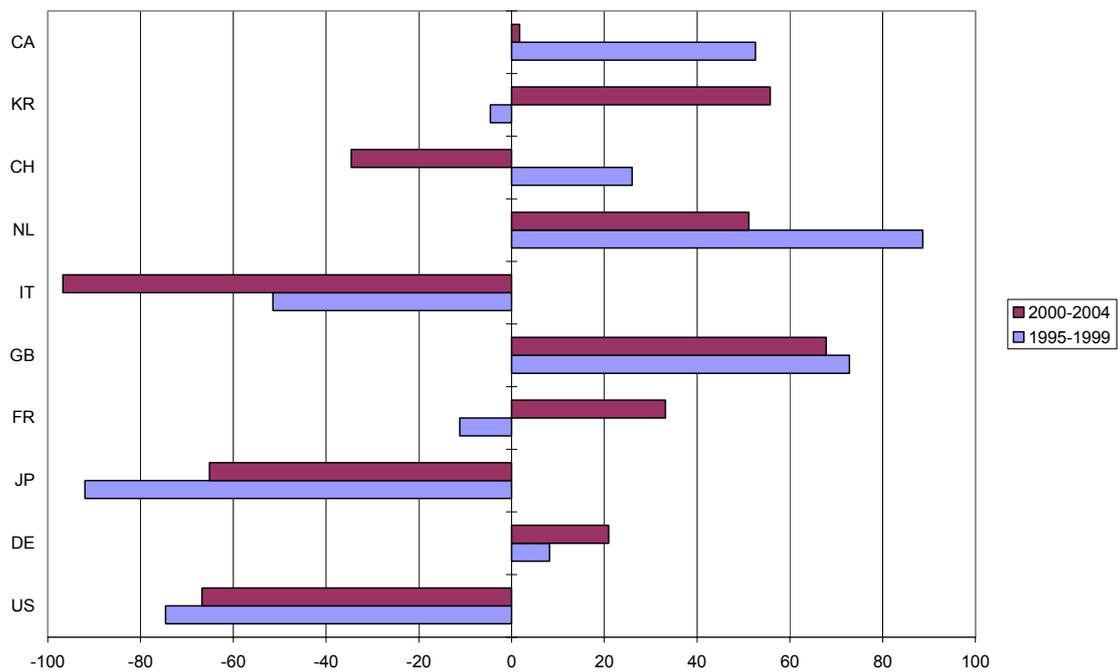


Abbildung 6-14: RPA-Werte der Länder mit den meisten Patentanmeldungen in der Produktgruppe Hochwasserschutz



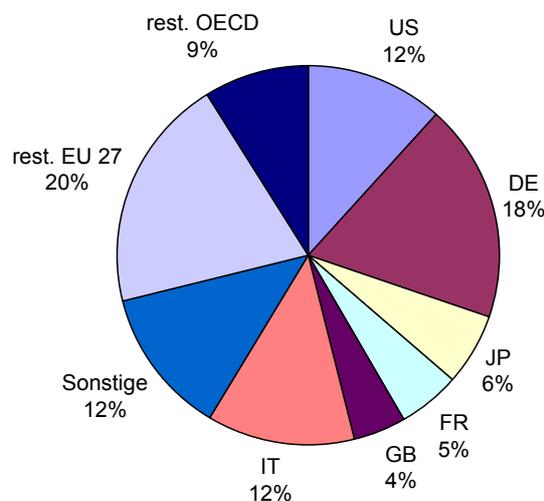
### 6.3.2 Außenhandelsindikatoren

Während Patentzahlen und RPA-Werte als vergleichende Indikatoren der technischen Leistungsfähigkeit auf die Wettbewerbsfähigkeit von Ländern *in der Zukunft* und damit auf ein Potenzial abzielen, dienen Außenhandelsindikatoren dazu, die *aktuelle* Wettbewerbsfähigkeit auf dem internationalen Markt zu beurteilen.

#### 6.3.2.1 Überblick über das Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft

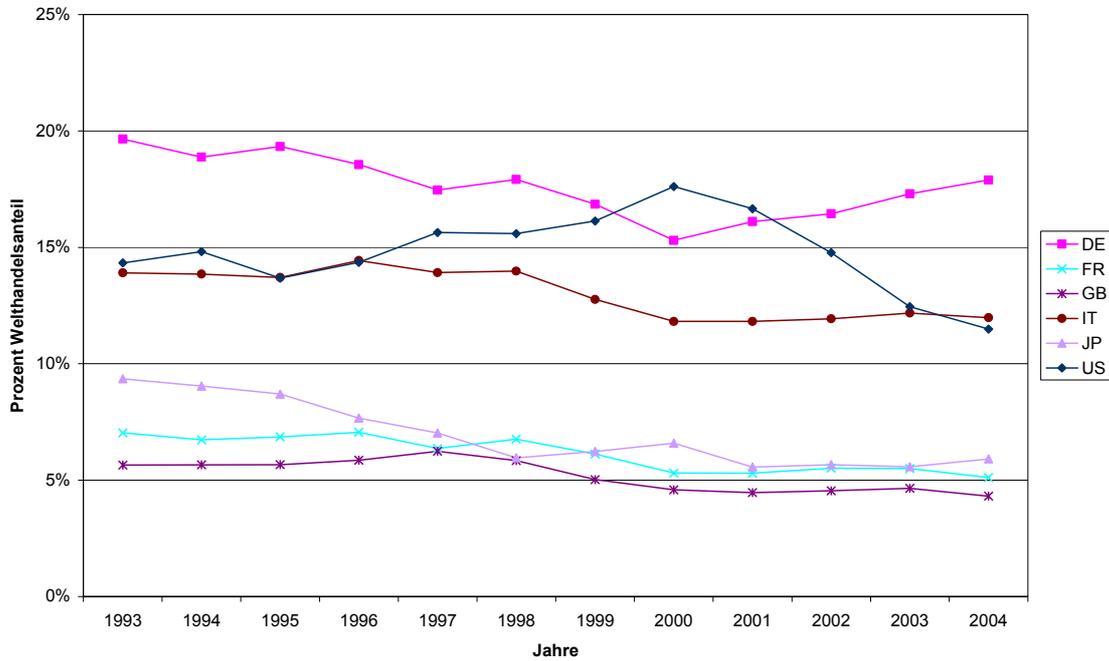
Gemessen an den Welthandelsanteilen, d. h. am Anteil der nationalen Exporte an der Summe aller Exporte, nimmt Deutschland, wie in Abbildung 6-15 dargestellt, mit 18 % die Führungsposition vor den USA und Italien ein, die beide einen Anteil von 12 % erreichen. Mit 6, 5 bzw. 4 % folgen Japan, Frankreich und Großbritannien auf den Plätzen. Bedeutsam sind darüber hinaus die 20 % aller Exporte, die von den übrigen Ländern der EU27 getätigt werden.

Abbildung 6-15: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft



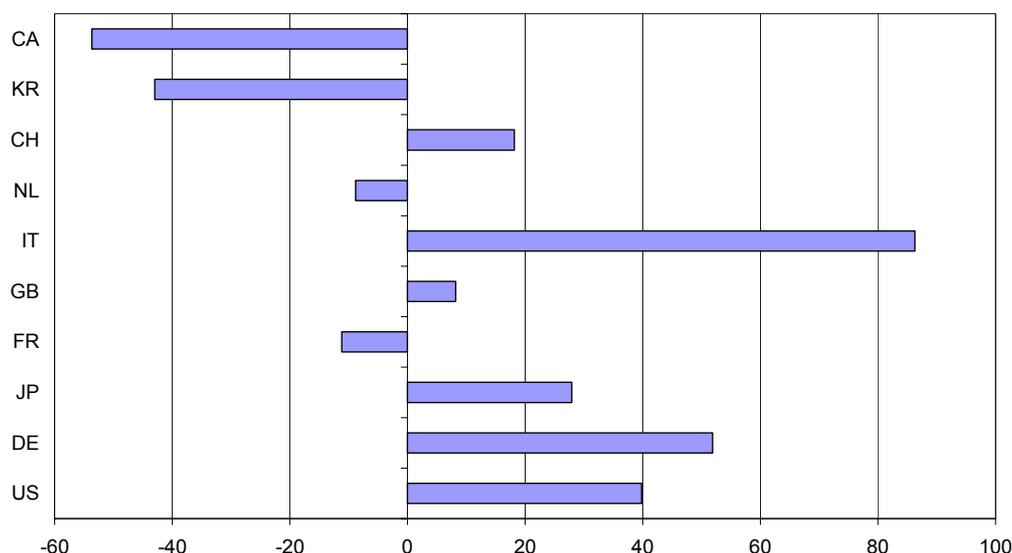
Neben diesen absoluten Anteilen sind es aber noch zwei weitere Kennziffern, die bei der Beurteilung der aktuellen Wettbewerbsfähigkeit von Belang sind. Die in Abbildung 6-16 dargestellte zeitliche Veränderung der Welthandelsanteile weist für Deutschland ausgehend von fast 20 % im Jahre 1993 nach einem leichten Abfall bis zum Jahr 2000 in jüngerer Zeit wieder einen Anstieg aus, der die starke Position Deutschlands bestätigt. Für Italien und die USA wie auch für Japan, Frankreich und Großbritannien dagegen stehen die aktuellen Anteile am Ende einer langsam abnehmenden Entwicklung, sodass ihr Abstand zu Deutschland in Zukunft tendenziell noch wachsen dürfte.

Abbildung 6-16: Zeitliche Veränderung der Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft



Im Gegensatz zu den Welthandelsanteilen, die eher auf die absolute Stärke eines Sektors im internationalen Vergleich abzielen, berücksichtigen die RCA-Werte, dass in einem Land mit geringerem Gesamtexportvolumen dem gleichen Exportwert für einen bestimmten Sektor eine größere Bedeutung zukommt als es in einem Land mit umfangreicheren Exporten der Fall wäre. Was hier zählt, ist der durch den RCA spezifizierte Grad der Außenhandelspezialisierung, der in Abbildung 6-17 für all diejenigen Länder dargestellt ist, die zuvor auch schon der Patentanalyse unterzogen wurden.

Abbildung 6-17: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft



Mit RCA-Werten von 40 und mehr weisen sich Deutschland, aber auch die USA eindeutig als Exportspezialisten im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft aus. Mit weitem Abstand vorne liegt jedoch Italien, dessen RCA von über 85 ein Indiz dafür ist, dass die Exporte in diesem Handlungsfeld gegenüber den Exporten im Allgemeinen eine weit herausragende Stellung einnehmen. Frankreich und Großbritannien weisen ebenso wie die Niederlande und die Schweiz kaum eine Spezialisierung auf. Etwas überraschend ist schließlich die Tatsache, dass Korea und vor allem Kanada stark negative RCA-Werte aufweisen, dass also der starken Spezialisierung bei den Patenten das ausgesprochene Fehlen einer solchen Spezialisierung beim Außenhandel gegenübersteht. Offensichtlich konnte also die technisch-innovative Stärke dieser Länder im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft bislang noch nicht im entsprechenden Ausmaß im Außenhandel umgesetzt werden.

Die oben angeführten Zahlen weisen alle einen nationalen Fokus auf, d. h. sie beinhalten auch die Exporte innerhalb der EU. Betrachtet man hingegen die EU als einheitlichen Wirtschaftsraum, d. h. ohne die Exporte zwischen den EU-Mitgliedsländern, fällt der gesamte Welthandel rechnerisch geringer aus. Gleichzeitig fällt der Welthandelsanteil der EU geringer aus als die Summe der Welthandelsanteile der einzelnen EU-Mitgliedsländer bei einer rein nationalen Betrachtung, während die Welthandelsanteile der übrigen Länder einen höheren Wert einnehmen. Auf dieser Datenbasis beträgt der Welthandelsanteil der EU27 33,4 %. Auf die USA entfallen knapp 18 %, auf China etwa 13 % und auf Japan gut 9 %. Gleichzeitig nimmt der RCA der EU27 einen Wert von 73 ein. Im Handlungsfeld der Nachhaltigen Wasserwirtschaft hat sich die EU damit in

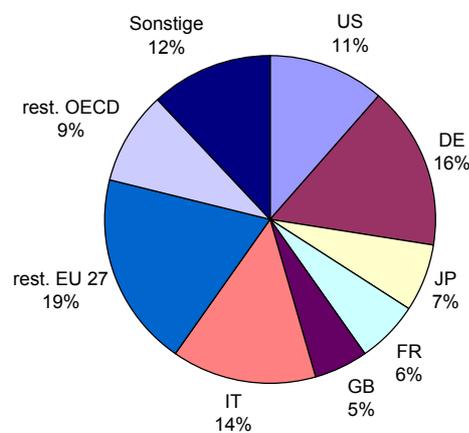
hohem Ausmaß auf Exporte nach außerhalb Europa spezialisiert. Da gerade auch in diesen Märkten erhebliche Zuwachsraten zu erwarten sind, ist die EU als Ganzes hier gut aufgestellt.

Im Folgenden wird untersucht, wie sich der zu konstatierende Außenhandelsvorteil Deutschlands im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft konstituiert, ob und in welchem Umfang also die Produktgruppen Wasserversorgung, Abwasserentsorgung, Wassernutzungseffizienz und Hochwasserschutz zu diesem Vorteil beitragen.

### 6.3.2.2 Wasserversorgung

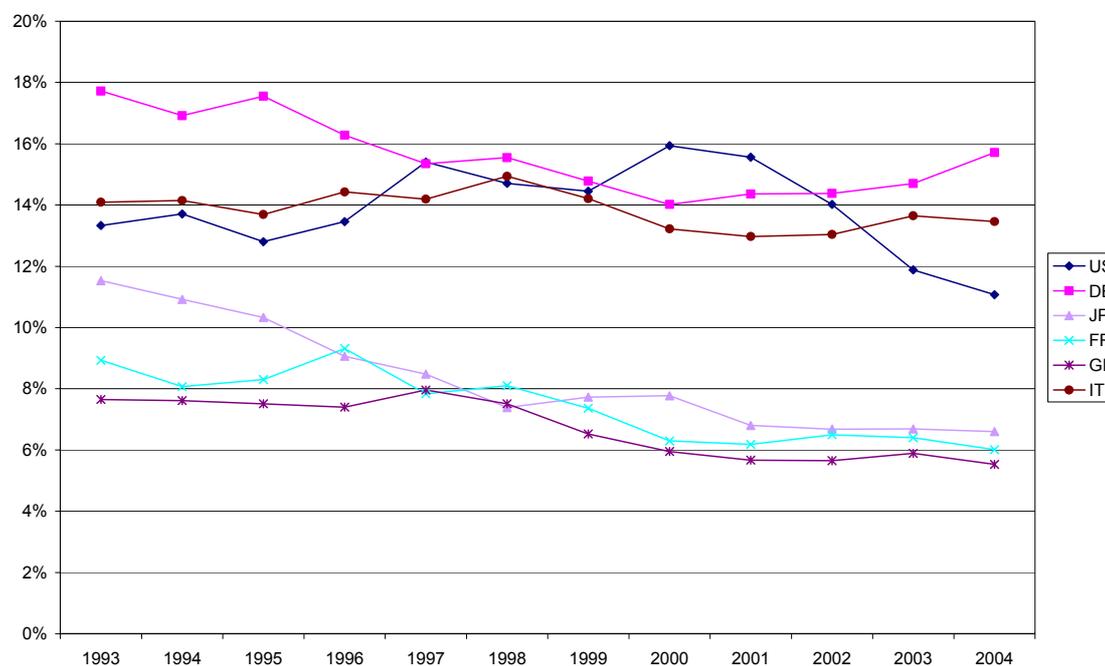
Wie aus Abbildung 6-18 ersichtlich, sind die Rangfolge der Staaten ebenso wie die Größe der Welthandelsanteile in der Produktgruppe Wasserversorgung sehr ähnlich denen im gesamten Handlungsfeld Wasser. Dies liegt aber entgegen erster Vermutungen nicht darin begründet, dass der Außenhandel in der Produktgruppe Wasserversorgung (mit 29 %) einen überproportional großen Teil des Außenhandels im Handlungsfeld Wasser darstellt, sondern darin, dass der Außenhandel in dieser Produktgruppe tatsächlich ähnliche Charakteristika aufweist.

Abbildung 6-18: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Wasserversorgung



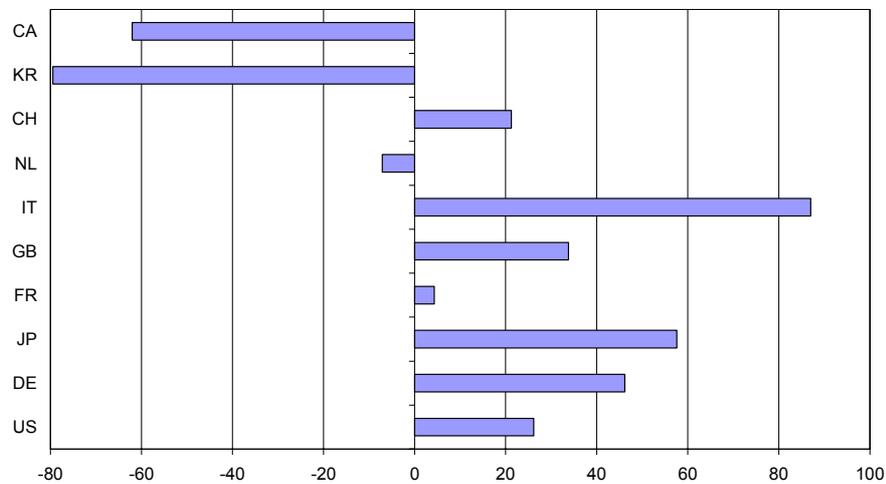
Diese Tendenz bestätigt sich beim Blick auf die zeitliche Veränderung der Welthandelsanteile in Abbildung 6-19, die, von geringfügigen Niveauunterschieden abgesehen, im Wesentlichen die gleichen Verläufe aufweisen wie in Abbildung 6-16 aufgezeigt.

Abbildung 6-19: Zeitliche Veränderung der Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Wasserversorgung



Etwas deutlicher sind im Vergleich zu den Welthandelsanteilen die Unterschiede zwischen den RCA-Werten in der Produktgruppe Wasserversorgung und denjenigen des Handlungsfeldes Nachhaltige Wasserwirtschaft. Deutschland und Italien weisen in Abbildung 6-20 zwar ebenso wie die Schweiz und die Niederlande fast die gleichen RCA-Werte auf wie in Abbildung 6-17, die RCA-Werte Japans und Großbritanniens sind aber deutlich höher, wohingegen die USA etwas und Korea noch weiter als im Handlungsfeld insgesamt abfallen.

Abbildung 6-20: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Wasserversorgung



Schließlich soll eine Disaggregation der Welthandelsanteile noch Aufschluss darüber geben, welche Techniklinien innerhalb der Produktgruppe Wasserversorgung positiv oder negativ zum Zustandekommen der jeweiligen aggregierten Größe beitragen. Die Welthandelsanteile Großbritanniens und Japans sind überwiegend auf Anlagen zur Meerwasserentsalzung zurückzuführen (vgl. Abbildung-Anhang A.5-3 im Anhang). Die Wasseraufbereitung dominiert in Kanada und den USA stark, in Deutschland ist sie etwa gleich stark wie die Wasserverteilung, in Frankreich überwiegt die Wasserverteilung leicht.

### 6.3.2.3 Abwasserentsorgung

Auch die Abwasserentsorgung unterscheidet sich hinsichtlich der Welthandelsanteile nicht stark vom Handlungsfeld Wasser insgesamt (vgl. Abbildung 6-21), was in diesem Fall schon eher darauf zurückzuführen sein dürfte, dass der Bereich mit 46 % einen recht großen Anteil am Außenhandel im gesamten Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft inne hat. Auffallend ist vor allem der deutlich geringere Anteil Italiens (8 % anstelle von 12 %), der folgerichtig zu einer Senkung des RCA auf einen Wert von knapp über 70 % führt. Wie Abbildung 6-22 weiter zeigt, kann Deutschland seinen RCA von etwas über 50 halten, wird jedoch von den USA „überholt“. Korea und vor allem Kanada weisen zwar bei der Abwasserentsorgung günstigere Werte auf als bei der Wasserversorgung. Die (negativen) Indikatorenwerte zeigen dennoch einen komparativen Nachteil an, der auch für Frankreich zu konstatieren ist.

Abbildung 6-21: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Abwasserentsorgung

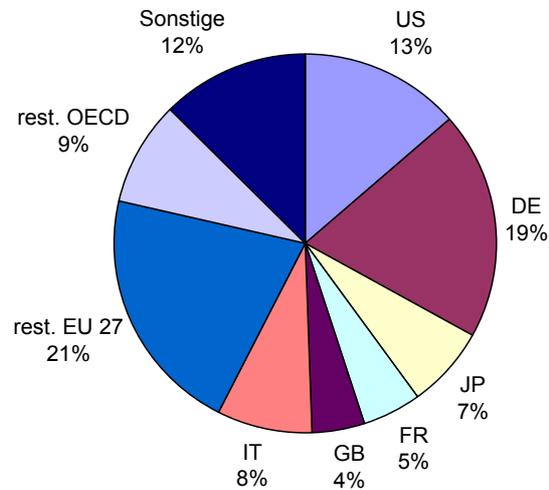
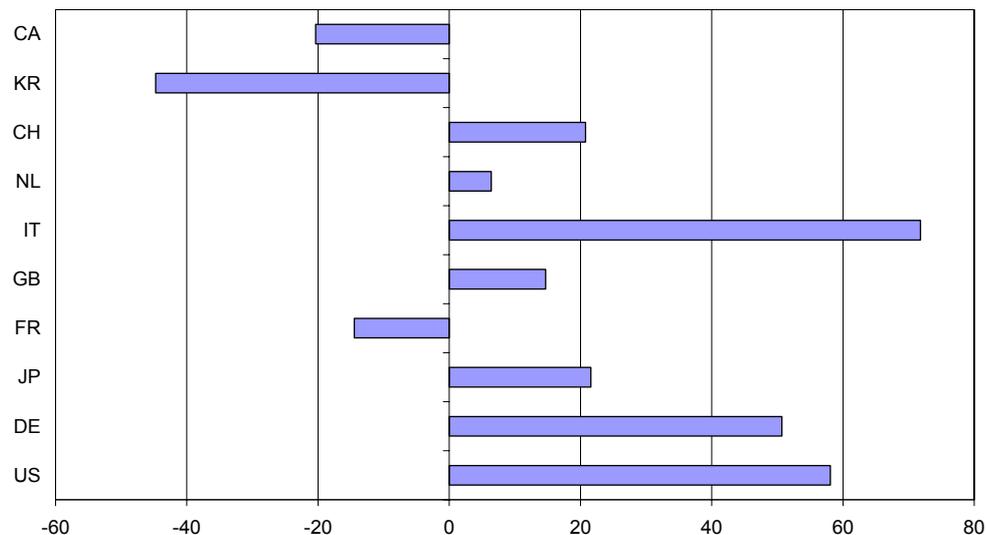
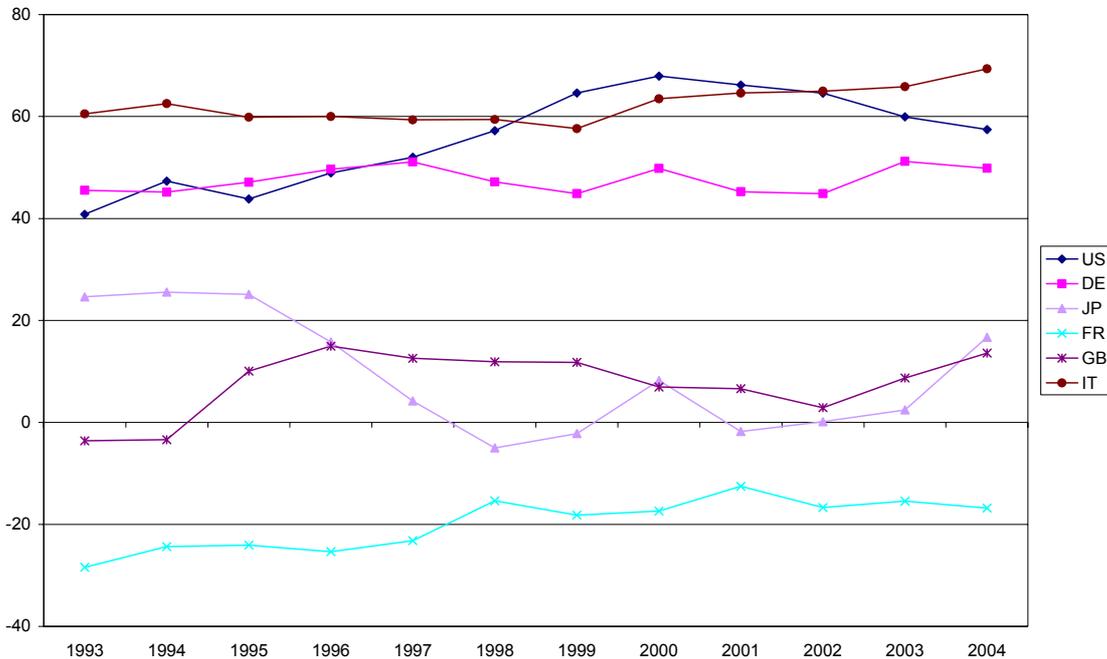


Abbildung 6-22: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Abwasserentsorgung



Hinsichtlich der zeitlichen Veränderung der RCA-Werte zeigt Abbildung 6-23 einen weiteren Unterschied zwischen Abwasserentsorgung und Wasserversorgung auf. Während in der Produktgruppe Wasserversorgung mit Ausnahme Italiens alle Staaten einen leichten, aber signifikanten Abwärtstrend aufwiesen, zeigen in der Produktgruppe Abwasserentsorgung alle Länder bis auf Japan einen leichten Aufwärtstrend. Das heißt die Wettbewerbspositionen der betreffenden Länder werden sich in diesem Bereich in absehbarer Zukunft eher verbessern.

Abbildung 6-23: Zeitliche Veränderung der RCA-Werte der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Abwasserentsorgung



Schließlich soll auch in der Produktgruppe Abwasserentsorgung eine Disaggregation der Welthandelsanteile Aufschluss darüber geben, welche Technologielinien innerhalb der Produktgruppe positiv oder negativ zum Zustandekommen der aggregierten Größe beitragen. Der Welthandelsanteil Deutschlands ist überwiegend auf die Kanalisations-technik zurückzuführen (vgl. Abbildung-Anhang A.5-4 im Anhang). Die Wasseranalytik dominiert in den USA und in der Schweiz deutlich und die dezentrale Abwasserbehandlung mit semi-permeablen Membranen in Italien leicht. In allen anderen Ländern sind die verschiedenen Anteile eher ausgeglichen.

#### 6.3.2.4 Wassernutzungseffizienz

Die Welthandelsanteile in der Produktgruppe Wassernutzungseffizienz unterscheiden sich deutlich von den bisher diskutierten. Wie in Abbildung 6-24 dargestellt, ist Deutschland mit 20 % zwar wiederum Spitzenreiter, aber es hält diese Position nunmehr gemeinsam mit Italien. Dagegen sind die Anteile der USA, Japans, Frankreichs und Großbritanniens deutlich geringer. Für die komparativen Vorteile (vgl. Abbildung 6-25) bedeutet dies, dass Italien mit einem RCA von mehr als 90 weit an der Spitze steht, gefolgt von Deutschland mit einem RCA von gut 60. Außer den USA und Korea, die ebenfalls noch im positiven Bereich liegen, sind die RCA-Werte aller anderen Länder mehr oder weniger stark negativ.

Abbildung 6-24: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Wassernutzungseffizienz

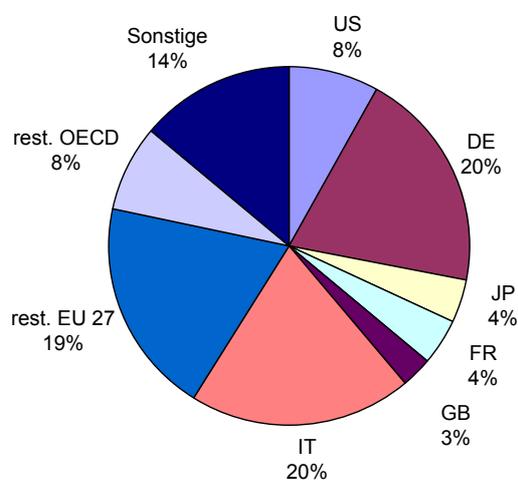
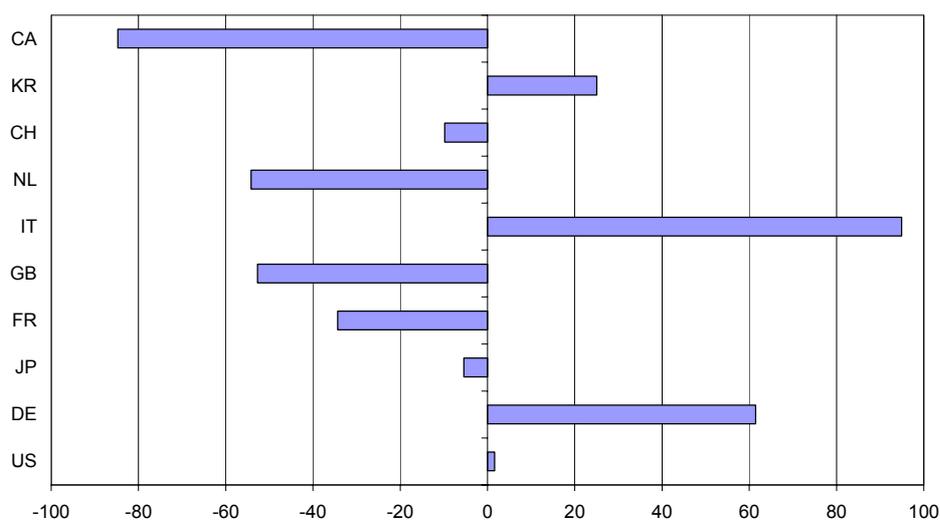
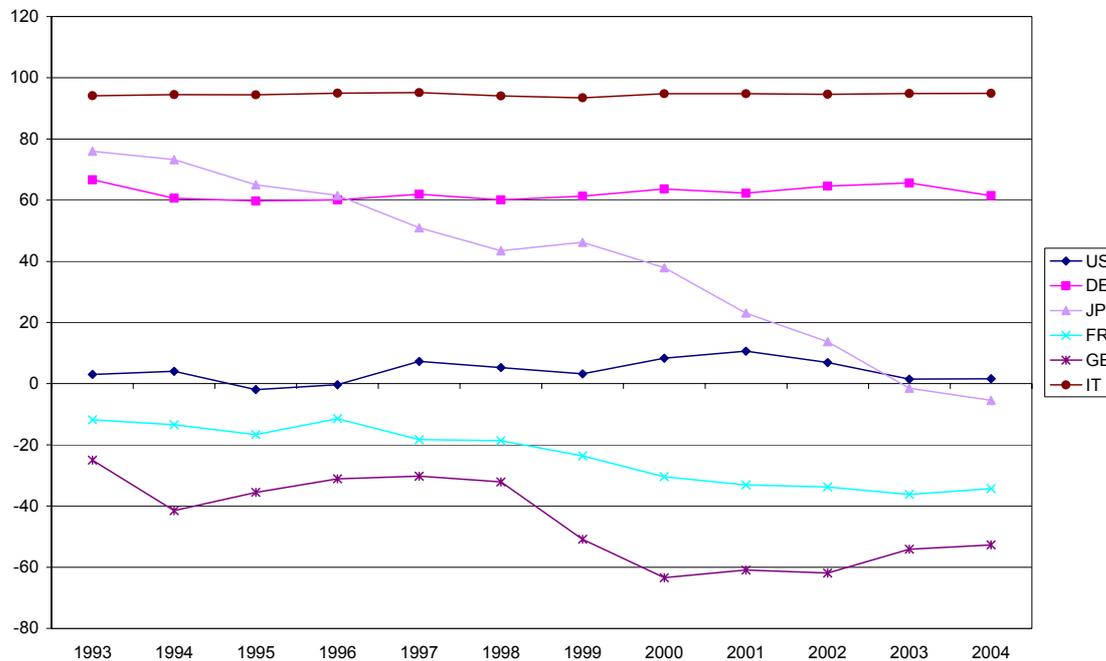


Abbildung 6-25: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Wassernutzungseffizienz



An den gegebenen Einschätzungen ändert sich auch in Anbetracht des zeitlichen Verlaufs der RCA-Werte (vgl. Abbildung 6-26) nichts, da alle Länder mit positivem RCA über die vergangene Dekade hinweg fast keine Veränderungen zeigen. Bemerkenswert ist lediglich, dass Japan zu Beginn der 1990er Jahre noch einen RCA aufwies, der höher war als der deutsche, der dann aber innerhalb von wenig mehr als zehn Jahren in den negativen Bereich abfiel.

Abbildung 6-26: Zeitliche Veränderung der RCA-Werte der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Wassernutzungseffizienz



An dieser Stelle sei noch angemerkt, dass Wassernutzungseffizienz eine technische Eigenschaft ist, die immer nur einen Teilaspekt einer Warengruppe darstellt. So trägt die Wassernutzungseffizienz zwar sicherlich zur Wettbewerbsfähigkeit von Waschmaschinen bei, ist aber nicht allein entscheidend. Andere Parameter wie z. B. ein niedrigerer Preis (bei dann möglicherweise weniger effizienter Technik) können auch entscheidend sein. Hier ist nochmals an den in Kapitel 2 erläuterten Potenzialansatz zu erinnern. Die starke Position Italiens im Hinblick auf die Wassernutzungseffizienz signalisiert eine hohe Leistungsfähigkeit, nicht aber notwendigerweise ihre Umsetzung zu Gunsten hoher Wassernutzungseffizienz im Produktportfolio.

### 6.3.2.5 Hochwasserschutz

Auch in der Produktgruppe Hochwasserschutz nimmt Deutschland mit einem Welthandelsanteil von 20 % wieder die Spitzenposition ein (vgl. Abbildung 6-27). Abgesehen von den USA mit 17 % stellen Frankreich (10 %) und Großbritannien (9 %) die nächsten Verfolger dar. Italien und Japan sind dagegen mit 4 % leicht abgeschlagen. Dieses Bild relativiert sich naturgemäß beim Blick auf die RCA-Werte in Abbildung 6-28. Aufgrund seiner besonders starken gesamtwirtschaftlichen Exporte liegt der RCA für Deutschland bei etwa 30, während die USA, Frankreich und Großbritannien mit RCA-Werten von über 60 sehr gut dastehen. Daneben zeichnen sich auch die Schweiz und

die Niederlande durch RCA-Werte aus, die deutlich über dem deutschen liegen. Sogar Japan schafft es noch in den positiven Bereich, wogegen Korea und Kanada eine ausgesprochen deutliche Nicht-Spezialisierung aufweisen. Besonders der koreanische RCA-Wert (-97) steht dabei in deutlichem Widerspruch zum RPA (+57, vgl. Abbildung 6-14), was nur so interpretiert werden kann, dass die Forschung in diesem Bereich in Korea noch nicht zu entsprechenden Marktanteilen geführt hat.

Abbildung 6-27: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Hochwasserschutz

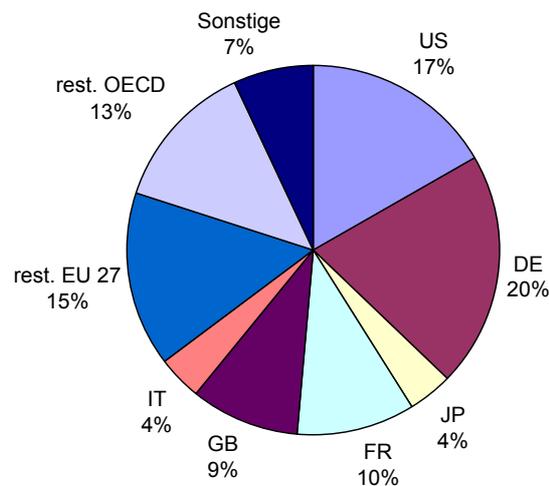
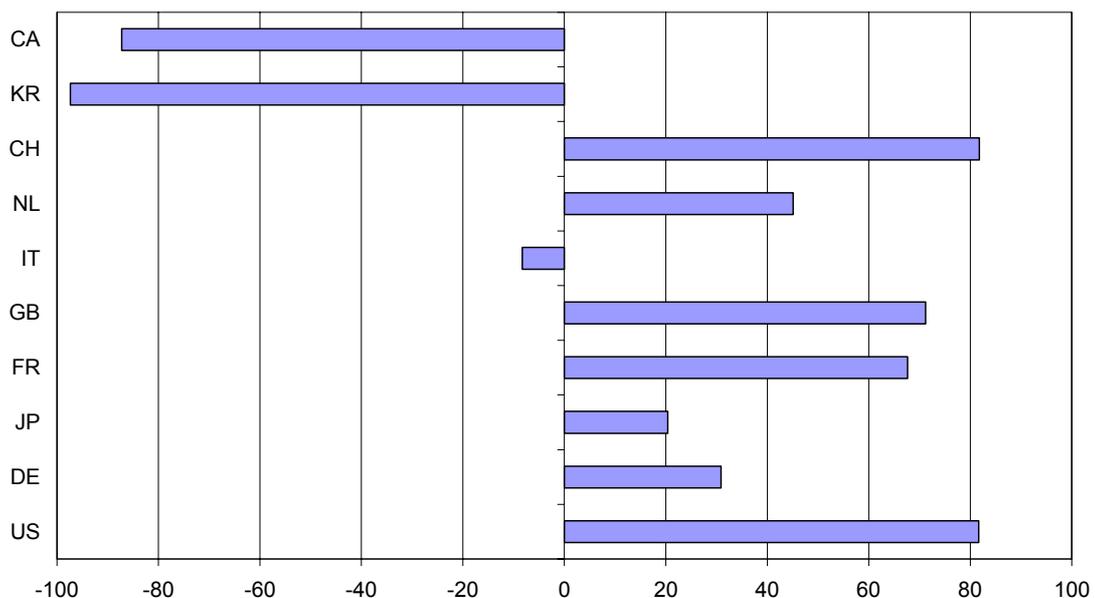
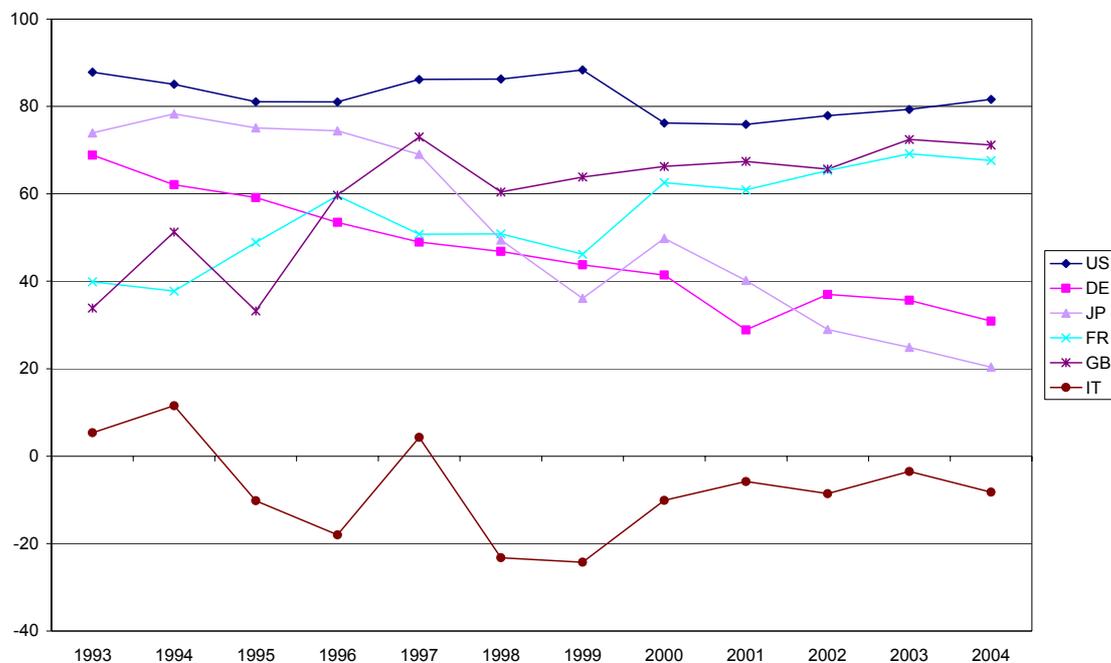


Abbildung 6-28: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Hochwasserschutz



Aufschlussreich sind im Falle des Hochwasserschutzes auch die zeitlichen Veränderungen der RCA-Werte. Wie in Abbildung 6-29 dargestellt, befinden sich Deutschland und mehr noch Japan seit mehr als 10 Jahren in einem Abwärtstrend, der von RCA-Werten um 70 zum jeweiligen aktuellen Stand geführt hat. Demgegenüber weisen Frankreich und Großbritannien Aufwärtsbewegungen in ähnlicher Größenordnung auf, die den hohen RCA-Werten ein noch größeres Gewicht beimessen. Die USA sind demgegenüber auf einem leicht sinkenden Pfad zu ihrem ähnlich hohen aktuellen RCA gelangt.

Abbildung 6-29: Zeitliche Veränderung der RCA-Werte der wichtigsten Exportländer in der Produktgruppe Hochwasserschutz



Bei der Bewertung der aufgeführten Außenhandelszahlen ist schließlich besonders im Zusammenhang mit dem Hochwasserschutz zu berücksichtigen, dass das Außenhandelsvolumen in dieser Produktgruppe nur knapp 2 % des Gesamtaußenhandels im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft beträgt, was positive wie negative Zahlen deutlich relativiert.

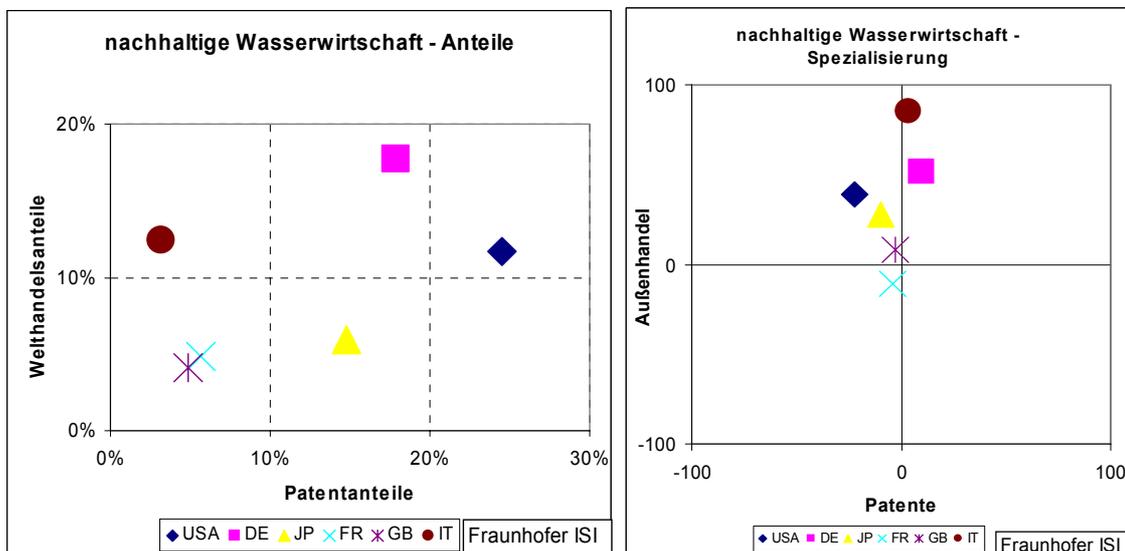
Abschließend können die Ergebnisse der Analyse der Außenhandelsindikatoren folgendermaßen zusammengefasst werden. Neben seiner uneingeschränkten Spitzenposition hinsichtlich der Welthandelsanteile ist Deutschland, wie aus Abbildung-Anhang A.5-5 im Anhang ersichtlich, das einzige Land, das über seine generell starke Außen-

handelsorientierung hinaus in allen Bereichen des Handlungsfeldes Nachhaltige Wasserwirtschaft RCA-Werte von über 30 und mithin eine erhebliche Außenhandelspezialisierung aufweist. Besonders gut schneidet Deutschland in den Produktgruppen Wasserversorgung, Abwasserentsorgung und Wassernutzungseffizienz ab. Stärkste Konkurrenten sind die USA (in allen Bereichen außer der Wassernutzungseffizienz) und Italien (alle Bereiche außer Hochwasserschutz). In einzelnen Bereichen sind auch Japan (Wasserversorgung), Großbritannien und Frankreich (beide Wasserversorgung und Hochwasserschutz) ernstzunehmende Konkurrenten. Vor allem im Hochwasserschutz leisten auch die Schweiz und die Niederlande nennenswerte Beiträge, die aber in absoluten Zahlen gemessen kaum ins Gewicht fallen.

## 6.4 Schlussfolgerungen für die Perspektive 2020

Gegenstand der vorangegangenen Analyse war die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie im Handlungsfeld der Nachhaltigen Wasserwirtschaft. In Abbildung 6-30 sowie Tabelle 6-1 sind die Ergebnisse zur Wettbewerbsfähigkeit zusammengefasst und um die Einschätzungen zum Marktpotenzial ergänzt.

Abbildung 6-30: Überblick über die Leistungsfähigkeit im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft



Insgesamt ergibt sich eine gute Ausgangsstellung für Deutschland. Hierfür sprechen sowohl die positive Spezialisierung bei Patenten und im Außenhandel, als auch eine breite Basis, die sich auf ausgezeichnete Kompetenzen in allen Produktbereichen stützen kann. Auch aus europäischer Perspektive ist das Handlungsfeld vielversprechend. Mit einem Patentanteil von 44 % und einem – ohne Intra-EU-Handel berechneten –

Welthandelsanteil von gut 33 % ist die EU27 mit großem Abstand der führende Wirtschaftsraum vor den USA.

Tabelle 6-1: Vergleich von Wettbewerbsfähigkeit und Marktpotenzial der verschiedenen Produktgruppen des Handlungsfeldes Nachhaltige Wasserwirtschaft

Produktgruppen	Patente		Außenhandel		Marktpotenzial
	relative Position	wichtigste Konkurrenten	relative Position	wichtigste Konkurrenten	
Wasserversorgung	mittel	CA, IT	sehr gut	IT, GB, JP	sehr hoch
Abwasserentsorgung u. Schlammbehandlung	hoch	FR, CA	sehr gut	IT, US, (JP, CH)	sehr hoch
Wassernutzungseffizienz	hoch	IT, KR	sehr gut	IT	hoch
Hochwasserschutz	hoch	GB, KR, NL, FR	gut	US, CH, GB, FR	hoch

Im Einzelnen ergeben sich in der Perspektive 2020 für die einzelnen Produktgruppen sowie für das gesamte Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft folgende Schlussfolgerungen:

- Wasserversorgung:** Deutschland nimmt im Bereich der Wasserversorgung eine vordere Position ein. Im Hinblick auf die Innovationsfähigkeit wird diese Einschätzung durch einen im internationalen Vergleich hohen Patentanteil und überdurchschnittlich hohen RPA-Wert gestützt. Die aktuell sehr gute Wettbewerbsfähigkeit manifestiert sich in dem im internationalen Vergleich höchsten Außenhandelsanteil und einem sehr hohen RCA-Wert. Am besten schneidet die deutsche Industrie in den Bereichen Wasserverteilung und -aufbereitung ab. Aber auch bei der Wassergewinnung kann Deutschland aufgrund innovativer Produkte und wichtiger Patente z. B. im Bereich der Bohrtechniken eine Führungsrolle beanspruchen. Zwar keine ausgesprochene Führungsrolle, wohl aber höchste Kompetenzen weist die deutsche Industrie in der Techniklinie der Sanierung und Optimierung von Leitungsnetzen auf. Im Gegensatz zur technischen Leistungsfähigkeit bestehen Defizite in den Bereichen Betreiberkompetenzen, Betreibermodelle und Dienstleistungsorientierung.
- Abwasserentsorgung:** Die Position Deutschlands im Bereich der Abwasserentsorgung ist hinsichtlich Innovationsfähigkeit und internationaler Wettbewerbsfähig-

keit im Durchschnitt noch besser als bei der Wasserversorgung. Allerdings offenbart eine differenzierte Sichtweise gewisse Unterschiede. In der Techniklinie (zentrale) Großkläranlagen hat die deutsche Industrie Vorteile bei Armaturen, Pumpen, Messtechnik und insgesamt beim Anlagenbau und der -qualität. Bei der Membrantechnik, die in Zukunft zunehmend sowohl zur zentralen als auch dezentralen Abwasserentsorgung eingesetzt werden wird, nimmt Deutschland im europäischen Kontext eine Führungsposition ein, wird im globalen Wettbewerb aber von den USA und Kanada überboten.

- **Wassernutzungseffizienz:** Schon früh gab es in Deutschland Bestrebungen zu einem effizienten Umgang mit der Ressource Wasser in Haushalten wie auch in der Industrie. Die daraus resultierende Innovativität der deutschen Wasserindustrie spiegelt sich in guten Patentindikatoren wider, die von der sehr guten Außenhandelsposition noch übertroffen wird. Dabei wissen die Kunden der deutschen Industrie vor allem deren Know-how im Anlagenbau zu schätzen. Allerdings gilt es zu konstatieren, dass Effizienzsteigerungen bei der Wassernutzung wie in den meisten anderen Bereichen ihren Preis haben und sich auf dem Markt gegen weniger effiziente und teilweise deutlich kostengünstigere Konkurrenzprodukte durchsetzen müssen.
- **Hochwasserschutz:** Deutschland kann sowohl im Bereich der komplexen Frühwarnsysteme (d. h. Wetter- und Niederschlagsvorhersagen, auch Hochwasserregulierung) als auch beim Deichbau im Bereich der Material- und Bautechnik eine klare weltweite Führungsrolle beanspruchen. Nachholbedarf besteht bei Service- und Vertriebsnetzen sowie bei Komponenten für komplexe Frühwarnsysteme. Insgesamt resultiert daraus für die deutsche Industrie im Bereich des Hochwasserschutzes eine Wettbewerbssituation, die hinsichtlich der Innovationsfähigkeit als auch der aktuellen Außenhandelsposition als gut zu bezeichnen ist.

Neben den technologiespezifischen Aspekten, wie sie soeben dargestellt wurden, müssen bei einer umfassenden Analyse des Handlungsfeldes Nachhaltige Wasserwirtschaft noch zwei weitere wichtige Aspekte beachtet werden. Einerseits unterliegt der Bereich der öffentlichen Wasserver- und Abwasserentsorgung aufgrund seiner Sensibilität hinsichtlich Gesundheit und Umwelt einer Regulierung, die vor allem in der Vergangenheit deutlich restriktiver war als in vielen anderen Ländern. Dies führte (und führt) zur Entwicklung neuer Technologien, die in der Lage waren, den verschärften Anforderungen Rechnung zu tragen. Insofern ist vor allem die auf Emissionen und ihre Grenzwerte bezogene Regulierung im Wasserver- und Abwasserentsorgungsbereich als wichtige Triebkraft für die Innovativität anzusehen. Andererseits hat die Tatsache, dass vor allem die Abwasserentsorgung als hoheitliche Aufgabe der Gemeinden ange-

sehen wird, in Deutschland dazu geführt, dass auf der Ebene des Betriebs der erforderlichen Anlagen (nicht ihrer Herstellung!) Sicherheit und Zuverlässigkeit Vorrang haben vor Kosteneffizienz und Innovativität. Die Strukturen, vor allem im Abwasserbereich, aber auch bei der Wasserversorgung, sind in Deutschland kleinräumig und ein Abweichen von bereits bestehenden, konventionellen Lösungen ist häufig nicht gewünscht. Als Folge davon ist die Binnennachfrage nach innovativen Lösungen zur nachhaltigen Wasserwirtschaft trotz der grundsätzlich vorhandenen technisch-ökonomischen Anreize gering. Zum Teil versteht es die wassertechnische Industrie jedoch, dieses Defizit durch verstärkte Aktivitäten im Ausland zu kompensieren.

Zusammenfassend lassen sich aus der vorangegangenen Analyse für das Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft die in Tabelle 6-2 dargestellten Stärken, Schwächen, Chancen und Herausforderungen für die nachhaltige Wasserwirtschaft in Deutschland ableiten.

Tabelle 6-2: Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Nachhaltige Wasserwirtschaft

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr gute technologische Stellung bei zentralen Komponenten</li> <li>• erhebliche internationale Wettbewerbs-erfolge der Technologiehersteller</li> <li>• Innovation und Diffusion durch Umweltpolitik getrieben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• massiv expandierender Weltmarkt</li> <li>• massiver Reinvestitionsbedarf für Einsatz innovativer (dezentraler) Lösungen</li> <li>• angestoßene Veränderungen in der Umweltpolitik für Generierung von Nachfrage und Ausrichtung auf dezentralere Technologieinnovationen nutzen</li> <li>• Konvergenz der Technologiebereiche frühzeitig herbeiführen</li> </ul>
Schwächen	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• unbefriedigende Nachfrage nach neuen Entwicklungen, insbesondere bei nicht-konventionellen Lösungen</li> <li>• Unternehmen der Wasserwirtschaft kaum international ausgerichtet</li> <li>• Mangelnde Einbettung der zahlreichen (kleineren, öffentlichen) wasserwirtschaftlichen Betriebe in das Innovationssystem</li> <li>• uneinheitliche Implementation von Vorschriften, z. B. zwischen den Bundesländern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umlenkung der Exporterfolge auf schnell expandierende Märkte, verbunden mit der Notwendigkeit, auf (soziale) Kompatibilität der Technik zu achten</li> <li>• Steigerung des Spezialisierungsvorteils bei der Wissensbasis, sowohl bei den etablierten als auch den nicht-traditionellen Technologielinien</li> <li>• Ausrichtung des Regulationsregimes für Offenheit gegenüber neuen Lösungen</li> <li>• Herausbildung von international schlagkräftigen wasserwirtschaftlichen Unternehmen</li> </ul>

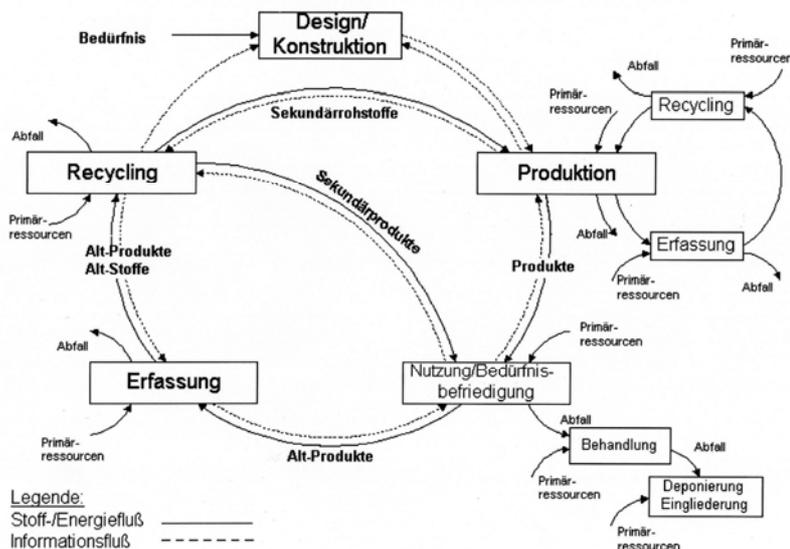
## 7 Zukunftsmarkt Abfall und Kreislaufwirtschaft

### 7.1 Abgrenzung und Technologiebeschreibung

Das Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft, Abfall, Recycling umfasst im Prinzip die gesamte Kreislaufkette von der *Konstruktion* und der *industriellen Produktion* über den *Vertrieb/Handel* zum *Verbraucher* bis hin zur *Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft* (vgl. Abbildung 7-1). Jeden dieser Bereiche zu charakterisieren würde den Umfang dieser Übersichtsstudie sprengen, daher konzentrieren sich die nachfolgenden Ausführungen auf die *Abfallwirtschaft* (Definition s. u.). Querbezüge zu den benachbarten Branchen, insbesondere zur *Produktion*, zum *Recycling* sowie zum *Handel* und zum *Verbraucher* (privat wie industriell), werden – wo immer möglich – aufgezeigt.<sup>14</sup>

Auf die einzelnen Begrifflichkeiten wie *Kreislaufwirtschaft*, *Abfall* oder *Recycling* sowie deren mögliche Definitionen wird hier aus Kapazitätsgründen nicht näher eingegangen.

Abbildung 7-1: Darstellung der Stoff-/Energie- und Informationsflüsse in der Kreislaufwirtschaft.



(Quelle: [http://itu301.ut.tu-berlin.de/portrait/vaw\\_portrait\\_kreislaufwirtschaft.htm](http://itu301.ut.tu-berlin.de/portrait/vaw_portrait_kreislaufwirtschaft.htm) , 30.01.07)

<sup>14</sup> Einen Überblick über die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten sowie Alternativen zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit von technischen Produkten bietet die VDI Richtlinie 2243. Sie wendet sich an Konstrukteure, Produktentwickler sowie alle anderen Beteiligten – besonders aus den Unternehmensbereichen Produktplanung, Marketing, Vertrieb und Umweltschutz sowie an Forschung, Wissenschaft und Politik. Die VDI Richtlinie unterstützt die breite Konsensbildung über technische sowie wirtschaftliche und ökologische Produktziele und Anforderungen bereits zu Beginn der Entwicklung und hilft so, mögliche Zielkonflikte zu vermeiden. Siehe: [www.vdi.de/vdi/vrp/richtliniendetails/index.php?ID=9276187](http://www.vdi.de/vdi/vrp/richtliniendetails/index.php?ID=9276187) .

Eine aktuelle Definition von nachhaltiger **Abfallwirtschaft** zeigt deren Kernkompetenzen auf (Fritz 2005):

- Eine nachhaltige Abfallwirtschaft steht vor der Aufgabe,
  - die Quantität der anfallenden Abfälle so weit wie ökonomisch vertretbar zu verringern und
  - die Qualität der verbleibenden Abfälle so zu gestalten, dass
    - die in Abfällen enthaltene Energie und enthaltenen Rohstoffe wiederverwertet werden können und
    - die letztlich in der Biosphäre verbleibenden Reststoffe möglichst wenig natur- und klimaschädlich sind.

Die Abfallwirtschaft kann demnach einen Beitrag leisten, den weltweiten Ressourcenverbrauch zeitlich zu strecken und damit die Geschwindigkeit des Ressourcenverbrauchs zu verringern sowie die negativen Wirkungen der Reststoffe<sup>15</sup> auf Mensch und Umwelt zu reduzieren.

Die Abfallwirtschaft kann nach folgenden Kriterien klassifiziert werden:

- Tätigkeitsprofil (z. B. Einsammeln, Sortieren, Recyceln, Deponieren),
- Abfallquelle (z. B. Industrie-, Siedlungsabfall),
- Material bzw. Produktqualität (z. B. Verpackungsabfälle, Autoreifen, Alt-KFZ, organische Abfälle, PPK, Elektroaltgeräte etc.) oder
- Akteure (z. B. kommunal, privat).

Zahlreiche Branchen sind unmittelbar mit der Abfallwirtschaft verknüpft, darunter Anlagenbauer, die Sortieranlagen konzipieren und bereitstellen, oder Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen, die sich mit den Verfahren zur Stofferkennung und -trennung beschäftigen.

Politische Entscheidungen insbesondere im Hinblick auf die Umweltgesetzgebung sowie damit einhergehende Entwicklungen können sich ggf. beträchtlich auf die Verfahren und Prozesse der Abfallwirtschaft auswirken und/oder zu erheblichen Veränderungen des Marktes beitragen. Die Etablierung neuer, umweltfreundlicher Materialien – z. B. abbaubarer Kunststoffe – könnte neue Prozesse erforderlich werden lassen, die mit hohen Investitionen verbunden sein können.

---

<sup>15</sup> U. a. auch eine direkte Verringerung der Treibhausgasemissionen, siehe z. B. Büringer, H., Stenus, W.: Beitrag der Abfallwirtschaft zur Verringerung der Treibhausgasemissionen in Baden-Württemberg, Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg, 12/2006.

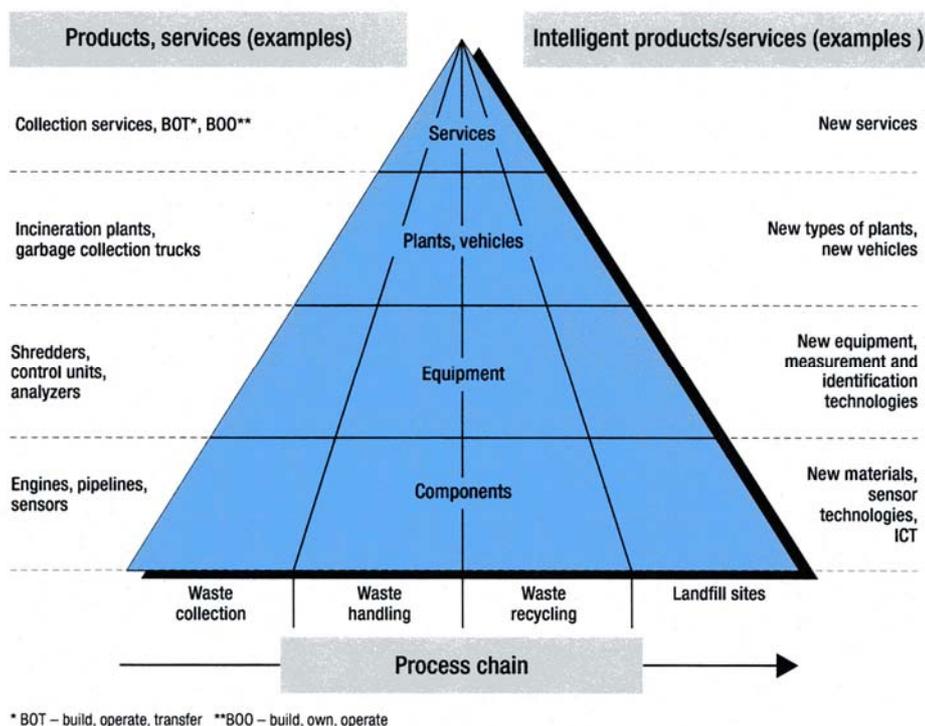
Die Abfall- und Recyclingwirtschaft ist eine relativ personalintensive Branche. Der Personaleinsatz sinkt jedoch im Verlauf der Wertschöpfungskette. Der hohe Personaleinsatz gilt insbesondere für das Einsammeln der Abfälle. Bereits bei der Sortierung der Abfälle geht der Trend zu mehr Automatisierung: Bei der Sortierung der Verpackungsabfälle sind in den letzten Jahren fast ausschließlich große Anlagen erstellt worden (Skalierungseffekte). Die Endbehandlung von Abfällen erfolgt ebenfalls in großen Anlagen, bei denen die Investitionskosten den größten Kostenfaktor darstellen.

### 7.1.1 Tätigkeitsprofile der Kreislaufwirtschaft

Einen Überblick über die Prozesskette der Abfallwirtschaft bietet Abbildung 7-2.

Der Abfall wird in unmittelbarer räumlicher Nähe der Entstehungsquelle **eingesammelt**. Diese Aktivität bleibt lokal ausgerichtet und kann kaum durch Skalierungseffekte profitieren. Das Einsammeln der Abfälle ist bislang noch relativ personalintensiv. Durch eine Standardisierung von Gebinden sowie der Optimierung der Sammelprozesse wird auch hier eine verstärkte Automatisierung angestrebt.

Abbildung 7-2: Hierarchie und Prozesskette der Abfallwirtschaft.



Quelle: Genter, 2003

Der erste **Sortiervorgang**, bei dem die unterschiedlichen Fraktionen (grob) getrennt und insbesondere Störstoffe entfernt werden<sup>16</sup>, erfolgt in aller Regel ebenfalls lokal vor Ort, um mehrfachen, unnötigen Transport zu vermeiden. Dieser Prozess ist bislang auch noch relativ personalintensiv.

**Weitere Sortiervorgänge** sowie das anschließende **Recycling** erfolgen zunehmend auch im internationalen Maßstab. Diese Aktivitäten sind – mit Ausnahme der Kunststoffe (s. u.) – räumlich eng mit der rohstoffproduzierenden Industrie sowie mit denjenigen Branchen verknüpft, die die (Sekundär-)Rohstoffe zur Produktion nutzen. Bei der Sortierung kommen neben etablierten „robusten“ Technologien (z. B. Schredder, Siebtonnen) auch vermehrt wissensbasierte und forschungsintensive Technologien zum Einsatz, wie z. B. Nah-Infrarot-Technologien, Röntgenverfahren oder Bilderkennungsverfahren.

Nach der Stofftrennung werden die verwertbaren Sekundärrohstoffe einer **energetischen, rohstofflichen oder werkstofflichen Verwertung** zugeführt. Die energetische Verwertung der sogenannten Sekundärbrennstoffe findet entweder branchenintern in Müllverbrennungsanlagen oder in anderen Branchen statt.<sup>17</sup> Die rohstoffliche oder werkstoffliche Verwertung findet hauptsächlich in anderen Branchen statt, wobei diese Sekundärrohstoffe dann ggf. noch weitere Sortier- oder Reinigungsverfahren unterlaufen.

Die nicht verwertbaren, verbleibenden Reststoffe werden – nach einer Behandlung, wie z. B. Kompostierung, Vergärung oder thermische Behandlung – auf einer Deponie **abgelagert**. Die Abfallbehandlung des verbleibenden Restmülls sowie die anschließende Deponierung erfolgen vorwiegend in lokaler Ausrichtung (Transportentfernungen unter 100 km) (EC - DG ENV 2006).

Die **logistische Steuerung** der Abfallströme vom Einsammeln zur Sortierung bis hin zur Deponierung oder Weiterleitung der (Sekundär-)Rohstoffe ist ebenfalls eine zentrale Kompetenz der Abfallwirtschaft.

Die **Abfallberatung** verfolgt prinzipiell zwei unterschiedliche Ziele: (a) die Abfallvermeidung (= Verringerung der Quantität der anfallenden Abfälle), für die sich vor allem die öffentliche Verwaltung, die kommunale Abfallwirtschaft sowie NGOs verantwortlich zei-

---

<sup>16</sup> Z. B. die Entfernung von Matratzen aus dem Abfall mit Greifbaggern; sie sollten entfernt werden, da sie aufgrund ihres hohen Anteils von Antimon (=flammenhemmend) Probleme bei einer Nutzung als Ersatzbrennstoff in Müllverbrennungsanlagen bereiten.

<sup>17</sup> In der Zementindustrie wird vermehrt Müll als Sekundärbrennstoff eingesetzt, mit dem fossile Energieträger ersetzt werden.

gen, sowie (b) die Beratung, wie auf Verbraucherseite mit den anfallenden Abfällen umgegangen werden sollte, z. B. Maßnahmen zur Bereitstellung der unterschiedlichen Abfallfraktionen (Abfalltrennung). Insbesondere die industrielle Produktion beschäftigt sich intensiv mit der Abfallvermeidung, da sich dieser Aspekt kostensenkend auswirken kann (verringertes Einsatz an Rohstoffen, keine/geringere Entsorgungskosten).<sup>18</sup>

### 7.1.2 Charakteristika wichtiger Abfallfraktionen

- **Eisenhaltige Metalle, Aluminium, Papier-Pappe-Karton (PPK)** sowie **Glas** werden größtenteils getrennt gesammelt und zu einem großen Teil als recycelte Materialien wiederverwendet.
- Für zahlreiche Abfallfraktionen, wie z. B. **nicht-eisenhaltige Metalle**, besteht ein globaler Markt, da die Transportkosten i. d. R. relativ gering sind in Bezug auf deren Wert.
- **Kunststoffe** bilden die einzige Abfallfraktion, bei der die Recycling-Aktivitäten häufig vollkommen unabhängig von der kunststofferzeugenden Industrie erfolgen (NICHT unabhängig von der kunststoffverarbeitenden Industrie).
- Weitere relevante Abfallfraktionen sind z. B. **mineralische Abfälle** (Bauschutt) sowie der **Hausmüll** und **hausmüllähnliche Industrieabfälle**.
- **Hausmüll** (= Siedlungsabfall) hat die Eigenschaft, dass das Mischungsverhältnis der einzelnen Abfallfraktionen keine konstante Prozessgröße darstellt; es liegen starke Schwankungen in der Zusammensetzung vor.

### 7.1.3 Sortierverfahren

#### 7.1.3.1 Sortieranlagen

Ziel der Sortieranlagen ist die definierte, sortenreine Trennung unterschiedlicher Abfallfraktionen zum Zwecke der Weiterleitung an die Abnehmer der Sekundärrohstoffe, z. B. die Rohstoffindustrie, das verarbeitende Gewerbe oder Verbrennungsanlagen.

Die Sortieranlagen werden von einem Anlagenbauer nach den jeweiligen, z. T. sehr spezifischen Erfordernissen zusammengestellt (zu trennende Stoffe, Reinheitsgrad, Durchsatz, etc.). Um z. B. aus Kunststoffabfällen synthetische Kraftstoffe herstellen zu können (Recycling Magazin online 2005), ist die Bereitstellung von PP bzw. PE in einer bestimmten Qualität notwendig; diese Trennleistung übernehmen die Sortieranlagen, indem sie diese Kunststoffe selektiv separieren.

---

<sup>18</sup> Aktuelle Fragestellungen sowie Lösungsansätze zu Nachhaltigkeit, Kooperationen sowie die Zukunft der Abfallwirtschaft siehe Schug (2007).

### 7.1.3.2 Sortiertechnologien: Stofferkennungs- und -trennverfahren

Recyclingverfahren sind dann wirtschaftlich, wenn hochwertiges Recyclat erzielt wird. Voraussetzung hierfür sind hochselektive Stofferkennungs- und Trennverfahren. Sortiertechnologien nutzen die unterschiedlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften der verschiedenen Komponenten, indem sie auf Eigenschaften wie Dichte, Kornform, Rollfähigkeit, Sprungverhalten, Leitfähigkeit, magnetische Suszeptibilität oder Oberflächeneigenschaften wie das IR-Spektrum oder die Farbe zurückgreifen.

Moderne Sortieranlagen gewinnen verwertbare Teilfraktionen, die rohstofflich, werkstofflich oder energetisch (als Ersatzbrennstoff) in Verwertungskreisläufe einfließen können (vgl. Abbildung 7-3).

Die Stofferkennungs- und Trennverfahren sind materialspezifisch nach Abfallfraktionen (FE-Metalle, Kunststoffe, etc.) sowie nach dem Reinheits- bzw. Verschmutzungsgrad (Industrieabfälle mit „definiertem“ Verschmutzungsgrad, heterogene Abfallmischungen der Siedlungsabfälle, etc.) konzipiert. Es lassen sich u. a. folgende Verfahren zur Stofftrennung unterscheiden: Dichte-Schwimm-Sink-Verfahren, Elektrosortierung, Magnetscheider, Metalldetektion, Optik-Automatisch, Optik-Farbglas, Optik-Handklaubung, Prallabscheider, Rollgutscheider, Windsichter, Wirbelstromabscheider (vgl. Tabelle 7-1).

Den Stofferkennungs- und Trennverfahren gehen bei Bedarf eine Waschung, Trocknung, Zerkleinerung (z. B. mittels Schredder oder Brechwerk) voraus.



Tabelle 7-1: Verschiedene Stofferkennungsverfahren der Abfallwirtschaft.

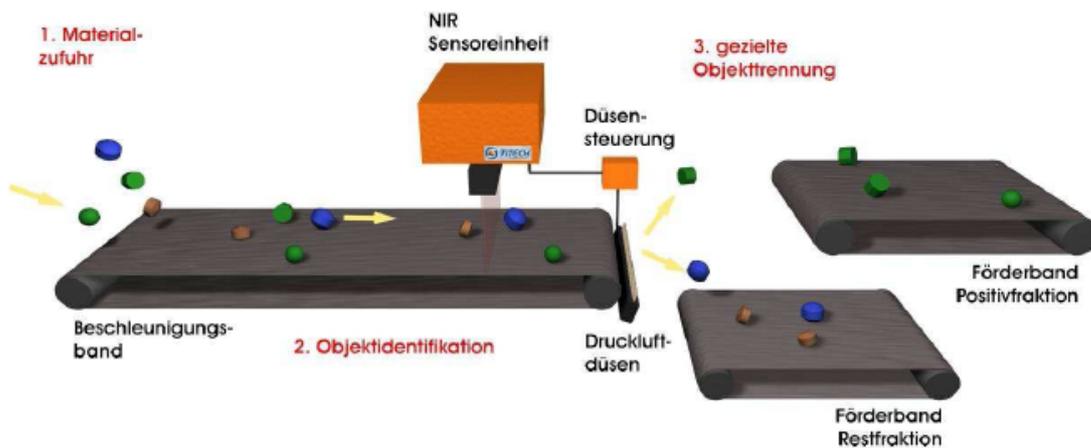
Technology	Description	Application
NIR (Near Infrared)	Material detection technology	Used for sorting polymers, beverage cartons and fiber/non-fiber identification
VIS (Visual)	Patented sensor doing spectral analysis of visible light reflections	Used for sorting plastics by color such as PET clear vs. PET colored
CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Black)	Detection of printing method. Spectral analysis of visible colors	Used for distinguishing between four-color and three-color printed material
Image	Image analysis from CCD camera	Used when additional information is needed such as shape, texture, width/length ratios, etc
Metal sensor	Detection of metal contaminants in the waste stream	Used for removing metal contaminants in the desired output stream

Quelle: TOMRA Capital Markets Day 2006

### 7.1.3.3 Sensorgestützte Sortiertechnologien

Durch **sensorgestützte, optische Sortierverfahren** können neben der Art der zu detektierenden Teile gleichzeitig auch die Lage, Größe und Form als Sortierkriterium herangezogen werden. Die Klassifizierung der Teile erfolgt durch einen Auswertungsrechner innerhalb kürzester Zeit. Die Sortierentscheidung wird an mechanische oder pneumatische Aktoren (z. B. sehr schnell arbeitende Druckluftventile) weitergeleitet, die die Teile nach festgelegten Kriterien aussortieren (siehe Abbildung 7-4).

Abbildung 7-4: Prinzip der sensorgestützten Sortierung am Beispiel des NIR-Verfahrens.



Quelle: Kubias, A.: Simulation von Sortieranlagen, 2005

Grundlage für eine sensorgestützte Sortierung sind trockene und saubere Oberflächen sowie eine vollständige Vereinzelung, damit jedes Abfallstück nach Lage einzeln detektiert werden kann.

Insbesondere mit **Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIR)** detektierbare Oberflächeneigenschaften haben Eingang in die Trenntechnologie gefunden und stellen neben der Wirbelstromtechnik die aktuellen Entwicklungsstufen der abfallspezifischen Trenntechnik dar:

- Mittels NIR können unterschiedliche **Kunststoff-Fraktionen** identifiziert und anschließend separiert werden.
- Ein **Graustufen-Separator** sortiert helle oder dunkle Verunreinigungen aus (z. B. Sortierung von PVC beim Recycling von Fensterrahmen mit Verunreinigungen durch Dichtgummis).
- Ein **Farb-Separator** ermöglicht die Trennung z. B. verschiedenfarbiger PET-Flakes.

**Röntgensortiertechniken** basieren auf der materialabhängigen, unterschiedlichen Schwächung von Röntgenstrahlung in verschiedenen Wellenbereichen. Mit dieser Technik ist es möglich, eine Trennung in organische und anorganische Fraktionen sowie eine weitergehende Unterscheidung innerhalb der jeweiligen Fraktion zu erreichen (Zeiger 2006).

Mit Hilfe **triboelektrischer Verfahren** können durch elektrostatische Aufladung im anschließenden Hochspannungsfeld z. B. PVC von PET getrennt werden (Recycling Magazin online 2006).

Bei der **Wirbelstromtechnik** erfolgt die Trennung durch unterschiedliche magnetische Eigenschaften der zu trennenden Fraktionen: Durch ein Wirbelstrom hervorgerufenes Magnetfeld wird die Abstoßung des entsprechenden Partikels induziert.

**Schnelle Rechenprozessoren** können nahezu in Echtzeit der Detektion (in dem Augenblick der Erkennung der Abfallbestandteile durch die Sensoren) eine Trennung der Einzelstücke über präzise Druckluftimpulse (Positivauslese für Wertstoffe, Negativauslese für Störstoffe wie PVC) ermöglichen.

#### 7.1.4 Emissionsreduzierung

Emissionen der Abfallwirtschaft können beispielsweise aus den Müllbehandlungsanlagen, z. B. als Rauchgas aus den Müllverbrennungsanlagen, oder aus den Deponien, z. B. als Sickerwasser, in die Umwelt gelangen. Die in diesen Rückständen enthaltenen gesundheits- und umweltrelevanten Stoffe können Dioxine, polychlorierte Biphenyle (PCBs), polychlorierte Naphthaline (PCNs), Chlorbenzole, polyaromatische Kohlen-

wasserstoffe (PAHs), zahlreiche flüchtige organische Verbindungen (VOCs) sowie Schwermetalle wie Blei, Cadmium und Quecksilber sein. Diese Stoffe können persistent (d. h. schwerflüchtig sowie schwer abbaubar), bioakkumulativ (fähig, sich im Gewebe lebender Organismen anzureichern) sowie toxisch (giftig) sein.

Um diese Stoffe zu separieren bzw. sie in nicht oder weniger gesundheits- bzw. umweltgefährdende Stoffe umzuwandeln, werden Filtertechniken (z. B. Biofilter) sowie andere Technologien (z. B. Ozon-, UV-Technologien, Rauchgasentschwefelung, DeNOx-Anlagen, Katalytische Nachverbrennung) eingesetzt.

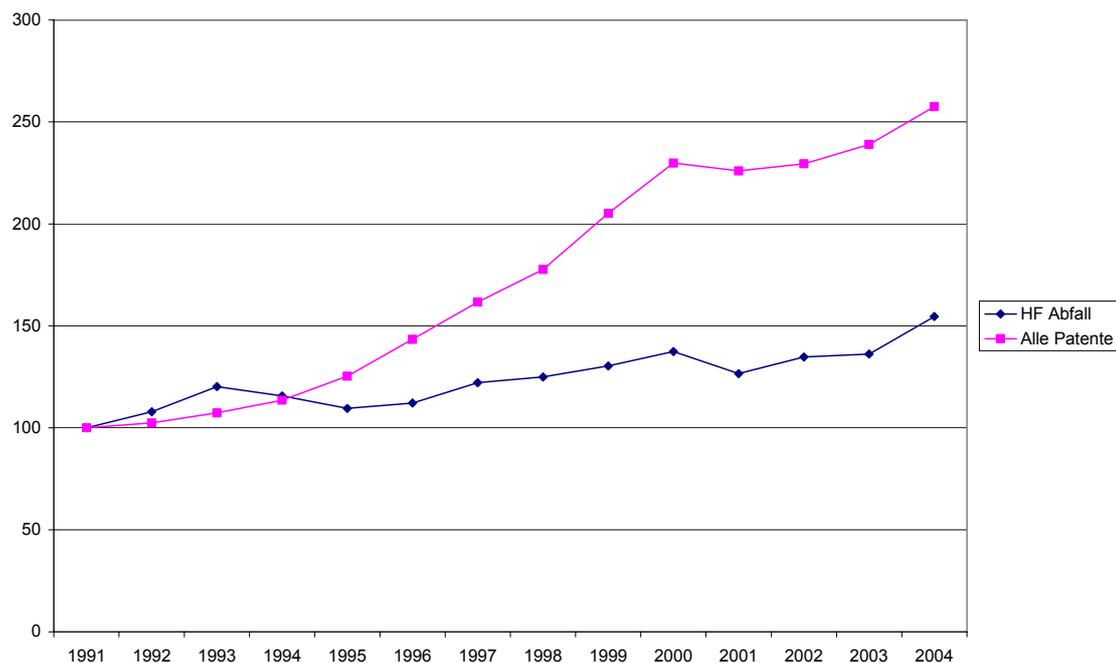
### **7.1.5 Logistik**

Mit moderner Logistik können beim Transport von Abfällen in Deutschland jährlich über 36 Millionen LKW-Kilometer eingespart werden. Dies war das Ergebnis des Schwerpunkts der BMBF-Fördermaßnahme „Optimale Transporte in der Kreislauf- und Abfallwirtschaft“, bei dem die umweltverträgliche Bewältigung des Transportaufkommens in der Kreislauf- und Abfallwirtschaft stand. Die hier untersuchten Konzepte reichten von einer neuartigen Fahrzeug-, Behälter- und Verladetechnik über IT-gestützte Tourenoptimierung, bessere Fahrzeugauslastung, internetbasierte Informationsplattformen für entsorgungslogistische Entscheidungen bis hin zu neuen Instrumenten für die Planung. Neben der Transportverlagerung auf die Schiene und die Binnenschifffahrt war die Verknüpfung von Ver- und Entsorgungsverkehren ein weiterer Forschungsschwerpunkt. Bei der Umsetzung der Ergebnisse aus diesem Forschungsprogramm könnten jährlich neben den einzusparenden LKW-Kilometern auch 30.000 Tonnen Kohlendioxid sowie rund 40 Mio. € eingespart werden. Da die Ergebnisse auch auf andere Branchen übertragbar sind, ergäbe sich ein mögliches Einsparpotenzial von bis zu 170 Mio. LKW-Kilometern im Jahr (BMBF 2005).

## 7.2 Innovationsdynamik und Marktpotenzial

Die Haupttreiber innovativer Konzepte in der Abfallwirtschaft sind die Gesetzgebung, Kosteneinsparungseffekte sowie Bestrebungen zur Qualitätserhöhung (AMCG 2003).

Abbildung 7-5: Innovationsdynamik der jährlichen Patentanmeldungen im Handlungsfeld Abfall- und Kreislaufwirtschaft im Vergleich zu allen Anmeldungen (1991= 100)



Innovative Technologien werden bei der Abfallbehandlung eingesetzt, um die Qualität der verbleibenden Abfälle so zu gestalten (siehe Kap. 7.1), dass die in Abfällen enthaltene Energie und enthaltenen Rohstoffe wiederverwertet werden können und die letztlich in der Biosphäre verbleibenden Reststoffe möglichst wenig natur- und klimaschädlich sind; weiterhin dienen sie zur Verbesserung der Logistik (vgl. Abbildung 7-6).

Abbildung 7-6: Innovative Konzepte der Abfallbehandlung. (Quelle: nach AMCG, 2003)



Automatisierte Stofferkennungs- und -trennverfahren lassen den Prozess der Abfallbehandlung weniger personalintensiv werden (Kostenreduktion) und ermöglichen darüber hinaus eine bessere und sauberere Trennung der einzelnen Abfallfraktionen (= potenzielle Sekundärrohstoffe). Optimierte Logistik (z. B. Sammelsysteme, Routenplanung) sowie Technologien zur Emissionsreduzierung (z. B. für Luftschadstoffe oder Deponiesickerwasser) werden jedoch auch mit großen Einspar- und Exportpotenzialen verknüpft.

### 7.2.1 Marktgröße und -struktur

- Die Marktgröße der Abfallwirtschaft ist unmittelbar abhängig von den Abfallmengen. Hier liegen unterschiedliche Prognosen vor: Einerseits wird in den Industrieländern ein Abkoppeln der Abfallmenge vom Wirtschaftswachstum erwartet, sodass die Müllmenge nicht mehr proportional zunimmt, sondern eher abnimmt.<sup>19</sup> Andere Prognosen gehen von der Möglichkeit einer weltweiten Verfünffachung der Abfallmengen bis zum Jahre 2050 aus (EIAG 2006).
- Die Hauptproduzenten von Siedlungsabfall in Europa sind Deutschland, Frankreich, Italien und Spanien mit einer Gesamtmenge von jeweils 24 bis 44 Mio. t pro Jahr. Die Mengen an Siedlungsabfall in den anderen EU-Ländern liegen jeweils bei ca.

<sup>19</sup> Hier stellt sich allerdings die Frage, ob dies eine reelle Abnahme der Müllmengen ist oder ein Effekt, der möglicherweise auf eine gesetzliche Anpassung der Abfall-Definition bzw. neue Verwertungspfade zurückzuführen ist. So wird in der Abfallwirtschaft z. B. zwischen „Restmüll“ und „Wertstoffen“ (u. a. Papier, Glas, Bioabfälle, LVP) unterschieden (vgl. Serwe 2005). Es kann sich daher ggf. beim „Restmüll“ eine sinkende Tendenz ergeben bei gleichzeitigem Anstieg der „Wertstoffe“.

10 Mio. t pro Jahr oder darunter. Von den neuen EU-Ländern (Beitritt in 2004) ist Polen der Hauptproduzent von Abfällen mit ca. 12 Mio. t pro Jahr.<sup>20</sup>

- Die führenden Länder in der EU im Hinblick auf die stoffliche Wiederverwendung und thermische Nutzung von Abfällen sind Österreich, Dänemark, Finnland, Schweden, Frankreich, Deutschland und die Niederlande. In den meisten EU-Ländern ist die Deponierung noch die vorherrschende Methode der Abfallbehandlung (Abbildung 7-7, Abbildung 7-8<sup>21</sup>). Insbesondere in den neuen EU-Mitgliedsstaaten werden kaum moderne Technologien zur Abfallbehandlung eingesetzt; hier werden umfangreiche Investitionen für eine Modernisierung dieser Anlagen erwartet.<sup>22</sup>
- In dem bislang relativ geringen Prozentsatz der Siedlungsabfälle, die einem Recycling zugeführt werden (Abbildung 7-9), liegen möglicherweise noch weitere Marktpotenziale für die Abfallwirtschaft.
- In der EU15 ist der Abfallwirtschaftsmarkt relativ stabil.<sup>23</sup> In den neuen Mitgliedsstaaten wächst dieser Markt derzeit; eine Sättigung wird dort in den Jahren 2010 bis 2015 erwartet.
- Ein Exportmarkt ist ausschließlich für bereits sortierte Abfälle vorhanden (mindestens Erstsortierung); die Erstsortierung bleibt voraussichtlich ein regional ausgerichteteter Markt.
- Die EU-Hauptakteure investieren auch außerhalb von Europa, um ihre dortigen Aktivitäten auszubauen. Die Aktivitäts- sowie die Beschäftigungseffekte verbleiben jedoch vor Ort.

---

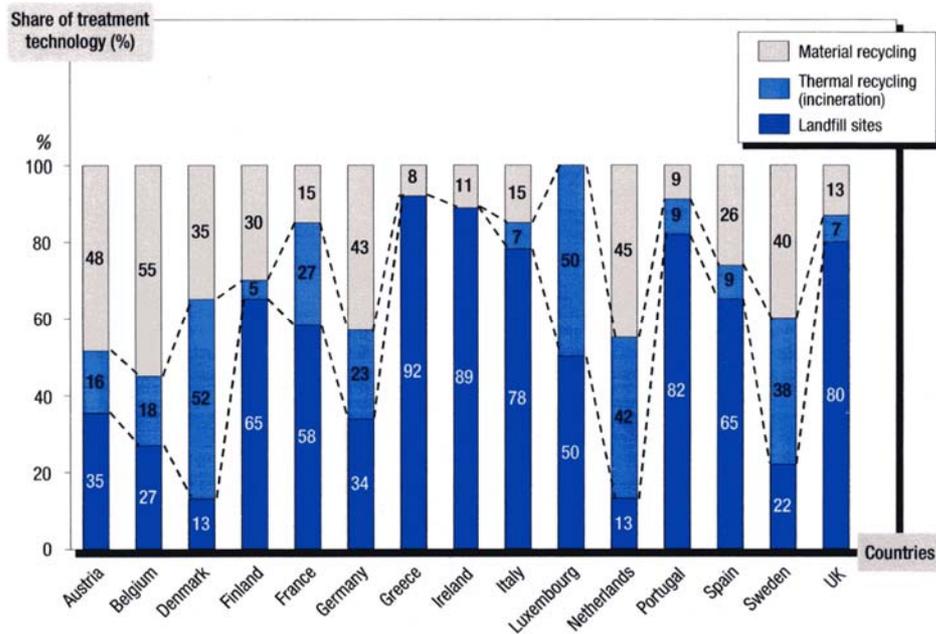
<sup>20</sup> EUROSTAT, zitiert in AMCG (2003)

<sup>21</sup> Die beiden Abbildungen stellen die zum Zeitpunkt der Erhebung (2003) aktuellsten Daten von EUROSTAT aus den Jahren 2002/03 bzw. 1999/2000 dar.

<sup>22</sup> EUROSTAT, zitiert in AMCG (2003)

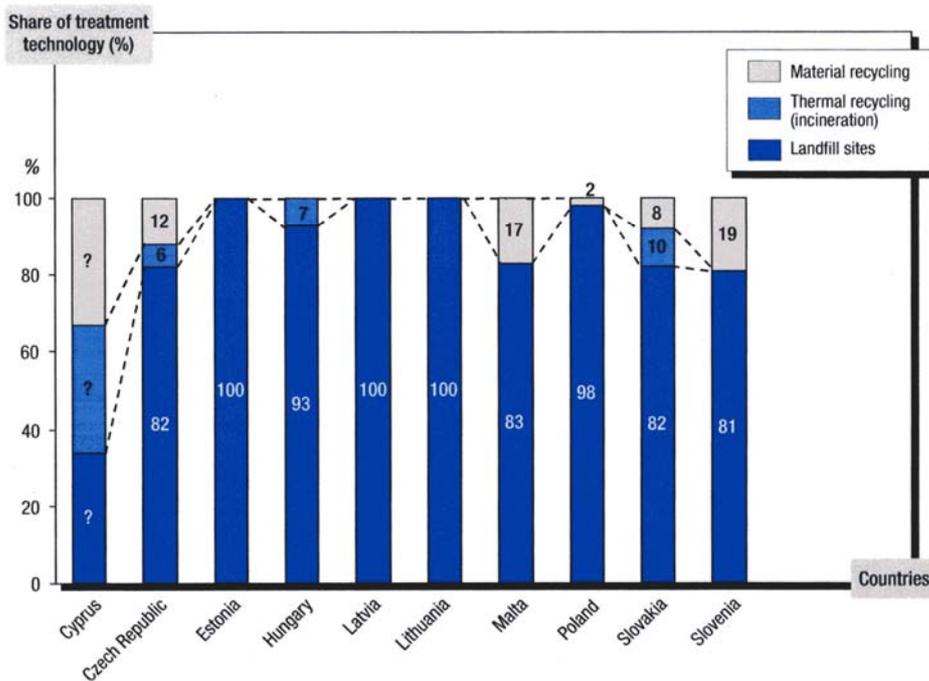
<sup>23</sup> Eine Dynamik herrscht allerdings bei den Akteursstrukturen mit Fusionen, Übernahmen und Kooperationen; dabei geht es in erster Linie um Marktanteile.

Abbildung 7-7: Abfallbehandlungstechnologien der EU15



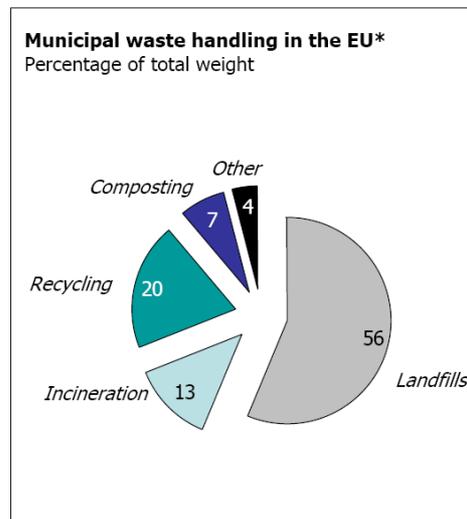
Quelle: Genter 2003

Abbildung 7-8: Abfallbehandlungstechnologien der neuen EU-Länder (Beitritt 2004)



Quelle: Genter 2003

Abbildung 7-9: Verwertung bzw. Beseitigung von Siedlungsabfällen in der EU



Quelle: TOMRA, 2006

### 7.2.2 Internationale Akteursstruktur – Schwerpunkt EU

- Die Kreislaufwirtschaft im EU15-Gebiet ist gereift und in den neuen EU-Mitgliedsstaaten in Entwicklung, wobei in den neuen Mitgliedsstaaten insbesondere international tätige Akteure aktiv sind.
- Der europäische Markt an Abfalldienstleistungen ist relativ fragmentiert; die zehn größten europäischen Unternehmen der Kreislaufwirtschaft (siehe Tabelle 7-2) teilen sich lediglich 15 % Marktanteil an den industriellen Abfällen und den Siedlungsabfällen. Nur einige dieser Akteure beschränken sich nicht ausschließlich auf den europäischen Markt, sondern sind auch auf den US-amerikanischen und asiatischen Märkten aktiv, insbesondere die Unternehmen Sita (F)<sup>24</sup>, Veolia (F)<sup>25</sup>, Cleanaway (U. K.) und FCC – Fomento de Construcciones y Contratas (ES).

<sup>24</sup> Tochterunternehmen von SUEZ Environnement; SUEZ ist ein internationaler Dienstleistungskonzern, der in über 100 Ländern Millionen Menschen und Hunderttausende Industrieunternehmen mit Strom, Gas, Wasser, Entsorgungs- und Energiedienstleistungen versorgt. SUEZ ist weltweit unter den Top Ten der privaten Energieunternehmen und weltweit führend in den Bereichen Umwelt-, Wasser- und Energiedienstleistungen. [www.sita-deutschland.de](http://www.sita-deutschland.de).

<sup>25</sup> Die Entsorgungsaktivitäten von Veolia sind in der Veolia Environmental Service zusammengefasst. Als weltweite Nr. 2 und eines der führenden Unternehmen in Europa betreibt Veolia Environmental Service die Abfallentsorgung für 78 Mio. Einwohner und ist Partner von 280.000 Kunden in Gewerbe und Industrie. Dabei wurde 2005 mit 80.754 Mitarbeitern in 35 Ländern ein Umsatz von 6,609 Mrd. € und ein EBIT von 531 Mio. € erzielt. (Quelle: [http://de.wikipedia.org/wiki/Veolia\\_Environnement](http://de.wikipedia.org/wiki/Veolia_Environnement), 31.01.07); [www.veolia.de](http://www.veolia.de), [www.veoliaenvironnement.com](http://www.veoliaenvironnement.com).

Tabelle 7-2: Umsatz der zehn größten europäischen Unternehmen der Kreislaufwirtschaft (Stand 2006) (Hall 2006).

Unternehmen	Umsatz (in Mrd. €)
Onyx (Entsorgungssparte von Veolia) (FR)	6,200
Sita (FR)	5,500
Remondis (DE)	3,300
FCC (ES)	2,090
Sulo/Altvater (DE)	1,200
Cleanaway (AU)	> 1,300
Biffa (UK)	> 1,050
Alba (DE)	> 0,700
Cespa (ES)	> 0,685
Van Gansewinkel (NL)	> 0,500

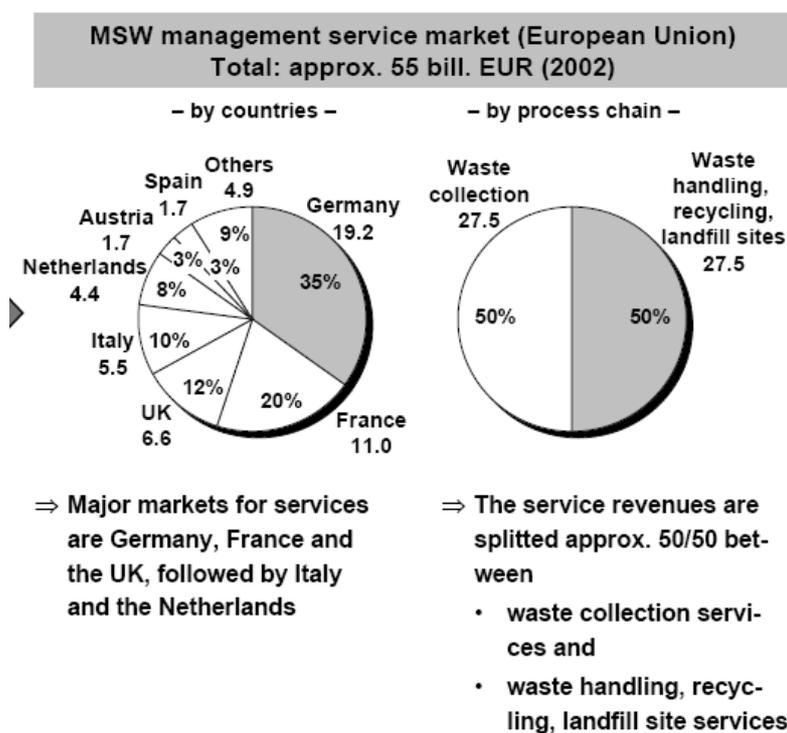
- Große Unternehmen nehmen ca. 80 % des Gesamtmarktes ein, die restlichen ca. 20 % besitzen die kleinen, lokal ausgerichteten Akteure. Mittlere Unternehmen, die „national“ ausgerichtet sind, existieren praktisch nicht (EC – DG ENV 2006).
- Prinzipiell existieren zwei unterschiedliche Formen von Unternehmen:
  - Sehr große, international übergreifend tätige Akteure: sie bieten i. d. R. das volle Leistungsspektrum von Sammeln, Sortieren bis hin zum Recycling und zur Restmüllbehandlung an.
  - Relativ kleine, lokal ausgerichtete Akteure mit einem Aktionsradius von ca. 50 km: sie konzentrieren sich vor allem auf das Einsammeln sowie das erste Sortieren der Abfälle.

### 7.2.3 Ökonomische Lage

- Der Umsatz mit Abfall- und Recyclingdienstleistungen für Siedlungsabfälle in der EU wird auf ca. 55 Mrd. € geschätzt (Stand: 2002) (vgl. Abbildung 7-10) (AMCG (2003); vgl. EC – DG ENV 2006). Diese Schätzung umfasst den Bereich der Abfallbehandlung und des Recyclings:

*„Solid Waste Management & Recycling is defined here as the production of equipment, technology or specific materials, or the design, operation of systems, plants and sites or provision of other services for the collection (waste and scrap), separation, sorting, handling, transport, treatment (thermal, biological and chemical), storage, disposal, recovery, recycling and management of hazardous and non-hazardous solid waste, including low level, but not high level, nuclear waste. It includes outdoor sweeping and watering of streets, paths, parking lots, etc.“*  
(EC – DG ENV 2006)

Abbildung 7-10: Markt für Siedlungsabfälle in der EU (Stand: 2002).



Quelle: AMCG, 2003

- In allen hoch entwickelten westeuropäischen Ländern hat Umweltschutz in den letzten zwei Jahrzehnten mehr und mehr an Bedeutung gewonnen. Demzufolge haben sich auch in vielen kleineren Ländern, zumindest in einzelnen Umweltbereichen, wettbewerbsfähige Industrien entwickelt und Spezialisierungsvorteile im internationalen Handel herausgebildet; für den Bereich Abfall sind hier insbesondere zu nennen: Dänemark (mit einer durchgängig positiven Spezialisierung über alle Umweltmedien), die Schweiz (Abfall, Abwasser, Luft, Mess-, Steuer- und Regeltechnik) sowie Schweden, Finnland und Österreich (Legler 2003). Unter den mittel- und osteuropäischen Reformländern verfügt die Tschechische Republik über komparative Vorteile im Handel mit Abfall- und Abwassertechnologien. Insgesamt ist Tschechien auch schon vergleichsweise stark auf dem Weltmarkt vertreten (Legler 2006).
- In Europa (EU-25) sind in der Abfallwirtschaft derzeit über 800.000 Personen beschäftigt (EC – DG ENV 2006).
- Für Großbritannien lag aufbereitetes Zahlenmaterial vor, sodass nachfolgend die dortige Situation exemplarisch kurz dargestellt wird:<sup>26</sup>

<sup>26</sup> Einen länderübergreifenden Vergleich im Hinblick auf Verpackungsabfälle bietet die Studie „Effectiveness of packaging waste management systems in selected countries: an EEA pilot study“, European Environment Agency, Copenhagen 2005.

Großbritannien ist der drittgrößte Abfallproduzent in Europa (vgl. Abbildung 7-10). Der Bereich „Waste Management“ ist in Großbritannien mit 8,1 Mrd. £ (Stand: 2005) der zweitgrößte Sektor nach dem Sektor „Water & Wastewater Treatment“ mit 9,4 Mrd. £ im „UK Environmental Goods & Service Market“. Danach folgt mit Abstand „Energy Management“ mit 2,7 Mrd. £ (EIAG 2006).

In Großbritannien werden pro Jahr ca. 430 Mio. t Abfall produziert (Stand: 2005). 65 % davon landen auf Mülldeponien und 30 % werden wieder verwendet. Die britische Regierung verfolgt das Ziel, bis 2020 den Anteil des Deponiemülls auf 42 % zu senken und im Gegenzug Abfälle stärker durch Wiederverwertung, Müllverbrennung sowie Kompostierung zu entsorgen. Das gegenwärtige Marktvolumen wird auf über 10 Mrd. € geschätzt – mit steigender Tendenz. Das starke Wachstum wird sich bis mindestens 2012 fortsetzen. Grund dafür sind die Vorgaben der Europäischen Union und neue nationale Gesetze. So werden zum Beispiel die Steuern für die Entsorgung auf Mülldeponien künftig noch weiter erhöht. Auch die Bußgelder für die Missachtung der EU-Richtlinien können schnell über 500.000 € pro Tag kosten. Ab 2007 dürfen auch bestimmte Stoffe nicht mehr auf Deponien entsorgt werden. Der Bedarf an modernen, umweltgerechten Entsorgungstechnologien ist in Großbritannien also enorm groß.<sup>27</sup>

### **7.3 Internationale Analyse der technologischen Leistungsfähigkeit**

Aufgrund politischer Vorgaben hat die Abfallwirtschaft in Deutschland seit 1993 rund 20 Mrd. € investiert (BMU, 2006). Sie beschäftigt heute ca. 250.000 Menschen und erreicht einen Umsatz von über 50 Mrd. € pro Jahr (Stand: 2006). Bei den Arbeitsplätzen haben sich in den vergangenen Jahren nicht nur die Zahlen erhöht, sondern auch die Anforderungen an die Qualifikation der Beschäftigten. Verschiedene Hochschulen bieten inzwischen Studiengänge zur Abfallwirtschaft an. Mit dem „Ver- und Entsorger“ entstand schon in den 80er Jahren ein eigener Ausbildungsberuf; dieser hat inzwischen eine Modernisierung als „Umwelttechnische Berufe“ und eine Spreizung in verschiedene Fachrichtungen erfahren. Hinzu kommen Fachkunde-Lehrgänge verschiedener Institutionen, um das Prädikat „Entsorgungsfachbetrieb“ zu erhalten. Bei Sammellogistik, Bewertungs- und Beseitigungsanlagen mit Techniken zur Emissionsminderung und Energierückgewinnung wird das deutsche Know-how weltweit geschätzt. In den vergangenen Jahren entstanden hier in Deutschland ganz neue Techniken, z. B. für das Sortieren und Recyceln von Kunststoff, Metall, Holz, Papier, Glas, Verpackun-

---

<sup>27</sup> UK BUSINESS DEVELOPMENT, 3. Ausgabe 2005, UK Trade & Investment Deutschland, [www.uktradeinvest.de](http://www.uktradeinvest.de).

gen, für das Verbrennen oder Vergären (mechanisch-biologische Verfahren) von Hausmüll, für Raffination, Trennung und Reinigung von Altölen und anderen Produktionsabfällen sowie in der Deponietechnik (Basisabdichtung, Erfassen und Nutzen von Sickerwasser und Deponiegas).

### 7.3.1 Patentanalyse

Die Dynamik des Handlungsfeldes Kreislaufwirtschaft, Abfall, Recycling in Forschung und Entwicklung lässt sich anhand der Entwicklung der Patentanmeldungen bei internationalen oder nationalen Patentämtern beschreiben. Abbildung 7-11 zeigt die Dynamik der Patentanmeldungen beim Europäischen Patentamt (EPA) und bei der Weltorganisation für geistiges Eigentum (WIPO) zwischen 1991 und 2004. Zur Glättung statistischer Schwankungen, welche aufgrund der vergleichsweise geringen Fallzahlen bei einigen Technologielinien auftreten, wurden die jährlichen Patentzahlen in Drei-Jahres-Scheiben zusammengefasst. Der Bereich 1991 bis 1992 wurde entsprechend korrigiert.

Bei den Patenten dominieren Anmeldungen zum **Abfall, allgemein** (beinhaltet auch spezielle Verfahren wie z. B. Altgummizersetzung oder nasse Aufbereitung von Abfällen), zum **Recycling, allgemein** (inklusive Gummiverwertung, Asphaltaufbereitung u. a.) und – in den letzten Jahren – auch zu **Trennverfahren** (Anmeldungen sowohl zu Aufbereitungsanlagen als auch zu Einzeltechniken wie Sieben). Nur etwa halb so häufig sind die jährlichen Anmeldungen zum Zerkleinern, Sammeln, zur Deponierung, zur Verbrennung und zu Produktionsprozessen. In der Technologielinie **Zerkleinern** wurden die Patentanmeldungen allgemein zu Brechen oder Zerkleinern bzw. durch Einzelverfahren, wie z. B. Trommelmühlen, zusammengefasst und in der Produktgruppe **Sammeln** die einschlägige Patentklasse zum Sammeln von Müll ausgewertet. Auch für die **Deponierung** (Beseitigung von festem Abfall) und für die **Verbrennung** liegen einschlägige Patentklassen vor. Für biologische Abfallbehandlungsverfahren lässt sich nur für die **Kompostierung** eine einschlägige Patentklasse finden. Patentanmeldungen zur Kompostierung hatten in den neunziger Jahren, bei geringen Gesamtzahlen, die höchsten Zuwachsraten. Die Bereiche mit den größten Zuwächsen sind derzeit Patente zu den Produktionsprozessen (vgl. Anhang 6).<sup>28</sup>

---

<sup>28</sup> Die Patentabfrage erfolgt durch Stichwörter und Patentklassen. Es werden so z. B. Patente zur Optimierung der Produktionsprozesse gesucht, die u. a. durch die Reduzierung von Verschnitt, durch Verbesserung bzw. Vergleichmäßigung der Qualität, durch bessere Auslastung von Geräten, Anlagen und Spezialmaschinen sowie durch wertschöpfungskettenübergreifende Optimierungen erfolgen kann.

Abbildung 7-11: Weltweite Patentedynamik im Handlungsfeld Abfall und Kreislaufwirtschaft, 1991 bis 2004 nach Ländern

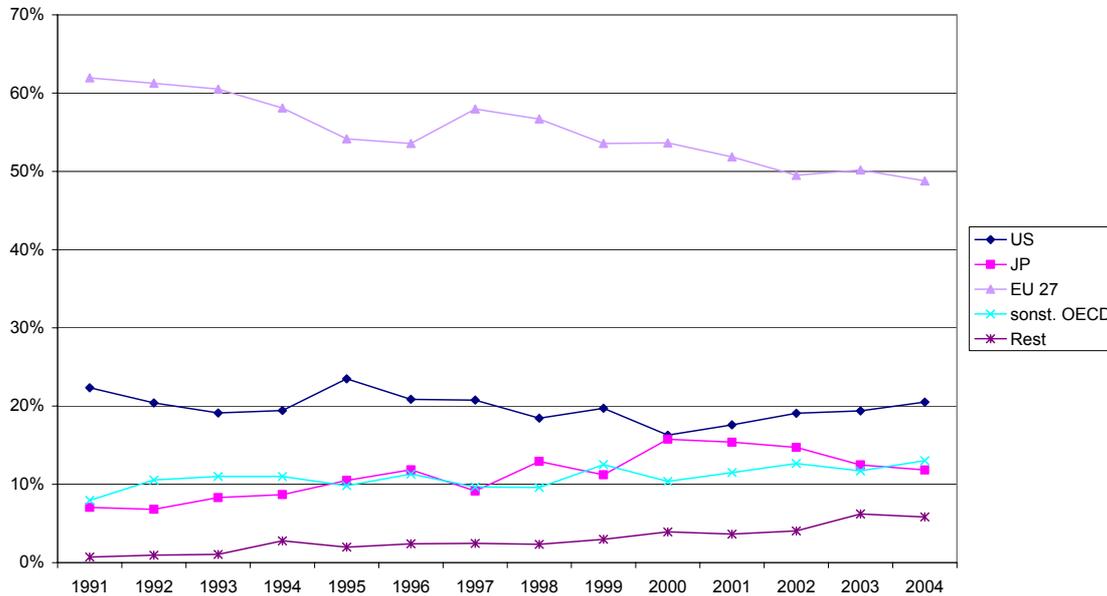
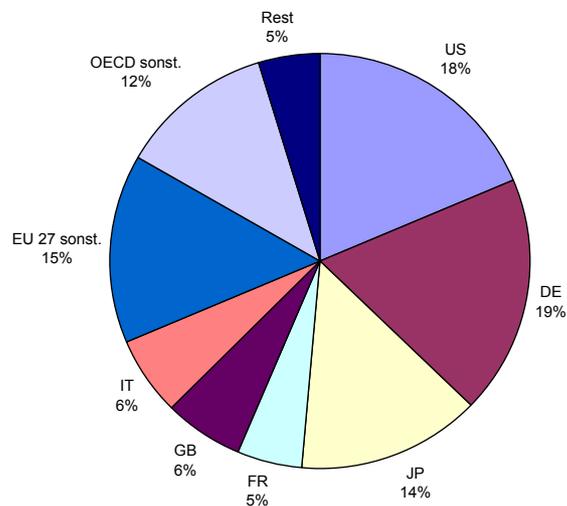


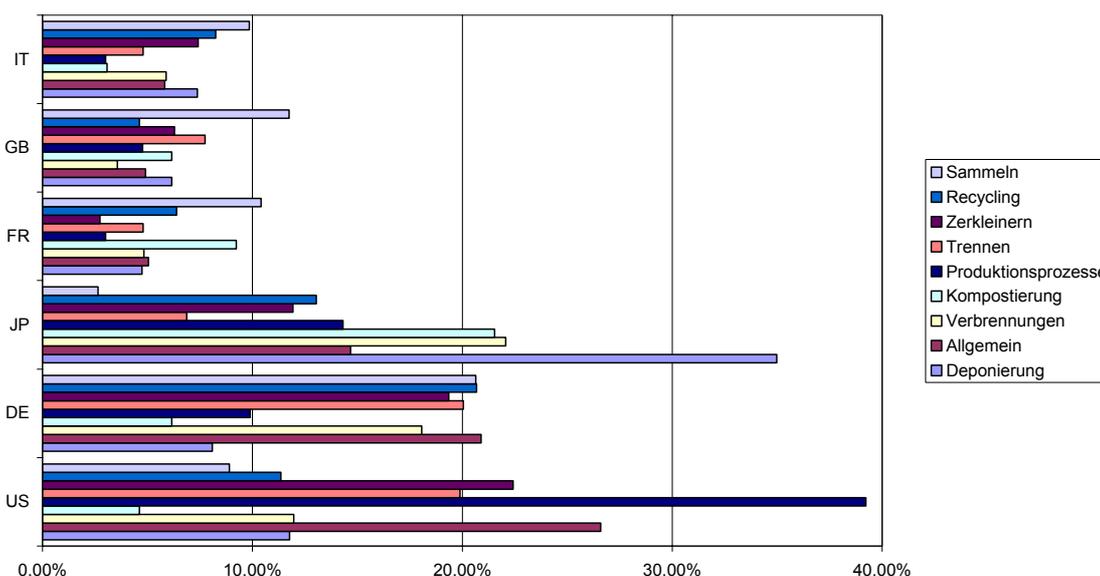
Abbildung 7-12: Patentanteile im Handlungsfeld Abfall und Kreislaufwirtschaft 2000 bis 2004



Die Patentanteile der jeweiligen Produktgruppen sind in den einzeln betrachteten Ländern sehr unterschiedlich (Abbildung 7-13). Die USA ist mit einem Patentanteil von 39 % besonders gut in der Produktgruppe *Produktionsprozesse* vertreten, daneben auch in *Abfall, allgemein* (27 %), *Zerkleinern* und *Trennen* (je ca. 20 %). Japan hat ei-

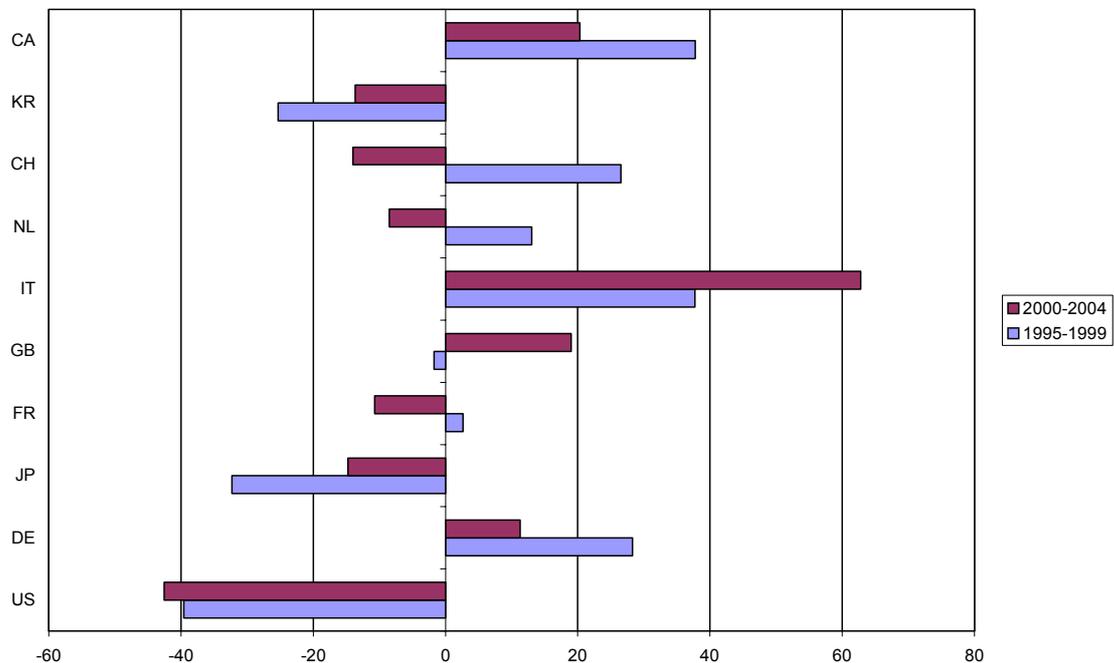
nen großen Patentanteil im Bereich Deponierung (35 %), daneben aber auch bei Kompostierung und Verbrennung (je 22 %). Deutschland hat bei der Mehrzahl der Produktgruppen einen Patentanteil um 20 %, außer bei Patenten zur Deponierung, Kompostierung und zu den Produktionsprozessen.

Abbildung 7-13: Patentanteile nach verschiedenen Produktgruppen in ausgewählten Ländern für 2000 bis 2004.



In der Summe aller Patente im Handlungsfeld Abfall und Kreislaufwirtschaft ergeben sich für Deutschland positive RPA (Abbildung 7-14). Die USA haben unterdurchschnittliche Patentaktivitäten in diesem Handlungsfeld, während für die europäischen Länder die Aktivitäten uneinheitlich sind. Stark unterdurchschnittliche Patentaktivitäten stehen stark überdurchschnittlichen Aktivitäten in Italien gegenüber, welches v. a. in der Technologielinie „Recycling, allgemein“ viele Anmeldungen hat (und mit insgesamt nicht so vielen Länderpatentanmeldungen sich deshalb ein hohes RPA berechnet). Die RPAs von Großbritannien und Frankreich liegen – je nach betrachtetem Zeitraum – etwas über oder unter Null.

Abbildung 7-14: RPA für das Handlungsfeld Abfall und Kreislaufwirtschaft in den Zeiträumen 2000 bis 2004 und 1995 bis 1999



### 7.3.2 Außenhandelsindikatoren

Deutschland ist Exportweltmeister bei Umweltschutzgütern vor den USA und Japan. 2004 wurden Umwelt- und Klimaschutzgüter im Umfang von 55 Mrd. € hergestellt, die bereits über 5 % der gesamten Industriegüterproduktion ausmachen. Im Jahr 2003 wurden insgesamt 3,3 % aller FuE-Ausgaben Deutschlands im Umweltschutzbereich getätigt. Damit liegt Deutschland weit über dem OECD- und auch dem EU-Schnitt.<sup>29</sup> Diese führende Rolle verdankt Deutschland einer leistungsfähigen Industrie und Forschung und nicht zuletzt den hohen Umweltstandards, die ganz wesentlich zur technologischen Entwicklung beigetragen haben.<sup>30</sup> Als Folge dieser Innovationen ist Deutschland heute Exportweltmeister bei Anlagen zur Entsorgungstechnik (vgl. Abbildung 7-11).

Als Beurteilungskriterien zur Außenhandelsstärke eines Landes dient der Welthandelsanteil, berechnet als Exportwert einer Produktgruppe/Technologielinie am Welthandel dieses Segments. Dieser relativ unkomplizierte Wert lässt aber u. a. die Importe und

<sup>29</sup> [www.bmbf.de/de/2559.php](http://www.bmbf.de/de/2559.php) , abgerufen am 05.02.07.

<sup>30</sup> [www.ki-projekte.de/uvm/index.php?content=foerdermoeglichkeiten](http://www.ki-projekte.de/uvm/index.php?content=foerdermoeglichkeiten) , abgerufen am 05.02.07.

das Niveau der Integration des Landes in den Außenhandel außer Acht. Dies berücksichtigt die Messzahl RCA (Revealed Comparative Advantage).

Durch die andere Klassifikation und Logik bei der Außenhandelsstatistik ist es nicht immer möglich, dieselben Kategorien wie bei den Patenten zu verwenden. Es wurden folgende Kategorien im Außenhandel untersucht:

- Abfallbehandlung
- Energetische/Thermische Verwertung
- Entsorgung (Sammel- und Transportlogistik)
- Innovative Produkterstellung (Minimierung von Abfällen im Produktionsverfahren, unternehmensinterne Kreislaufwirtschaft)
- Deponierung (Gasreinigung, Optimierung der Abbauprozesse)
- Stoffliche Verwertung (Recycling)
- Stofftrennung (Vereinzeln, Stofferkennung, Trennen).

Den größten Anteil am Welthandel hat Deutschland mit 17 %. Der Anteil der USA am Außenhandel liegt bei ca. 15 % (Abbildung 7-15), der von Japan bei 14 %. Die Summe der einzelnen EU27-Länder beträgt ca. 51 %. Berechnet man den Anteil allerdings ohne den Intra-EU-Handel, hält die EU27 einen Welthandelsanteil von 27 %.

Deutschland verfügt in allen Sparten der Umwelttechnik über hohe Exportspezialisierungsvorteile. Der Abfallsektor hat hingegen geringfügige Spezialisierungseinbußen hinnehmen müssen, verharrt jedoch auf hohem Niveau. Deutschland ist mit einem  $RCA > 50$  ähnlich gut wie Italien und Großbritannien im internationalen Wettbewerb positioniert, Frankreich und vor allem die Niederlande weniger gut. Nur Japan ( $RCA = 79$ ) und die USA ( $RCA = 67$ ) sind besser positioniert. Kanada und Korea haben komparative Nachteile (Abbildung 7-16).

Abbildung 7-15: Welthandelsanteil im Handlungsfeld Abfall- und Kreislaufwirtschaft in den Jahren 2000 - 2004

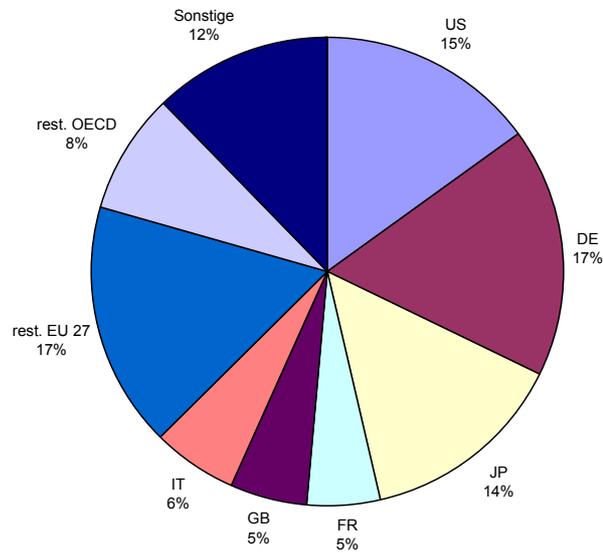
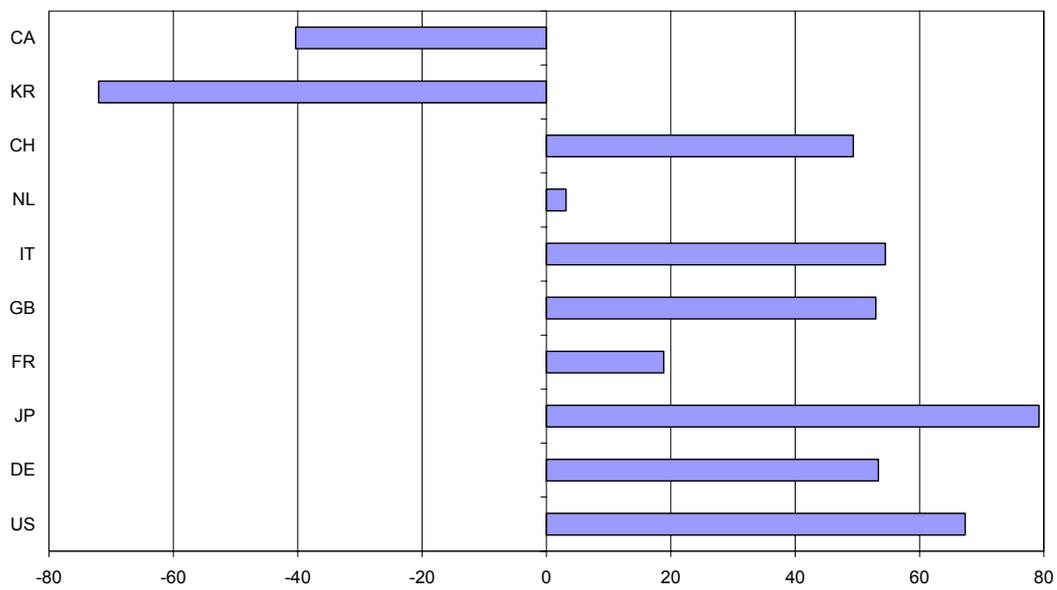


Abbildung 7-16: RCA im Handlungsfeld Abfall und Kreislaufwirtschaft im Zeitraum 2000 - 2004



## 7.4 Schlussfolgerungen für die Perspektive 2020

### 7.4.1 Rahmenbedingungen und Handlungsfelder

Die **Abfallwirtschaft** hat sich seit Beginn der 1990er Jahre erheblich gewandelt. Begleitet vom Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz stellt die Entwicklung der Abfall- bzw. Entsorgungswirtschaft zur Kreislaufwirtschaft einen bedeutenden Paradigmenwechsel dar. Neues Ziel ist die stoffstromorientierte Ressourcenschonung. Dafür sind Abfälle in erster Linie zu vermeiden – insbesondere durch Verminderung in Menge und Schädlichkeit – und in zweiter Linie stofflich oder energetisch zu verwerten; die verbleibenden Restabfälle sind gemeinwohlerträglich zu beseitigen. Abfallwirtschaftliches Ziel ist die Gewährleistung einer hochwertigen und vollständigen Verwertung zumindest der Siedlungsabfälle bis spätestens zum Jahr 2020 unter Einhaltung hoher, schutzgutorientierter Standards („Ziel 2020“). Das gesamte Abfallaufkommen in Deutschland beträgt jährlich rund 380 Mio. t. Darunter mit ca. 60 % Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Straßenaufbruch), ca. 14 % waren in 2002 Siedlungsabfälle und der Anteil an besonders überwachungsbedürftigen Abfällen („Sonderabfälle“) betrug ca. 5 % (19 Mio. t).<sup>31</sup>

Das **Abfallrecht** regelt die Behandlung, den Transport sowie die Entsorgung von Abfällen und ist ein Teilgebiet des Umweltrechts. Es ist stark von europäischem Recht beeinflusst, das entweder mittelbar das deutsche Recht bestimmt (z. B. Abfallrahmenrichtlinie) oder unmittelbar verbindliches Recht setzt (z. B. Abfallverbringungsverordnung). Auf Bundesebene ist die Abfallwirtschaft vor allem durch das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) geregelt, das durch eine Vielzahl von Rechtsverordnungen ergänzt und ausgefüllt wird. So konkretisiert beispielsweise die *Verpackungsverordnung* für die Hersteller von Transport-, Um- und Verkaufsverpackungen die im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz angelegte Produktverantwortung für Hersteller und Vertreiber von Produkten, und die *Nachweisverordnung* regelt die Einzelheiten der Nachweisführung über den Verbleib von Abfällen, die überwachungsbedürftig sind. Neben das Bundesabfallrecht tritt das Abfallrecht der Bundesländer, das die bundesrechtlichen Bestimmungen ergänzt. Die Behandlung und der Verbleib bestimmter Stoffe ist durch Spezialvorschriften geregelt (z. B. radioaktive Stoffe, Organeile).

Die **Gesetzgebung** ist derzeit der Hauptmarkttreiber (= politikgetriebener Markt), da mit dem Abfallrecht zahlreiche Entsorgungs- und Umweltstandards festgeschrieben werden, die Investitionen nach sich ziehen. Auf der Grundlage der Technischen Anlei-

---

<sup>31</sup> [www.umweltbundesamt.de/abfallwirtschaft/abfallwirtschaft.htm](http://www.umweltbundesamt.de/abfallwirtschaft/abfallwirtschaft.htm) (abgerufen am 25.07.07).

tung Siedlungsabfall (TASi) sollen nach Angabe von Prognos (2005) beispielsweise Investitionen in einer Größenordnung von bis zu 20 Mrd. € bis zur Erreichung des „Ziels 2005“ getätigt worden sein. Für jede Milliarde seit 1993 getätigter bzw. noch durchzuführender Investitionen sind nach dieser Studie rund 650 Dauerarbeitsplätze entstanden bzw. seien noch zu erwarten (Prognos AG 2005). Bei einer sich fortsetzenden Entwicklung der selektiven Sammlung und des Recyclings ist mit einer weiteren Erhöhung der gesetzlichen Regelungen zu rechnen, die auch weitere Entwicklungsschübe in den Abfall- und Recyclingtechnologien initiieren können.

In den Diskussionen um innovationsfördernde Maßnahmen wird zudem der **Abfall-Definition** eine besondere Bedeutung zugeschrieben. Hier liegen zwei unterschiedliche Positionen vor, wobei beide das Ziel einer umweltgerechten Abfallbehandlung verfolgen:

- Mehr Regulierung: Sofern alle Materialien in der Kreislaufwirtschaftswertschöpfungskette als „Abfall“ definiert werden, kann die Gesetzgebung die erhöhten Forderungen, z. B. an den Umweltschutz, auf die gesamte Wertschöpfungskette ausdehnen. Diese erhöhten Forderungen an Umweltaspekte können die Konkurrenz aus anderen Ländern ggf. zurückhalten, da sie die erhöhten Auflagen möglicherweise nicht erfüllen können (EIAG 2006). Die aus der Politik vorgegebenen Recycling- und Wiederverwertungsziele werden als Schlüsselfaktoren für die Branchenentwicklung angesehen.
- Weniger Regulierung: Die Environmental Innovations Advisory Group (EIAG) sieht die Abfall-Definition als ein signifikantes Hemmnis für Innovationen und hält deren Überarbeitung für notwendig (EIAG 2006). Begründet wird dies mit der detaillierten Definition von Abfall, bei der nicht klar genug ist, wann „Abfall“ „kein Abfall“ mehr ist. Abfall steht unter rigider Kontrolle von Behandlung und Transport (Lizenzen). Dies bedeute, dass umweltschonendere Verfahren wie Wiederverwendung oder Recycling aufwendiger und teurer sind als die Deponierung. Die EIAG fordert, dass nicht „Abfall“ einer besonderen Kontrolle unterliegen sollte, sondern die Kontrolle in Abhängigkeit vom Gefährdungspotenzial bzw. vom Nachhaltigkeitspotenzial erfolgen sollte (unabhängig ob Abfall oder Nicht-Abfall) (= risikogeleitete Kontrollen).

Neben dem „politikgetriebenen Markt“, der durch gesetzliche Regulierungen geprägt ist, unterstützen auch steigende Energie- und Rohstoffpreise die Konkurrenzfähigkeit von Sekundärrohstoffen. Zudem geht ein Marktdruck von den Verbrauchern sowie von Initiativen (z. B. der öffentlichen Verwaltung oder von Nicht-Regierungsorganisationen) vor allem in Richtung umweltfreundliche Abfallverwertung und -beseitigung, z. B. durch Secondhand-Märkte, Getrenntsammlung, Kompostierung, Biomethanproduktion, etc., aus.

Durch die erhöhte **Konkurrenzfähigkeit von Sekundärrohstoffen** steht die Kreislauf- und Recyclingwirtschaft in einigen Bereichen in Konkurrenz mit den Produzenten der Primärrohstoffe bzw. der Primärprodukte, vor allem bei *eisenhaltigen und nicht-eisenhaltigen Metallen* sowie bei *Papier* und *Glas*. Das Recycling industrieller Kunststoffabfälle (z. B. von LDPE – Polyethylen niedriger Dichte, Polypropylen) steht ebenfalls in Konkurrenz zur Produktion dieser Materialien aus Primärrohstoffen. Bei anderen Abfallfraktionen, wie z. B. bei Kunststoffen aus Siedlungsabfällen oder sonstigen Produkten (u. a. Autoreifen, Alt-KFZ, Batterien) besteht derzeit kein branchenübergreifender Wettbewerb, da diese Aktivitäten aktuell nicht marktgetrieben, sondern – z. B. über gesetzlich festgeschriebene Recyclingquoten – politikgetrieben sind.

Die **Akteurslandschaft** ist in der Abfallwirtschaft geprägt durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) und durch privatwirtschaftliche Unternehmen. Die örE führen den öffentlichen Entsorgungsauftrag durch, der sich vor allem auf die Siedlungsabfälle bzw. siedlungsabfallähnliche Gewerbeabfälle konzentriert. Die örE, die auf kommunaler Ebene organisiert sind, schließen sich vermehrt zu interkommunalen Kooperationen zusammen (z. B. Zweckverbände) und bündeln hierdurch ihre gesetzlichen Aufgaben im Bereich Abfall (Waldapfel 2007). Auch der privatwirtschaftliche Markt ist derzeit durch eine große Dynamik im Hinblick auf Kooperationen bzw. Unternehmensauf- und -verkäufe geprägt.

Technologien in der Kreislaufwirtschaft sind zunehmend auch hoch entwickelte Technologien, wie sie z. B. bei den optoelektronischen Stofferkennungs- und -trennverfahren eingesetzt werden. Durch diese innovativen Technologien können die Reinheit sowie der Umsatz der einzelnen Stoffströme erhöht werden; darüber hinaus werden hierdurch personalintensive Tätigkeiten ersetzt (v. a. im Bereich der gering qualifizierten Tätigkeitsfelder). Dies reduziert einerseits die Kosten und ermöglicht andererseits die Erschließung neuer Märkte durch die erhöhte Reinheit der bereitgestellten (Sekundär-)Rohstoffe.

Derzeit gelangen Sekundärrohstoffe aus Deutschland und anderen industrialisierten Ländern häufig in Schwellenländern, wo sie kostengünstiger aufgearbeitet werden können. Hier sollte es langfristige Strategie sein, besonders vulnerable (bezüglich Nettoimporte, Konzentration der Produktionsstätten, politische Stabilität der Förderländer) Materialien mehr im Kreislauf zu führen oder zu substituieren. Deutschland hat beim Know-How bezgl. Recyclingverfahren eine gute Ausgangsposition für diesen Strategiewechsel.

Investitionen in **Forschung und Entwicklung** sowie in **Demonstrationsprojekte** unterstützen die Entwicklung innovativer Technologien und Verfahren. Zwei ausgewählte

Beispiele zur Förderung von Forschung und Entwicklung sind der *Eurobot<sup>open</sup> 2007*, bei dem Roboter im Wettbewerb Abfall sortieren<sup>32</sup> sowie der BMBF-Forschungsschwerpunkt „Optimale Transporte in der Kreislauf- und Abfallwirtschaft.“<sup>33</sup>

Ein weiterer wichtiger Aspekt sind die **Investitionskosten** der Anlagen. Abfallbehandlungsanlagen (z. B. Müllverbrennungsanlagen) sind kapitalintensive Investitionen mit vergleichsweise geringen laufenden Kosten; die Finanzierungskosten bzw. die Erhöhung der Zinssätze beeinflussen daher die Rentabilität der Anlagen. Die zunehmende Automatisierung (z. B. bei der Stofferkennung und -trennung) geht mit erhöhten Investitionskosten und damit auch mit einem erhöhten Finanzierungsrisiko einher.

### 7.4.2 Fazit

Im Folgenden wird ein kurzes Fazit zu den Bereichen Innovationsdynamik, Marktpotenzial und Wettbewerbsfähigkeit gezogen. Ergänzende Information kann der Tabelle mit der SWOT-Analyse entnommen werden. Einen Überblick über die Leistungsfähigkeit im internationalen Vergleich liefert Abbildung 7-17.

Folgende Ergebnisse sind festzuhalten:

- **Marktpotenzial:** Aufgrund der Zunahme der Regulierungen im Hinblick auf Recyclingquoten sowie emissionsreduzierende Maßnahmen ist mit einem steigenden internationalen Bedarf an diesen Technologien zu rechnen (politik-getriebene Entwicklung). Darüber hinaus werden die Sekundärrohstoffe durch steigende Primärrohstoff- sowie Energiekosten zunehmend konkurrenzfähig (markt-getriebene Entwicklung). Durch Maßnahmen zur Abfallreduzierung (z. B. Abkopplung der Abfallerzeugung vom Wirtschaftswachstum) kann allerdings das Marktvolumen reduziert werden.
- **Patente:** Die Patentrecherche zeigt, dass Deutschland bei fast allen Produktgruppen und Technologielinien im Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft gut aufgestellt ist. Vor allen in den Produktgruppen Produktionsprozesse und Deponierung liegt es aber hinter der USA bzw. Japan. Auf die EU27 entfällt die Hälfte der weltweiten Patentanmeldungen; die Spezialisierung der Länder in Patenten auf die Kreislaufwirtschaft war uneinheitlich. Der RPA für Deutschland war positiv, nahm aber in den betrachteten Zeiträumen ab.
- **Außenhandel:** Insgesamt ist Deutschland Weltmarktführer, vor den USA und Japan. Unter den großen Wirtschaftsregionen liegt die EU - gemessen ohne Intra-EU-

---

<sup>32</sup> [www.eurobot.org](http://www.eurobot.org)

<sup>33</sup> [www.kreislaufwirtschaft.net](http://www.kreislaufwirtschaft.net)

Handel - liegt klar vorne und weist einen in etwa doppelt so hohen Welthandelsanteil auf wie die zweitplazierten USA. Gemessen am RCA sind aber auch Japan und die USA gut positioniert.

Abbildung 7-17: Überblick über die Leistungsfähigkeit im internationalen Vergleich im Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft

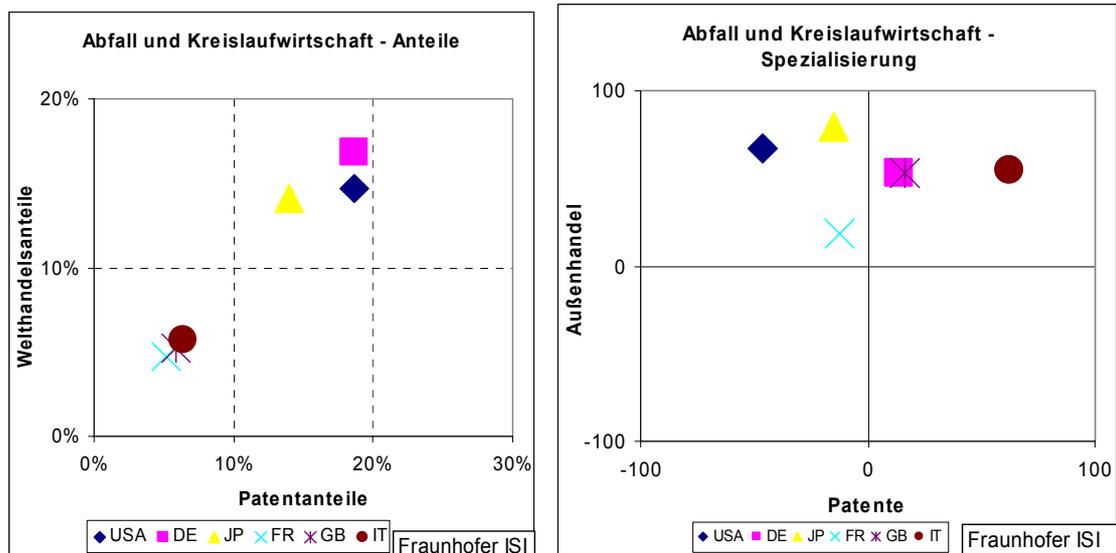


Tabelle 7-3: Vergleich von Wettbewerbsfähigkeit und Marktpotenzial der verschiedenen Produktgruppen des Handlungsfeldes Abfall- und Kreislaufwirtschaft

Produktgruppe	Patente		Außenhandel		Marktpotenzial
	relative Position	wichtigste Konkurrenten	relative Position	wichtigste Konkurrenten	
<b>Abfall- und Kreislaufwirtschaft gesamt</b>	<b>sehr hoch</b>	<b>US, JP, IT</b>	<b>sehr gut</b>	<b>US, JP, IT</b>	<b>hoch</b>
Sammeln	hoch	GB, US, ES	sehr gut	US, IT	hoch
Zerkleinern	hoch	US, JP	sehr gut	IT, JP	hoch
Trennen	hoch	US, GB	gut	US, IT	hoch
Recycling	sehr hoch	US, JP, IT	gut	US, JP	hoch
Abfallbehandlung	hoch	US, JP	sehr gut	IT, US, JP	hoch
Energetische Verwertung	hoch	JP, US, IT	sehr gut	JP, US, IT	hoch
Deponierung	mittel - hoch	JP, US, KR	gut	US, JP, GB	hoch
Abfallarme Produktionsprozesse	hoch	US, JP, KR	gut	JP, US	hoch

Tabelle 7-4: Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Abfall- und Kreislaufwirtschaft

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deutsche Akteure sind aufgrund der leistungsfähigen Industrie und Forschung sowie der hohen Umweltstandards, die ganz wesentlich zur technologischen Entwicklung beigetragen haben, im internationalen Umfeld gut positioniert</li> <li>• Das Einsammeln der Abfälle sowie voraussichtlich auch die Erstsortierung bleiben unmittelbar lokal ausgerichtet; auch die Arbeitsplätze verbleiben damit am Ort der Abfallentstehung.</li> <li>• Im Bereich der selektiven Sammlung und Wiederaufbereitung sind Deutschland sowie einige weitere EU Mitgliedsstaaten hoch entwickelt und modern.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei einem weiteren Anstieg der Rohstoffpreise für fossile Rohstoffe werden die recycelten Materialien vermehrt konkurrenzfähig und profitabler. Nachfrage nach Technologien zur Kreislaufwirtschaft entwickelt sich stärker durch den Markt getrieben.</li> <li>• In der Optimierung des Recyclings von end-of-life-Produkten steckt ein großes Potenzial.</li> <li>• Durch eine zunehmende Rohstoffknappheit sowie neue technologische Verfahren können neue Märkte entstehen (vergleichbar mit PET-Recycling).</li> <li>• Die Erfahrung bzgl. Sammlung und Wiederaufbereitung kann auf andere Länder (z. B. EU-Mitglieder, EU-Beitrittskandidaten, Schwellenländer) im Zuge einer Markterweiterung übertragen werden.</li> </ul>
Schwächen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeits- und Deponiekosten für den Restmüll sind im Vergleich zu anderen Ländern relativ hoch, sodass alle arbeitsintensiven Tätigkeiten, die lokal nicht gebunden sind, in günstigere Länder (z. B. in Asien) abwandern (insbesondere Zweitsortierung und Kunststoffrecycling).</li> <li>• Bei vollautomatischen Verfahren verringert sich das Problem-/Umweltbewusstsein der Konsumenten.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Rückgang der Abfallmengen kann zu einer Verkleinerung des Gesamtmarktes führen.</li> <li>• Zusätzlich kann die zunehmende Automatisierung (Stofferkennungs- und -trennverfahren) zu einem beträchtlichen Rückgang bei der Beschäftigung in bestimmten Bereichen führen (v. a. bei niedrigqualifizierten Beschäftigungsverhältnissen).</li> <li>• Neue vollautomatische Sortierverfahren machen ggf. die Mülltrennung unmittelbar beim Verbraucher obsolet; damit verbunden sind gesellschaftliche Lernprozesse, die politisch unterstützt werden müssen.</li> </ul>

## 8 Zukunftsmarkt Weiße Biotechnologie

### 8.1 Abgrenzung und Technologiebeschreibung

Unter Biotechnologie wird die Umsetzung von Erkenntnissen aus der Biologie und der Biochemie in technische oder technisch nutzbare Elemente verstanden. Nach einer grundlegenden Definition der OECD ist Biotechnologie die Anwendung von Wissenschaft und Technik auf lebende Organismen, Teile von ihnen, ihre Produkte oder Modelle von ihnen zwecks der Veränderung von lebender oder nichtlebender Materie zur Erweiterung des Wissensstandes, zur Herstellung von Gütern und zur Bereitstellung von Dienstleistungen (vgl. OECD 2007).

Biotechnische Verfahren werden in einfacher Form bereits seit Jahrtausenden z. B. für die Herstellung von Bier oder Wein durch Fermentation genutzt. In der modernen Biotechnologie werden dagegen mit Methoden der Gentechnik und der Molekularbiologie Mikroorganismen bzw. deren Bestandteile selektiert und genetisch verändert, um gewünschte Eigenschaften zu erhalten. Die theoretischen Grundlagen dieser Methoden stellen vor allem die Erkenntnisse der Genforschung und der Genomforschung dar, die mit der Entdeckung der Desoxyribonukleinsäure (DNS) als Erbsubstanz in den 1950er Jahren ihren Anfang nahmen. Erst dadurch wurden die gezielte Analyse und Steuerung der genetischen Codierung und damit der zellulären Funktionen und Eigenschaften möglich. Anfang des 20. Jahrhunderts wurde der Begriff Biotechnologie für alle Verfahren eingeführt, mit denen Produkte aus Rohstoffen unter Zuhilfenahme von Mikroorganismen erzeugt werden (vgl. BMBF 2000).

Die moderne Biotechnologie stellt eine wissensintensive Querschnittstechnologie dar, die neben der Biologie und der Biochemie auch Erkenntnisse aus verschiedenen anderen Disziplinen wie z. B. der Chemie, der Physik und der Verfahrenstechnik nutzt (vgl. DECHEMA 2004). Für die Anwendung der Biotechnologie lassen sich aus diesen Erkenntnissen vielfältige Möglichkeiten für eine gezielte Nutzung und Anpassung von Mikroorganismen und deren Bestandteilen (z. B. Enzymen) ableiten. Teilfelder der Biologie und der Biochemie wie die Genomforschung, die Systembiologie, das „Upscaling“ von Bioreaktoren und die Bioinformatik besitzen dabei Schlüsselfunktionen (McKinsey 2006b).

Durch den wissenschaftlichen Erkenntnisfortschritt der im Bereich der Biotechnologie in den letzten Jahrzehnten gemacht wurde sowie ihre Einsatzmöglichkeiten z. B. in der Medizin, der industriellen Produktion und der Landwirtschaft, hat sich eine bedeutende Forschungs- und Wirtschaftsstruktur entwickelt. Im Jahr 2005 waren in Deutschland rund 480, in der Mehrzahl kleine und mittlere Unternehmen dezidiert in der Biotechno-

logie tätig<sup>34</sup>. Sie beschäftigten ca. 13.000 Mitarbeiter und erwirtschafteten einen Umsatz von ca. 1,5 Mrd. Euro (Biocom 2006).

Um die Vielfalt der Forschungsthemen und Anwendungsmöglichkeiten der Biotechnologie zu strukturieren und voneinander abzugrenzen, wird in Literatur und Wissenschaft oft in die folgenden Teilfelder untergliedert:

- Grüne Biotechnologie: Sie beschäftigt sich mit der gezielten Veränderung von Pflanzen und deren Eigenschaften, um z. B. Schädlings- oder Witterungsresistenzen zu erzeugen.
- Rote Biotechnologie: Sie fokussiert auf medizinische Anwendungen wie z. B. neue Medikamente und Heilmöglichkeiten zur Behandlung von Krankheiten oder genetisch bedingten Defekten.
- Weiße Biotechnologie: Unter weißer oder auch industrieller Biotechnologie wird die Nutzung biologischer Mittel wie z. B. Mikroorganismen zur Herstellung von (Zwischen-)Produkten oder zur Optimierung industrieller Prozesse verstanden.
- Blaue und Graue Biotechnologie: Neben den genannten Hauptkategorien gibt es weitere Unterteilungen der Biotechnologie. Während sich blaue Biotechnologie schwerpunktmäßig mit der Verwendung von Prozessen und Organismen der marinen Biologie befasst, fällt die Definition der grauen Biotechnologie schwerer, da sich diese in großer inhaltlicher Nähe zur weißen Biotechnologie bewegt. Unter grauer Biotechnologie kann jedoch in Abgrenzung zur weißen der Einsatz der Technologie für den Umweltschutz, wie z. B. die Extraktion von Schadstoffen aus dem Boden oder auch die Abwasserreinigung verstanden werden.

### 8.1.1 Weiße Biotechnologie

Als Handlungsfeld einer innovationsorientierten Umweltpolitik ist insbesondere die weiße Biotechnologie von großem Interesse. Sie wird in der Öffentlichkeit bisher kaum wahrgenommen, da sie vor allem in der Produktion von Grundstoffen und Zwischenprodukten zur Anwendung kommt und ihr Einsatz in Endprodukten für Laien nur schwer erkennbar ist.

Weiße Biotechnologie nutzt insbesondere Enzyme, Mikroorganismen und zelluläre Systeme, um mit deren Hilfe Produkte z. B. in den Branchen der Chemie-, der Nahrungs- und Futtermittel-, der Papier- und Zellstoffindustrie, der Textilindustrie und Energieerzeugung herzustellen (vgl. EuropaBio). Verfahren der weißen Biotechnologie

---

<sup>34</sup> Unter einem dezidierten Biotechnologieunternehmen wird ein Unternehmen verstanden, dessen wesentliches Unternehmensziel die Anwendung biotechnologischer Verfahren zur Herstellung von Produkten oder der Bereitstellung von Dienstleistungen oder der Durchführung biotechnologischer Forschung und Entwicklung ist (vgl. Biocom 2006).

sind seit Jahrtausenden aus der Erzeugung von Lebensmitteln bekannt (z. B. Herstellung von Wein, Bier, Käse, Joghurt, Essig etc.). Ihr volles Potenzial wurde jedoch erst mit der Entwicklung der Methoden der modernen Biotechnologie und dem damit verbundenen Erkenntnisgewinn über den Aufbau und die Wirkprinzipien von Mikroorganismen deutlich. Ein bekanntes Beispiel einer neueren Anwendung weißer Biotechnologie ist der Einsatz von biotechnologisch produzierten Enzymen in Waschmitteln. Durch ihren Einsatz wird eine bessere Reinigungswirkung bei niedrigeren Waschttemperaturen erzielt. Weitere Beispiele sind z. B. die Erzeugung von Vitaminen und Aminosäuren für die Nahrungs- und Futtermittelindustrie.

Mit der weißen Biotechnologie verbindet sich die Hoffnung, klassische-chemische und physikalisch-technische Prozesse durch neu entwickelte biotechnologische Verfahren zu ergänzen oder zu ersetzen, die insgesamt weniger Rohstoffe und Energie verbrauchen und somit umweltfreundlicher sind (vgl. BMBF 2000). Einer der wesentlichen Vorteile biotechnologischer Verfahren liegt darin, dass durch den Einsatz von Mikroorganismen bzw. Enzymen als Biokatalysatoren Reaktionen ermöglicht werden bzw. unter wesentlich mildereren Reaktionsbedingungen (z. B. Druck, Temperatur, Säuregehalt und Energie) stattfinden können. Mit der weißen Biotechnologie verbindet sich daher auch das Ziel, chemische Prozesse durch neu entwickelte biotechnologische Verfahren zu ergänzen oder zu ersetzen, die insgesamt weniger Rohstoffe und Energie verbrauchen und somit umweltfreundlicher sind (vgl. z. B. Dürkop, Dubbert, Nöh 1999 oder BMBF 2000).

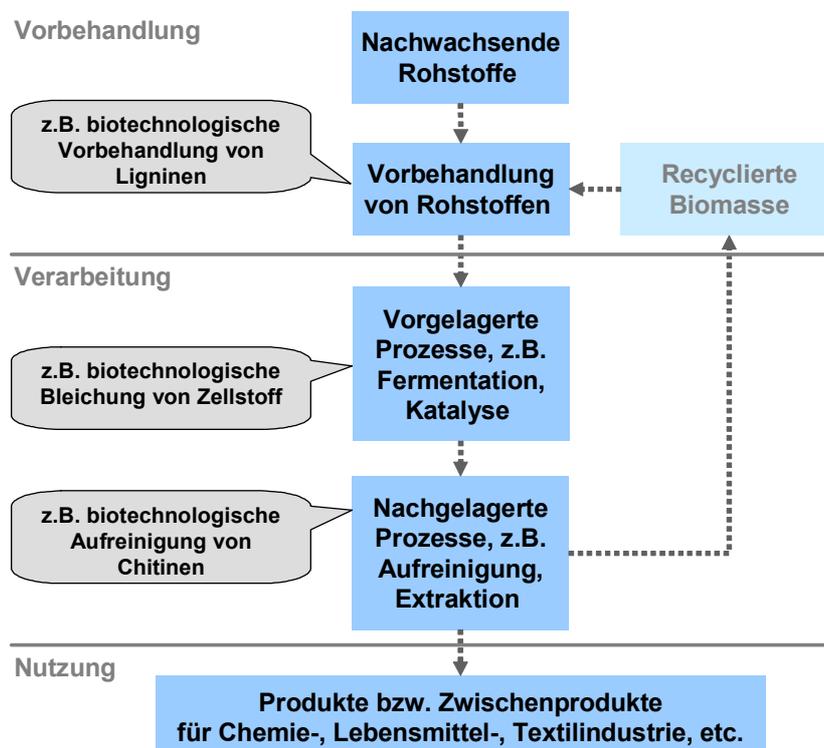
Grundsätzlich können neben den genannten Mikroorganismen auch höhere Organismen, wie z. B. Pflanzen zum Einsatz kommen. So wird beispielsweise an transgenen Pflanzen für die Erzeugung von Biopolymeren geforscht. Nach der Ernte und der Extraktion der Polymere könnten diese z. B. direkt für die Produktion von Biokunststoffen genutzt werden.

Ansätze der weißen Biotechnologie können dazu beitragen, Produktionskosten zu reduzieren, neue Absatzmärkte durch innovative Technologien und Produkte zu schaffen und gleichzeitig Umwelt und Ressourcen zu schützen. Schätzungen der OECD gehen beispielsweise davon aus, dass bei einem großflächigen Einsatz biotechnologischer Verfahren die weltweiten Emissionen umwelt- und gesundheitsgefährdender Substanzen um 50 % reduziert werden könnten (vgl. DECHEMA 2004). McKinsey schätzt das weltweite Reduktionspotenzial von CO<sub>2</sub>-Emissionen, das durch den Einsatz von biotechnologischen Verfahren erreicht werden könnte auf 65 bis 180 Mio. t/a (DECHEMA 2004).

Ein zusätzlicher positiver Effekt der weißen Biotechnologie beruht auf einer verstärkten Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Ausgangsmaterial für industrielle Prozesse. So lassen sich beispielsweise Stärke, pflanzliche Öle, Cellulose etc. zu Polymeren, Fasern, Chemikalien oder Kraftstoffen umsetzen. Ein Beispiel hierfür stellt die Produktion von Biokunststoffen aus Polylactid dar, das aus biotechnologisch erzeugter Milchsäure synthetisiert wird (EuropaBio).

Ein vereinfachter Prozessablauf für die biotechnologische Erzeugung von Produkten ist in Abbildung 8-1 dargestellt. Nach dieser Darstellung kann die biotechnologische Erzeugung von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen grob in drei Phasen unterteilt werden: die Vorbehandlung von Rohstoffen, die Verarbeitung und die Differenzierung der Produkte in Materialien bzw. Energien, Bulkprodukte und -chemikalien sowie Fein- und Spezialchemikalien. Biotechnologische Verfahren können dabei, wie die Abbildung verdeutlicht, in unterschiedlichen Prozessschritten zum Einsatz kommen.

Abbildung 8-1: Vereinfachter Ablauf für die Erzeugung biotechnologischer Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen (eigene Darstellung in Anlehnung an MRST 2005)



### **8.1.2 Technologielinien und Anwendungsfelder der weißen Biotechnologie**

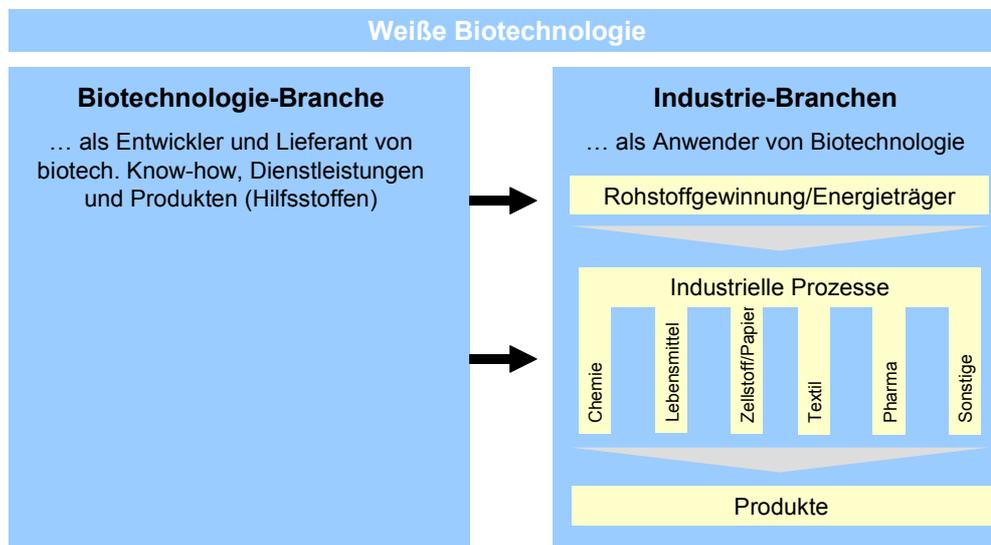
In den vorangegangenen Abschnitten wurde bereits deutlich, dass die weiße Biotechnologie stark branchenübergreifenden und interdisziplinären Charakter besitzt und in ihrer heutigen, auf den Methoden der modernen Biotechnologie basierenden Form, eine relativ junge wissenschaftliche Disziplin ist. Ihre Entwicklungs- und Innovationsdynamik ist daher auch in hohem Maße vom Fortschritt in der Biologie und der Biochemie und anderen Hilfswissenschaften, wie z. B. der Verfahrenstechnik, der Informatik, der Mikroelektronik und der Optik, abhängig. Die komplexe Innovationsdynamik in diesen naturwissenschaftlich-technischen Teilfeldern wird in dieser Analyse nicht betrachtet, da sie umfangreiche Roadmaps und Prognosen in den genannten Disziplinen und deren Zusammenwirken voraussetzen würde.

Für die nachfolgende Differenzierung der Technologielinien und Anwendungsfelder werden dagegen die an der Entwicklung und Nutzung der weißen Biotechnologie beteiligten industriellen Branchen und deren Produkte herangezogen. Dabei kann zunächst unterschieden werden zwischen:

- der Biotechnologiebranche im eigentlichen Sinne, die in der biotechnologischen Forschung und Entwicklung tätig ist, durch Anwendung biotechnologischer Verfahren Vor-, Zwischen- und Endprodukte herstellt und Dienstleistungen z. B. in Form von verfahrenstechnischem Know-how anbietet. Der Anteil der Unternehmen der Biotechnologiebranche, die sich schwerpunktmäßig mit weißer Biotechnologie beschäftigt, liegt nach eigenen Angaben der Branche bei ca. 13 % (siehe Biocom 2006). Oftmals handelt es sich bei den Unternehmen um kleine, hoch spezialisierte Betriebe mit spezifischen Fachkenntnissen oder Großunternehmen aus der chemischen Industrie;
- industriellen Anwenderbranchen, die in erster Linie Nutzer von biotechnologischen Verfahren und Produkten sind. Diese wenden die Verfahren der Biotechnologiebranche an oder nutzen die Vor- und Zwischenprodukte für ihre eigene Produktion. Es handelt sich dabei um Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen (z. B. Papier-, Textil- oder Nahrungsmittelindustrie), die oftmals konventionelle chemische Verfahren oder Verfahrensschritte durch biotechnologische ersetzen, weil ihnen daraus Kostenvorteile entstehen.

Der Zusammenhang zwischen der Biotechnologiebranche sowie den Anwenderbranchen im Bereich der weißen Biotechnologie ist in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

Abbildung 8-2: Weiße Biotechnologie und ihre Anwendungen



In den nachfolgenden Abschnitten werden die Branche der weißen Biotechnologie, ihre Produkte sowie ausgewählte Anwenderbranchen vorgestellt.

### Chemische Industrie und die Branche der weißen Biotechnologie

Die Branche der weißen Biotechnologie besitzt eine starke inhaltliche und organisatorische Verankerung in der chemischen Industrie und viele biotechnologische Verfahren wurden und werden als alternative Synthesewege zu chemischen Verfahren entwickelt.

Die Mehrzahl der Verfahren der weißen Biotechnologie nutzt Mikroorganismen oder deren Bestandteile, z. B. Enzyme (auch Biokatalysatoren genannt). Durch ihren Einsatz sollen effizientere und qualitativ bessere Reaktionsbedingungen z. B. in Form von geringerem Energieeinsatz, größerer Ausbeute etc. erzielt werden (DECHEMA 2004). Die im Bereich der weißen Biotechnologie tätigen Forschungsorganisationen und Unternehmen nutzen dafür Methoden der modernen Biotechnologie sowie der Verfahrenstechnik und Informatik. Die Branche der weißen Biotechnologie ist, wie auch die chemische Industrie, somit sowohl Anbieter von Ausgangsmaterialien, Zwischenprodukten und Verfahrens-Know-How als auch Anwender derselben.

Die Vor-, Zwischen- und Endprodukte der weißen Biotechnologie werden analog zu denen der chemischen Industrie unterschieden in (siehe DECHEMA 2004):

- Bulkprodukte und Polymere: Darunter werden Produkte verstanden, von denen jährlich mehr als 10.000 Tonnen hergestellt werden und die oftmals Ausgangsmaterialien für weitere industrielle Verarbeitungsprozesse darstellen. Zu den durch weiße Biotechnologie produzierten Bulkprodukten gehören z. B. L-Glutaminsäure, Milch-

säure, Zitronensäure und Vitamin C. Abhängig von der produzierten Menge können hierzu auch Biopolymere gezählt werden, die aus nachwachsenden Rohstoffen wie z. B. Stärke und Cellulose hergestellt werden und die wichtigsten Ausgangsmaterialien für Biokunststoffe<sup>35</sup> bilden. Sie werden in Reinform oder als sogenannte Kunststoffblends in Verbindung mit klassischen Polymeren verarbeitet. Trotz ihres bisher geringen Marktanteils entwickelt sich der Markt der Biokunststoffe dynamisch. Insbesondere US-amerikanische Chemieunternehmen wie DuPont, Procter & Gamble und die japanische Automobilindustrie haben für die nächsten Jahre eine Steigerung ihrer Produktionskapazitäten und einen Ausbau von Forschungsaktivitäten für Biokunststoffe angekündigt (siehe z. B. Dechema 2004, Toyota 2006 und Mazda 2006).

- **Fein- und Spezialchemikalien:** Darunter werden Chemikalien mit hohem Funktionalisierungsgrad verstanden, die typischerweise in kleineren Maßstäben unter 10.000 t/a hergestellt werden. Hierzu zählen beispielsweise Enzyme, die eine Voraussetzung für die Nutzung biotechnologischer Verfahren in anderen industriellen Anwenderbranchen darstellen.
- **Energieträger:** Überwiegende Grundlage der heute industriell realisierten biotechnologischen Prozesse sind Kohlenhydrate und Zucker aus nachwachsenden Rohstoffen. Sie stellen einen wichtigen Energieträger dar, da sie durch Fermentation in Ethanol umgewandelt werden können. Ethanol direkt oder als ETBE (Ethyl tertiär butyl ether) kann durch Beimischung zum Ottokraftstoff einen Teil der konventionellen fossilen Kraftstoffe ersetzen. Weitere auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen produzierbare Energieträger stellen Biogas und Wasserstoff dar (vgl. Kapitel 2 und 6).

Wie bereits erwähnt ist die chemische Industrie selbst ein wichtiger Anwender der weißen Biotechnologie. Beispielsweise dient das enzymatisch hergestellte Bulkprodukt Acrylamid in der chemischen Industrie als Ausgangsmaterial für die Produktion von Farbstoffen und dem Kunststoff Polyacrylamid (siehe DECHEMA 2004). Ein Beispiel für die Kategorie der Fein- und Spezialchemikalien ist die biotechnologische Produktion von Enzymen, die einen wichtigen Bestandteil von Waschmitteln bilden.

### **Lebensmittelindustrie**

Die Lebensmittelindustrie ist einer der größten europäischen Arbeitgeber und ein wichtiger Anwender und Weiterverarbeiter von Produkten der weißen Biotechnologie. Dies gilt zum einen für die von der chemischen Industrie gelieferten biotechnologisch produ-

---

<sup>35</sup> Die Definition des Begriffes Biokunststoff wird in der Fachliteratur nicht einheitlich wiedergegeben. Teilweise werden auch petrochemische aber biologisch abbaubare Kunststoffe zu den Biokunststoffen gezählt. Nach FNR (2006) können Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sowohl biologisch abbaubar als auch nicht abbaubar sein. Biokunststoffe werden sowohl mit Hilfe biotechnologischer als auch konventioneller Verfahren hergestellt.

zierten Chemikalien und Ausgangsmaterialien, wie z. B. Vitamin C und Zitronensäure, die als Konservierungsstoff oder Säuerungsmittel zum Einsatz kommen. Zum anderen ist die Lebensmittelindustrie selbst Anwender vieler biotechnologischer Verfahren z. B. für die Fermentation von Milch in der Käse- und Joghurtproduktion, Brotteig oder der Herstellung von Wein und Bier. Auch in der Produktion und Weiterverarbeitung von Süßstoffen, Ölen und Aminosäuren spielen biotechnologische Verfahren eine zentrale Rolle (EuropaBio). Ein wachsender Markt wird auch in „Functional Foods“ und „Nutraceuticals“ gesehen, die unter anderem aus biotechnologisch produzierten Aminosäuren, Vitaminen etc. bestehen (DECHEMA 2004).

### **Zellstoff- und Papierindustrie**

Weltweit werden rund 340 Millionen Tonnen Papier aus Zellstoff und Altpapier hergestellt. Dies stellt weltweit eine der größten Nutzungen von natürlichen Rohstoffen für die Herstellung von Konsumerprodukten dar (EuropaBio). Traditionell wurden eine Reihe biotechnologischer Verfahren in der Zellstoff- und Papierindustrie für die Vorbehandlung der Zellulose sowie die Bleichung eingesetzt, die dann aber durch chemische Behandlungs- und Bleichverfahren ersetzt wurden. Inzwischen wird an einer Vielzahl biotechnologischer Anwendungen in der Zellstoff- und Papierindustrie geforscht, die vom Faseraufschluss, über die Bleichung mit Hilfe von Enzymen bis zu neuen Produkteigenschaften reichen. Aufgrund der damit verbundenen potenziellen Rohstoff- und Energieeinsparungen stellt diese Branche ein wichtiges zukünftiges Anwendungsfeld der weißen Biotechnologie dar.

### **Textilindustrie**

In der Textilindustrie werden biotechnologische Verfahren insbesondere für die Veredelung von Fasern und Textilien eingesetzt. Für das Waschen und Vorbehandeln von Baum- und Schafswolle werden heute eine Reihe biotechnologischer Verfahren eingesetzt, um die Fasern zu reinigen und z. B. Stärke zu entfernen. Durch den Einsatz von Biotechnologie, vor allem Enzymen, kann der Energie- und Wasserverbrauch gesenkt und der Chemikalieneinsatz verringert werden.

Zukünftige Anwendungen der Biotechnologie in der Textilindustrie werden insbesondere in der Herstellung und Ausrüstung technischer und funktionaler Textilien wie z. B. antiallergischer, antibakterieller und kosmetischer Textilien gesehen (DECHEMA 2004). Ein weiteres Anwendungsgebiet liegt in der eigentlichen Faserherstellung. So werden unter verschiedenen Markennamen bereits Textilfasern angeboten, die aus biotechnologisch hergestellten Polylactiden bestehen (EuropaBio).

### **Pharmazeutische Industrie**

Die europäische pharmazeutische Industrie ist weltweit führend in der Herstellung von Medikamenten, Impfstoffen und Diagnostika (EuropaBio). Die Pharmaindustrie ist zudem ein bedeutender Abnehmer bzw. Hersteller biotechnologisch erzeugter Bulk- und Feinchemikalien. Die Mehrzahl der Antibiotika wird heute vollständig oder teilweise über Fermentationsprozesse mit gentechnisch veränderten Mikroorganismen hergestellt. Weitere biotechnologisch erzeugte Wirkstoffe sind sogenannte ACE-Inhibitoren<sup>36</sup>.

Große Anwendungspotenziale liegen zudem in der Produktion von sogenannten „Advanced Pharmaceutical Intermediates“ (APIs) sowie komplexer Biomoleküle wie z. B. Antikörper, Peptide und Proteine.

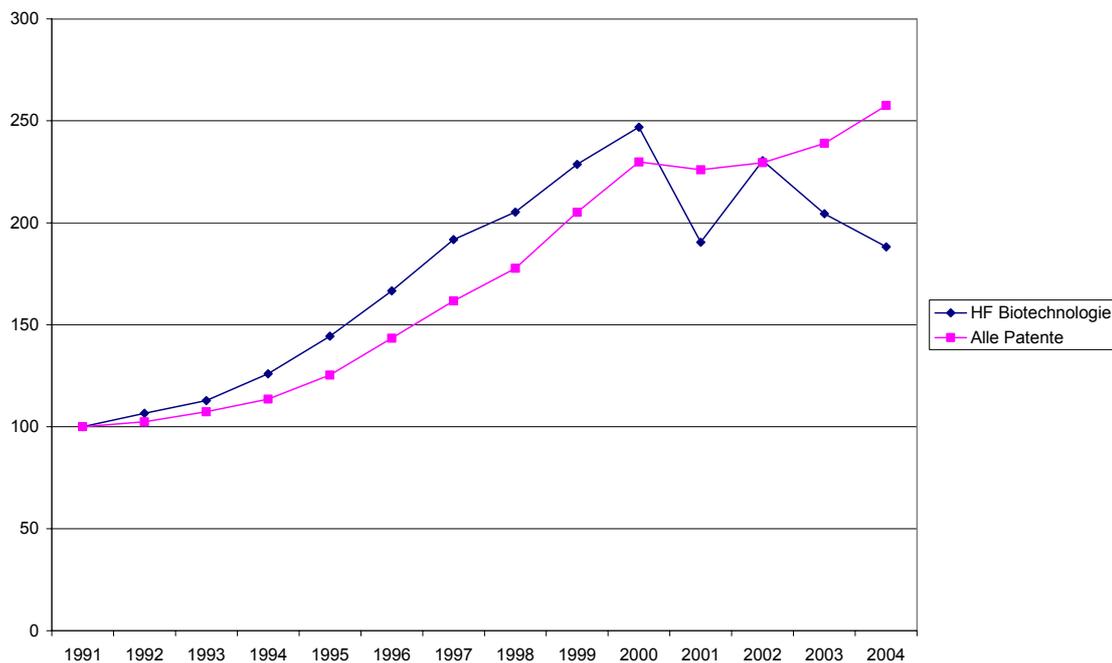
---

<sup>36</sup> Inhibitoren des „Angiotensin Converting Enzyme“, das Angiotensin I in Angiotensin II überführt. Ein Wirkstoff zur Behandlung chronischen Herzerkrankungen.

## 8.2 Innovationsdynamik und Marktpotenzial

### 8.2.1 Innovationsdynamik

Abbildung 8-3: Innovationsdynamik der jährlichen Patentanmeldungen im Handlungsfeld weiße Biotechnologie im Vergleich zu allen Anmeldungen (1991= 100)



Obwohl die Ursprünge der weißen Biotechnologie eine lange Historie aufweisen, wurden ihre Verfahren und Produkte im Laufe der Industrialisierung durch die intensive Nutzung fossiler Roh- und Brennstoffe immer weiter zurückgedrängt. In den letzten Jahren haben sich Forschung und Wirtschaft ihr wieder verstärkt zugewendet. Die Kombination der folgenden Faktoren wirkt sich dabei entscheidend auf die Innovationsdynamik der weißen Biotechnologie aus:

- Die Verknappung von Ressourcen und der Anstieg der Energie- und Rohstoffpreise. Diese rücken bisher weniger konkurrenzfähige Alternativen chemischer Prozesse in das Interesse von Forschung und Wirtschaft.
- Der verschärfte internationale Wettbewerb innerhalb der chemischen und biotechnologischen Industrie und der damit verbundene Druck zu Innovationen und Neuorientierung in deutschen Chemie- und Biotechnologieunternehmen (DECHEMA 2004).

- Der aus einer strengen Umweltgesetzgebung resultierende Bedarf an emissionsarmen Verfahren und Produkten (z. B. begründet durch die EU-Verordnungen REACH, RoHS, etc.).
- Der wissenschaftliche und technische Fortschritt in der Biotechnologie, der Biochemie, der Informatik und der Verfahrenstechnik, der eine gezielte Steuerung und Beeinflussung von Verfahren und Produkten mit Hilfe der Biotechnologie ermöglicht. Hier wirkt sich insbesondere die Integration der wissenschaftlichen Teildisziplinen geschwindigkeitsbestimmend auf den weiteren Fortschritt aus (vgl. Fischer, Hirth 2004).

Für eine Einschätzung der Innovationsdynamik ist die aktuelle Betrachtung zentraler Parameter der weißen Biotechnologie, wie z. B. Anzahl der tätigen Unternehmen und Gründungen, Umsätze, Patentanmeldungen etc. von Bedeutung. Diese werden in den nachfolgenden Kapiteln analysiert. Darüber hinaus ist die Abschätzung der zukünftigen wissenschaftlich-technologischen Entwicklungen in dem Themenfeld von großer Wichtigkeit, um Aussagen über die Innovationsdynamik machen zu können. Hierfür kann auf eine Reihe von verfügbaren Studien, Technologieroadmaps und Expertenbefragungen zurückgegriffen werden. Stellvertretend können hier z. B. die im Auftrag von britischen (vgl. IBTF 2004), neuseeländischen (vgl. MRST 2005) oder auch US-amerikanischen (siehe z. B. US BTAC 2002) Institutionen und Organisation erstellten Arbeiten zur industriellen Biotechnologie genannt werden.

Weitere Studien und Positionspapiere sind von der europäischen Technologieplattform Sustainable Chemistry (siehe z. B. EuropaBio sowie weitere Publikationen unter <http://www.suschem.org>), der US-amerikanischen Biotechnology Industry Organization (siehe <http://www.bio.org>) oder auch dem europäischen Industrieverband EuropaBio (siehe: <http://www.europabio.org>) publiziert worden. Auch in Deutschland wurden mehrere Arbeiten zur Abschätzung der zukünftigen Potenziale der weißen Biotechnologie durchgeführt. So hat z. B. die DECHEMA (Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie) im Jahr 2004 ein Positionspapier mit dem Titel „Weiße Biotechnologie: Chancen für Deutschland“ (DECHEMA 2004) vorgelegt und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) führt einen auf mehrere Jahre angelegten Roadmappingprozess zur Biotechnologie durch, der basierend auf Experteneinschätzungen wichtige Forschungs- und Förderthemen der Biotechnologie für die nächsten Jahre erfassen soll.

Alle genannten Arbeiten gehen von einem großen Potenzial zukünftiger biotechnologischer Anwendungen in der chemischen Industrie und anderen industriellen Branchen aus. Bis zum Jahr 2010, so eine Prognose, könnte der Anteil biotechnologischer Verfahren in der chemischen Industrie von heute ca. 5 % auf rund 20 % steigen. Der dabei entstehende zusätzliche wirtschaftliche Wert der biotechnologischen Produktion würde

demnach allein für die chemische Industrie 11 bis 22 Mrd. Euro pro Jahr betragen (DECHEMA 2004). Abhängig ist dieser Anstieg jedoch von kontinuierlichen wissenschaftlichen Fortschritten, zahlreichen Durchbrüchen im Bereich der Grundlagenforschung sowie wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen, die sich z. B. auf die Entwicklung von Rohstoffpreisen und die Bereitschaft zu Investitionen auswirken (McKinsey 2006b). Um die Innovationsdynamik in der weißen Biotechnologie detaillierter analysieren zu können, wird im Folgenden zwischen verschiedenen Technologielinien und Anwendungsfeldern der weißen Biotechnologie differenziert.

### **8.2.2 Marktentwicklung**

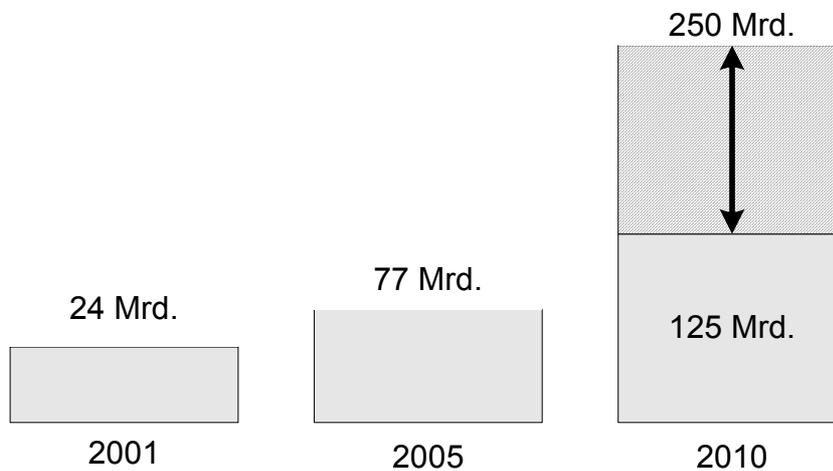
Nach verschiedenen internationalen Studien lag der Anteil biotechnologischer Verfahren in der Produktion verschiedener chemischer Produkte im Jahr 2004 bei rund 5 % (siehe z. B. DECHEMA 2004; MRST 2005; EuropaBio 2004). Je nach Studie wird bis 2010 ein Anstieg auf 10 bis 20 % erwartet (DECHEMA 2004; MRST 2005; EuropaBio 2004; Festel et al. 2004b; McKinsey 2006a). Die chemische Industrie nimmt mit Blick auf die Marktentwicklung der weißen Biotechnologie eine Schlüsselposition ein, da sie biotechnologisch gewonnene Rohstoffe einsetzt und verarbeitet, biotechnologische Herstellungsprozesse als Alternative zu herkömmlichen chemischen Verfahren anwendet sowie Vorprodukte und Zusatzstoffe für andere Branchen liefert. Diese soll daher im Folgenden vertiefend betrachtet werden.

### **8.2.3 Marktvolumina und Trends**

Als wichtigste Megatrends, die die Marktentwicklung der industriellen Biotechnologie beeinflussen, werden von Experten aus Wissenschaft und Unternehmen der steigende Energiebedarf, die Verknappung und Unsicherheiten bezüglich fossiler Roh- bzw. Kraftstoffe sowie die steigende Umweltverschmutzung genannt (McKinsey 2006b). Die höchsten Marktumsätze bei Produkten der weißen Biotechnologie werden für 2010 bei Biokraftstoffen, Feinchemikalien und „Bio-based polymers“ erwartet. Nach Experteneinschätzung wird die relative Bedeutung der Biokunststoffe weiter steigen, sodass diese in 2020 nach den Biokraftstoffen und noch vor den Feinchemikalien den zweiten Platz bei den Marktumsätzen einnehmen werden (McKinsey 2006b). Biokraftstoffe und Biokunststoffe sind zusammen mit dem Bereich Lebensmittel auch jene Produktbereiche, in denen Unternehmen am ehesten investieren würden (McKinsey 2006b).

Das Weltmarktvolumen für biotechnologisch hergestellte Chemieprodukte lag 2001 bei rund 24 Mrd. €<sup>37</sup> (Festel et al. 2004b). Für 2005 wird das Volumen auf rund 77 Mrd. € geschätzt (McKinsey 2006b). Hinsichtlich des Weltmarktvolumens in 2010 gehen die Prognosen auseinander. Nach Schätzungen von McKinsey (2006a) wird das Marktvolumen biotechnologisch hergestellter Chemieprodukte in 2010 bei rund 125 Mrd. € liegen. Die differenzierten Berechnungen von Festel et al. (2004a) ergeben dahingegen ein fast doppelt so hohes Weltmarktvolumen in Höhe von ca. 248 Mrd. €. Trotz Unterschieden in den Prognosen kann bis 2010 sowie darüber hinaus bis 2020 mit einem erheblichen Anstieg des Weltmarktvolumens biotechnologisch hergestellter Produkte gerechnet werden.

Abbildung 8-4: Trend im Weltmarktvolumen biotechnologisch hergestellter Chemie-Produkte



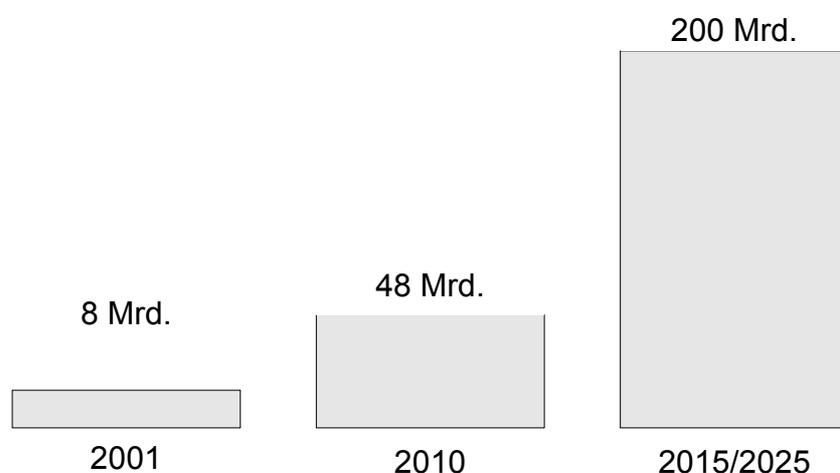
<sup>37</sup> In der ursprünglichen Quelle ist der Betrag mit 30 Mrd. US-Dollar angegeben. Dies wurde mit einem Kurs von 1,25 USD/Euro umgerechnet.

Die höchsten Marktumsätze bei biotechnologisch hergestellten Chemieprodukten werden für 2010 bei Biokraftstoffen, Feinchemikalien und „Bio-based polymers“ erwartet (McKinsey 2006b). Diese sollen daher im Folgenden näher betrachtet werden.

### 8.2.4 Feinchemikalien

Nach einhelliger Prognose wird die Herstellung von Feinchemikalien am schnellsten von biotechnologischen Verfahren durchdrungen. Grund hierfür sind die z. T. sehr spezifischen Produkte aus dem Bereich der Feinchemikalien, die durch biotechnologische Verfahren kostengünstiger bzw. überhaupt erst produziert werden können. Das größte Potenzial liegt hier in der pharmazeutischen Wirkstoffproduktion. Bereits in 2001 betrug der Anteil von Feinchemikalien, die mit Hilfe biotechnologischer Verfahren hergestellt wurden, 16 %. Dies entspricht einem Umsatzvolumen von 6,4 Mrd. €<sup>38</sup>. Der Anteil kann bis 2010 auf rund 60 % ansteigen. Dies entspricht einem weltweiten Marktvolumen von 48 Mrd. €. Schätzungen gehen davon aus, dass dieser Betrag im Zeitraum von 2015 bis 2025 auf rund 200 Mrd. € anwachsen wird (DECHEMA 2004).

Abbildung 8-5: Trend im Weltmarktvolumen biotechnologisch hergestellter Feinchemikalien

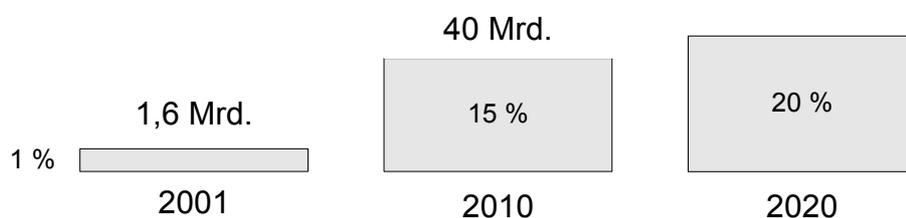


<sup>38</sup> In der ursprünglichen Quelle ist der Betrag mit 8 Mrd. US-Dollar angegeben. Dies wurde mit einem Kurs von 1,25 USD/Euro umgerechnet.

### 8.2.5 Biokunststoffe

Eine steigende Bedeutung nehmen biotechnologische Verfahren in der Herstellung von Polymeren und Kunststoffen ein. Der Anteil von Polymeren, die mit Hilfe biotechnologischer Verfahren produziert wurden, lag in 2001 bei rund 1 %. Dies entsprach einem Weltmarktvolumen von 1,6 Mrd. €. Es wird damit gerechnet, dass in 2010 rund 15 % der Polymere biotechnologisch hergestellt werden (Festel et al. 2004a). Das Weltmarktvolumen würde damit dann bei rund 40 Mrd. € liegen. Ob dieses Volumen tatsächlich erreicht wird, hängt maßgeblich von der Entwicklung des Erdölpreises ab, da Biokunststoffe<sup>39</sup> für viele Einsatzgebiete heute noch teurer sind als Produkte, die ausschließlich auf petrochemischer Basis hergestellt werden. Außerdem wird das mögliche Marktvolumen in 2010 nur erreicht, wenn die von einigen Herstellern angekündigten Produktionskapazitäten zeitnah geschaffen und auf diese Weise entsprechende „Economies-of-scale“ erreicht werden. Toyota, die seit 1998 Biopolymere in die Fahrzeugmodelle Prius und Raum einbauten, plant im Jahr 2020 ca. 66 % des Weltmarktbedarfs an Biokunststoffen durch die Ausweitung der eigenen Polylactidproduktion abzudecken. Das Unternehmen geht davon aus, dass im Jahr 2020 der Anteil von Biokunststoffen an der Weltkunststoffproduktion bei ca. 20 % liegen wird (DECHEMA 2004).

Abbildung 8-6: Trend im Marktvolumen und Anteil biotechnologisch hergestellter Kunststoffe



### 8.2.6 Biokraftstoffe

Die Biokraftstoffe spielen eine wichtige Bedeutung für die zukünftige Entwicklung des Verkehrsbereichs und wurden daher in ihrer Gesamtheit bereits in Kapitel 5 analysiert. Allerdings dürften auch bei der Herstellung von Biokraftstoffen in zunehmendem Maße biotechnologische Verfahren zum Einsatz kommen. Die im Aktionsplan der EU festge-

<sup>39</sup> Der Begriff „Biokunststoffe“ bezieht sich in diesem Abschnitt auf Kunststoffe, die mit Hilfe biotechnologischer Verfahren und überwiegend unter Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden.

legten Ziele eines Biokraftstoff-Anteils am Kraftstoffverbrauch von 5,75 % bis 2010 geben die Richtung vor. Während momentan und in absehbarer Zeit vor allem Biodiesel in größeren Mengen genutzt wird, gehört die Zukunft synthetischen Kraftstoffen aus fester Biomasse. Gerade hier spielen biotechnologische Verfahren eine zentrale Bedeutung. Synthetische Kraftstoffe sind eine verhältnismäßig junge, am Markt noch nicht verfügbare Entdeckung. Mit Biomass-to-Liquid-Kraftstoffen, die auch als Synfuel oder Sunfuel<sup>®</sup> bezeichnet werden, sind große Erwartungen verbunden.

## **8.3 Internationale Analyse der technologischen Leistungsfähigkeit**

### **8.3.1 Patentanalyse**

Die Einteilung der einzelnen Produktgruppen für die Patentrecherche erfolgte in Anlehnung an eine Methodik, die am Fraunhofer ISI in anderen Forschungsvorhaben entwickelt wurde und die auch von der OECD eingesetzt wird. Hierzu wird zunächst an Patentklassen mit biotechnologischem Bezug wie z. B. „Nutzung von Enzymen“ angeknüpft (vgl. Reiß et al. 2004). Diese werden in einem zweiten Schritt mit Klassen zur Prozesstechnik, zur biotechnologischen Nutzung etc. verknüpft. Insgesamt ergeben sich damit folgende Produktgruppen und Technologielinien für die Patentrecherche:

- Bioprocessing: Patente zur Prozesstechnik und zum Maschinenbau, in denen Biotechnologie eine Rolle spielt (z. B. automatische Gärverfahren, Trennung oder Reinigung einer bereits bestehenden Lösung, bei denen Enzyme oder Mikroorganismen verwendet werden).
- Zellfabrik: Patente zur Nutzung von Organismen oder Enzymen zur Herstellung von Lebensmitteln durch Fermentation (wie z. B. Bierbrauen, Backhefen).
- Biopolymere mit Biotechnologie: Patente zur Herstellung von Makromolekülen, bei denen in einer Synthesestufe ein biotechnologisches Verfahren eingesetzt wurde (z. B. fermentative Herstellung von Milchsäure für PLA, Herstellung von Monomeren für PHA). Die Polymere sind nicht in jedem Fall abbaubar oder auf Basis nachwachsender Stoffe hergestellt.
- Organische Chemie mit Biotechnologie: Patente zur organischen Chemie, in denen biotechnologische Prozessstufen oder Verfahren eine Rolle spielen (z. B. Nutzung von Biokatalysatoren).

Obwohl sie nicht Gegenstand der Weißen Biotechnologie sind, werden in diesem Kapitel auch die folgenden benachbarten Bereiche zur Abrundung mit dargestellt:

- Biosensoren: Patente zur Umweltanalytik, bei denen biotechnologische Verfahren und -prinzipien eine Rolle spielen (Stichwortsuche nach Sensor bzw. Biosensor und Schnittmengenbildung mit einschlägigen Begriffen wie Monitoring, Messung etc.)
- Remediation/Dekontamination: Patente zur biotechnologischen Reinigung von Umweltmedien (biotechnologische Verfahren zur Behandlung von Wasser, Luft und Böden).

Da die Anzahl von Patenten zur fermentativen Ethanolherstellung im betrachteten Zeitraum von 1991 bis 2004 unter 100 lag, wurden zu diesem Thema keine weiteren Auswertungen durchgeführt. Die im Bereich der Kategorie Verkehr durchgeführte Patentrecherche zu Bioethanol lieferte mehr Ergebnisse, da auch die Herstellung von Ethanol aus Biomasse über Synthesegas mit erfasst wurde.

Die Dynamik der Biotechnologie in Bezug auf Forschung und Entwicklung lässt sich anhand der Entwicklung der Patentanmeldungen bei internationalen oder nationalen Patentämtern beschreiben. Abbildung 8-7 zeigt die Dynamik der Patentanmeldungen beim Europäischen Patentamt (EPA) und bei der Weltorganisation für Geistiges Eigentum (WIPO) zwischen 1991 und 2004.

Die meisten Anmeldungen erfolgten im Bereich der organischen Chemie. Während die Anmeldungen zur Biotechnologie in der organischen Chemie in den Jahren 1999 bis 2001 aber ein Maximum durchliefen, nahmen die Anmeldungen in den Bereichen Zellfabrik und Bioprocessing stetig zu. Beim Teilgebiet „Remediation“ war die Zunahme nicht so ausgeprägt. Die Zahl der Anmeldungen in den Bereichen Biosensoren und biotechnologisch hergestellten Polymeren stagnierte in den letzten Jahren (Abbildung 8-7).

Die meisten Anmeldungen von Patenten, ca. 40 %, stammten aus den USA. Deutschland hatte mit 10 % den dritten Platz hinter Japan mit 14 %, inne. Der Anteil der EU27 Staaten betrug in den Jahren 2000 bis 2004 ca. 32 %, vergleiche Abbildung 8-8.

Abbildung 8-7: Patentdynamik weltweit nach den Produktgruppen, 1991 bis 2004

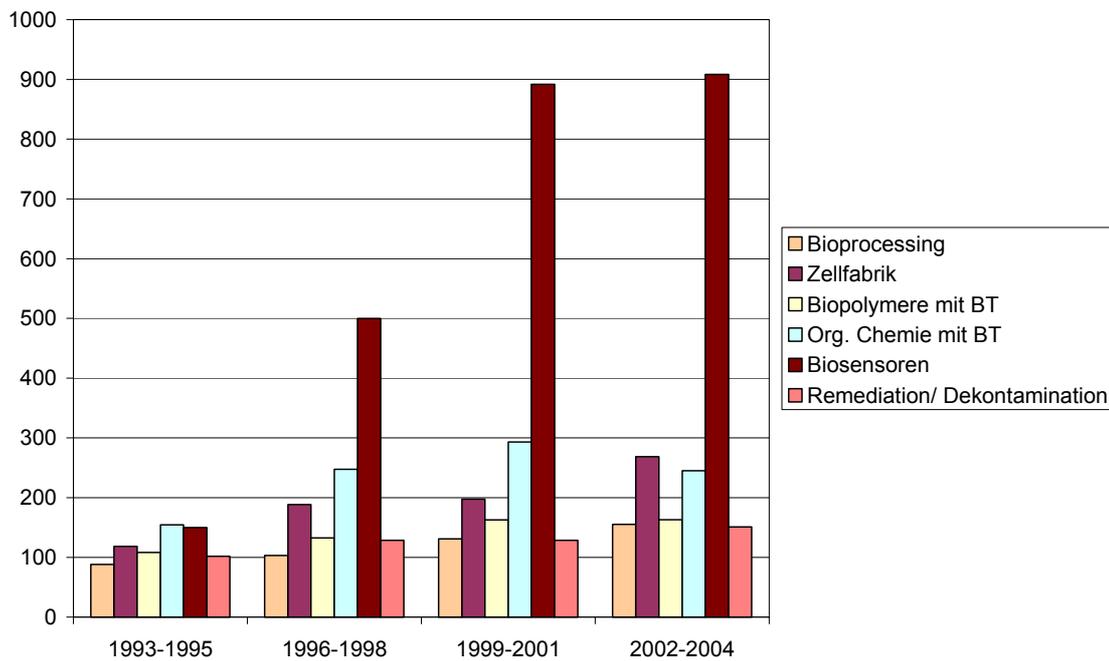
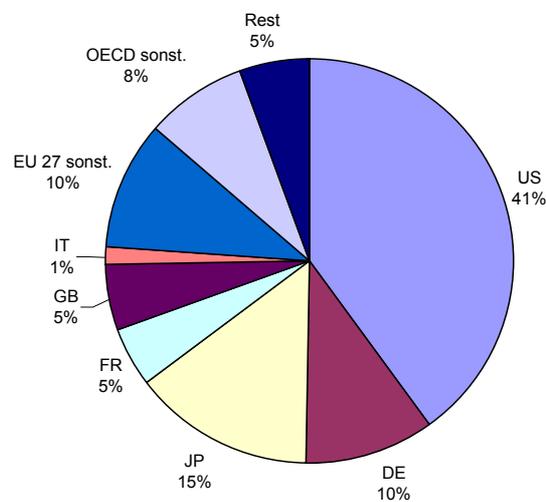


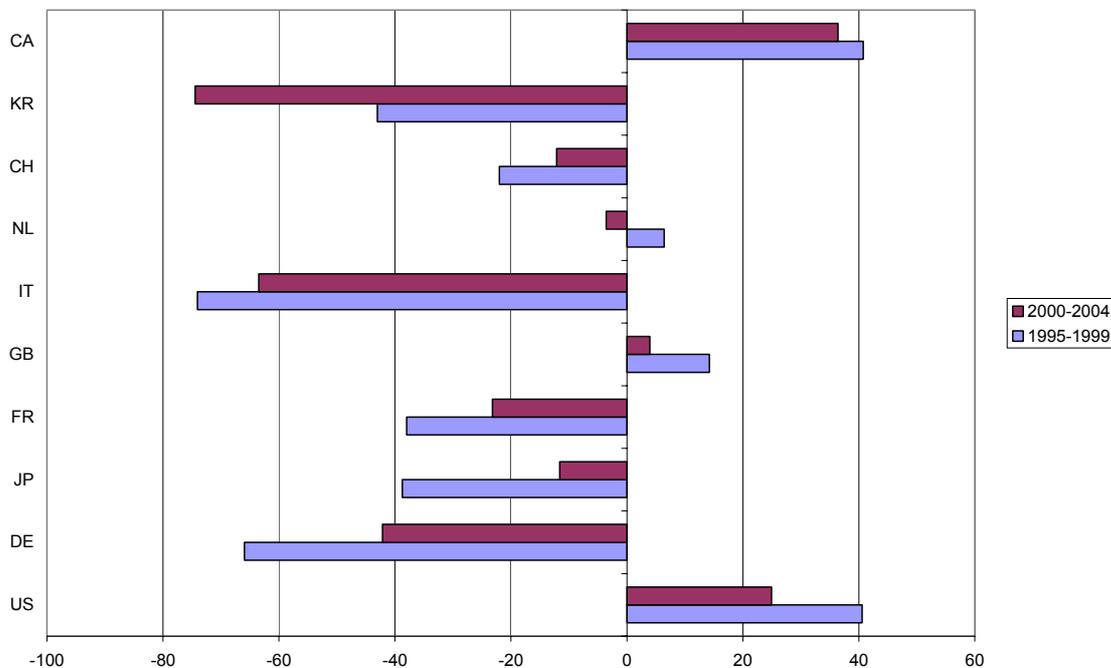
Abbildung 8-8: Anmelder im Bereich der weißen Biotechnologie 2000 bis 2004



In der Summe aller Biotechnologieproduktgruppen ergeben sich für Deutschland und die meisten EU-Länder negative RPA (vergleiche Abbildung 8-9). Großbritannien und, nicht in der Abbildung dargestellt, Belgien und Dänemark haben positive RPA. Kanada und die USA haben überdurchschnittliche Patentaktivitäten mit einem RPA von 36 bzw. 25 für die Jahre 2000 bis 2004. Die RPA für den gesamten Bereich Biotechnologie

werden dabei durch die „Organische Chemie mit Biotechnologie“ bestimmt, da in diesem Technologiefeld die meisten Patentanmeldungen vorliegen.

Abbildung 8-9: RPAs im Bereich der Biotechnologie 2000 bis 2004



### 8.3.2 Außenhandel

Als Beurteilungskriterien zur Außenhandelsstärke eines Landes dient der Welthandelsanteil, berechnet als Exportwert einer Produktgruppe am Welthandel dieser Produktgruppe. Dieser relativ unkomplizierte Wert lässt aber u. a. die Importe und das Niveau der Integration des Landes in den Außenhandel außer Acht. Dies berücksichtigt die Messzahl RCA (Revealed Comparative Advantage). Durch die andere Klassifikation und Logik bei der Außenhandelsstatistik ist es nicht möglich, dieselben Kategorien wie bei den Patenten zu verwenden. So konnten zwar die Produktgruppen Bioprocessing und Zellfabrik auch im Außenhandel berücksichtigt werden, es gibt aber keine einschlägigen Außenhandels-Warennummern für Biopolymere, Biosensoren und biotechnologische Dekontaminationsverfahren. Bioethanol wird im Warenverzeichnis unter Getränken (WZ 22.07) mit erfasst und nicht einzeln ausgewiesen. Die Produktgruppe Biorohstoffe im Außenhandel beinhaltet nachwachsende Rohstoffe wie Zucker, Öle, Casein u.ä.

In Abbildung 8-10 ist dargestellt, dass die 10 Länder mit den meisten Patentanmeldungen im Jahr 2004 in den Produktgruppen Bioprocessing und Zellfabrik einen kumulier-

ten Welthandelsanteil von über 50 % haben. Der Anteil von Deutschland ist vor allem bei Bioprocessing mit ca. 13 % sehr hoch (EU27: 70 %). In der Produktgruppe Zellfabrik befindet sich Deutschland hinter Italien, Kanada, Großbritannien und den USA (EU27: ca. 48 %). Bei den Biorohstoffen (Zucker, Stärke, Öle u. a.) hat Deutschland mit 8 % hinter Frankreich (10,4 %) den zweitgrößten Anteil am Weltaußenhandel. Der Anteil Europas beträgt ca. 43 %.

Abbildung 8-10: Anteil am Welthandel für das Jahr 2004

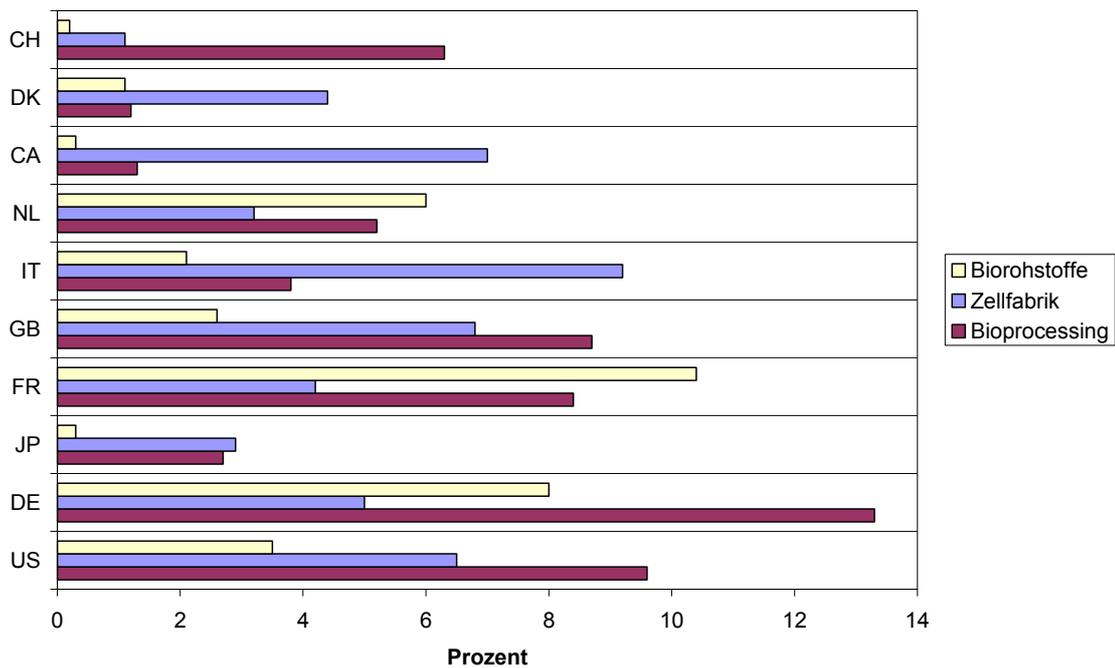
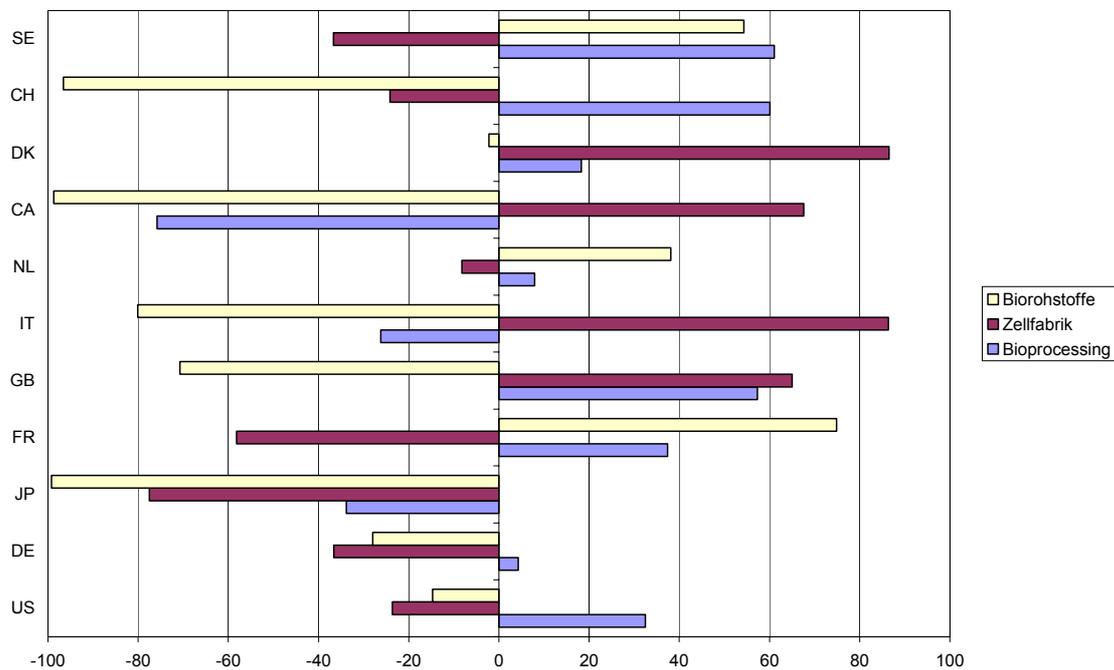


Abbildung 8-11: RCA für die Produktgruppen der weißen Biotechnologie 2004



Beim RCA haben in der Produktgruppe Bioprocessing außer Kanada, Italien und Japan alle gelisteten Länder komparative Vorteile. In der Produktgruppe Zellfabrik haben dagegen nur Dänemark, Kanada, Italien und Großbritannien einen  $RCA > 0$ ; vor allem Japan, Schweden, Frankreich und Deutschland mit RCAs unter  $-35$  haben eine schwache Wettbewerbsposition am Weltmarkt. Auch bei Biorohstoffen sind nur die drei EU-Länder Schweden, Niederlande und Frankreich mit RCAs zwischen 38 und 75 gut positioniert.

Deutschland hat nur in der Produktgruppe Bioprocessing einen positiven RCA (RCA: 4), was mit einem hohen Außenhandelsanteil von über 13 % einhergeht. Auch in den Gruppen Zellfabrik und Biorohstoffe ist der Anteil am Welthandel groß, obwohl die Wettbewerbsposition mit  $RCA < 0$  eher schlecht ist. Die EU hält große Anteile des Welthandels, die einzelnen Mitgliedsstaaten sind bezüglich ihrer Wettbewerbsfähigkeit (ausgedrückt als RCA) unterschiedlich ausgerichtet.

## 8.4 Schlussfolgerungen für die Perspektive 2020

Aus Sicht des Unternehmens können Einflussfaktoren und Treiber des Innovationsgeschehens in unternehmensinterne und unternehmensexterne Faktoren unterschieden werden. Im Folgenden werden die maßgeblichen externen Impulse, Einflüsse und

Rahmenbedingungen des Innovationsgeschehens auf die Unternehmen der Biotechnologiebranche analysiert.

### **8.4.1 Innovationstreiber aus Unternehmenssicht**

#### **Technology Push und Technologievernetzung**

Zu den zentralen Treibern des Innovationsgeschehens zählen Basisinnovationen, die durch Schlüssel- und Schrittmachertechnologien vorangetrieben werden. In Kap. 8.1.2 wurde bereits erwähnt, dass der Fortschritt in der (weißen) Biotechnologie von der wissenschaftlich-technischen Entwicklung in den Feldern der Genomforschung, der Systembiologie, der Prozesstechnologie für das „Upscaling“ von Bioreaktoren und der Bioinformatik abhängt. Diese Faktoren wurden im Rahmen einer Befragung mit Experten aus Forschung und Unternehmen als die wichtigsten Schlüsselfaktoren für die weitere Entwicklung der Biotechnologie genannt (McKinsey 2006b).

Eine vom Fraunhofer IAO durchgeführte Erhebung zu den relevanten Trends in der Wissenschaft und Technologieforschung mit Experten aus der Biotechnologie kommt zu einem ähnlichen Ergebnis und nennt die Themenfelder: Genomik und Metabolic Engineering, Systemische Ansätze aus Biologie, Modellierung und Informatik, biotechnologische Analytik und Diagnostik sowie die synthetische Biologie (BMBF 2006).

Die Entwicklung des Innovationsgeschehens in der weißen Biotechnologie ist schwer prognostizierbar, da sie nicht nur von dem Fortschritt in den genannten Einzeltechnologien abhängt, sondern auch maßgeblich durch die Technologievernetzung beeinflusst wird. Fortschritte können daher insbesondere an den Schnittstellen bisher eher disziplinär orientierter Fachrichtungen entstehen. Die Vernetzung und Integration von vielen wissenschaftlichen Einzeldisziplinen stellt dabei auch eine besondere Herausforderung für die Organisation von Forschungsaktivitäten dar (DECHEMA 2004).

#### **Market Pull**

Deutsche Biotechnologieunternehmen besitzen im internationalen Vergleich eine gute Ausgangsposition in der weißen Biotechnologie. Sowohl Standortbedingungen, als auch Qualifikation und Stand der Forschung können nach Auffassung von Experten als gut bewertet werden (vgl. z. B. Biocom 2006). Der Markt für die weiße Biotechnologie entwickelt sich international sehr dynamisch. Die wichtigsten Trends sind dabei in dem steigenden Energiebedarf, der Verknappung und den Unsicherheiten bezüglich fossiler Roh- bzw. Kraftstoffe sowie der zunehmenden Umweltverschmutzung zu sehen (siehe Kap. 8.2.2). Allerdings werden von Seiten deutscher Biotechnologieunternehmen das Fehlen einer strategischen Ausrichtung der Forschung nach dem Vorbild der USA oder

Kanadas und eine systematische Verteilung von Forschungsaufgaben zwischen Unternehmen und Forschungsinstitutionen bemängelt (DECHEMA 2004).

### **8.4.2 Einfluss der existierenden politischen Rahmenbedingungen auf die Innovationstätigkeit der Unternehmen**

#### **Regulatorisches Umfeld**

Die biotechnologische und die mit ihr verwandte chemische Industrie agieren in einem spezifischen regulatorischen Umfeld, das einen Einfluss auf die Entwicklung der weißen Biotechnologie in Deutschland hat. Zu den für die weiße Biotechnologie relevanten europäischen und deutschen Regularien zählen:

- Das Gentechnikgesetz (GenTG) reglementiert die Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen. Insofern besteht also ein mittelbarer Einfluss, wenn diese als Rohstoffquelle für die weiße Biotechnologie genutzt werden. Darüber hinaus enthält es Regelungen zum Umgang mit gentechnisch veränderten Organismen in geschlossenen Anlagen wie z. B. Bioreaktoren.
- Die Biostoffverordnung (BioStoffV), die Tätigkeiten und den Arbeitnehmerschutz im Umgang mit biologischen Arbeitsstoffen einschließlich Tätigkeiten in deren Gefahrenbereich regelt. In der Regel bezieht sich die Biostoffverordnung nicht auf den Umgang mit gentechnisch veränderten Organismen, da diese durch das Gentechnikgesetz geregelt werden.
- Die produkt- und branchenbezogenen europäischen Richtlinien zur Reduktion gefährlicher Inhaltsstoffe bzw. zur Verwertung oder dem Recycling von Produkten und ihre Umsetzung in deutsches Recht (z. B. WEEE- Waste Electrical and Electronic Equipment, Altfahrzeugrichtlinie, REACH- Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals, RoHS- Restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment). Sie erhöhen den Druck auf die chemische Industrie, alternative, weniger toxische und recycelbare Werkstoffe zu entwickeln und auf den Markt zu bringen. Hierbei spielen Verfahren der weißen Biotechnologie eine zentrale Rolle.
- Der EU-weite Emissionshandel, der viele industrielle Branchen betrifft und langfristig zu einer Reduktion von CO<sub>2</sub> und anderen Treibhausgasen führen soll. Er wirkt sich fördernd auf die Entwicklung ressourcen- und energieeffizienter Verfahren der weißen Biotechnologie aus.

Die DECHEMA kam nach einer Umfrage unter deutschen Unternehmen der Biotechnologie im Jahr 2004 zu dem Schluss, dass regulatorische Fragestellungen, mit Ausnahme der Produktzulassung, des Patent- und des Steuerrechtes, keine Hindernisse und Nachteile für die Entwicklung der weißen Biotechnologie am Standort Deutschland darstellen (DECHEMA 2004).

### Förderaktivitäten

Neben den grundsätzlichen Zielen der Bundesregierung Emissionen zu reduzieren und den Einsatz nachwachsender Rohstoffe zu stärken, fördert sie direkt und indirekt die Forschung und wissenschaftlich-technologische Entwicklung der weißen Biotechnologie. Beispiele hierfür sind:

- Durch das BMBF werden beispielsweise in einer Förderinitiative „BioIndustrie 2021“<sup>40</sup> gemeinsam mit der Wirtschaft in den nächsten fünf Jahren bis zu 150 Millionen Euro für die Unterstützung von Forschungsverbänden investiert.
- Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und das Umweltbundesamt fördern eigene Vorhaben zur weißen Biotechnologie und zur Abschätzung ihres Beitrages zur Ressourcen- und Energieeffizienz.
- Im Auftrag des Bundeslandwirtschaftsministeriums fördert die Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) Projekte und informiert zu nachwachsenden Rohstoffen, die eine wichtige Grundlage der weißen Biotechnologie darstellen. Neben den Themen Bioenergie und Biokraftstoffe werden auch Vorhaben zu Biokunststoffen gefördert.
- Die deutsche Bundesstiftung Umwelt hat seit ihrer Gründung eine Vielzahl von Forschungsvorhaben in der weißen Biotechnologie gefördert.

### Zivilgesellschaftliches Umfeld

Die Biotechnologie, ihre Forschung und Anwendung ist ein Thema, das in der Gesellschaft kontrovers diskutiert wird. In der öffentlichen Diskussion sind insbesondere die grüne Biotechnologie und die Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen. Kritisch werden z. T. auch die Methoden des Gentransfers und die damit verbundene Übertragung von Eigenschaften über Artengrenzen hinweg gesehen. Diese Kritik betrifft nicht alleine die grüne sondern z. T. auch die rote Biotechnologie, so z. B. die Anwendung und Nutzung der Gentherapie und der mit ihr verbundenen Prinzipien. Bisher wenig beachtet wird dagegen die weiße Biotechnologie. Da ihre Anwendung meist innerhalb der chemischen Industrie und ihrer Anwenderbranchen erfolgt, ergeben sich nur wenige direkte Berührungspunkte von Produkten der weißen Biotechnologie mit Konsumenten.

Um die Akzeptanz der Gesellschaft gegenüber solchen neuen Forschungsthemen zu analysieren, wurde von 2001 bis 2005 durch das BMBF der „ForschungsdialoG Futur“, ein Foresight-Prozess mit stark partizipativem Aspekt, durchgeführt. Anders als bei auf wissenschaftliche Expertise setzenden Delphi-Befragungen war es bei „Futur“ das Ziel,

---

<sup>40</sup> Siehe <http://www.bmbf.de/press/1782.php>

mit einem großen Akteurskreis aus allen Teilen der Gesellschaft Forschungsthemen zu erarbeiten, die in konkrete Forschungsfördermaßnahmen umgesetzt werden können. Neben Innovationen technisch-wissenschaftlicher Art wurden dabei auch gesellschafts- oder bildungspolitische Fragestellungen behandelt sowie interdisziplinäre und sektorübergreifende Arbeitsgruppen eingerichtet, die mit unterschiedlichen Methoden der Zukunftsforschung arbeiteten. Im Rahmen des Futur-Prozesses wurde ein eigener Leitentwurf zum Themenfeld „Biological Engineering“ entwickelt, der in die Ausarbeitung weiterer Forschungsthemen durch das BMBF eingeflossen ist.

### **Strategische Orientierung und Leitbilder für die weiße Biotechnologie**

Für die weitere Entwicklung des Forschungs- und Anwendungsfeldes der weißen Biotechnologie ist eine langfristige, strategische Ausrichtung notwendig, um die Vielzahl der Forschungsinhalte zu bewältigen und die spezifischen Stärken deutscher Forschungsorganisationen und Unternehmen aufeinander abzustimmen. Von der DECHEMA wird gefordert, eine Roadmap der weißen Biotechnologie zu erstellen, wie z. B. in den USA, Kanada und Neuseeland geschehen (DECHEMA 2004). Wie bereits in Kap. 8.1.1 erwähnt, zielt ein derzeit laufendes Vorhaben des BMBF darauf ab, zentrale Forschungsinhalte, insbesondere der weißen Biotechnologie, mit einem Zeithorizont bis 2021 zu skizzieren. Eine weitere Studie, ebenfalls im Auftrag des BMBF, die die unternehmensseitigen Forschungsinhalte und Rahmenbedingungen analysiert, wird derzeit fertig gestellt. Ziel der Aktivitäten des BMBF ist es, eine langfristige Forschungsstrategie für die Biotechnologie in Deutschland zu erarbeiten, die sowohl die Forschung als auch Unternehmen einbezieht.

Auf europäischer Ebene sind vor allem die OECD, die aktuell im Rahmen des sogenannten „Futures Projekt“ an einer politischen Agenda für eine „Bioeconomy 2030“ arbeitet (OECD 2006) sowie die Technologieplattform SusChem und die Organisation EuropaBio, die eigene Positionspapiere und Szenarien für die zukünftigen Anwendungen der weißen Biotechnologie veröffentlichen<sup>41</sup>. In der europäischen Forschung wird das Konzept der Bioraffinerie vorangetrieben<sup>42</sup>. Darunter wird ein integratives Gesamtkonzept für die biochemische und thermochemische Konversion (Umwandlung) von nachwachsenden Rohstoffen zu Chemikalien, Werkstoffen sowie Brenn- und Kraftstof-

---

<sup>41</sup> Für eine Übersicht siehe: [http://www.europabio.org/facts\\_white.htm](http://www.europabio.org/facts_white.htm) (letzter Abruf 31.01.2007).

<sup>42</sup> Mit Förderung der EU wurde im Oktober 2006 eine Konferenz zum Thema Bioraffinerien durchgeführt (siehe [http://ec.europa.eu/research/energy/gp/gp\\_events/-biorefinery/article\\_3764\\_en.htm](http://ec.europa.eu/research/energy/gp/gp_events/-biorefinery/article_3764_en.htm), letzter Abruf 31.01.2007).

fen verstanden. Ziel ist es, Biomasse möglichst umfassend zu nutzen und dadurch einen substantiellen Beitrag zum nachhaltigen Wirtschaften zu leisten.

Die DECHEMA hat in Zusammenarbeit mit dem Verband der chemischen Industrie (VCI), der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) und der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie (DIB) inzwischen einen eigenen Entwurf für eine nationale F&E-Strategie der Chemie und Biotechnologie in zentralen gesellschaftlichen Bedürfnisfeldern vorgelegt, die auf einer Adaption der durch SusChem vorgelegten europäischen Forschungsstrategie beruht (DECHEMA et al. 2006).

### **8.4.3 Maßnahmen der Umweltpolitik zur Steigerung der Innovationstätigkeit und der Wettbewerbsfähigkeit**

#### **Übergreifende politische Maßnahmen**

Umweltpolitische Maßnahmen zur Steigerung der Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit in der weißen Biotechnologie können sich auf die Forschungsförderung sowie umweltpolitische und steuerliche Instrumente erstrecken.

Wie bereits in Kap. 8.4.2 dargestellt, besitzt die Forschungsförderung in der weißen Biotechnologie eine Schlüsselposition, da ihr technischer und ökonomischer Erfolg von einer Vielzahl von Einzelinnovationen in spezifischen Teilfeldern der modernsten Biotechnologien, wie z. B. der Genomforschung, der Systembiologie abhängen. Diese Schlüsselstellung der Forschung in der weißen Biotechnologie wird durch Politik und Industrie gleichermaßen bestätigt (siehe BMBF 2006 und DECHEMA 2004). Von Seiten der Industrie und Forschungsinstitutionen wird jedoch schon seit längerem eine nationale Forschungsstrategie bzw. Roadmap (vgl. hierzu Kap. 8.4.2) gefordert, die die existierenden und geplanten Einzelinitiativen über Organisations- und Ministeriumsgrenzen hinweg abstimmt. Mit einer solchen Initiative für die Abstimmung der Forschungsorganisationen wurde im Jahr 2006 durch das BMBF begonnen (siehe BMBF 2006). Erste Ergebnisse flossen auch in das sogenannte „Cologne Paper“ ein, das anlässlich der deutschen EU-Ratspräsidentschaft auf der Konferenz Bioperspectives 2007 im Mai in Köln vorgestellt wurde und Perspektiven der Biotechnologie in den nächsten zwei Jahrzehnten entwickelt<sup>43</sup>.

Aus Sicht der Umweltpolitik sind insbesondere die mit der weißen Biotechnologie verbundenen Potenziale der Energie- und Ressourceneffizienzpotenziale von besonderem Interesse. Auch hier ist jedoch eine systemische Betrachtung über Betriebs- und

---

<sup>43</sup> Vgl. hierzu die aktuelle Meldung auf der Webseite der DECHEMA unter <http://www.dechema.de/> (Stand 15.03.2007)

Verfahrensgrenzen hinaus notwendig. Notwendig wäre, die durch Verfahren der weißen Biotechnologie in der Gesamtheit realisierbaren Effizienzpotenziale im Rahmen des in Kap. 8.4.2 beschriebenen Ansatzes der Bioraffinerie zu erfassen. Erst eine vollständige Analyse von stofflichen und energetischen Koppelproduktionen und unternehmensübergreifenden Prozessketten der Rohstoffkonversion (DECHEMA et al 2006), beispielsweise im Rahmen eines „nationalen Bioraffinerieplans“, würde die Bewertung des Effizienzpotenzials der weißen Biotechnologie ermöglichen. Außerdem könnten auf diese Weise potenzielle Konkurrenzen zwischen energetischer und stofflicher Nutzung und kontraproduktive Förderstrategien vermieden werden. Vor diesem Hintergrund ist die Entwicklung eines nationalen Bioraffinerieplans zu empfehlen.

### **Spezifische Maßnahmen auf Ebene der Produktbereiche**

Bezogen auf die in Kap. 8.1.2 unterschiedenen Vor-, Zwischen- und Endprodukte der weißen Biotechnologie, lassen sich die folgenden umweltpolitischen Maßnahmen ableiten:

- **Bulkprodukte und Polymere:** Die weiße Biotechnologie besitzt im Bereich der Bulkprodukte große Potenziale für die Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz (Hoppenheidt/ Mücke 2005). Viele dieser Potenziale ergeben sich jedoch nicht aus dem Einsatz von Biotechnologie per se, sondern können nur durch die systemische Betrachtung von Rohstoffherzeugung und -gewinnung, Weiterverarbeitung, Nutzung und Entsorgung analysiert werden. Die Bewertung ökologischer Vorteile der mit weißer Biotechnologie hergestellten Bulkprodukte stellt daher auch ein überbetriebliches Optimierungspotenzial dar. Insbesondere mit der biotechnologischen Herstellung von Biopolymeren verbinden sich große Erwartungen an Effizienzpotenziale und obwohl erste Betrachtungen Effizienzgewinne nahe legen (siehe z. B. Toyota 2006), sind hier noch vollständige ökobilanzielle Betrachtungen notwendig.
- **Fein- und Spezialchemikalien:** Da die Produktgruppe der Fein- und Spezialchemikalien wirtschaftlich als weitestgehend eigenständig und dynamisch gilt, erscheinen aus umweltpolitischer Perspektive zunächst keine Maßnahmen zur Steigerung der Innovationstätigkeit und Wettbewerbsfähigkeit notwendig. Spezifische umweltpolitische Maßnahmen sollten hier in erster Linie forschungs- und entwicklungsbegleitend erfolgen, um die ökologische Verträglichkeit und Unbedenklichkeit der produzierten Fein- und Spezialchemikalien sicherzustellen. Eine systemische Betrachtung von Effizienzeffekten sollte erfolgen, wenn Feinchemikalien beispielsweise als Katalysator im Rahmen biotechnologischer Prozessketten zur Erzeugung von Bulkprodukten (siehe oben) eingesetzt werden.
- **Energieträger:** Biotechnologisch erzeugte Energieträger stellen aus umweltpolitischer Sicht ein wichtiges Maßnahmenfeld dar. Anreize werden derzeit insbesondere für die energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe gesetzt, beispielsweise durch die Steuerreduzierung und Beimischungspflicht von Biokraftstoffen oder die Förderung des Anbaus von Energiepflanzen (z. B. Mais, Raps, Futterrüben). Neuere

technologische Ansätze der Biomassennutzung in Form von Vergärung landwirtschaftlicher Abfälle (siehe z. B. FTD 2007) oder die Weiterentwicklung von Biogasverfahren stellen Alternativen zu der existierenden Erzeugung von Bioethanol dar. Eine Fortführung der ökologischen und ökonomischen Bewertung der energetischen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen gehört ebenso zu den wichtigen Voraussetzungen umweltpolitischer Strategien, wie die Analyse der konkurrierenden stofflichen und energetischen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen generell. Eine systematische, ressortübergreifende Förderstrategie für die Nutzung nachwachsender Rohstoffe ist Voraussetzung für die Konkurrenzfähigkeit vieler biotechnologischer Verfahren.

#### **8.4.4 Schlussfolgerungen**

Im Folgenden werden Innovationsdynamik, Marktpotenzial und Wettbewerbsfähigkeit der Produktbereiche der weißen Biotechnologie abgeschätzt und die zentralen Ergebnisse im Handlungsfeld in einer SWOT-Analyse zusammengefasst.

##### **Innovationsdynamik**

Im Bereich der Bulkprodukte und Polymere kann die Innovationsdynamik auf Grundlage der analysierten Patentdaten (siehe Kap. 8.3.1) als hoch bewertet werden. Deutschland besitzt in diesem Feld im Vergleich zu den USA und Japan zwar einen geringeren Patentanteil, verfügt jedoch über einen verhältnismäßig hohen Welthandelsanteil. Im Feld der auf weißer Biotechnologie basierenden Polymere ist die Position gegenüber den großen Konkurrenten USA und Japan schlechter. Trotz der traditionell starken Kunststoffindustrie und den erwarteten hohen Marktpotenzialen (siehe Kap. 8.2.3) verfügt Deutschland über einen relativ kleinen Anteil an Patenten. Dies gilt auch für die anderen europäischen Länder.

Im Bereich der Fein- und Spezialchemikalien weisen die Patentdaten auf eine hohe Patentdynamik mit einer guten, aber gegenüber den großen Konkurrenten USA und Japan verbesserungswürdigen, Ausgangssituation hin.

Im Bereich der biotechnologisch erzeugten Energieträger (insbesondere Bioethanol) weist Deutschland eine niedrige Patentdynamik auf. Hieraus kann jedoch nicht automatisch der Rückschluss einer geringen Innovationsdynamik geschlossen werden, da sich das Marktpotenzial in diesem Bereich dynamisch entwickelt (siehe Abschnitt Marktpotenzial).

Die Standortbedingungen der deutschen Forschung und Industrie (Ausbildung, rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen etc.) gelten als gut. Deutschland ist daher in Bezug auf den europäischen und internationalen Forschungsraum der weißen Biotechnologie gut positioniert. Als nachteilig wirken sich aber bisher das Fehlen einer

nationalen Forschungsstrategie oder Roadmap und eine damit verbundene Schwerpunktsetzung in der weißen Biotechnologie aus, um die Stärken des Standortes gezielt weiterzuentwickeln und Nutzungskonkurrenzen um nachwachsende Rohstoffe zu vermeiden.

Auch auf europäischer Ebene können die Standortbedingungen als gut angesehen werden. Zwar wird das EU-Recht z. B. in Form der Verordnung REACH von Unternehmensseite oftmals als innovationshemmend empfunden, dennoch verfügt die EU mit ihrer hohen Patentdynamik, den national abgestimmten Forschungsrahmenprogrammen und der diversifizierten Forschungs- und Industrielandschaft über verlässliche Standortbedingungen und somit über eine gute Ausgangsposition im Feld der weißen Biotechnologie.

### **Marktpotenzial**

Von den genannten Teilfeldern der weißen Biotechnologie werden die größten Marktpotenziale im Bereich der Biokraftstoffe, der Feinchemikalien und der Biopolymere erwartet (siehe auch Kap. 8.2.2). Insbesondere die prognostizierten Marktpotenziale in den Feldern der Biokraftstoffe und der Biopolymere weisen auf eine starke zukünftige Dynamik in dem Feld hin. Die Realisierung dieser Potenziale ist jedoch von ausstehenden wissenschaftlichen Resultaten sowie der Preisentwicklung und Verfügbarkeit nachwachsender Rohstoffe abhängig. Insbesondere Nutzungskonkurrenzen zwischen einer energetischen und stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe bilden für die Marktpotenziale der genannten Produkte Risiken.

Der Welthandelsanteil von Deutschland im Bereich der Fein- und Spezialchemikalien gegenüber den Konkurrenten ist moderat und das größte Marktpotenzial wird im Bereich der Wirkstoffproduktion gesehen (siehe Kap. 8.2.4).

### **Wettbewerbsfähigkeit**

Insgesamt kann Deutschland im internationalen Vergleich eine verhältnismäßig gute Wettbewerbsposition in der weißen Biotechnologie attestiert werden. Die traditionell starke chemische und biotechnologische Industrie in Deutschland setzt bereits heute mit industrieller Biotechnologie mehrere 100 Mio. € pro Jahr um. Der Patentanteil Europas ist bei den Biotechnologie-Patenten insgesamt noch unterdurchschnittlich gegenüber Japan und den USA, es besteht aber ein Trend zur Annäherung. Die EU-Länder sind unterschiedlich spezialisiert: In der Produktgruppe Zellfabrik sind besonders Dänemark, Niederlande, Schweden und Frankreich aktiv. In der Produktgruppe Bioprocessing sind ebenfalls die Niederlande und Dänemark, neben Deutschland, überdurchschnittlich vertreten. Bei biotechnologisch hergestellten Polymeren zeigen

vor allem Großbritannien, die Niederlande und Belgien hohe Patentaktivitäten. Im Außenhandel ist Deutschland in weißer Biotechnologie vor allem in der Produktgruppe Bioprocessing im internationalen Wettbewerb erfolgreich. Die EU hält große Anteile des Welthandels, die einzelnen Mitgliedsstaaten haben sich bezüglich ihrer technologischen Wettbewerbsfähigkeit diversifiziert.

Tabelle 8-1: Vergleich von Wettbewerbsfähigkeit und Marktpotenzial der verschiedenen Produktgruppen des Handlungsfeldes Weiße Biotechnologie

Produktgruppe	Patente		Außenhandel		Marktpotenzial
	relative Position	wichtigste Konkurrenten	relative Position	wichtigste Konkurrenten	
<b>Weiße Biotechnologie gesamt</b>	<b>hoch</b>	<b>US, JP, FR, GB</b>	<b>sehr gut</b>	<b>US, JP, FR, GB</b>	<b>sehr hoch</b>
Biorohstoffe	mittel - hoch	US, JP, FR	gut	FR, NL, US	sehr hoch
Zellfabrik	mittel	JP, US, DK	mittel	IT, CA, GB	sehr hoch
Bioprocessing	hoch	US, JP	sehr gut	US, FR, GB	sehr hoch

Tabelle 8-2: Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Weiße Biotechnologie

<b>Stärken</b>	<b>Chancen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gute wirtschaftliche Ausgangssituation in den Teilfeldern der weißen Biotechnologie, Deutschland im Außenhandel gut positioniert</li> <li>• Gute Standortbedingungen, starke Forschungs- und Industrielandschaft</li> <li>• Hoher Anteil der EU an den weltweiten Patentanmeldungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Potenziale für Energie- und Ressourceneffizienz von biotechnologischen Verfahren</li> <li>• Steigende Zahlen an Patentanmeldungen weisen auf wachsende Märkte hin</li> </ul>
<b>Schwächen</b>	<b>Herausforderungen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlende nationale Forschungsstrategie bzw. Roadmap mit thematischer Schwerpunktsetzung</li> <li>• Anwendungen der weißen Biotechnologie von Rohstoffpreisen anhängig, Produkte daher derzeit nicht immer konkurrenzfähig</li> <li>• Im Bereich Zellfabrik und Biorohstoffe besitzt Deutschland eine schlechte Wettbewerbsposition</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Nationales Bioraffineriekonzept“ ist nicht vorhanden und sollte entwickelt werden</li> <li>• Umweltnutzen von Biokunststoffen, Biokraftstoffen sowie Bulk- und Feinchemikalien sind im Einzelfall noch zu klären (Ökobilanzen)</li> <li>• Hohe Innovationsdynamik in Asien (Japan und China)</li> <li>• Insgesamt stärkere Spezialisierung auf BT-Patente in CA, USA</li> </ul>

## 9 Zukunftsmarkt Nanotechnologie

### 9.1 Abgrenzung und Technologiebeschreibung

Die Nanotechnologie bietet Potenziale für den Umweltbereich, die gegenüber herkömmlichen Methoden zu einer verbesserten Ökoeffizienz von Produkten oder Prozessen führen können, beispielsweise

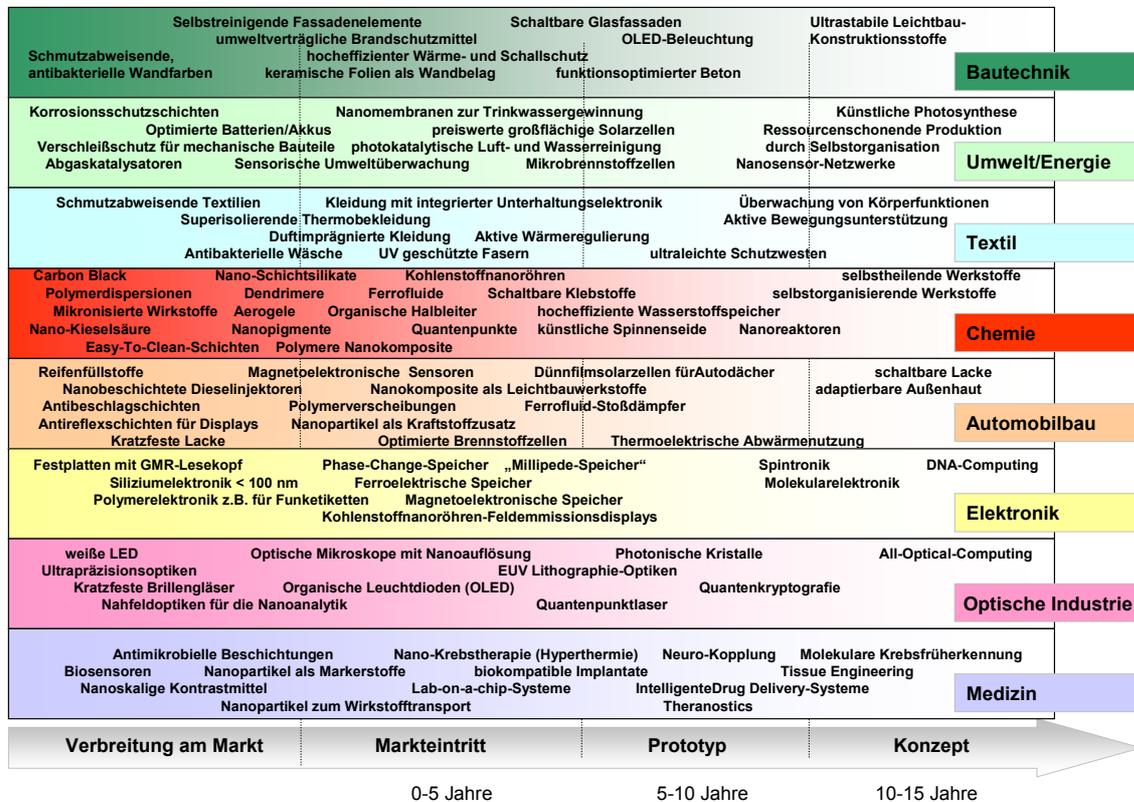
- durch Reduzierung des Material- und Energieeinsatzes,
- den verringerten Einsatz von giftigen Substanzen,
- einer gesteigerten Wiederverwendbarkeit,
- einer Verlängerung der Lebensdauer sowie
- allgemein durch einen optimierten Ressourceneinsatz.

Abbildung 9-1 bietet einen Überblick über die **Anwendungspotenziale sowie den Reifegrad** nanotechnologischer Entwicklungen. Diese Abbildung zeigt, dass auch über den Bereich *Umwelt/Energie* hinaus nanotechnologische Produkte und Verfahren entwickelt werden, die Umweltrelevanz besitzen können (z. B. hocheffizienter Wärme- und Schallschutz aus der Bautechnik).

Aus einer Vielzahl möglicher nanotechnologischer Lösungen liegen bislang nur relativ wenig anwendungsreife Umsetzungen vor. Insbesondere im Wasser- und Energiesektor werden mit den Nanotechnologien sehr große Hoffnungen und Erwartungen verbunden. Für einige Produkte bzw. Verfahren wurden bereits Lebenszyklusanalysen durchgeführt, die eine Abschätzung der Ökoeffizienz ermöglichen (Z. B. Steinfeld 2004).

In die aktuelle Diskussion um **sicherheitstechnische Anwendungen** werden nanotechnologische Produkte und Verfahren des Umweltsektors ebenfalls integriert, wie z. B. Umweltmonitoring-Systeme bzw. Umweltsensoren, die Ultrafeinpartikelmessung oder Reinigungs- und Aufbereitungstechnologien (siehe z. B. Hoffknecht/Teichert 2006).

Abbildung 9-1: Anwendungspotenziale und Reifegrad nanotechnologischer Entwicklungen in verschiedenen Wirtschaftsbranchen.



Quelle: BMBF, 2006

Bei der Thematisierung von Nanotechnologie dürfen **mögliche Risiken für Mensch und Umwelt** nicht ausgeschlossen werden. Aus der Nanoskaligkeit der Teilchen ergeben sich besondere Materialeigenschaften, die zu umweltentlastenden Produkten und Verfahren führen können; gleichzeitig aber könnte die veränderte Reaktivität auch Risiken für Mensch und Umwelt bergen. Neben den Chancen der Nanotechnologien werden daher auch deren mögliche Risiken untersucht. Bislang liegen hier noch keine eindeutigen Aussagen zur Toxizität oder zu möglichen Gefährdungen der Umwelt vor; bisherige Studien sind zu teils widersprüchlichen Aussagen gekommen. Zur Einschätzung der Gefährdungspotenziale von Nanotechnologien müssen Faktoren wie die Partikelfreisetzung, die Expositionsmöglichkeiten sowie toxikologische Aspekte ebenso untersucht werden wie die Aufnahmewege in den menschlichen Körper. Dabei sind die humantoxikologischen Effekte (Reaktion durch nanoskalige Materialien nach Eindringung in den Organismus) sowie die ökotoxikologischen Aspekte (Verbreitungswege, Anreicherung, Umwelttoxizität, Abbau von Nanopartikeln in den Ökosystemen) bislang noch weitgehend ungeklärt. Um die möglichen Risiken der Nanotechnologien besser

einschätzen zu können, befassen sich bereits zahlreiche Projekte mit dieser Problematik.<sup>44</sup>

Die Sicherung bzw. Steigerung des weltweiten Wohlstandes, ohne dabei die natürliche Lebensgrundlage zu zerstören, ist eine der größten Herausforderungen dieses Jahrhunderts. Die Bereiche **Wasser**, **Boden**, **Luft**, **Energie**, **Lärm** und **Produktion** sind hierbei von großer Wichtigkeit und beinhalten jeweils spezifische Fragestellungen und Probleme, zu denen Nanotechnologien Lösungsbeiträge liefern können. Daher werden die nachfolgenden Aspekte hinsichtlich Technologielinien sowie Marktentwicklung auf diese sechs Bereiche bezogen.

### 9.1.1 Technologien für Wasser

Wasser spielt eine zentrale Rolle vor allem für die menschliche Ernährung und Gesundheit, in der Landwirtschaft (Bewässerung, Viehzucht), als Transport- und Kühlmedium sowie als Lösungsmittel in der industriellen Fertigung; Wasser wird außerdem für die Energiegewinnung (Wasserkraftwerke, Kühlwasser) und den Transport (Schifffahrt) benötigt.

Die weltweite Versorgung mit Trink- und Brauchwasser, die langfristige Sicherung des Wasserkreislaufs und die Reduktion der Gewässerverschmutzung sind die zentralen Themen. Nanotechnologien können in den Bereichen *Vermeidung und Prozess-Substitution*, *Aufbereitung und Filterung* sowie in der *Mess- und Regelungstechnik* wichtige Beiträge liefern, Wasserverschmutzungen vorzubeugen oder zu beseitigen.

Direkte und vielfältige Einsatzmöglichkeiten bieten sich für Nanotechnologien insbesondere in den nachgeschalteten Reinigungsverfahren, wie z. B. der Wasseraufbereitung, der Abwasserbehandlung oder der Grundwassersanierung. Die Prinzipien der **Stofftrennung** und der **Katalyse** sind hier vorherrschende Themen. So trennen nanoporöse Membranen selektiv Schadstoffe und auch Ionen aus Wasser und kommen in vielen Bereichen – von der Abwasserbehandlung bis zur Wasserentsalzung – zum Einsatz. Nanokatalysatoren, insbesondere nanoskalige Eisenpartikel und -verbindungen können dekontaminiertes Grundwasser reinigen und werden mit ebenfalls hohen Erwartungen verbunden. Auch viele Nanomaterialien, wie z. B. magnetische Nanopartikel werden für die Wasserreinigung untersucht. Ein weiteres wichtiges Untersuchungsfeld ist die Analytik in Echtzeit und über große Areale. Nanotechnologien und

---

<sup>44</sup> Z. B. Nanotechnik: Chancen und Risiken für Mensch und Umwelt, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) / Umweltbundesamt (UBA), Hintergrundpapier, August 2006; [www.dialog-nanopartikel.de](http://www.dialog-nanopartikel.de); Nanocare: [www.nanopartikel.info](http://www.nanopartikel.info).

Nanobiotechnologien ermöglichen präzisere und sensitivere Sensoren, die Toxine und Pathogene in Wasser zeitnah detektieren können. Entsprechende Sensoren könnten aus halbleitenden Materialien bestehen oder biologische Markermoleküle verwenden. Auch Lab-on-a-chip- und Mikro-Elektro-Mechanische-Systeme (MEMS) sind hier von Bedeutung.

### 9.1.2 Technologien für Luft

Die Verschmutzung der Luft durch Emission von Stäuben oder organischen und anorganischen Verbindungen hat weitreichende Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Treibhausgase tragen zu einer globalen Erwärmung und zum Klimawandel bei. Atemwegserkrankungen, Herzerkrankungen und Allergien werden mit dem Einfluss verschiedener Luftschadstoffe in Verbindung gebracht.

Nanotechnologien können in den Bereichen *Vermeiden*, *Optimieren*, *Aufbereiten* und *Filtern* sowie *Mess- und Regeltechnik* zu Innovationen führen. Besonders in der Luftreinigung sind Nanotechnologien schon intensiver untersucht. **Nanokatalysatoren**, allen voran nanoskaliges Titandioxid, können in Verbindung mit Sonnenlicht und Wasser eine Oxidation von luftgetragenen Schadstoffen bewirken. Titandioxid lässt sich – kolloidal gelöst oder in Form von Beschichtungen – z. B. auf Kacheln und Fassadenelementen aufbringen oder auch unmittelbar in den Anstrichen unterbringen. Zur Luftreinigung lassen sich auch nanoskalige Cyclodextrine einsetzen, die Dünste in ihrer käfigartigen Struktur einschließen und auch wieder abgeben können. Analog zur Sensorik im Bereich Wasser, werden **Sensoren** zur Detektion von Luftschadstoffen wie z. B. NO<sub>x</sub> oder SO<sub>x</sub> entwickelt. Interessante Entwicklungen sind hier u. a. Gassensoren aus Kohlenstoffnanoröhren (SWCNT Gassensoren<sup>45</sup>) oder aus nanoskaligem Zinkoxid, das sowohl eine Detektion eines Luftschadstoffes als auch dessen katalytische Zersetzung ermöglicht.

### 9.1.3 Technologien für Boden

Boden ist eine entscheidende Ressource für die Landwirtschaft (Ernährung, Energiegewinnung aus Biomasse) und zur Rohstoffgewinnung. Durch menschliche Eingriffe werden Böden verunreinigt, versiegelt oder übernutzt. Die Strategien zur Lösung dieser Probleme in diesem Bereich sind *Vermeiden*, *Optimieren* und *Reinigen/Filtern*. Nanotechnologische Anknüpfungspunkte gibt es vor allem im Bereich des *Vermeidens* und der *Analytik*.

---

<sup>45</sup> SWCNT: single wall carbon nanotubes; sie bestehen nur aus einer einzigen Lage von Kohlenstoffatomen.

Die Vermeidung von Schadstoffbelastungen von Böden ist eng verbunden mit einer optimierten, minimalen Applikation von Pflanzenbehandlungsmitteln in der Landwirtschaft. **Nanostrukturierte Pestizide oder Düngemittel** oder auch **nanoverkapselte Wirkstoffe** lassen sich zielgenauer und bedarfsgerechter ausbringen als mit herkömmlichen Verfahren. Die Freisetzungsmechanismen der Wirkstoffe können hierbei verschiedene Charakteristika aufweisen, wie z. B. zeitversetzt, fern- oder temperaturgesteuert sowie vorprogrammiert. Auch **Nanosensoren** und **Sensornetzwerke** zur Überwachung verschiedener Parameter wie Bodenfeuchte oder Temperatur in Verbindung mit weiteren Technologien können zu einer optimierten Nutzung vorhandener Flächen führen und die Belastungen der Böden reduzieren. In der Analytik sind neben den verschiedenen Nano- und Nanobio-Sensoren zur Detektion von Bodenschadstoffen besonders auch Verfahren zur Qualitätsüberwachung von Lebensmitteln entlang der gesamten Produktions- und Transportkette von Interesse. Eine verbesserte Überwachung von Lebensmitteln führt mittelbar zu einer geringeren Belastung von Böden, da bedarfsgerechter produziert werden kann. Hier sind vor allem dichtere Verpackungsmaterialien mit **Nanopartikeln** oder in Verpackungen eingebaute Sensoren interessant.

#### 9.1.4 Technologien für Lärm

Flugzeuglärm, Straßenlärm und Maschinenlärm werden als die am stärksten empfundenen Lärmbelastungen angesehen. Strategien zur Lösung dieser Problematik zielen auf eine Optimierung/Schallreduktion sowie dem Filtern von Lärm ab.

Nanotechnologien sind im Sektor Lärm bislang von untergeordneter Bedeutung. **Tribologische und nanotribologische Beschichtungen** können die Lärmentwicklung von Maschinen mindern und den allgemeinen Lärmpegel senken. Beimengungen von **Nanorußpartikeln** (carbon black) in Autoreifen dienen neben einer verbesserten Bodenhaftung auch der Reduktion von Reifenlaufgeräuschen. Nanostrukturierte Aerogele können neben der Wärmedämmung auch zur Schalldämmung eingesetzt werden – eine Geräuschreduktion um bis zu 5 dB ist hier möglich. Im Vergleich zu anderen schallisolierenden Materialien, wie z. B. Glaswolle, sind Aerogele für Anwendungen auch mit kritischem Platzbedarf geeignet.

#### 9.1.5 Technologien für Energie

Der weltweite Energieverbrauch wird in den nächsten 50 Jahren Prognosen zufolge um das 1,5 bis 2,3-fache ansteigen; die Menge an fossilen Energieträgern, wie Erdöl oder Kohle, nimmt ab. Die Verbrennung fossiler Energieträger trägt wesentlich zum Klimawandel bei. Es bieten sich hier vielfältige Potenziale, die Energiewandlung effizien-

ter zu gestalten, den Energieverbrauch zu reduzieren sowie die Energiespeicherung voranzutreiben. Der Einsatz der Nanotechnologien wird in diesen drei Bereichen intensiv untersucht.

Für eine bessere **Energiewandlung** sind Photovoltaik-Systeme mit hohen Wirkungsgraden denkbar. Quantenpunkte<sup>46</sup> mit ihren einzigartigen Eigenschaften könnten die Wirkungsgrade herkömmlicher Solarzellen deutlich erhöhen; auch den Farbstoffsolarzellen oder den organischen Solarzellen in Verbindung mit nanoskaligen Strukturen wird großes Potenzial beigemessen. Lacke mit Absorption im Infrarotbereich sowie Lacke mit photovoltaischen Eigenschaften befinden sich noch ganz am Anfang der Entwicklung. Super-Gitter aus Quantenpunkten werden als hocheffiziente Thermo-elektrika untersucht – die Einsatzmöglichkeiten gerade in der mobilen Energieversorgung sind sehr vielfältig. Nanotechnologische Innovationen könnten auch im Bereich der Brennstoffzellen der derzeitigen Forschung Aufschwung geben.

Zur **Reduktion des Energieverbrauchs** gehört eine bessere Wärmedämmung, z. B. mit Nanoschäumen oder nanostrukturierten Aerogelen; für die Gebäudedämmung werden transluzente Elemente angeboten, die Innenräume mit ausreichend Tageslicht versorgen und gleichzeitig gut isolieren. Auch effizientere Lichtquellen (punktförmig oder großflächig) sind hier relevant – Beispiele sind Leuchtdioden, organische Leuchtdioden oder Quantenpunkte. Die Optimierung des Verbrennungsprozesses ist ein weiterer Ansatzpunkt, die zur Verfügung stehende Energie besser zu nutzen. So können z. B. Treibstoffen Nanopartikel aus Ceroxid beigemengt werden, um dadurch die Energieausbeute zu erhöhen.

Beim Einsatz von organischen Leuchtdioden (OLED) in Bildschirmen bzw. bei der Nutzung von Kohlenstoffnanoröhren-basierten Bildschirmen (Carbon Nanotube Field Emission Display = CNT-FED) würde deutlich weniger Energie als bei Kathodenstrahlröhren benötigt werden; effektive Produktionsmethoden für die Synthese der Nanoröhren werden hier erforscht.

Bei der **Energiespeicherung** werden Nanotechnologien vorrangig in Zusammenhang mit Superkondensatoren, der Wasserstoffspeicherung oder neuartigen Batterien bzw. Akkus vorangetrieben. Durch Miniaturisierung mit nanoskaligen Bauteilen lassen sich

---

<sup>46</sup> Ein Quantenpunkt (engl. *quantum dot*) ist eine nanoskopische Struktur, meist aus Halbleitermaterial (z. B. InGaAs, CdSe oder auch GaInP/InP). Ladungsträger (Elektronen, Löcher) in einem Quantenpunkt sind in allen drei Raumdimensionen so weit eingeschränkt, dass ihre Energie nicht mehr kontinuierliche, sondern nur noch diskrete Werte annehmen kann. Quantenpunkte verhalten sich also ähnlich wie Atome, jedoch kann ihre Form, Größe, oder die Anzahl von Elektronen in ihnen beeinflusst werden. Dadurch lassen sich elektronische und optische Eigenschaften von Quantenpunkten maßschneidern. (Quelle: Wikipedia)

kleinere Batterien konstruieren. Akkus auf nanotechnologischer Basis könnten eine Lebensdauer von Dekaden haben, wären universell einsetzbar und könnten zur erheblichen Reduktion von Altlasten beitragen (z. B. durch Verringerung des Aufkommens an Altbatterien).

Eine detaillierte Situationsanalyse zu Nanotechnologien im Energie-Bereich sowie eine Roadmap bis zum Jahr 2015 wurden bereits erstellt.<sup>47</sup>

### 9.1.6 Technologien für Produktion

Mit prognostiziertem Anstieg der Weltbevölkerung wird auch der weltweite Konsum und damit die Energie- und Rohstoffnutzung ansteigen. Für die Industrie stellt sich hier die Frage, wie sie die steigende Nachfrage mit geringerem Energie- und Materialaufwand realisieren kann. Als Strategien kommen hier die Anpassung bzw. Neugestaltung von Prozessen und Produkten, die Neubewertung von Bei- und Abfallprodukten sowie die Modifizierung vorhandener oder die Schaffung neuer Märkte in Frage. Dabei existieren große Ökoeffizienz-Potenziale vor allem in energie- und materialintensiven Branchen wie der chemischen Industrie, Textil- und Lederindustrie, Metallerzeugung und -verarbeitung, Elektronik und Elektrotechnik, Landwirtschaft und Ernährung sowie Forstwirtschaft und Holzverarbeitung.

Lösungsbeiträge der Nanotechnologien sind vor allem in der Anpassung bzw. Neugestaltung von Prozessen und Produkten zu erwarten. Nanoskalige Beschichtung, ein verminderter Ressourceneinsatz, ein neues Design oder Nanomaterialien sind relevant. **Nanobeschichtungen** können verschieden funktionalisiert sein, etwa gegen mechanische Beschädigung in der Automobilbranche oder selbstreinigend als Fassadenfarbe. Nanotribologische Schichten sorgen für eine längere Lebensdauer, Korrosionsschutz durch Aufbringen einer nanoskaligen Schicht organischer Moleküle, verringert den Einsatz giftiger Verbindungen und **Nanopartikel** in Kunststofffolien lassen weniger Gasaustausch zu und können Lebensmittel so länger haltbar machen. **Nanokomposit-Materialien** werden als Werkstoff für vielerlei Anwendungen untersucht, die eine höhere Ökoeffizienz aufweisen könnten.

---

<sup>47</sup> [www.nanoroad.net](http://www.nanoroad.net)

## 9.2 Innovationsdynamik und Marktpotenzial

### 9.2.1 Marktpotenzial

#### 9.2.1.1 Nanotechnologie-Marktpotenziale im Umweltbereich

Eine Einschätzung des *Nanotechnologie-Marktes* ist bereits ohne den Zusatz *Umwelt* schwierig. Eine Studie zum wirtschaftlichen Potenzial belegt, dass nanotechnologisches Know-how bereits heute die Wettbewerbsfähigkeit einer Vielzahl von Produkten bestimmt (Luther et al. 2004), insbesondere in den Massenmärkten der Elektronik, der Chemie und der Optischen Industrie. Mittel- bis langfristig wird die Nanotechnologie auch in den Bereichen Automobilbau sowie Life Sciences erheblichen kommerziellen Einfluss entfalten.

Die nachfolgenden Marktzahlen stellen aufgrund des Mangels einer eindeutigen Definition, der Heterogenität des Technologiefeldes sowie der Vielschichtigkeit der adressierten Märkte eher Schätzgrößen dar. Doch unabhängig von einer exakten Quantifizierung des Marktpotenzials, ist die enorme wirtschaftliche Bedeutung der Nanotechnologie als Schlüssel- und Querschnittstechnologie – auch für umweltrelevante Anwendungen – unbestritten.

Das Weltmarktvolumen von Produkten, in denen nanotechnologische Herstellungsverfahren oder Komponenten einen wesentlichen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit liefern, liegt derzeit in der Größenordnung von über 100 Mrd. € mit einer stark steigenden Tendenz (Luther et al. 2006); Abbildung 9-2 illustriert dieses rasante Wachstum anhand einer weiteren Quelle. Nach einer anderen Quelle wiederum wird für das Jahr 2010 für nanotechnologischer Produkte ein Marktwert von 1.000 Mrd. US \$ prognostiziert.<sup>48</sup>

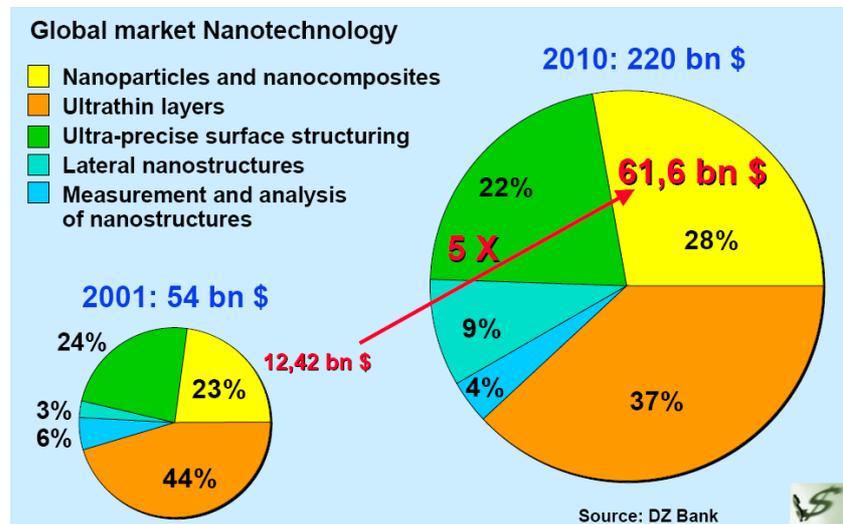
Der eher konservativ rechnenden Business Communication Company GmbH zufolge erzeugt der weltweite Markt für Nanotechnologien etwa 9,4 Mrd. US \$ Umsatz im Jahr 2005; für 2006 werden 10,5 Mrd. US \$ erwartet. Bis zum Jahr 2011 wird ein Wachstum von 19,1 % auf 25,2 Mrd. US \$ vorhergesagt. Den größten Anteil des Marktes im Jahr 2005 an den Nanotechnologien hatten Anwendungen zur Sanierung von verschmutztem Wasser, Boden oder Luft mit 33 % weit vor der Elektronik (24 %) und Energie (15 %).<sup>49</sup>

---

<sup>48</sup> Research and Consultancy Outsourcing Services 2005: „The World Nanotechnology Market 2005“, [www.researchandmarkets.com](http://www.researchandmarkets.com)

<sup>49</sup> [www.marketresearch.com/product/display.asp?productid=1331819&g=1](http://www.marketresearch.com/product/display.asp?productid=1331819&g=1)

Abbildung 9-2: Entwicklung des globalen Marktes im Bereich der Nanotechnologie



Quelle: DZ Bank, zitiert in: Pridöhl 2005

Das nanotechnologische Know-how fließt derzeit überwiegend in die frühen Stadien der Wertschöpfungskette ein, d. h. auf der Stufe von Komponenten und Zwischenprodukten oder Herstellungs- und Analysetools. Die eigentliche Wertschöpfung lässt sich jedoch häufig nur durch Performance-Gewinne im Gesamt-System bzw. im Endprodukt erzielen, deren Vermarktung von Systemanbietern in den jeweiligen Wirtschaftszweigen vorgenommen wird. Der Wertschöpfungsanteil und damit auch der wirtschaftliche Erfolg nanotechnologischer Produkte und Verfahren fallen demnach nur zu einem geringen Maße an diejenigen Unternehmen, die die Nanotechnologie-Entwicklungen vorantreiben.

Ein weiteres Hemmnis bei der Weiterentwicklung der Nanotechnologie ist die derzeitige Zurückhaltung von Investoren im Risikokapitalbereich (VC); insbesondere im Bereich der Frühphasen- und Gründungsfinanzierung stand in Deutschland in den letzten Jahren kaum VC zur Verfügung. Etwas positiver ist die Situation in den USA; dort wurden in 2005 ca. 375 Mio. US \$ VC in die Nanotechnologien investiert, davon ca. 90 Mio. US \$ im Bereich der Seed-Finanzierung<sup>50</sup>. Obwohl die Summe nur ca. 1,6 %

<sup>50</sup> In der frühen Phase werden die finanziellen Mittel vor allem für Forschung und Entwicklung benötigt, um ein Produkt oder eine Dienstleistung zur Marktreife zu führen. Diese Phase ist in der Regel durch ein sehr hohes Risiko gekennzeichnet, da kein fertiges Produkt vorliegt und der mögliche kommerzielle Erfolg in diesem Stadium nur sehr schwer schätzbar ist. Der Kapitalgeber wird dementsprechend eine, im Vergleich zu den späteren Phasen, höhere Beteiligungsquote beanspruchen, d. h. der Einkauf in das Unternehmen erfolgt zu einem niedrigen Preis bei hohem Risiko. (Quelle: Wikipedia)

der Gesamtsumme der VC-Investitionen in den USA entspricht, liegt das Volumen im Bereich der Nanotechnologie in den USA damit ungefähr 6-mal höher als in Europa.<sup>51</sup> Generell ist festzustellen, dass das privatwirtschaftliche Engagement in der Nanotechnologie in Nordamerika und Asien – speziell in den USA und Japan – deutlich größer ist als in Europa bzw. in Deutschland. Von den weltweiten Firmeninvestitionen in Höhe von 3,8 Mrd. US \$ im Jahr 2004 im Bereich der Nanotechnologie wurden 45 % von nordamerikanischen Firmen, 37 % von asiatischen Firmen und nur 17 % von europäischen Firmen getätigt (Lux Research 2004). Zahlreiche an einer Umfrage beteiligte Investment-Experten sehen allerdings für die Zukunft hohe Chancen bei Nanotechnologie-Investitionen (Luther et al. 2006).

Der Umsatz **nanotechnologischer Anwendungen im Umweltbereich** wird im Jahr 2005 mit 374,9 Mio. US \$ beziffert; für das Jahr 2010 wird ein Wachstum von 75,2 % mit mehr als 6 Mrd. US \$ prognostiziert. Hierbei werden nanotechnologischen Verfahren zur Wasser- und Bodensanierung sowie zur Reinigung von Luft die höchsten Potenziale mit Wachstumsraten von über 100 % auf einen Umsatz von 2,3 Mrd. US \$ im Jahr 2010 eingeräumt (BCC Research 2006).

Detaillierte Experteneinschätzungen hinsichtlich des nanotechnologischen Potenzials für umweltrelevante Entwicklungen sind bisher nur sehr vereinzelt zu finden. Wo bislang keine Angaben speziell zu nanotechnologischen Entwicklungspotenzialen mit Bezug zu umweltrelevanten Aspekten vorliegen, werden die Angaben des gesamten Sektors als Abschätzung für das Marktpotenzial der Nanotechnologie herangezogen.

### 9.2.1.2 Wasser

Wasseraufbereitung und Abwasserreinigung zählen zu den traditionellen und gut entwickelten Sektoren der Umwelttechnologie. Das globale Marktvolumen für Wasser- und Abwassertechnologien betrug 2002 etwa 250 Mrd. US \$. Auftraggeber ist häufig die öffentliche Hand; eine wichtige Rolle spielen auch Programme großer Entwicklungsbanken (z. B. Weltbank, European Investment Bank). Für die Zukunft wird global eine Steigerung des Marktvolumens für Wasser- und Abwasserbehandlungstechnologien vorhergesagt, insbesondere in Entwicklungs- und Schwellenländern, wo durch Bevölkerungswachstum, Urbanisierung und Industrialisierung der Bedarf an Wasserreinhaltung massiv zunimmt. Wichtige Treiber für die Technologieentwicklung im Bereich Wasser/Abwasser sind gesetzliche Vorschriften wie die EU-Wasserrahmenrichtlinie aus dem Jahr 2000, die das Ziel verfolgt, europaweit die Gewässer in einen „guten

---

<sup>51</sup> Cientifica (2006): VC to Nanotech: Don't call us, White Paper.

ökologischen Zustand“ zu bringen. Die Umsetzung dieser Richtlinie stellt v. a. eine große Herausforderung für die neuen EU-Mitgliedsstaaten dar. In Deutschland spielt die Abwasserverordnung vom 01.01.2005 eine wichtige Rolle, die die Abwasserbehandlung branchenspezifisch geregelt hat.

In Deutschland betreiben etwa 6.700 meist kommunale Unternehmen die Trinkwassergewinnung in 18.000 Wasseraufbereitungsanlagen. **Wasser- und Abwassertechnik** ist mit einem jährlichen Exportvolumen von 13 Mrd. US \$ einer der Exportschlager der deutschen Umwelttechnik. Mit 15,6 Mrd. € wurden in 2001 fast 50 % der Umweltschutzausgaben in Deutschland für den Gewässerschutz aufgewandt (Umweltbundesamt 2005).

Der Umsatz des gesamten **Wassermarktes** wird mit 287 Mrd. US \$ im Jahr 2004 angegeben, mit einem prognostizierten Wachstum auf 412 Mrd. US \$ im Jahr 2010.<sup>52</sup> Innovationen sind wegen steigenden Wasserbedarfs (demand pull) entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Wassergewinnung, dem Transport und der Verteilung bis zur Entsorgung und Reinigung zu erwarten. Technologische Lösungen spielen hierbei eine zentrale Rolle (technology push).

Für 2010 wird im Sektor der Membranfilter eine Nachfrage von 3 Mrd. US \$ erwartet (Freedonia 2006). Die Mikrofiltration ist mit einem Umsatz von 792 Mio. US \$ in 2005 und einem erwarteten Umsatz von 1,2 Mrd. US \$ in 2010 bei einem jährlichen Wachstum von 10,3 % marktführend.<sup>53</sup> Auch für die Umkehrosrose mit nanoporösen Membranen wird ein deutliches Wachstum von 10,3 % prognostiziert. Fallende Produktionskosten<sup>54</sup> und eine steigende Nachfrage – besonders von Seiten der Industrie – begünstigen diese Entwicklung.

Die **Wasserentsalzung** ist für aride Länder mit Meerzugang eine wichtige Technologie, die zunehmend auch zur Aufbereitung von Abwässern verwendet wird. Seit 1975 ist hier ein exponentielles Wachstum zu verzeichnen.<sup>55</sup> Die Produktionskosten für die Umkehrosrose-Techniken konnten in den letzten Jahren jährlich um 10 % gesenkt werden. Experten zufolge ist das Einsparungspotenzial noch nicht ausgeschöpft; mit einer weiteren deutlichen Preisreduktion ist zu rechnen. Technologische Innovationen

---

52 Helmut Kaiser Consultancy, Unternehmensberatung, Tübingen. [www.cleantechforumlahti.com/presentations/helmut\\_kaiser.pdf](http://www.cleantechforumlahti.com/presentations/helmut_kaiser.pdf), [www.hkc22.com/watermarketsworldwide.html](http://www.hkc22.com/watermarketsworldwide.html) (abgerufen am 21.11.07)

53 Business Communication Company Inc. (2006)

54 Seit 1990 sind z. B. die Kosten für Mikrofiltrationsmembranen um ca. 80 % gesunken.

55 [www.ifat.de/id/30364/CMEntries\\_ID/57283/cubesig/c8e6313bdbcf6d769290fe56d86edddb](http://www.ifat.de/id/30364/CMEntries_ID/57283/cubesig/c8e6313bdbcf6d769290fe56d86edddb)

führen zu einem geringeren Energieverbrauch und effizienteren Anlagen. Moderne Anlagen, wie z. B. in Ashkalon (Israel), produzieren Wasser für 0,527 US \$ pro m<sup>3</sup>. Die Bedeutung der Meerwasserentsalzung, insbesondere mittels Ultrafiltration, wird zunehmen und das Marktvolumen von heutigen 3 Mrd. US \$ auf 70 Mrd. US \$ in 2020 anwachsen.<sup>56</sup> Für die MENA-Region<sup>57</sup> wird das größte zukünftige Marktvolumen mit 2 Mrd. US \$ in 2010 gesehen, und für den asiatischen Raum wird ein Wachstum auf 1 Mrd. US \$ prognostiziert. Auch andere Regionen setzen verstärkt auf die Wasserentsalzung, um Wasserknappheiten zu vermindern. In England soll nach den Vorstellungen des privaten Versorgers Thames Water eine Entsalzungsanlage im Themse-Delta entstehen.<sup>58</sup>

### 9.2.1.3 Luft

Eine seriöse Abschätzung von globalen Marktpotenzialen für Luftreinigungstechnologien ist aufgrund der starken Dynamik dieser Märkte nur schwer möglich. Einzelne länderbezogene Studien und Analysen gehen – insbesondere in den Entwicklungs- und Schwellenländern – von starken Zuwachsraten für Luftreinigungstechnologien aus, während die Nachfrage in industrialisierten Ländern eher stagniert. So geht laut einer US-amerikanischen Studie das koreanische Umweltministerium davon aus, dass aufgrund schärferer Gesetzgebung und zunehmender Industrialisierung der koreanische Markt für Luftreinigungstechnologien jährlich um 15 % wachsen wird (zum Vergleich: globales durchschnittliches Wachstum 3 - 6 %); in 2001 betrug das Marktvolumen in Korea in diesem Sektor ca. 1,4 Mrd. US \$.<sup>59</sup>

Investitionen in die Luftreinigung werden insbesondere durch gesetzliche Vorgaben zu Emissions- oder Immissionsgrenzwerten ausgelöst. In Deutschland spielt hier das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) eine zentrale Rolle. Die EU hat 2005 eine thematische Strategie zur Luftreinigung entwickelt (CAFE – Clean Air for Europe): Nach Modellrechnungen können dadurch im Jahr 2020 weitere 63.000 vorzeitige Todesfälle pro Jahr vermieden und somit weitere Schadenskosten von 42 bis 135 Mrd. € pro Jahr eingespart werden. Die Kosten für die erforderlichen Maßnahmen wurden auf 7,1 Mrd. € pro Jahr berechnet. Derzeit existieren auf europäischer Ebene mehrere Richtlinien zur Luftreinigung (z. B. Feinstaub-Richtlinie). So wurde die Feinstaub-Diskussion in Deutschland v. a. dadurch ausgelöst, dass seit Anfang 2005 verschärfte

---

<sup>56</sup> Schweizer Vermögensverwaltung Sustainable Asset Management (SAM)

<sup>57</sup> MENA Region: Naher/Mittlerer Osten und Nordafrika

<sup>58</sup> [www.diepresse.com/Artikel.aspx?channel=e&ressort=eo&id=562600](http://www.diepresse.com/Artikel.aspx?channel=e&ressort=eo&id=562600)

<sup>59</sup> <http://strategis.ic.gc.ca/epic/internet/inimr-ri.nsf/en/gr111949e.html>

Grenzwerte für Feinstaub gelten, die jedoch durch eine Kombination aus Hintergrundbelastung und hohem Verkehrsaufkommen in Städten regelmäßig überschritten werden.

Eine US-Marktstudie zur Wettbewerbsfähigkeit der US-Luftreinigungstechnologie in Asien nennt die Strenge der gesetzlichen Umweltauflagen in den USA als den wichtigsten Wettbewerbsfaktor für den außenwirtschaftlichen Erfolg der Umwelttechnologie: Je strenger die US-Umweltauflagen, umso größer der Marktanteil von US-Technologiefirmen.<sup>60</sup>

#### **9.2.1.4 Boden**

Die Marktpotenziale des Bereichs Boden sind eng mit der Lebensmittelproduktion verknüpft. Der Marktanteil von Produkten aus ökologischer Landwirtschaft betrug in 2004 27 Mrd. US \$, Tendenz steigend.<sup>61</sup> Deutschland ist weltweit Spitzenreiter beim Export von Agrartechnik.<sup>62</sup> Studien der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe zufolge soll in Deutschland der Anteil der aus Biomasse erzeugten Primärenergie von heute 3,1 % auf 17 % im Jahr 2030 wachsen (Frerichs 2005). Nach einer Studie von Kaiser Consultancy wird ein Wachstum des Umsatzes von Nanotechnologie in der Landwirtschaft und der Nano-Nahrungsmittelindustrie (nanofood) von 5,3 Mrd. US \$ im Jahr 2005 auf etwa 20 Mrd. US \$ im Jahr 2010 geschätzt.<sup>63</sup> Allein für Nano-Verpackungen wird eine Steigerung von 1,1 Mrd. US \$ in 2005 auf 3,7 Mrd. US \$ im Jahr 2010 erwartet.

#### **9.2.1.5 Lärm**

Im Bereich Lärminderung sind verschiedene Potenziale für Innovationen erkennbar; eine genaue Einschätzung des Marktes ist jedoch wegen dessen Heterogenität sehr schwierig.

---

<sup>60</sup> United States – Asia Environmental Partnership (eds., 2001): U.S. Industry Market Leadership in Asia's Air Pollution Control Sector.

<sup>61</sup> [www.orgprints.org/5161/](http://www.orgprints.org/5161/)

<sup>62</sup> [www.vdi.de/vdi/organisation/schnellauswahl/fgkf/meg/aktiv/11639/index.php](http://www.vdi.de/vdi/organisation/schnellauswahl/fgkf/meg/aktiv/11639/index.php)

<sup>63</sup> Helmut Kaiser Consultancy (2006)  
[www.cleantechforumlahti.com/presentations/helmut\\_kaiser.pdf](http://www.cleantechforumlahti.com/presentations/helmut_kaiser.pdf),  
[www.hkc22.com/watermarketsworldwide.html](http://www.hkc22.com/watermarketsworldwide.html) (abgerufen am 21.11.07)

### 9.2.1.6 Energie

Insbesondere **Photovoltaik-Systeme**, neuartige **Beleuchtungstechnologien** sowie **Wärmedämmungen** sind aktuell marktrelevant.

Der weltweite Markt der **Photovoltaik(PV)-Systeme** wuchs im Jahr 2006 um 19 %. Die weltweit 2006 installierte Leistung erreichte den Wert von 1.744 MW. In Deutschland wuchs der Markt um 16 %. In Deutschland waren in 2006 insgesamt 960 MW installiert, sodass ca. 55 % der weltweit installierten Leistung auf Deutschland entfällt. Während sich der Markt in Japan kaum entwickelt hat, gehören Spanien und die USA zu den Ländern mit einer rasanten Entwicklung. Die Produktion von Solarzellen konnte gegenüber 1.656 MW in 2005 auf 2.204 MW in 2006 gesteigert werden. Die japanischen Produzenten haben Marktanteile verloren (39 % gegenüber 46 % des Vorjahres) zugunsten chinesischer Produzenten. In 2006 bezifferten sich die weltweiten Erlöse auf 10,6 Mrd. US \$ und die Investitionen auf 2,8 Mrd. US \$. Die PV-Industrie akquirierte über 4 Mrd. US \$ auf den Finanzmärkten gegenüber 1,8 Mrd. US \$ des Vorjahres. Vorhersagen für 2011 rechnen mit einem Marktvolumen von 18,6 bis 31,5 Mrd. US \$. Weiterhin wird in 2011 damit gerechnet, dass der deutsche Marktanteil auf 31 % zurückfällt. Der am stärksten wachsende Markt wird demnach der US-amerikanische Markt sein, dem dann ein Marktanteil von 23 % zugesprochen wird. Es wird zudem damit gerechnet, dass sich die angespannte Lage bei der Siliziumversorgung in den nächsten fünf Jahren weiter entspannen wird.<sup>64</sup>

**High Brightness Leuchtdioden (HB LED)** haben von 2001 bis 2004 durchschnittliche Wachstumsraten von 46 % erreicht. Im Jahr 2005 wuchs der Markt um 6,2 % auf ein Gesamtvolumen von 3,9 Mrd. US \$. Grund für das verlangsamte Wachstum ist eine Sättigung im Mobilfunkmarkt, der 2005 ca. 52 % des Gesamtmarktes für HB LEDs ausmacht. Für die kommenden Jahre werden daher Wachstumsraten in der Größenordnung von 15 bis 20 % erwartet, sodass im Jahr 2010 mit einem Marktvolumen von 8,3 Mrd. US \$ gerechnet wird. Das Wachstum wird insbesondere durch neue Anwendungen wie Beleuchtung, Autoscheinwerfer sowie die Displaybeleuchtung von Computermonitoren und Fernsehbildschirmen bestimmt. Vor allem die Fortschritte bei weißen HB LEDs ermöglichen den Eintritt in den 12 Mrd. US \$-Markt für allgemeine Beleuchtungsanwendungen.<sup>65</sup>

---

<sup>64</sup> Solarbuzz (2007) World PV Industry Report Highlights, <http://www.solarbuzz.com/Marketbuzz2007-intro.htm>, abgerufen am 23.07.07

<sup>65</sup> Strategies Unlimited, "High-Brightness LED Market Growth Slowing but Still Healthy " [http://su.pennnet.com/press\\_display.cfm?ARTICLE\\_ID=258199](http://su.pennnet.com/press_display.cfm?ARTICLE_ID=258199), abgerufen am 21.06.06

Die **Wärmedämmung** an Gebäuden und damit der Bedarf an guten thermischen Isolatoren gewinnen vor dem Hintergrund steigender Energiepreise stetig an Bedeutung. Der Anteil an Isolationsmaterialien für den privaten Gebrauch liegt bei 80 % des Gesamtmarktvolumens mit stark steigenden Wachstumsraten. Eine Umsatzsteigerung von 2,5 Mrd. US \$ in 2005 auf 2,9 Mrd. US \$ wird erwartet.<sup>66</sup>

### 9.2.1.7 Produktion

Im Bereich Produktion sind insbesondere **schmutzabweisende Schichten** in der Kommerzialisierung schon recht weit fortgeschritten, was einerseits durch die breite Anwendbarkeit bedingt ist und andererseits durch die guten Erfolge, die mit derartigen Schichten erzielt werden konnten. Eine genaue Einschätzung des Marktes ist jedoch wegen dessen Heterogenität aufgrund zahlreicher spezifischer Anforderungen der unterschiedlichen Branchen und Produktionsverfahren ebenfalls sehr schwierig.

## 9.2.2 Rahmenbedingungen und Akteure

### 9.2.2.1 Positionierung von Deutschland

Die F&E-Ausgaben der öffentlichen Hand für Nanotechnologien in Deutschland belegen mit 310 Mio. € im Jahr 2005 hinter den USA und Japan weltweit den dritten Platz. Bei den Patentanmeldungen in der Nanotechnologie befindet sich Japan hinter den USA und Deutschland auf dem dritten Platz (Abbildung 9-3). Bei nanowissenschaftlichen Publikationen lag Deutschland in den letzten Jahren ebenfalls an dritter Position, ist aber mittlerweile durch China auf Platz vier verdrängt worden (BMBF 2006).

Zu den Stärken Deutschlands zählen die gut ausgebaute F&E-Infrastruktur und das hohe Niveau der Forschung in vielen Teilfeldern der Nanotechnologie. Auch ist die industrielle Basis für die Verwertung der Forschungsergebnisse vorhanden. So sind derzeit ca. 600 Unternehmen mit der Entwicklung, Anwendung und dem Vertrieb nanotechnologischer Produkte befasst, darunter ca. 120 Großunternehmen und 480 KMU (vgl. Abbildung 9-4). Etwa 60 Finanzdienstleister widmen sich Investitionsthemen mit Bezug zur Nanotechnologie. Derzeit können ca. 50.000 Arbeitsplätze in der Industrie direkt oder indirekt dem Themenfeld zugeordnet werden. Speziell bei Start-ups und KMU ist mit einer Zunahme an Arbeitsplätzen zu rechnen (BMBF 2006).

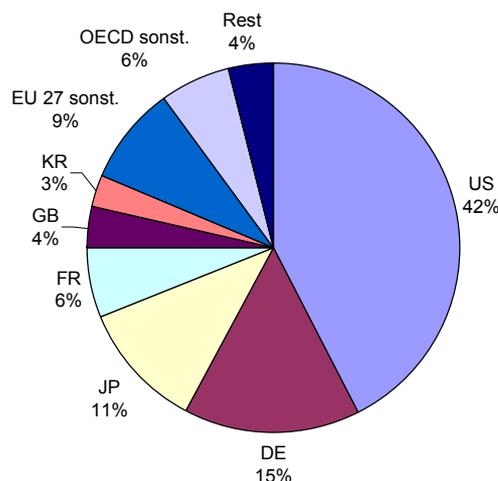
---

<sup>66</sup> IHS inc., „Frost: Efficient Thermal Insulation Materials Will See Uptake in Europe“, <http://aec.ihs.com/news/frost-insulation-europe.htm>, abgerufen am 02.03.06.

Bei ungefähr der Hälfte der Nanotechnologie Start-ups handelt es sich um Kleinunternehmen mit weniger als 10 Mitarbeitern. Ca. ein Drittel der Unternehmen hat mittlerweile einen Personalbestand von über 20 Mitarbeitern aufgebaut. Grob geschätzt dürfte die Gesamtsumme der in den 200 identifizierten Nanotechnologie Start-ups Beschäftigten ca. 5.000 betragen. Bei einer geschätzten Gesamtbeschäftigtenzahl von 20.000 bis 32.000 im Bereich der Nanotechnologie in Deutschland liegt der Anteil von Start-up Unternehmen somit ca. zwischen 15 % bis 25 %. Start-ups stellen somit einen erheblichen Faktor hinsichtlich der Arbeitplatzeffekte der Nanotechnologie dar, zumal davon auszugehen ist, dass es sich hierbei um neu geschaffene Arbeitsplätze handelt.

Besonders aktive Zentren hinsichtlich der Neugründung von Nanotechnologie-Unternehmen sind in Deutschland die Regionen München, Berlin, Saarland, Nordrhein-Westfalen, Dresden und Südhessen.<sup>67</sup>

Abbildung 9-3: Patentanteile bei der Nanotechnologie im Zeitraum 2000 bis 2004



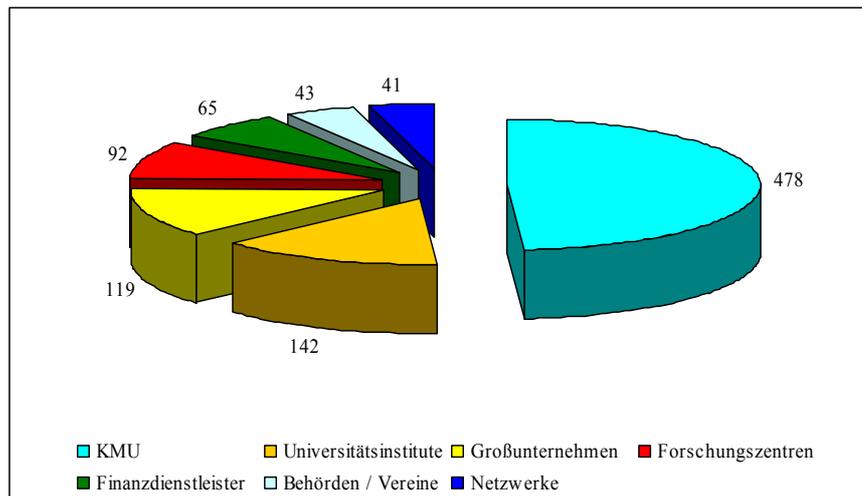
Quelle: eigene Berechnungen Fraunhofer ISI, 2007

In Deutschland fördert das **Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)** die Nanotechnologien seit den 1990er Jahren mit verschiedenen Programmen, wobei es bislang keinen dedizierten Förderschwerpunkt „Nanotechnologie und Umwelt“ gab (vgl. Zweck 2007). Vielmehr finden sich zahlreiche Einzelprojekte in verschiedenen Förderprogrammen mit Bezug zur Thematik *Nanotechnologie und Umwelt*, ohne dass zwangsläufig diese Thematik im Vordergrund steht. So beschäftigt sich beispielsweise das BMBF-Rahmenprogramm „WING – Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft“ (2004–2006) u. a. mit ressourcen- und energieeffizienten Produktionsverfahren.

<sup>67</sup> Vgl. [www.nanoingermany.com/nanomap](http://www.nanoingermany.com/nanomap).

ren, Batterien und Wasserstoffspeichern mit Nanostrukturen und auch ökologischen Implikationen von Oberflächenbearbeitungen.

Abbildung 9-4: Verteilung der Nanoakteure in Deutschland (Stand: Sept. 2006)



Quelle: BMBF, 2006

Zahlreiche Projekte beschäftigten sich mit den Themen Wasser und Energie. Im Bereich **Wasser** sind vor allem Membranfiltrationsverfahren seit längerem von Interesse; hier spielen die Weiterentwicklung sowie die Verbesserung nanoporöser Membranen eine wichtige Rolle, gerade auch in der Industrie. Im Bereich Energie sind vorrangig Katalysatoren Gegenstand geförderter Projekte. Strengere Emissions-Auflagen sind Innovationstreiber und erfordern eine ständige Anpassung von KFZ-Katalysatoren und Wärmekraftwerken. Weiterhin ist die Analytik ein deutlich vertretener Schwerpunkt. Insbesondere Gassensoren oder Nano-Bio-Sensoren zur Pathogen- und Toxin-Detektion oder die Echtzeitüberwachung größerer Areale sind deutliche Trends.

Die Förderung von Leitinnovationen zu den Nanotechnologien soll eine optimale Hebelwirkung auf Wachstum und Beschäftigung entlang der gesamten Wertschöpfungskette auslösen. Ziel ist die Sicherung und der Ausbau bestehender Märkte sowie die Erschließung neuer Wachstumsfelder. Leitinnovationen zeichnen sich durch die Kooperation aller für eine Markterschließung notwendigen Akteure einer Branche aus, vom Grundlagenforscher über den Zulieferer bis zum Kunden.<sup>68</sup> Die Potenziale der Nanotechnologie auch für Umweltschutz und für Ressourceneinsparungen sollen hier auf breiter Ebene erschlossen werden. Ansatzpunkte bieten dabei neuartige Filtersys-

<sup>68</sup> Geförderte Leitinnovationen durch das BMBF: Elektronik: NanoFab; Automobilbau: NanoMobil; Chemie: NanoMikroChem; Medizin: NanoforLife; Lichttechnik: NanoLux und OLED-Initiative; Energie.

teme zur Abwassereinigung und Trinkwassergewinnung, der Ersatz toxischer Stoffe durch Nanomaterialien sowie Rohstoffeinsparungen durch miniaturisierte technische Komponenten.

Zunehmend finden sich auch Projekte, die mögliche negative Auswirkungen von nanoskaligen Partikeln auf Mensch und Umwelt zum Forschungsgegenstand haben; in dem Projekt NanoCare verspricht man sich Erkenntnisse über Toxizität künstlicher Nanopartikel.

Das **Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)** unterstützt u. a. Verbundprojekte für automobiler Anwendung auf Basis nanostrukturierter Materialien, zu katalytisch aktiven Nano-Werkstoffen für Oberflächen im Abgasstrang und in Verbrennungsmotoren zur Vermeidung von Rußpartikel-Emissionen sowie zu innovativen Energiespeichersystemen auf Basis von Kohlenstoffnanostrukturen.

Aktivitäten des **Bundesumweltministeriums** bzw. des **Umweltbundesamtes** sind u. a.:

- Positionspapier: Nanotechnik – Chancen und Risiken für Mensch und Umwelt (August 2006),
- Entwicklung einer gemeinsamen Forschungsstrategie „Nanotechnologie“ mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und dem Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) zu Gesundheits- und Umweltrisiken von Nanopartikeln,<sup>69</sup>
- Dialog-Nanopartikel, Stakeholderdialoge zu Chancen und Risiken von Nanomaterialien,
- Ausschreibung einer Studie zu Entlastungseffekten für die Umwelt durch nanotechnische Verfahren und Produkte,
- Rechtsgutachten Nanotechnologie: Bestehender Rechtsrahmen, Regulierungsbedarf sowie Regulierungsmöglichkeiten auf europäischer und nationaler Ebene.

Das **Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz** und das Bundesinstitut für Risikobewertung sind insbesondere in Bezug auf verbraucherrelevante Risiken nanotechnologischer Produkte und Prozesse tätig:

- Verbraucherkonferenz zu Chancen und Risiken nanotechnologischer Anwendungen in den Bereichen Lebensmittel, Kosmetika und Textilien,
- Delphi-Befragung zu Risiken nanotechnologischer Anwendungen.

---

<sup>69</sup> [www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/Forschungsstrategie.html](http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/Forschungsstrategie.html) .

Die **Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)** fördert Projekte im Rahmen von Sonderforschungsbereichen, Schwerpunktprogrammen und auch Graduiertenkollegs.

Durch Maßnahmen der **Clusterpolitik** findet eine Zusammenführung von Akteuren vor allem aus Wissenschaft und Wirtschaft statt, die sich zu regional verorteten, aber international ausgerichteten Kompetenzzentren entwickeln sollen, bei denen nanobasierte Umwelttechnologien ebenfalls diskutiert werden (Glauner, Zweck 2006).

### 9.2.2.2 International

Die öffentlichen Investitionen im Bereich der Nanotechnologie summieren sich mittlerweile weltweit auf ca. 4 Mrd. € pro Jahr, wobei Europa (Europäische Kommission und Mitgliedstaaten) mit ca. 1,3 Mrd. €, die USA (Bundesebene und Bundesstaaten) mit ca. 1,2 Mrd. € sowie Japan mit ca. 750 Mio. € die führenden drei Regionen bilden.<sup>70</sup> Der Trend ist weiter ansteigend; insbesondere Südostasien, China und Indien verstärken ihr Engagement erheblich. Dieses enorme staatliche Engagement wird getrieben von hohen Erwartungen hinsichtlich des volkswirtschaftlichen Nutzens in Form von Umsätzen und Arbeitsplätzen, die unmittelbar mit den nanotechnologischen Entwicklungen verknüpft sind.

Die **Europäische Union** verfügt über keinen dedizierten Förderschwerpunkt „Nanotechnologien und Umwelt“, jedoch über eine eigene thematische Priorität zu den Nanotechnologien. Inwieweit in den zahlreichen dort angesiedelten Projekten ein Bezug zu umweltrelevanten Fragestellungen vorliegt, lässt sich hier nicht umfassend und abschließend klären; einige Projekte arbeiten jedoch auf eine effizientere, ressourcenschonende Produktion oder die Entwicklung von neuen Verfahren und Produkten hin. Die Europäische Union fördert darüber hinaus mit mehreren Forschungsprojekten die Untersuchung potenzieller Risiken von Nanotechnologien, darunter die Projekte *Nano-safe 2* und *Nanoderm*. Auch im 7. Forschungsrahmenprogramm der EU besitzen die Nanotechnologien mit Bezug zu Umweltfragestellungen somit einen hohen Stellenwert.

In den **USA** werden Fördergelder im Themenbereich der Nanotechnologien zentral in der Nationalen Nanotechnologie Initiative NNI gebündelt, die für das Jahr 2005 ein Budget von 982 Mio. US \$ zur Verfügung hatte. Durch den „21st Century Nanotechnology Development Act“ konnten für den Zeitraum 2005 bis 2008 weitere 3,7 Mrd. US \$ zur Förderung der Nanotechnologieforschung für die fünf Forschungsorganisationen NSF, DoE, NASA, NIST und EPA bereitgestellt werden. Insbesondere die US-

---

<sup>70</sup> Europäische Kommission (2005): „Some Figures about Nanotechnology R&D in Europe and Beyond“ ([www.cordis.lu/nanotechnology/src/pe\\_reports\\_studies.htm](http://www.cordis.lu/nanotechnology/src/pe_reports_studies.htm)).

amerikanische Umweltbehörde EPA unterstützt eine ganze Reihe an Forschungsprojekten, die zu ökoeffizienteren und umweltverbessernden Anwendungen durch Nanotechnologien führen könnten. Die EPA unterstützt des Weiteren elf nanotechnologische Projekte von kleineren Unternehmen, die sich mit umweltrelevanten Fragestellungen beschäftigen (EPA's Small Business Innovation Research – SBIR).<sup>71</sup>

## 9.3 Internationale Analyse der technologischen Leistungsfähigkeit

### 9.3.1 Patentanalyse

Die Dynamik der Nanotechnologie in Bezug auf Forschung und Entwicklung lässt sich anhand der Entwicklung der Patentanmeldungen bei internationalen oder nationalen Patentämtern beschreiben. Abbildung 9-5 zeigt die Dynamik der Patentanmeldungen zu den Nano-Hauptproduktgruppen im Umweltbereich beim Europäischen Patentamt (EPA) und bei der Weltorganisation für Geistiges Eigentum (WIPO) zwischen 1991 und 2004 sowie zum Vergleich die Patentanmeldungen zur Nanotechnologie insgesamt (Nanotechnologie allgemein: Anmeldung von Nanopatenten für alle Patentbereiche). Zur Glättung statistischer Schwankungen, welche aufgrund der vergleichsweise geringen Fallzahlen bei einigen Produktgruppen auftreten, wurden die jährlichen Patentzahlen in Drei-Jahres-Scheiben zusammengefasst. Der Bereich 1991 bis 1992 wurde entsprechend korrigiert.

Bei den Patenten dominieren **strukturelle Anwendungen**, bei denen Nano-Partikel in Werkstoffen (wie Keramiken, Verbundmaterialien, Fullerenen bzw. Carbon Nano Tubes) oder in Beschichtungen eingesetzt werden oder Nano-Strukturen in Oberflächen geprägt werden. Die zweitgrößte Anzahl an Anmeldungen besteht im Bereich der **Sensoren** mit Nano-Strukturen oder mit biologischen Molekülen. Den drittgrößten Bereich, allerdings der Bereich mit den größten Zuwächsen (vgl. Abbildung 9-5) machen Patente zu **chemischen Anwendungen** und Verfahren aus. Zu diesen gehören neben Katalysatoren, Elektroden und Syntheseverfahren, bei denen Nano-Strukturen eine Rolle spielen, auch Filtrationsverfahren. Die Patentanteile der einzelnen Produktgruppe sind nicht sehr unterschiedlich in den einzelnen betrachteten Ländern (vgl. Abbildung 9-6).

---

<sup>71</sup>[http://cfpub.epa.gov/ncer\\_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.researchCategory/rc\\_id/838](http://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.researchCategory/rc_id/838).

Abbildung 9-5: Patentdynamik der Nanotechnologie weltweit

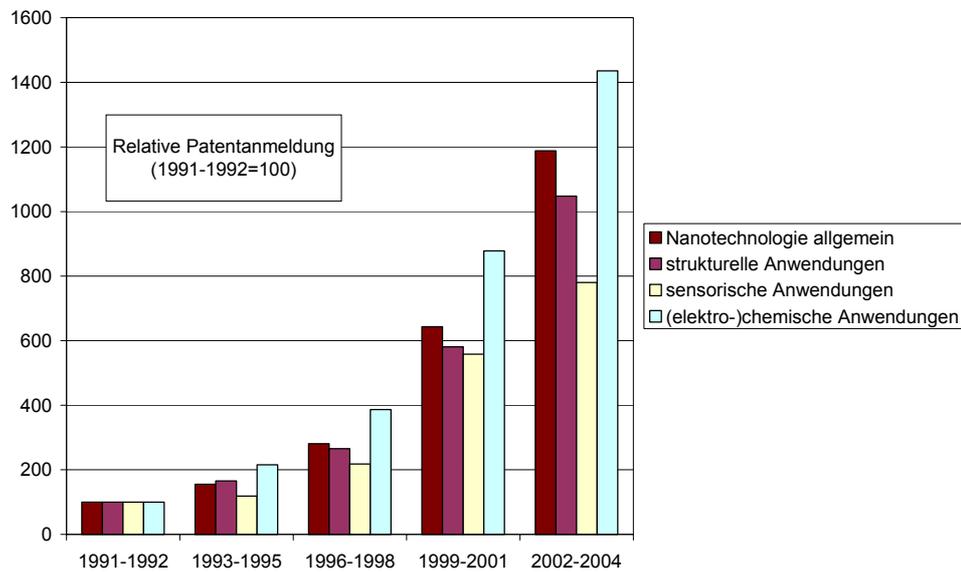
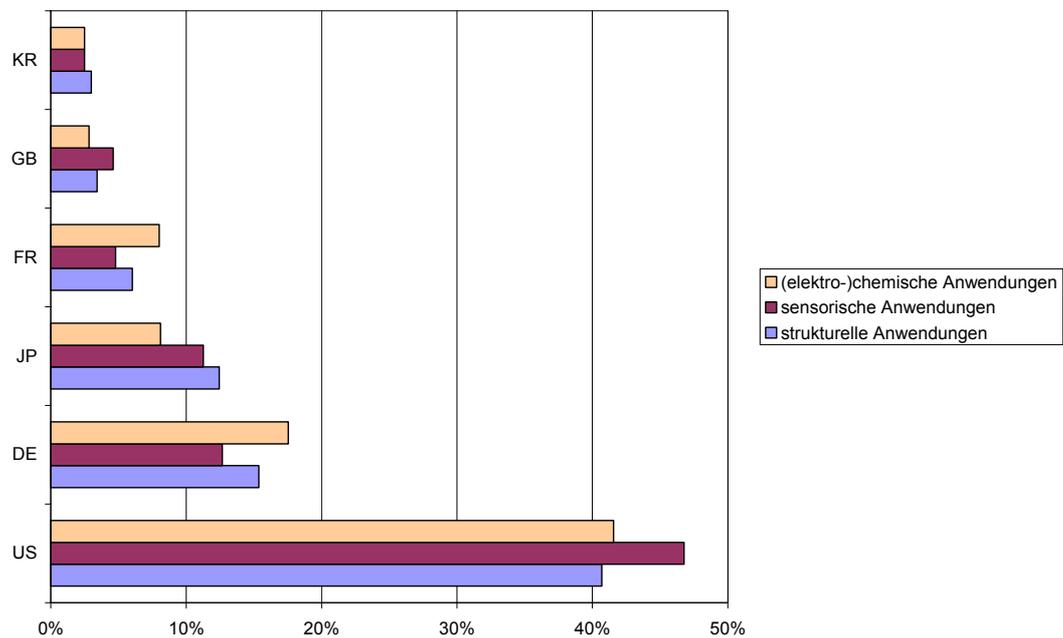


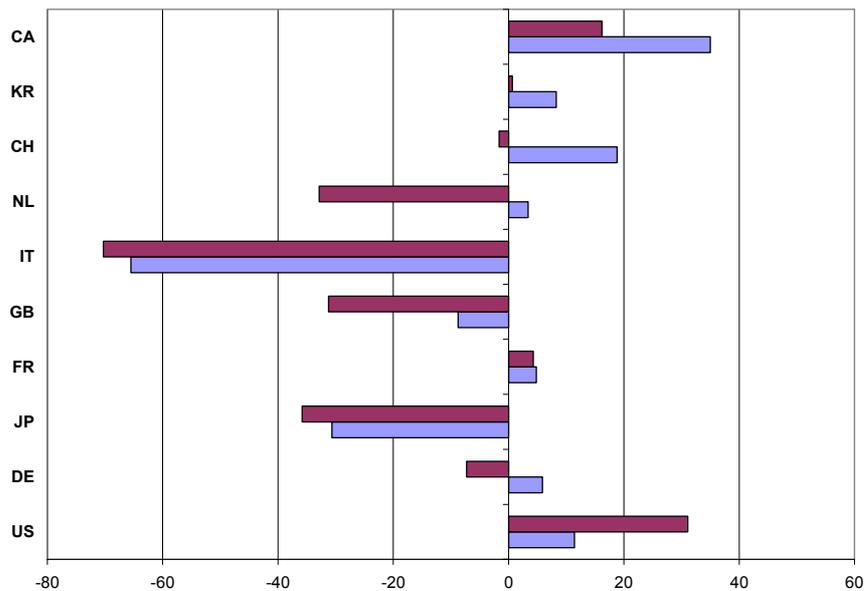
Abbildung 9-6: Patentanteile nach ausgewählten Ländern und verschiedenen Produktgruppen für 2000 bis 2004



In der Summe aller Nanotechnologieproduktgruppen ergeben sich für Japan und die meisten EU-Länder negative RPA (vgl. Abbildung 9-7). Deutschland hatte 1995 bis 1999 einen leicht positiven und im Zeitraum 2000 bis 2004 einen negativen RPA. Frankreich und, nicht in der Abbildung dargestellt, Belgien und Irland haben positive

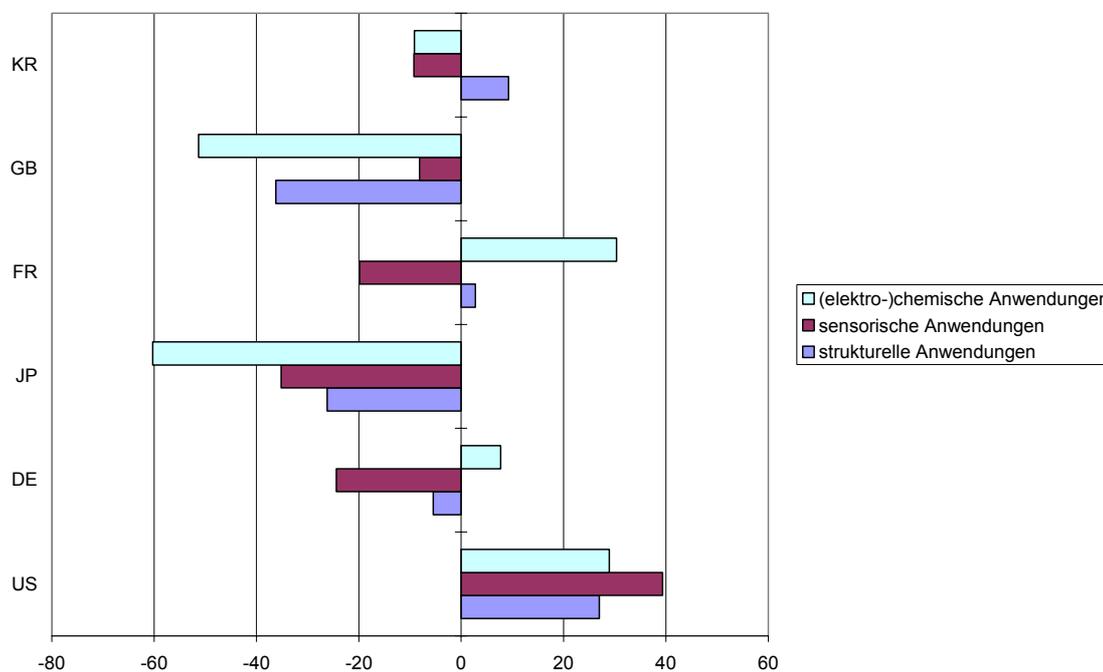
RPA. Kanada und die USA haben überdurchschnittliche Patentaktivitäten mit einem RPA von 16 bzw. 31 für die Jahre 2000 bis 2004. Die USA hatten ihre Patentaktivitäten in den Jahren 2000 bis 2004 gegenüber 1995 bis 1999 noch mal gesteigert.

Abbildung 9-7: Relativer Patentanteil für Nanotechnologie in den Zeiträumen 2000 bis 2004 und 1995 bis 1999



In Abbildung 9-8 sind die relativen Patentanteile nach den Anwendungsfeldern der Nanotechnologie weiter aufgeschlüsselt. Während die Patentaktivitäten der USA in allen Bereichen überdurchschnittlich und bei Japan in allen Bereichen unterdurchschnittlich sind, haben sich Frankreich und Deutschland auf die chemischen Anwendungen spezialisiert. Vor allem bei den sensorischen Anwendungen ist Deutschland unterrepräsentiert.

Abbildung 9-8: Relativer Patentanteil für Nanotechnologie für Anmeldungen in den Jahren 2000 bis 2004, differenziert nach den verschiedenen Anwendungsbereichen



### 9.3.2 Außenhandelsindikatoren

Als Beurteilungskriterien zur Außenhandelsstärke eines Landes dient der Welthandelsanteil, berechnet als Exportwert einer Produktgruppe am Welthandel dieser Produktgruppen. Dieser relativ unkomplizierte Wert lässt aber u. a. die Importe und das Niveau der Integration des Landes in den Außenhandel außer Acht. Dies berücksichtigt die Messzahl RCA (Revealed Comparative Advantage). Durch die andere Klassifikation und Logik bei der Außenhandelstatistik (HS 2002 sowie SITC) ist es nicht möglich, dieselben Kategorien wie bei den Patenten zu verwenden. Hinzu kommt, dass nanotechnologische Produkte noch nicht in großer Menge gehandelt werden. Zur Potenzialabschätzung wurde anhand verschiedener Quellen<sup>72</sup> untersucht, welche nanotechnologischen Produkte am Markt sind bzw. schon beworben werden, und die entsprechenden Warengruppen aus der Außenhandelsstatistik zur Analyse herangezogen. Dies sind:

- **Oberflächen:** antibakterielle Oberflächen, Glasoberflächen, Kosmetik, Pigmente, Textilien;
- **Sensoren:** Analytik, Halbleiter;

<sup>72</sup> Z. B. Internetdatenbanken wie [www.nanotechproject.org](http://www.nanotechproject.org), [www.nanoingermany.com](http://www.nanoingermany.com), u. a.

- **Chemie:** Katalysatoren, Kunststoffadditive, Medizin, Schmieröladditive;
- **Filter:** Filter, Membranen, Nanokristalle.

Den größten Anteil am Welthandel hat die USA mit 15 %. Der Anteil Deutschlands am Außenhandel liegt bei ca. 10 % (vgl. Abbildung 9-9). Die EU27 hat einen Anteil von ca. 45 %. Im Gegensatz zu anderen Technikfeldern ist der Anteil von nicht zu den OECD-Ländern gehörenden Ländern mit 24 % hoch. Aus Abbildung 9-10 ist ersichtlich, dass die Anteile der USA von über 20 % und Japans von über 15 % in den 1990er Jahren in den letzten Jahren stark gefallen sind. Die Welthandelsanteile der dargestellten europäischen Länder blieben in diesem Zeitraum relativ konstant.

Beim RCA haben, bis auf Kanada und Korea, die dargestellten Länder komparative Vorteile (vgl. Abbildung 9-11). Dieser Vorteil ist bei den USA mit einem RCA von 70 sehr ausgeprägt. Die europäischen Länder sind unterschiedlich positioniert: die Schweiz, Großbritannien und Frankreich haben gegenüber Japan einen leichten Wettbewerbsvorteil, während Deutschland, die Niederlande und Italien einen niedrigeren RCA haben.

Abbildung 9-9: Welthandelsanteil für Nanotechnologie-Waren in den Jahren 2000 bis 2004

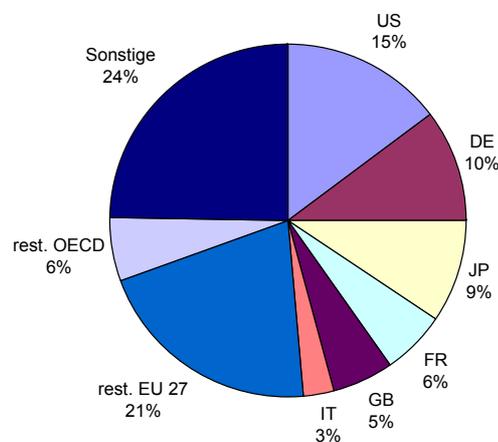


Abbildung 9-10: Entwicklung der Welthandelsanteile für Nanotechnologie-Waren in den Jahren 1993 bis 2004.

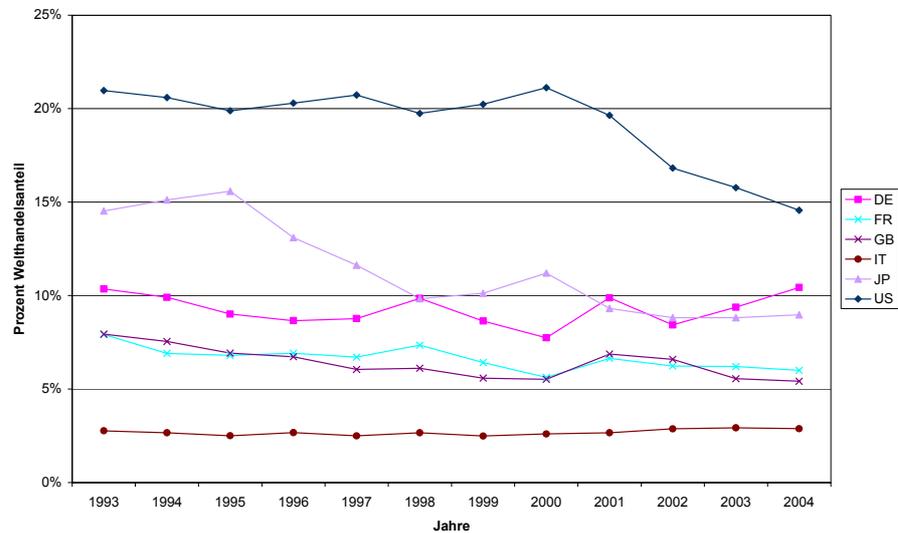
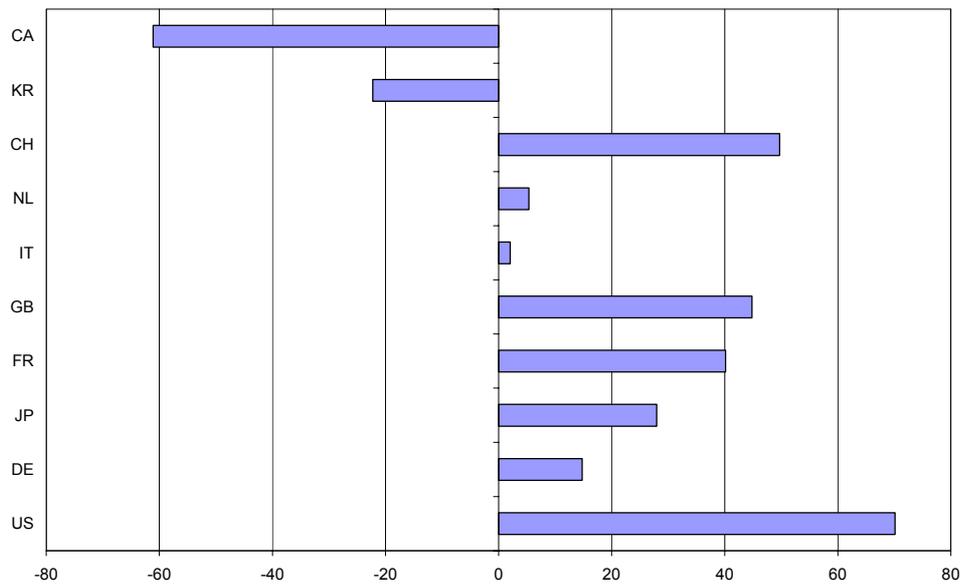


Abbildung 9-11: RCA für Nanotechnologie im Zeitraum 2000 bis 2004



## 9.4 Schlussfolgerungen für die Perspektive 2020

Eine Zusammenfassung der Analyseergebnisse hinsichtlich der wesentlichen Parameter Innovationsdynamik, Marktpotenzial und Wettbewerbsfähigkeit ergibt folgendes Bild:

- **Innovationsdynamik:** Bei der Patentrecherche zeigt sich, dass Deutschland und die europäischen Länder gegenüber den USA noch einen hohen Nachholbedarf im Bereich der Nanotechnologie haben. Dies gilt sowohl bezüglich des Anteils der Patentanmeldungen als auch beim relativen Patentanteil. Ein positiver Aspekt für Deutschland ist seine relative Stärke in der Produktgruppe Chemische Anwendungen, da dies auch der am schnellsten wachsende Patentbereich ist.
- **Marktpotenzial:** Die Nanotechnologie wird als eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts angesehen, mit der bereits heutzutage mit Produkten, die sich nur mit Hilfe der Nanotechnologie produzieren lassen, beträchtliche Umsätze erzielt werden. Mit dem wirtschaftlichen Durchbruch der Nanotechnologie wird der Umsatz zukünftig enorm steigen; Marktprognosen sagen in den nächsten zehn Jahren eine exponentielle Steigerung des Nanotechnologiemarktes voraus.
- **Wettbewerbsfähigkeit:** Insgesamt ist die EU27 mit einem Anteil von 45 % im Welt-handel mit Waren gut aufgestellt, die potenziell mit Nanotechnologie hergestellt werden könnten. Die EU27 zeigen eine in der Nanotechnologie allgemein positive relative Wettbewerbsfähigkeit. Auch Deutschland hat mit einem Zehntel des Welthandels eine gute Position im internationalen Wettbewerb.

Tabelle 9-1: Vergleich von Wettbewerbsfähigkeit und Marktpotenzial der verschiedenen Produktgruppen des Handlungsfeldes Nanotechnologie

Produktgruppe	Patente		Außenhandel		Markt-potenzial
	relative Position	wichtigste Konkurrenten	relative Position	wichtigste Konkurrenten	
Nanotechnologie gesamt	hoch	US, JP, FR	sehr gut	US, JP, FR, GB	sehr hoch
Strukturelle Anwendungen	hoch	US, JP, FR	gut	US, JP, FR	sehr hoch
Sensorische Anwendungen	hoch	US, JP, GB, FR	gut	US, JP; KR	sehr hoch
(Elektro-)chemische Anwendungen	hoch	US, JP, FR	gut	US, JP, FR, NL	hoch

Tabelle 9-2: Überblick über Stärken und Schwächen im Handlungsfeld Nanotechnologie

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Starke Grundlagenforschung:</b> Aber von bisherigem Platz drei bei Publikationen weltweit nach USA und Japan durch China verdrängt</li> <li>• <b>Ausdifferenzierte Forschungslandschaft:</b> Starke Beteiligung auch außeruniversitärer Forschungsinstitutionen an Nanotechnologien</li> <li>• <b>Positive Grundstimmung:</b> Bevölkerung gegenüber Nanotechnologie-Innovationen aufgeschlossen</li> <li>• <b>Interesse beim Nachwuchs:</b> Wachsende Nachfrage nach neuen Ausbildungs- und Studiengängen zur Nanotechnologie</li> <li>• <b>Gute industrielle Basis:</b> Bereits ca. 600 Unternehmen (davon ca. 480 KMU) mit Nanotechnologie befasst</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Vielseitigere und effizientere Werkstoffe:</b> Neue Eigenschaften und Funktionalitäten für konventionelle Werkstoffe</li> <li>• <b>Schaffung neuer Anwendungsvielfalt:</b> Materialien mit maßgeschneiderten Eigenschaften, insbesondere durch Selbstorganisationsprozesse</li> <li>• <b>Wettbewerbsvorteile:</b> Nanotechnologie-Innovationen quer durch alle Branchen möglich</li> <li>• <b>Gutes Innovationsklima:</b> Gesellschaft in den Dialog über Chancen und Risiken einbezogen</li> <li>• <b>Potenzielles Investoreninteresse:</b> Im Bereich Nanotechnologie hoch</li> <li>• <b>Risikokommunikation:</b> Etablierung eines Dialogprozesses, der alle gesellschaftlichen Gruppen umfasst und zum Verständnis sowie zur Akzeptanz beiträgt und gleichzeitig die Risiken beleuchtet</li> </ul>
Schwächen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Umsetzungsdefizit:</b> Trotz Führungsposition in Europa großer Abstand hinsichtlich Patenten und Anzahl der involvierten Firmen zu USA und Südostasien</li> <li>• <b>Schwierigkeiten für Start-ups:</b> Ungenügende Bereitstellung von Risikokapital; bürokratische Hindernisse</li> <li>• <b>Informationsdefizite in der Wirtschaft:</b> Z. T. kein klares Bild von den Chancen der Nanotechnologie bei potenziellen Investoren, aber auch bei der Industrie, die seit Jahrzehnten Nanoteilchen produziert und verwendet, ohne dass das Label Nanotechnologie verwendet wurde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Schnelle Umsetzung von Forschungsergebnissen</b> in Produkte, die auch in Deutschland gefertigt werden</li> <li>• <b>Wissenschaftliche Risikobewertung:</b> Mögliche toxische Wirkungen von Nanopartikeln noch nicht hinreichend untersucht</li> <li>• <b>Sicherer, verantwortungsvoller Umgang mit der Nanotechnologie:</b> Verbraucheraufklärung und Verbraucherschutz, Arbeitsschutz</li> <li>• <b>Internationale Normung, Standardisierung und Prüfstrategien:</b> Aktivere Rolle Deutschlands notwendig</li> </ul>

## 10 Ausblick auf die ökologische Industriepolitik

### 10.1 Ansatzpunkte und Herausforderungen

#### 10.1.1 Ökologische Industriepolitik aus Sicht der Volkswirtschaftslehre

Die volkswirtschaftliche Behandlung des Themas Industriepolitik ist breit gefächert. Die vertretenen Positionen reichen von streng liberalen – staatliche Steuerung eher ablehnenden – Positionen (vgl. Streit 1984; Oberender 1987; Berg/Schmidt 1998) bis hin zu Ansätzen, die strukturpolitische begründete, pragmatische Eingriffe rechtfertigen (vgl. Kohn 1984; Gahlen/Stadler 1986; Brösse 1999; Seitz 1999). Begründungen für die staatlichen Aktivitäten beruhen auf der Industrieökonomik, evolutionären Ansätzen sowie der neuen Wachstumstheorie (vgl. Dasgupta/Stoneman 1987; Smith 1991; Mowery 1994; Fritsch 1995). Die Begründungen werden – wie in der Volkswirtschaftslehre oftmals üblich – letztendlich auf Marktmängel zurückgeführt.

Eine erste Argumentationslinie rückt die **positiven Externalitäten von F&E** (spillovers von F&E, Netzwerkexternalitäten) und besondere Hemmnisse bei der Bereitstellung öffentlicher Güter, bei der Verbreitung neuer Technologien und den strukturellen Anpassungsprozessen an veränderte Wirtschaftsstrukturen in den Vordergrund (vgl. Meyer-Krahmer 2004). Gerade die letzte Argumentationskette wird in den OECD-Staaten in den letzten Jahren zunehmend in den Vordergrund gerückt: Hemmnisse für strukturelle Anpassungsprozesse werden bei risikoscheuen Unternehmern und Kapitalmarktversagen gesehen (Klodt 1995). Eine wichtige Komponente des wirtschaftlichen Nutzens von Innovationen wird durch eine schnelle Anwendung und Nutzung neuer Technologien bestimmt. Hierbei können unterschiedliche Hemmnisse auftreten, die bereits früh in der theoretischen Literatur diskutiert wurden (vgl. Arrow 1962) und sich auf unvollständige Information und Inflexibilitäten beziehen. Aus dieser Begründung folgen auch einige wirtschaftlich motivierte Ziel der Industriepolitik. Vor allem ist die Gestaltung langfristig tragfähiger Rahmenbedingungen für die Industrie und eine frühzeitige Anpassung international wettbewerbsfähiger Industriestrukturen an sich ändernde Herausforderungen zu nennen (vgl. Brösse 1999).

Eine zweite Argumentationskette setzt an **negativen externen Effekten wie den Umweltbelastungen** an. Wenn es hier zu keiner vollständigen Internalisierung kommt, bietet sich als second best Lösung eine Förderung umweltfreundlicher Alternativen an. Gegen eine derartige Strategie wird aus neoklassischer Sicht die Kritik geäußert, dass sie leicht zu einer permanenten Subventionierungsnotwendigkeit der umweltfreundlichen Technologien führe. Ein zentrales Gegenargument gegen diese Kritik greift auf

die **evolutionäre Ökonomik** zurück, die die Pfadabhängigkeit von technologischen Entwicklungen und ein durch Routinen geprägtes Entscheidungsverhalten betont. Mit dieser Sichtweise kann durch eine Industriepolitik ein Pfadwechsel hin zu umweltfreundlichen Technologien initiiert werden, der dann die Weiterentwicklungen dieser umweltfreundlichen Technologien – z. B. im Hinblick auf Kostenreduktionen und verbesserten Funktionsweisen, aber auch der Etablierung des notwendigen Systemumfeldes – überhaupt erst ermöglicht. Da mittelfristig eine vollständige Internalisierung der Umweltschäden – z. B. durch Umweltsteuern – aus Gründen der politischen Ökonomie als wenig wahrscheinlich erscheint, erwächst aus dieser Argumentationslinie eine zweite wichtige Begründung für eine ökologische Industriepolitik.

### 10.1.2 Einbettung der ökologischen Industriepolitik in das Innovationssystem

Die neuere Innovationsforschung zieht zur Erklärung der Innovationstätigkeit die Heuristik des Innovationssystems heran (vgl. z.B. Carlsson et al. 2002; Lundvall et al. 2002, Edquist 2005). Zentrale Aussage dieser Konzeption ist, dass das Hervorbringen und die Diffusion neuer Lösungen wesentlich vom Zusammenspiel der unterschiedlichen Akteure des Innovationsprozesses abhängen. Neuere Ausprägungen des "Systems of Innovation Ansatzes" betonen eine disaggregierte Analyse auf sektoraler oder technologischer Ebene (Malerba 2005). Damit kann diese Heuristik auch auf die im Vordergrund der ökologischen Industriepolitik stehenden Technologien angewendet werden. Im Rahmen dieser Heuristik können auch weiche Kontextfaktoren (z. B. situative Handlungsbedingungen für Politikdesign und -wirkungen) analysiert werden. Ihnen wird nach den Ergebnissen der Forschung im Bereich Umwelt und Innovation eine erhöhte Bedeutung zugeschrieben (vgl. Leone/Hemmelskamp 2000; Kemp et al. 2000, Blazejczak et al. 2001; Walz 2004; Beise/Rennings 2005; Jacob et al. 2005). Gleichzeitig ist das Konzept offen, um die Aspekte einer nachfrageorientierten Innovationspolitik (ISI 2006) einzubeziehen.

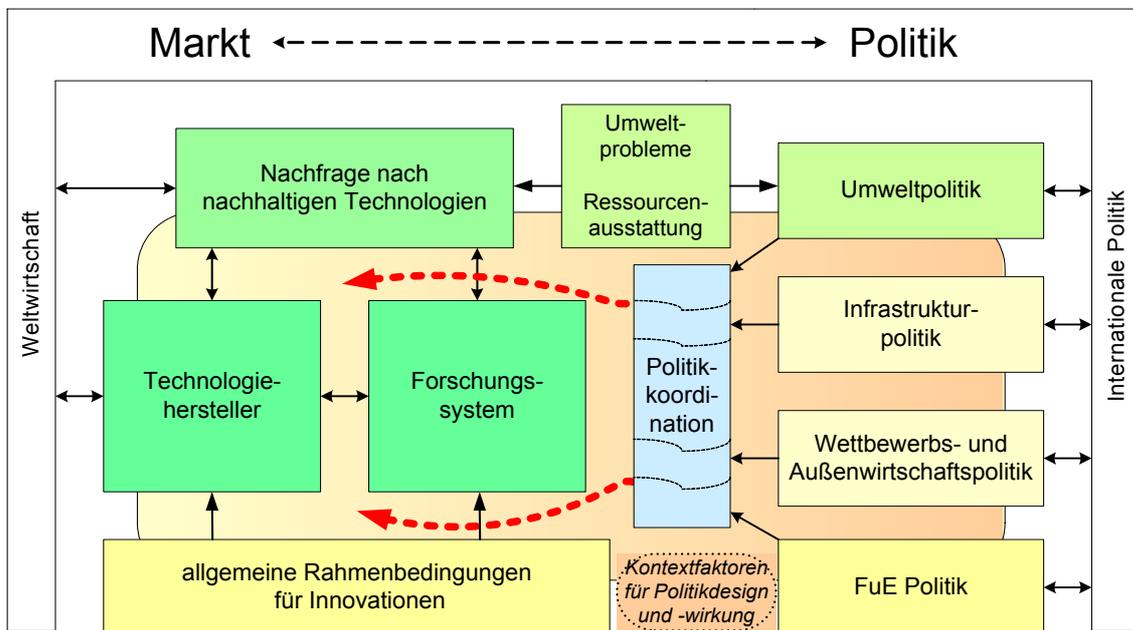
Neuere Entwicklungen in der Innovationsforschung betonen, dass eine dynamische Betrachtung des Innovationssystems notwendig ist. Als zentral werden dabei die **Erfolgsbedingungen eines Innovationssystems** (englisch: functions of an innovation system) angesehen (Johnson/Jacobsson 2000, Bergek/Jacobsson 2003, Smits/Kuhlmann, 2004; Walz/Kuhlmann 2005; Hekkert et al. 2007; Walz 2007). Zwar hat sich hier noch keine einheitliche Terminologie herausgebildet, jedoch lassen sich die folgenden Aspekte unterscheiden:

- creation of new knowledge,
- positive external economies through exchange of information and knowledge,

- demand articulation, guidance of search,
- legitimacy of a new technology,
- facilitation of market formation,
- supply of resources, und
- organisation of interests and alignment of competing interests.

Es wird argumentiert, dass die Erfolgsbedingungen sich durch gegenseitige Wechselwirkungen selbst verstärken (oder abschwächen) können, so dass letztlich ein Wachstums- (oder Schrumpfungs-) Prozess für das betrachtete Innovationssystem entsteht.

Abbildung 10-1: Schema des „Systems of Sustainability Innovation“ Ansatzes



Aus dem Systemcharakter des Innovationsprozesses folgt, dass unterschiedliche Aspekte den Erfolg einer ökologischen Industriepolitik mit beeinflussen. Der Aufbau einer technologischen Kompetenz in den betrachteten Handlungsfeldern ist ein zentraler Indikator für die technologische Leistungsfähigkeit in den jeweiligen Handlungsfeldern. Hier signalisieren insbesondere internationale Patente und Erfolge im Außenhandel inwieweit ein Land im entsprechenden Handlungsfeld bereits an den internationalen Aktivitäten partizipiert. Diese Indikatoren wurden in den vorangegangenen Kapiteln intensiv analysiert und die Ausgangsbedingungen Deutschlands und der EU herausgearbeitet. Abbildung 10-1 verdeutlicht die verschiedenen Einflussfaktoren, die auf die mit diesen Indikatoren beschriebene Innovationstätigkeit einwirken. Hier ist einmal die **Angebotsseite** von besonderer Bedeutung:

- Die allgemeinen Rahmenbedingungen für Innovationen beeinflussen auch die Vornahme von Innovationen in den einzelnen Zukunftsmärkten. Neben der Verfügbarkeit von Humankapital und anderen Aspekten der Wissensbasis wie z. B. der Regulierung von Intellectual Property Rights spielen hier auch Themen wie die Verfügbarkeit von (Risiko-) Kapital eine Rolle. Hinzu kommen Themen wie die Aufgeschlossenheit gegenüber Neuem, die in weiterem Sinne der sozialen Absorptionsfähigkeit zugeordnet werden können.
- Das Forschungssystem und die FuE-Politiken in den entsprechenden Handlungsfelder sind wichtige Bestandteile des "Systems of Sustainability Innovations". Ihnen kommt die Funktion zu, eine für die Erfolge unabdingbare entsprechende Wissensbasis aufzubauen und kontinuierlich weiter zu verbessern.
- Im industriellen System muss sich eine Akteursstruktur herausbilden, die zur Weiterentwicklung qualitativ hochwertiger Technologien und ihrer internationalen Vermarktung in der Lage sein muss. Dies erfordert den Aufbau von F&E-Kapazitäten und die Vernetzung mit Forschungsakteuren. Gleichzeitig muss eine Ausrichtung auf den Weltmarkt gewährleistet sein, um die mit einer ökologischen Industriepolitik verknüpften Hoffnungen außenpolitischer Erfolge realisieren zu können. In Abhängigkeit der Technologie kann dies eine entsprechende Mindestgröße der Akteure erfordern, z. B. im Hinblick auf die Realisierung von Skaleneffekten, oder die Kompetenz zur Systemführerschaft beinhalten.

Die **Nachfrage** (demand pull) wird in der Innovationsforschung bereits seit längerem als entscheidender Faktor für das Auslösen von Innovationen betrachtet (vgl. Schmookler 1966). Kundenwünsche werden erkannt und in Anforderungen an neu zu entwickelnde Produkte und Prozesse übersetzt. Im Allgemeinen wird der nachfrageorientierten Generierung von Innovationen zugesprochen, Ergebnisse mit einem höheren Maß an Marktakzeptanz zu erzielen (Rothwell et al. 1974; von Hippel 1978). Entscheidend ist die Definition der Anforderungen an die angewandte Forschung und Entwicklung auf Basis zukünftiger Kundenwünsche (Mowery/Rosenberg 1978; Lundvall 1988). Kommunikationskanäle, Austauschbeziehungen, Lead-User-Konzepte (von Hippel 1986), Netzwerke (Teubal 1991) und gegenseitige Lernprozesse (Lundvall 1991) stellen allesamt relevante Möglichkeiten dar, diese Kundenwünsche zu identifizieren.

Verständliche und glaubwürdige Informationen können den Nachfragesog nach Umweltproduktinnovationen verstärken (Wong et al. 1996; Reinhardt 1998; Meffert et al. 1998). In diesem Kontext ist die positive Innovationswirkung von Öko-Labeln zu sehen (Hemmelskamp/Brockmann 1997; Prakash 2002). Die Strategie der (politisch unterstützten) kooperativen Beschaffung setzt ebenfalls auf der Nachfrageseite an. Durch die Bündelung großer Nachfrager, die Abstimmung ihrer Produkthanforderungen und das Absichern eines gewissen anfänglichen Absatzvolumens unterstützt das Instrument die kundenorientierte Entwicklung von Produktneuheiten. In jüngster Zeit werden

die politikbedingten Beeinflussungen auf der Nachfrageseite zunehmend unter dem Schlagwort der "nachfrageorientierten Innovationspolitik" thematisiert. Ein erster zusammenfassender Überblick, der auch Beispiele im Energie- und Klimapolitikbereich beinhaltet, wurde für den Deutschen Bundestag erstellt und macht die Bandbreite der in Frage kommenden traditionellen und innovativen Politikinstrumente deutlich (vgl. ISI 2006).

Für eine ökologische Industriepolitik ganz zentral sind die Unterschiede in der Nachfragegenerierung, die zwischen „normalen“ und Umweltinnovationen bestehen. Da sich die externen Kosten der Umweltverschmutzung bisher nicht (oder nur unzureichend) in den Preisen widerspiegeln, muss die Politik die Gestaltung der Nachfrage nach Umweltinnovationen in viel stärkerem Ausmaß organisieren. Ohne Umweltpolitik gäbe es kaum Nachfrage nach ökologisch fortschrittlichen Technologien. Nachfrageorientierte Innovationspolitik und die Zusammenhänge von Regulierung und Innovation werden damit zu zentralen Größen.

Gleichzeitig hängen viele der betrachteten Zukunftsmärkte eng mit (leitungsgebundenen) Infrastruktursektoren zusammen, die durch die **Existenz monopolistischer Bottlenecks** gekennzeichnet sind und daher früher oftmals als natürliche Monopole bezeichnet wurden. Auch nach den unterschiedlichen Liberalisierungsbemühungen verbleibt in diesen Sektoren ein erheblicher Bedarf an sektorspezifischer ökonomischer (Re-)Regulierung. Die Ausgestaltung dieser Regulierung wirkt wiederum auf die Innovationsbedingungen und –tätigkeit der Akteure ein, und ist damit auch für eine ökologische Industriepolitik von hoher Bedeutung. Gerade bei den energiebezogenen Zukunftsmärkten, aber auch in den Handlungsfeldern Verkehr und Wasser ist dies von hoher Relevanz. Neben der Regulierung der oben skizzierten allgemeinen Rahmenbedingungen für Innovationen und der Regulierung im Bereich der Umweltpolitik spielen hier auch ökonomische Regulierungen auf der Sektorebene eine Rolle. Daher wird für die hier anstehenden mehrfachen Regulierungsaufgaben auch der Begriff der triple regulatory challenge (Walz 2007) herangezogen.

Vor dem Hintergrund der Heuristik sektoraler oder technologischer Innovationssysteme wird auch die Logik von **first mover advantages** verständlicher, auf denen die mit einer ökologischen Industriepolitik verknüpften außenwirtschaftlichen Erwartungen beruhen. Eine forcierte (nationale) Strategie in den einzelnen Zukunftsmärkten führt nach dieser Argumentation dazu, dass sich die Vorreiter-Länder frühzeitig auf die Bereitstellung der hierzu erforderlichen Technologien spezialisieren. Bei einer nachfolgenden Ausweitung der internationalen Nachfrage nach den entsprechenden Technologien sind diese Länder dann aufgrund ihrer frühzeitigen Spezialisierung und des erreichten Innovationsvorsprungs in der Lage, sich im internationalen Wettbewerb durchzusetzen.

Für die Realisierung derartiger first mover advantages ist es erforderlich, dass die heimischen Anbieter dauerhafte Wettbewerbsvorteile bei den Techniklinien aufweisen. Hier spielen die Bedingungen für die Etablierung sogenannter Vorreitermärkte (lead markets) eine wichtige Rolle (vgl. MeyerKraemer 2004a; Walz 2006). Unter den Bedingungen der Globalisierung sind entscheidende Voraussetzungen für den Erfolg eines nationalen Innovationssystems die Etablierung schwer transferierbarer Leistungsverbünde, die aus Kombinationen von technologischer Leistungsfähigkeit mit einer gegenüber Innovationen aufgeschlossenen und frühzeitige Lerneffekte begünstigenden Nachfrage und ihrer Integration in ausdifferenzierte Produktionsstrukturen bestehen. Folgende Faktoren müssen bei der Beurteilung des Potenzials eines Landes für die Etablierung von Vorreiter-Märkten berücksichtigt werden:

- Nicht alle Güter und Technologien eignen sich für die Etablierung von dauerhaften Vorreiter-Märkten. Eine wichtige Voraussetzung besteht darin, dass der Wettbewerb verstärkt über die Qualität und weniger den Preis stattfindet. Wichtige Eigenschaften, die die Vorreitermarktfähigkeit von Technologien begünstigen, sind eine hohe Wissensintensität, ein hoher Anteil impliziten Wissens sowie ein erhebliches noch nicht ausgereiztes Lernpotenzial der betrachteten Technologien. Hiervon wurde der letzte Aspekt bereits mit der Analyse der Innovationsdynamik auch empirisch in den vorangegangenen Kapiteln untersucht. Insgesamt zeigte sich hierbei eine beachtliche Patentdynamik, die aber zwischen den einzelnen Technologielinien durchaus differiert.
- Das Vorliegen einer zur betrachteten Technologie komplementären Wissensbasis erhöht das Vorreitermarkt-Potenzial des betreffenden Landes. Neben den Anforderungen an das Humankapital und die technologische Leistungsfähigkeit der betrachteten Technologien selbst spielt auch die Einbindung der Technologielinien in wettbewerbsstarke Branchencluster eine Rolle. Hier kommt den unterschiedlichen Teilbereichen des Maschinenbaus, aber auch der Elektrotechnik oder der Chemie eine wichtige Rolle zu.
- Ein Marktkontextfaktor, der eine gegenüber Innovationen aufgeschlossene und frühzeitige Lerneffekte begünstigende Nachfrage anzeigt, ist eine auf eine hohe Wettbewerbsintensität hindeutende Marktstruktur. Darüber hinaus werden eine frühzeitige Antizipation globaler Trends (Nachfragevorteil), Größenvorteile des Marktes (Preisvorteil) sowie die Reputation und die Sensibilität gegenüber Änderungen auf dem Weltmarkt (Transfer- und Exportvorteil) angeführt (vgl. Beise/Cleff 2004).
- Wie oben skizziert, kommt der Regulierung eine ganz zentrale Bedeutung zu (triple regulatory challenge). Die bisher in der Forschung erzielten Ergebnisse unterstreichen, dass für die Bestimmung von Vorreitermärkten neben einer Beurteilung der Innovationsfreundlichkeit des allgemeinen nationalen Regulierungsregimes eine Beurteilung der Innovationsfreundlichkeit der sektorspezifischen ökologischen und ökonomischen Regulierung besonders notwendig ist. Am Beispiel einzelner Technologielinien wurde dies auch durch neuere statistisch ökonometrische Untersuchun-

gen bestätigt (vgl. Walz et al. 2007). Hier sind weitergehende Untersuchungen erforderlich, die diese Zusammenhänge für alle Zukunftsmärkte analysieren. Gleichzeitig kann hierdurch die Basis für eine Regulierungsindikatorik gelegt werden, die Regulierung nicht einseitig als innovationsfeindlich abqualifiziert, sondern die Unterschiede in der Ausprägung der Innovationsfreundlichkeit der Regulierung international vergleichbar messen und anzeigen kann.

Die Diskussion um die Etablierung von Vorreitermärkten konzentrierte sich bisher vor allem auf die etablierten Industrieländer. In jüngster Zeit wird aber auch verstärkt ein Erstarren der Aufholländer bei den technologischen Fähigkeiten festgestellt. Damit werden sie aber zunehmend selbst in die Lage versetzt, eine Vorreitermarkt-Stellung aufzubauen. Charakteristika wie die höhere Bedeutung einer regulatorisch induzierten Nachfrage und die verminderte Bedeutung von privaten Lead-usern, (physische) Vorteile in den Einsatzbedingungen der Innovationen sowie eventuell schwächer ausgeprägte Pfadabhängigkeiten in den Aufholländern deuten darauf hin, dass insbesondere Umwelt- und Nachhaltigkeitsinnovationen für die Etablierung von Vorreitermarktstellungen geeignet sein könnten (vgl. auch Walz et al. 2007). Festzuhalten bleibt, dass die Fokussierung der Vorreitermarkt-Diskussion auf die traditionellen westlichen Industrieländer in Zukunft nicht aufrechterhalten werden kann.

### 10.1.3 Dimensionen ökologischer Industriepolitik

Für die Operationalisierung einer ökologischen Industriepolitik stellen sich drei grundlegende, immer wieder neu auftretende und neu zu lösende Herausforderungen: Auswahl der Technologielinien und der Instrumente sowie die Politikkoordination.

Nicht alle Technologielinien innerhalb der Zukunftsmärkte können gleichzeitig mit der gleichen Intensität gefördert werden. Damit ist es erforderlich, **Prioritäten zu setzen** (picking the winners). Dieser Prozess ist sicherlich immer mit Unsicherheiten und unterschiedlichen Einschätzungen verbunden. Bisweilen wird dem Staat aufgrund strukturell bedingter, mangelnder Prognosefähigkeit sogar die Fähigkeit abgesprochen, hier sinnvolle Entscheidungen zu treffen und auf die Überlegenheit privater Akteure verwiesen (vgl. Fels 1985). Andererseits muss bedacht werden, dass sich eine ökologische Industriepolitik mit den unterschiedlichsten Marktängeln begründen lässt, deren Existenz dazu führt, dass sich zentrale Entwicklungstendenzen und Anpassungsnotwendigkeiten gerade nicht in den marktlich vermittelten Informationen finden, zu denen die privaten Akteure einen besseren Zugang haben (vgl. Seitz 1999). Aus dieser Diskussion folgt die Notwendigkeit, die beim Selektionsprozess anzulegenden Kriterien klar zu definieren und den Auswahlprozess möglichst nachvollziehbar und transparent zu machen. Diese Kriterien sollten an den Begründungen und Zielsetzungen einer ökologi-

schen Industriepolitik ansetzen. Damit müssen sie unterschiedliche Zusammenhänge reflektieren:

- Ökologische Industriepolitik will dazu beitragen, dass Deutschland bei den ausgewählten Technologielinien wirtschaftlich international erfolgreich ist. Die Operationalisierung der hieraus ableitbaren Kriterien sollte an den oben skizzierten Voraussetzungen zur Etablierung von Vorreiter-Märkten anknüpfen.
- Die Kriterien sollten die umweltpolitischen Prioritäten und Notwendigkeiten widerspiegeln. Neben der Bedeutung der einzelnen Umweltbelastungen, die durch die Technologielinien vorrangig angegangen werden, fallen unter dieses Kriterium auch strukturelle Bezüge zu einer modernen, am Leitbild der Nachhaltigkeit ausgerichteten Umweltpolitik. Hierzu gehören das zunehmende Zusammenfallen von Umweltschutz und wirtschaftlicher Modernisierung des Produktionsapparates bis hin zur Konvergenz von umwelt- und innovationsorientierter sektoraler Wirtschaftspolitik, das Ausrichten an langfristigen und globalen Herausforderungen sowie die Übernahme einer internationalen Verantwortung und Vorreiterrolle durch die entwickelten Industrieländer.
- Die Kriterien müssen im Hinblick auf die Umsetzbarkeit der ökologischen Industriepolitik auch die institutionellen Rahmenbedingungen und die situativen Kontextfaktoren berücksichtigen. Mit diesem Kriterium werden im jeweiligen Zeitraum auftretende spezifische Einflussmöglichkeiten der Politik angesprochen. Zentral ist hier zum einen, welche Technologielinien durch aktuellen Handlungsbedarf oder anstehende Politikvorhaben ohnehin tangiert werden, so dass die situativen Kontextfaktoren besonders günstig sind, um die anstehenden Reformdiskussionen gleichzeitig in eine ökologische Industriepolitik einzubetten. Zum anderen müssen auch Kompetenzzuschnitte und vertikale Aufgabenzuteilungen beachtet werden, die die Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Politikgestaltung wesentlich mitbestimmen.

Festzuhalten bleibt, dass die Auswahl der Technologielinien, die vorrangig Gegenstand der ökologischen Industriepolitik sind, eine zentrale Aufgabe darstellt, die als nächster Schritt angegangen werden muss.

Innovationsprozesse laufen unter ständigen Rückkopplungen ab, die eine automatische, eindeutige Zuordnung einzelner Instrumente zu klar abgegrenzten Innovationsphasen der Technologielinien erschweren. Damit muss die ökologische Industriepolitik aus einem **Instrumentenmix** bestehen. Folgende Instrumententypen stehen hier zur Verfügung:

- Dialogorientierte Instrumente dienen der Konsensbildung und Netzwerkbildung zwischen den beteiligten Akteuren und sollten eine breite, fundierte Wissensbasis liefern, z. B. hinsichtlich der Projektionen der langfristigen Strukturentwicklung und zugehörigen Roadmaps. Eine typische Ausprägung sind die unterschiedlichen Technology Platforms auf EU-Ebene. Von Bedeutung sind die Beteiligung der zentralen gesellschaftlichen Stakeholder sowie eine fundierte wissenschaftliche Begleitung.

Mit den dialogorientierten Instrumenten werden auch wichtige Erfolgsbedingungen eines Innovationssystems angesprochen, dienen sie doch der Legitimität der Technologielinie, der Vernetzung der Akteure und damit auch der Hilfestellung bei der Suche nach neuen technischen Lösungen.

- Die klassischen Instrumente staatlicher Technologiepolitik sind ebenfalls für die ökologische Industriepolitik relevant. Sie umfassen institutionelle Förderung, verschiedene Formen von finanziellen Anreizen, öffentliche Beschaffung sowie die innovatororientierte Infrastruktur einschließlich Technologietransfer und Aus- und Fortbildung (vgl. Meyer-Krahmer 2004).
- Im Hinblick auf die Erzielung notwendiger Skaleneffekte kann auch die Unterstützung und Moderierung bei Umstrukturierungen der Akteursstruktur von Bedeutung sein. In Bereichen der Werften oder des Kohlebergbaus werden diese Maßnahmen seit langem angewendet. Aber auch bei der aktuellen Diskussion um die Übernahmemöglichkeiten von Unternehmen in strategisch bedeutsamen Industrien durch ausländische Staatsunternehmen findet sich die Thematik der Gestaltung von Akteursstrukturen wieder. Ein zusätzlicher Aspekt, der für die ökologische Industriepolitik von Bedeutung ist, ist die Gewinnung der Systemkompetenz, die ganz zentral für außenwirtschaftliche Erfolge ist. Des Weiteren ist zu bedenken, dass radikale Innovationen oft durch neue Unternehmen vorangetrieben werden. Insbesondere in Märkten, die durch hohe Pfadabhängigkeiten und monopolistische Bottlenecks gekennzeichnet sind, ist hier darauf zu achten, dass der Markteintritt für diese Newcomer ermöglicht wird.
- Auch das außenwirtschaftliche Instrumentarium bietet Ansatzpunkte für eine ökologische Industriepolitik. Neben Maßnahmen, die die Steigerung des Welthandels insgesamt in den Zukunftsmärkten betreffen (z. B. Normung und Standardisierung) gehören hierzu auch spezifische Maßnahmen im Zusammenhang von technologiespezifischen Exportinitiativen.
- Wettbewerbspolitik und ökonomische Sektorregulierung sind weitere Politikbereiche, die für eine ökologische Industriepolitik zentral sind. Gerade hier spielen auch situative Kontextfaktoren eine große Rolle. Die Diskussionen um die Trennung von Elektrizitätsnetzen und Elektrizitätserzeugung oder Fragen der Interoperabilität im Bahnverkehr sind zwar durch die Wettbewerbspolitik ausgelöst, haben aber auch Bedeutung für die ökologische Industriepolitik. Hier ist jeweils zu prüfen, welche Auswirkungen von den vorgeschlagenen Alternativen auf die Anreizstruktur der regulierten Unternehmen ausgehen, und wie sich dies auf die Weiterentwicklung der Technologielinien in den Zukunftsmärkten auswirkt.
- Für eine ökologische Industriepolitik zentral ist eine nachfrageorientierte Innovationspolitik durch ambitionierte Umweltpolitik. So sind die Ausgestaltung des Emissionshandels oder des Erneuerbaren Energien Gesetzes gleichzeitig zentrale Elemente einer Innovationsstrategie in den Zukunftsmärkten Energieeffizienz und Energiequellen. Gefordert ist damit eine Ausrichtung der Umweltpolitik, bei der die Innovationswirkungen der einzelnen Maßnahmen systematisch analysiert und in die

Ausgestaltung miteinbezogen werden. Dies stellt das BMU zugleich vor die Herausforderung, wie die Gestaltung der Umweltpolitik ressortintern durchgängig mit den Erfordernissen einer nachfrageseitigen Innovationspolitik abgeglichen werden kann.

Ganz wesentlich für die Effizienz und Wirksamkeit des technologiepolitischen Instrumentariums ist eine **langfristige Orientierung**, wodurch den Akteuren die Möglichkeit gegeben wird, sich an stabile Rahmenbedingungen anzupassen. Wichtig ist auch eine Mischung zwischen den unterschiedlichen Instrumenten: Angebots- und Nachfrageorientierung des Instrumenteneinsatzes müssen einander ergänzen. Hierbei ist die Zusammensetzung der Instrumente zum Teil fallspezifisch: Wenn z. B. Global Players bereits vorhanden sind, besteht weniger Bedarf zur Herstellung schlagkräftiger Akteurskonstellationen als bei einer Industriestruktur, die vorherrschend durch kleine, lediglich auf den Inlandsmarkt ausgerichtete Akteure besteht. Andererseits ist eine eindeutig Zuordnung der Instrumente zu den Innovationsphasen zwar nicht möglich, jedoch lassen sich je nach Phase Schwerpunkte in den unterschiedlichen Innovationsfunktionen festhalten, die gefördert werden (Nelson 1994, Utterback 1994). Einer ersten Experimentierphase, die durch häufige Marktzutritte und –austritte, zahlreiche technologische Alternativen und kleine Marktvolumen gekennzeichnet ist, folgt eine zweite Phase, in der Marktwachstum und Konsolidierung auf der Anbieterseite zu beobachten sind. Bergek/Jacobsson (2003) argumentieren, dass mit diesen unterschiedlichen Marktphasen sich auch die Bedeutung der einzelnen Erfolgsbedingungen eines Innovationssystems ändert. Zunächst sind vor allem neues Wissen, Unterstützung im Suchprozess, Netzwerkbildung und die Herausbildung von Legitimität die entscheidenden Erfolgsfaktoren. In der zweiten Marktphase gewinnen dann die Marktformierung und damit zugleich die Zufuhr von Ressourcen an Bedeutung.

Die Diskussion der Instrumentenwahl hat die Notwendigkeit eines Instrumentenmixes aufgezeigt. Die einzelnen Instrumente werden allerdings jeweils im Kontext unterschiedlicher Fachpolitiken und auf unterschiedlichen Ebenen diskutiert. Damit wird die Politikkoordination ein zentrales Thema. Neben der bereits angesprochenen Notwendigkeit einer ressortinternen Politikkoordination ist hier auch eine horizontale Koordination zwischen den einzelnen Trägern auf der gleichen Politikebene – z. B. den betroffenen Bundesministerien – erforderlich. Gleichzeitig besteht aber auch die Notwendigkeit einer vertikalen Politikkoordination, um die Aktivitäten auf EU-Ebene mit den nationalen und regionalen Aktivitäten zu verzahnen.

## 10.2 Erfahrungen aus den Vertiefungs- und Fallstudien

Im Rahmen des hier beschriebenen Forschungsprojektes „Zukunftsmärkte Umwelt“ wurden auch zehn Fallstudien zu einzelnen Technologien durchgeführt, die separat

veröffentlicht wurden. Sie werden im Folgenden hinsichtlich grundsätzlicher Erkenntnisse für die Durchführung einer ökologischen Industriepolitik ausgewertet.

### 10.2.1 Bedeutung von Politikkoordination

Politikkoordination – sei es vertikal zwischen der EU, dem Bund und den Bundesländern; sei es horizontal zwischen verschiedenen Ressorts - spielt in den betrachteten Zukunftsmärkten eine große Rolle. In einigen Zukunftsmärkten zeigen die empirischen Untersuchungen Erfolgsgeschichten für eine solche Koordination. So klärt der Staat für den Zukunftsmarkt Nanotechnologie in einer ressortübergreifenden Aktivität die Risiken und trägt damit dazu bei, Sicherheit für Investoren zu schaffen. Ein positives Beispiel für die vertikale Politikkoordination ist der „Export“ des EEG in verschiedene andere EU-Länder. Hier ist darauf zu achten, dass die Kohärenz zwischen der Förderphilosophie Deutschlands und der EU nicht geringer wird. Wenn einseitig Quotenregelungen präferiert werden, drohen die Erkenntnisse zur innovationsfördernden Wirkungsweise des EEG verloren zu gehen und die Vorteile, die das EEG langfristig im Hinblick auf Kostendegression verspricht, würden aus dem Blick geraten. Deutschland sollte deshalb im EU-Rahmen sehr stark für das EEG Stellung beziehen.

In vielen der untersuchten Zukunftsmärkte und Produktgruppen weisen die empirischen Ergebnisse auf die Notwendigkeit der Politikkoordination hin. Folgende Beispiele dienen der Verdeutlichung der unterschiedlichen Ebenen, auf denen Koordinationsbedarf entsteht:

- CO<sub>2</sub>-freie Kraftwerke: Die relevanten Fragestellungen und die Umsetzungsnähe der geförderten Forschungsinhalte müssen zwischen BMBF und BMWi abgestimmt werden. Mit Blick auf die EU-Ebene gilt es, die Integration von CCS in den CO<sub>2</sub>-Emissionshandel vorzubereiten. Dabei sollten die Anforderungen des Emissionshandelssystems mit denen der nationalen Planungs- und Genehmigungsverfahren verzahnt werden. Diese Aufgaben stehen jetzt an, wenn bis 2020 marktreife Lösungen verfügbar sein sollen. Sie sind notwendige Voraussetzung dafür, dass die EU ihren Vorsprung, den sie bei CCS momentan noch hat, nicht verliert. Als Vorbild könnte UK dienen, das Vorschläge unterbreitet hat, wie solche Kraftwerke in das EU ETS eingebunden werden sollen.
- Im Zukunftsmarkt Energieeffizienz zeigt sich ein Koordinationserfordernis darin, die Entwicklung der - in jüngerer Zeit steigenden - F&E-Budgets mit einem konsistenten Instrument auf der Nachfrageseite zu verzahnen. Obwohl schon einzelne - auch wichtige und große - Bausteine zur Nachfrageförderung vorhanden sind, z. B. die KfW-Programme im Gebäudebereich, sollte ein abgestimmtes Bild zur Förderung der Nachfrage nach energieeffizienten Produkten insgesamt erstellt werden. Bei der Produktgruppe der Elektrogeräte kann hierbei von einem Positivbeispiel bei vertika-

ler Koordination berichtet werden. Das Energieverbrauchslabel der EU für Haushaltsgeräte hat sich sehr gut etabliert und den Markt spürbar beeinflusst.

- Im Zukunftsmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft verteilen sich die Kompetenzen auf Bundes-, Länder- und Kommunal-Ebene, hinzu kommt die EU. Die Umsetzung liegt in der Verantwortung der Bundesländer, hierzu gibt es auch länderspezifische Aktivitäten im F&E-Bereich. Dabei kann es dazu kommen, dass Industriekooperationen bestimmte Akteure ausschließen, wenn sie ihren Sitz nicht im entsprechenden Bundesland haben. Ein Hemmschuh für die Akzeptanz neuer, z. B. (semi-)dezentraler Technologien auf kommunaler Ebene kann außerdem darin liegen, wie die Technologie auf Landesebene bewertet wird – ablesbar zum Beispiel in der Formulierung von Forschungsprogrammen oder in der wirtschaftlichen Bewertung. Wenn sich die Landesebene stark für neue, z. B. (semi-)dezentrale Konzepte einsetzt, steigert sie damit auch die Akzeptanz bei den Betreibern der Wasserinfrastruktursysteme.

### 10.2.2 Bedeutung von Regulierung insgesamt

Für die These, dass Umweltinnovationen besonders stark durch Regulierung beeinflusst werden, liefern die empirischen Untersuchungen der Zukunftsmärkte und Produktgruppen viele Anhaltspunkte. Relativ klar zeigt sich, dass zum Beispiel die Stärken Deutschlands in der Produktgruppe der Erneuerbaren Energien und bei CCS in engem Zusammenhang mit dem EEG und dem EU-Emissionshandel für CO<sub>2</sub> steht. Auch im Zukunftsmarkt Abfall und Kreislaufwirtschaft hat Regulierung – z. B. die Vorgabe hoher Wiedergewinnungsquoten – die Herausbildung von Stärken gefördert. Die Entwicklungen an den Rohstoffmärkten lassen hier jedoch in der Zukunft einen zunehmenden Einfluss der Rohstoffpreise als Innovationstreiber erwarten.

Für die Nachhaltige Wasserwirtschaft wird die Umwelt-Regulierung in Deutschland mit ihrer Tendenz zur Durchsetzung relativ scharfer Grenzwerte einerseits als Innovationstreiber gesehen. Andererseits zeigt sich aber auch, dass die Bezugnahme auf den Stand der Technik und das Anknüpfen an dessen Definition den traditionellen Techniklinien in der Wasserwirtschaft einen Vorteil gegenüber radikalen Innovationen verschafft. Denn (radikal) neue Technologien (z. B. in Richtung dezentrale Abwasserbehandlung) können sich nur durchsetzen, wenn sie ebenfalls als „Stand der Technik“ klassifiziert werden. Eine noch nicht erfolgte Aufnahme als „Stand der Technik“ kann für neue Technologien unter Umständen zum Lock-out Argument werden. Die andere Seite strenger Umweltgrenzwerte in der Wasserwirtschaft ist das Bedürfnis nach Schutz von Umwelt und Gesundheit. Dieses Sicherheitsdenken spiegelt sich auch in der Tatsache wider, dass die Abwasserentsorgung eine hoheitliche Aufgabe darstellt. Allerdings darf diese Aufgabendefinition nicht dazu führen, dass es zu einer ungerechtfertigten Zurückhaltung gegenüber Innovationen und neuen Systemen kommt. In diesem Zusammenhang ist auch die Regulierung gefordert (vgl. die Ausführungen zur

triple regulatory challenge in Abschnitt 10.1). Sie muss zu einer Modernisierung der Wasserwirtschaft beitragen. Daher sollte die von der bestehenden Regulierung ausgehende Anreizstruktur für die Technologiewahl überprüft und möglicher Änderungsbedarf in die politische Diskussion getragen werden.

Im Handlungsfeld Nachhaltige Mobilität wird der Kombination unterschiedlicher Regulierungen eine zentrale Bedeutung beigemessen. Positives Beispiel ist u. a. die Verbindung von Euro-Emissionsstandards für Neufahrzeuge mit nach diesen gestaffelten Kfz-Steuersätzen und Lkw-Mautgebühren. Insbesondere im Güterverkehr konnten hierdurch technische Innovationen wie das Überspringen der Emissionsklasse Euro-IV für Lkw, sowie der vermehrte Einsatz emissionsarmer Fahrzeuge gefördert werden. Ausländische Beispiele wie die Befreiung bestimmter schadstoffarmer Fahrzeuge von der City-Maut in London und deren Einfluss auf den Markt für Hybrid-Pkw zeigen ebenfalls deutlich positive Wirkungen. Weitere Potenziale bieten emissionsabhängige Start- und Landegebühren im Luftverkehr und dessen Einbindung in das europäische Emissionshandelssystem.

Unter den untersuchten Zukunftsmärkten gibt es auch Beispiele, bei denen die Erklärung der Stärken und Schwächen weniger direkt auf Regulierungseinflüssen fußt. Im Zukunftsmarkt Energieeffizienz beispielsweise ist Deutschland zwar stringenter in der Regulierung als die Nachbarländer. Eine wichtigere Quelle für Deutschlands Stärke wird aber darin gesehen, dass Deutschland in den grundlegenden Technologien stark ist – also zum Beispiel bei Industriellen Verfahren und Prozessen allgemein. Dieses starke Umfeld wird dann genutzt, um Stärken bei energieeffizienten Produktlinien aufzubauen. Ähnlich verläuft die Einschätzung im Zukunftsmarkt weiße Biotechnologie und Nachhaltige Mobilität, deren Stärken auch im Zusammenhang mit Deutschlands Kompetenzen in der chemischen Industrie bzw. der Fahrzeugindustrie allgemein gesehen werden.

### **10.2.3 Hinweise zu konkreten Politikinstrumenten**

Der enge Zusammenhang zwischen Regulierung und Performanz in vielen Zukunftsmärkten wirft die Frage auf, mit welchen konkreten Instrumenten die Performanz durch die Politik stabilisiert oder noch gesteigert werden kann. Die Empfehlungen reichen von eher konventionellen Instrumenten der Umweltpolitik (z. B. Abbau verzerrender Subventionen) zu Vorschlägen, die stärker aus der Innovations- und Industriepolitik inspiriert sind und werden in dieser Reihenfolge an einigen Beispielen aus den Kapiteln 2 – 9 erläutert.

Um im Zukunftsmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft die richtigen Anreize für die Entwicklung alternativer Technologien und zukunftsfähiger Systemkonzepte zu setzen, müssen sich alle Kosten der Wasserinfrastrukturdienstleistungen im Preis niederschlagen. Es ist zu prüfen, inwieweit die von der Wasserrahmenrichtlinie geforderte Kostendeckung in Deutschland tatsächlich gewährleistet ist. Der bestehende (Re-) Investitionsstau insbesondere im Bereich der Sanierung und Modernisierung der Netze kann als Indiz dafür gewertet werden, dass die für einen nachhaltigen Betrieb der Systeme zusätzlich anfallenden Kosten bislang nicht durch die Erlöse aus der Wasserver- und -entsorgung gedeckt werden können. Aufgrund der durch die zentralen Systemkonzepte bedingten hohen Inflexibilität sind zusätzliche kostenintensive Anpassungsmaßnahmen zu erwarten, um die bestehenden konventionellen Systeme an die sich in Folge des Klima- und demographischen Wandels sowie erhöhter Sicherheitsanforderungen (Naturkatastrophen, Sabotage, Terrorismus) verändernden Randbedingungen anzupassen. Diese Adaptionskosten sind bislang nicht in die Wasser-/Abwassergebühren eingepreist. Dies wird zu höheren Gebühren und/oder zu einem erhöhten Subventionsbedarf führen.

Die in den Ausbau und die Sanierung konventioneller Wasserinfrastruktursysteme fließenden öffentlichen Fördermittel bieten die Chance, Anreize für die Umsetzung neuer, besonders umweltfreundlicher und ressourceneffizienter Techniken und zukunftsfähiger Systemlösungen zu schaffen. Dazu sind allerdings auch rechtliche Hemmnisse zu überwinden (z.B. durch Anwendung des Anschluss- und Benutzungszwangs zur Umsetzung langfristig tragfähiger, innovativer Konzepte). Als Voraussetzung für Planungen im Bereich der Wasserwirtschaft ist sicherzustellen, dass die sich abzeichnenden Veränderungen im relevanten Umfeld (z.B. demographischer Wandel, Klimawandel, technischer Fortschritt) Berücksichtigung finden (vgl. Hillenbrand/Hiessl, 2006 und 2007). Die unreflektierte Verwendung von Nutzungsdauern über 50 Jahren bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen für Wasserinfrastruktursysteme ist beispielsweise zu überdenken.

Für den Zukunftsmarkt Materialeffizienz ist die Formulierung von Zielvorgaben zu erwägen. Dies sollte einerseits auf der strategischen politischen Ebene geschehen, z. B. entsprechend dem Ziel für den Anteil erneuerbarer Energieträger an der Energieversorgung. Andererseits wären auch Ziele auf der konkreteren Ebene von Produkten für die Diffusion förderlich. So wäre z. B. die Vorgabe einer Mindestquote für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe bei Verpackungsmaterial zu diskutieren. Ein Problem bei der Definition von Zielvorgaben bei Materialeffizienz könnte die Konsensfindung bei der Festlegung eines geeigneten Maßstabs für Materialeffizienz darstellen.

Im Innovationsprozess werden Phasen der Generierung von Vielfalt und Phasen der Fokussierung auf dominante Designs unterschieden. Versteht sich die Umweltpolitik als Steuerelement in diesem Innovationsprozess, steht sie vor der Aufgabe zu entscheiden, ob sie (noch) Vielfalt schaffen oder bereits ihre Förderung fokussieren soll, zum Beispiel um Skaleneffekte zu ermöglichen. In der nachhaltigen Wasserwirtschaft besteht das Problem gegenwärtig wegen der bisherigen Pfadabhängigkeit der Entwicklung zentraler Systeme eher in einem Mangel als einem Überfluss alternativer, bereits erprobter Technologielösungen, so dass eher darüber nachzudenken ist, wie die Vielfalt erhöht werden kann. Das gilt umso mehr angesichts großer Herausforderungen wie demographischer und klimatischer Wandel, oder die Vulnerabilität des Systems angesichts neuer systemischer Risiken, an die sich das bestehende System relativ schwer anpassen lässt.

Im Fall von Hybridantrieben weisen die empirischen Untersuchungen darauf hin, dass in Deutschland die Techniklinie bei Forschungsförderung und Industrie auf nachrangiges Interesse stieß und stattdessen auf emissionsarme Dieselantriebe und Wasserstoff gesetzt wurde. Eine breitere Förderung auch anderer Antriebskonzepte, u. a. von Hybridantrieben und insbesondere der Batterietechnologien hat gefehlt. Hier hat Europa den Anschluss an die internationale Entwicklungstätigkeit nahezu verloren. Es zeigt sich auch, dass Nachfrageförderung für diese Produktgruppe entscheidend ist: London und Athen entwickeln sich wegen den Mautsystemen zu wichtigen Märkten für Hybridantriebe. Der Erfolg von Hybridantrieben in Japan ist dagegen weniger einer gelungenen staatlichen (Nachfrage- oder Forschungs-) Förderstrategie zu verdanken, sondern der generellen Abneigung gegen Dieselfahrzeuge. Auf dem wichtigen kalifornischen Markt treten beide Effekte, eine starke Förderung emissionsarmer Fahrzeuge und eine Ablehnung von Diesel im Pkw-Bereich, zu Tage. Die neueren technologischen Entwicklungen lassen die Grenzen zwischen verschiedenen Antriebskonzepten durch die zunehmende Bedeutung eines aktiven Energiemanagements in den Fahrzeugen konvergieren und neue Konzepte sind wegen begrenzter Reichweiten oder noch fehlender Infrastrukturen nicht für alle Marktsegmente geeignet. Für die Politik ist aus diesen Beispielen die Schlussfolgerung zu ziehen, dass sie nicht einzelne Antriebskonzepte fördern, sondern auf bestimmte Effizienz- und Umweltaforderungen abstellen sollte.

Betrachtet man den Einfluss genereller innovativer Rahmenbedingungen – wie Intellectual Property Rights (IPR) und Zugang zu Venture-Kapital – auf die Stärken und Schwächen Deutschlands in den einzelnen Zukunftsmärkten, ist hier kein überdurchschnittlich ausgeprägtes Problem festzustellen. Jedoch können in einzelnen Produktgruppen und Technologielinien Engpässe bestehen. So stehen die deutschen Unternehmen bei den solarthermischen Kraftwerken vor der Herausforderung, ihr technologisches Know-How als Systemanbieter vermarkten bzw. genügend Kapital hierfür auf-

bringen zu können. Bei der Materialeffizienz könnten entsprechend ausgerichtete innovative Dienstleistungen und Geschäftsmodelle vermutlich einen hohen Beitrag leisten. Der Schutz des geistigen Eigentums an Geschäftsmodellen ist aber in Deutschland bzw. Europa – anders als in den USA - nicht möglich. Offen ist, in wie weit der fehlende Schutz tatsächlich ein Hemmnis in diesem Zukunftsmarkt darstellt.

Aus dem Blickwinkel der Industriepolitik ergeben sich weitere Ansatzpunkte. Industriepolitik besteht oftmals in Versuchen der Politik, die Firmenstruktur zu ändern, z. B. durch Aufbau eines nationalen Champions, Unterstützung oder Verhinderung von Firmenzusammenschlüssen oder Abwehr von ausländischen Übernahmeversuchen. Allerdings stellt sich in diesem Zusammenhang immer die Frage, wie die Definition eines „nationalen“ oder „europäischen“ (heimischen) Unternehmens unter den Bedingungen der Globalisierung und der damit verbundenen weltweiten Aufteilung der Forschungs-Produktions- und Vertriebsaktivitäten auf unterschiedlichste Länder überhaupt erfolgen sollte.

Dennoch sollte die Notwendigkeit für den Einsatz dieses Instruments im Rahmen der ökologischen Industriepolitik intensiver geprüft werden. So fehlt beispielsweise für CCS ein großer Akteur bei Geotechnologien und CO<sub>2</sub>-Speicherung. Entsprechend fällt das oft beklagte Fehlen von großen, internationalen wasserwirtschaftlichen Akteuren, die als Systemanbietern im Wasserbereich fungieren könnten, in diesen Bereich. Allerdings ist der Handlungsbedarf im Zukunftsmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft diesbezüglich noch genauer zu untersuchen. Zwar ist die Akteursstruktur Deutschlands – vor allem im Vergleich zu Frankreich – sehr kleinteilig. Während in Deutschland gesetzliche Regelungen zu Eigentumsrechten (Ab-/Wasser als öffentlicher Bereich) und zu den Zuständigkeiten (herausragende Stellung von Ländern und Gemeinden) die Struktur der Wasserwirtschaft bestimmen, hat in Frankreich eine stärkere Privatisierung, aber auch die Rolle der französischen Unternehmen in den ehemaligen französischen Kolonien zu einer stärkeren Ausbildung nationaler Champions geführt. Allerdings ist – auch im Lichte der bisher bereits erzielten außenwirtschaftlichen Erfolge – die Zielsetzung der Verbesserung der Akteursstrukturen noch zu klären. Wenn sich deutsche Hersteller wasserrelevanter Technologien z. B. eher auf (semi-)dezentrale (Ab-)Wasserinfrastrukturen spezialisieren, dürfte es vor allem von Bedeutung sein, dass die stärker durch KMU geprägte Akteursstruktur die Fähigkeit erwirbt, als Systemführer aufzutreten. Gleichzeitig müssen die exportorientierten Firmen in Deutschland und in den Zielländern entsprechende Referenzprojekte aufweisen können. Hier kann eine entsprechende Förderpolitik (z.B. Förderung von Investitionen von Firmen, die deutscher Technologie auch in ihren ausländischen Niederlassungen installieren) oder Entwicklungsprojekte sehr hilfreich sein.

Industriepolitik kann im weiteren Sinne auch die Beeinflussung der Akteursstruktur in Richtung Vernetzung beinhalten. Mit Blick auf die Technologiekonvergenz und die Zusammenführung unterschiedlicher Technik- und Dienstleistungsbereiche im Falle dezentraler Abwasserbehandlung – z.B. Mess- und Regeltechnik, Verfahrenstechnik, Materialwissenschaften und neue Geschäftsmodelle – würde sich dies vor allem im Stadium der F&E anbieten. Förderung von Forschungsverbänden und -netzwerken spielte bspw. bei der Brennstoffzelle eine sehr wichtige Rolle, aber auch bei dezentralen Techniken der Abwasserbehandlung ist sie von Bedeutung, was vor allem auch in NRW in der Förderpolitik Berücksichtigung fand.

Der Zukunftsmarkt Nachhaltige Mobilität profitiert bei den mit Schifffahrt verbundenen Technikinien von Synergien mit der traditionell motivierten Werftenpolitik. Im Güterverkehr ist der Markt recht stark konzentriert. Hier wäre zu überlegen, ob die Politik auf eine eher größere Zahl von Akteuren hinwirkt, um für regionale Nähe von Anbieter und Kunden und damit für ökologisch günstigere Marktergebnisse zu sorgen. Dazu ist der freie Zugang zum Schienennetz essentiell. Schließlich verspricht die Vernetzung bestimmter Akteure auch Fortschritte in Richtung Systemintegration und höherwertige Transportdienstleistungen. In der Schweiz tritt zum Beispiel die SBB als Systemintegrator auf, die Bahnen, Nahverkehr, Car-Sharing und andere lokale Verkehrsdienstleister in der Schweiz zusammenbringt. Dabei kommen sehr fortschrittliche Technologien, wie z. B. die Funkortung von Fahrzeugen zum Einsatz, die die Qualität der Dienstleistung für die Kunden steigern. Auch im Güterverkehr gibt es Potentiale zur Systemintegration durch Vernetzung von Akteuren, insbesondere durch Vernetzung großer Spediteure mit Kombiverkehrsgesellschaften, um den Schienenanteil am Verkehr zu erhöhen.

#### **10.2.4 Instrumenten-Mix: Phasen vs. Funktionen im Innovationsprozess**

Um aus einzelnen Politikempfehlungen zu einem konsistenten Gesamtpaket zu gelangen, sind verschiedene Denkmodelle in der Diskussion. Aus den frühen Ansätzen der Innovationsforschung stammt die Vorstellung des linearen Innovationsprozesses, der sich in verschiedene Phasen unterteilt. Für die Politik wurden auf Basis dieser Vorstellung oftmals phasenspezifische Instrumente abgeleitet.

Nach den aktuellen Erkenntnissen der Innovationsforschung gibt es jedoch starke Rückkopplungseffekte zwischen den Innovationsphasen. So zeigen die empirischen Untersuchungen der Zukunftsmärkte, dass die Handlungsfelder in sich sehr heterogen sind. Ist beispielsweise die Abfallwirtschaft insgesamt ein eher reifes Feld mit Phänomenen der Marktsättigung, gibt es dennoch gleichzeitig einzelne Verfahren, bei denen

noch Forschung (auch Grundlagenforschung) notwendig ist, zum Beispiel bei Infrarot-anwendungen zur Kunststofferkennung. Bei der Windenergie sind parallel neben der Expansionsphase gleichzeitig auch F&E-intensive Weiterentwicklungen z. B. hinsichtlich des Off-shore Einsatzes erforderlich. Frühzeitige Anwendererfahrungen gehören zu den Voraussetzungen einer zügigen technologischen Weiterentwicklung. Die Einstufung des Betrachtungsgegenstandes in die richtige Phase ist daher schwierig. Oft wäre eine sehr disaggregierte Betrachtung einzelner Technologielinien notwendig, die als Ansatzpunkt für politische Steuerung jedoch zu kleinteilig sein kann.

Eine weitere Schwierigkeit liegt darin, den Einsatz eines bestimmten Politikinstrumentes auf eine bestimmte Phase des Innovationsprozesses zu beschränken. So stellt sich zum Beispiel die Frage, ob der Politikexport wirklich erst in der Wachstumsphase beginnen kann. Im Zeichen globalisierter Märkte und angesichts der zugrunde liegenden Normungsprozesse müsste damit nach den vorliegenden Erkenntnissen schon früher begonnen werden. Zudem ist es – wie die zunehmende Favorisierung von Quotenregelungen für die Förderung erneuerbarer Energien zeigt – mit dem einmaligen Export nicht getan. Es muss dann auch darauf geachtet werden, wie sich die Förderpolitik im Ausland längerfristig entwickelt.

Einen alternativen Ansatz zur Systematisierung der empfohlenen Politikinstrumente bietet das Modell der Erfolgsbedingungen eines Innovationssystems (vgl. Abschnitt 10.1). Statt Instrumente den Innovationsphasen zuzuordnen, ist möglicherweise eher eine Priorisierung der Bedeutung einzelner Innovationssystemfunktionen in Abhängigkeit der Innovationsphase möglich. Hier besteht jedoch noch Forschungsbedarf.

Die Bedeutung der Instrumentenwahl und des Instrumentenmixes wird durch den gleichzeitigen Einfluss weicher Kontextfaktoren wie z. B. der Verlässlichkeit der Politik und ihrer Langfristorientierung relativiert (vgl. Abschnitt 10.1). Der Zukunftsmarkt Nanotechnologie profitiert beispielsweise allein schon davon, dass die Politik ihn als Leitinnovation proklamiert. Die Pfadabhängigkeit der zentralen Abwasserentsorgungssysteme wird durch den weichen Kontextfaktor verstärkt, dass als handlungsleitende Motivation nicht die Wirtschaftlichkeit, sondern die Minimierung von Risiken im Vordergrund steht. Ein weiterer eher weicher Faktor, der die Struktur des Wasser- und Abwassersektors beeinflusst hat, ist die Subsidiarität und die daraus resultierende, weitgehende Verlagerung der Verantwortung auf die Gemeinden. Die Folge davon ist, dass es heute zwar eine Vielzahl meist kleiner und mittlerer Betreiber von Wasserinfrastruktursystemen gibt, die erfolgreich technisch anspruchsvolle Lösungen einsetzen können. Unternehmen wie Veolia und Suez, die als Koordinatoren und Betreiber ganzer Infrastrukturen weltweit in Erscheinung treten und die für Technologieanbieter den Charakter von Zugpferden annehmen können, sucht man in Deutschland jedoch vergebens.

### 10.3 Fazit für den Forschungsbedarf

Die bisherigen Ergebnisse der Studien, die im Kontext einer ökologischen Industriepolitik erarbeitet wurden, haben bisher eindrucksvoll die Potenziale der unterschiedlichen Zukunftsmärkte aufgezeigt und die technologischen Ausgangsbedingungen Deutschlands herausgearbeitet. Im Anschluss an diese Arbeiten sind folgende Fragestellungen von vordringlicher Bedeutung, die weiterer Forschung bedürfen. Sie beziehen sich sowohl auf die Verbesserung der Datengrundlagen als auch auf die Politikgestaltung und die damit verbundenen Wirkungen:

- Die indikatorenbasierte Messung der technologischen Leistungsfähigkeit in den betrachteten Zukunftsmärkten beruht bisher fast ausschließlich auf technologischen Produkten. Eine Analyse zur Positionierung von Deutschland bei umweltrelevanten Dienstleistungen ist noch offen. Dies gilt auch für die Kompetenz der Unternehmen, eine Systemführerschaft einzunehmen. Zu beiden Fragestellungen ist auch noch Methodenentwicklung erforderlich.
- Die Messung der technologischen Leistungsfähigkeit mit Hilfe von Innovationsindikatoren steht im Zukunftsmarkt Materialeffizienz noch am Anfang der Forschungstätigkeit. Gleichzeitig ist zu vermuten, dass gerade solche „weichen“ Innovationen in diesem Zukunftsmarkt eine besondere Rolle spielen. Diese Rolle wäre genauer zu eruieren. Gegebenenfalls schließen sich Fragen an, wie sich solche weichen Innovationen zu Gunsten der Materialeffizienz fördern lassen und welche Rolle dabei der Schutz (Patentierung) von Geschäftsmodellen, wie er in den USA üblich ist, spielen könnte.
- Zur Systematisierung der Politikinstrumente und ihrer zeitlichen und inhaltlichen Abstimmung aufeinander sollte der mögliche Beitrag des Ansatzes der Funktionen eines Innovationssystems näher geprüft werden.
- Priorisierung der Zukunftsmärkte für eine ökologische Industriepolitik: Die Leistungsfähigkeit Deutschlands und das Marktpotenzial der aggregiert betrachteten Handlungsfelder einer ökologischen Industriepolitik sind gut. Eine ökologische Industriepolitik muss aber auf einer disaggregierteren Ebene von einzelnen Technologielinien etabliert werden. Gleichzeitig kann Deutschland nicht in allen denkbaren Technologien der Weltmarktführer sein. Erforderlich ist eine Priorisierung der einzelnen Felder. Hierzu ist die Ableitung der wichtigsten Kriterien für die Priorisierung (vgl. Abschnitt 10.1) und die Anwendung dieser Kriterien auf die untersuchten Technologielinien erforderlich, um die prioritären Felder einer ökologischen Industriepolitik herauszuarbeiten.
- Organisation und Koordination einer ökologischen Industriepolitik: Die bisherigen Ergebnisse verdeutlichen, dass eine ökologische Industriepolitik unterschiedlichste Politikfelder umfasst, die von der Umweltpolitik über die F&E-Politik bis hin zu ökonomischen Sektorregulierung reichen (triple regulatory challenge). Zentrales Herausforderung ist eine Koordination der unterschiedlichen Aktivitäten, um wider-

spruchsfreies und zeitlich abgestimmtes politisches Handeln zu ermöglichen. Dies erfordert Koordination innerhalb eines Ressorts, zwischen den Ressorts, aber auch zwischen Politik und Wirtschaftsakteuren. Zunächst erforderlich ist eine Bestandsaufnahme über die eingesetzten Organisationsformen und die Koordinierungsmechanismen in ausgewählten (internationalen) best practice cases. Die dadurch herausgearbeiteten Erfolgsprinzipien der Organisation einer ökologischen Industriepolitik sollten auf die Situation in Deutschland übertragen werden.

- Übergreifende und vergleichende Bewertung der ökologischen Industriepolitik (Benchmark Regulierungsindex): Bisher liegen eine Reihe von Fallstudien vor, die eine positive Wirkung der Regulierung im weiteren Sinn aufzeigen, jedoch keine aggregierte Bewertungsmöglichkeit. Die Notwendigkeit und die positiven Wirkungen einer gestaltenden Wirtschaftspolitik drohen daher im öffentlichen Diskurs unterzugehen, zumal die bestehenden, einfach kommunizierbaren Regulierungsindizes, per se eine – über F&E-Förderung hinausgehenden - staatlichen Aktivitäten mit Innovationsfeindlichkeit gleichsetzen. Gleichzeitig fehlt ein aggregiertes Monitoring-Instrument, das anzeigt, ob sich das Regulierungsregime in einem Land positiv verändert hat und wie es im internationalen Vergleich zu beurteilen ist. Daher sollten die Arbeiten zum Aufbau sektorbezogener Regulierungsindizes vorangetrieben und darauf basierend die Zusammenhänge zwischen Regulierung und Umweltinnovation in statistisch-ökonomischen Untersuchungen spezifiziert werden.
- Ökologische Industriepolitik findet in einem zunehmend globalisierten Wirtschaftsraum statt. Dabei werden nicht nur Güter und Technologien weltweit gehandelt und Produktionsstätten international verlagert: Zunehmend werden auch internationale Netzwerkbildungen bei der Technologieentwicklung sowie Ausstrahlungseffekte der Umweltregulierung eines Landes auf die Politiken anderer Länder bedeutsam. Ohne eine Berücksichtigung dieser Trends steht die ökologische Industriepolitik vor der Gefahr, in einem zu engen nationalen Blickwinkel zu verharren.
- Die wirtschaftlichen Auswirkungen sind ein wichtiges Argument für eine ökologische Industriepolitik. Eine Abschätzung der Arbeitsplatzeffekte einer ökologischen Industriepolitik ist ein weiterer zentraler Baustein für die Fortführung der Diskussion. Im Unterschied zu Querschnittsmaßnahmen wie der ökologischen Steuerreform, deren Hauptbeschäftigungswirkungen aus den veränderten Kosten für Arbeit versus Energie resultieren, muss eine Analyse der ökologischen Industriepolitik technologiespezifisch erfolgen und die damit verbundenen Wirkungsmechanismen abbilden können. Dies beinhaltet auch eine modellgestützte Abbildung eines first mover advantages. Gleichzeitig können aus den Ergebnissen dieser Analysen wiederum Rückschlüsse für wichtige Einflussparameter gezogen werden, die im Prozess der ökologischen Industriepolitik besondere Beachtung finden sollten.

## Literatur

A.R.T. GmbH, Trier, pers. Korrespondenz, 2007

AMCG Unternehmensberatung GmbH International Management Consultants (2003): European survey – Prospects for intelligent waste management products and services (MSW – municipal solid waste), Executive Summary, elaborated for TEKES – National Technology Agency of Finland, Helsinki, September 16<sup>th</sup>.

Arrow, K.J. (1962): The economic implications of learning by doing, in: Review of Economic Studies Vol. 29.1962, S. 155-173.

Baron, R.; Alberti, K.; Gerber, J.; Jochem, E.; Bradke, H.; Dreher, C.; Ott, V. u. a. (2005): Studie zur Konzeption eines Programms für die Steigerung der Material-effizienz in mittelständischen Unternehmen. Wiesbaden : Arthur D. Little GmbH, 2005

BCC Research (2006): The Membrane Microfiltrations Market, BCC Research, Business Communications Company Inc. (BCC), 2006.

Beise, M.; Cleff, T. (2004): Assessing the Lead Market Potential of Countries for Innovations Projects, *Journal of International Management* 10 (4), 453-477.

Beise, M.; Rennings, K. (2005): Lead markets and regulation: a framework for analyzing the international diffusion of environmental innovations. In: *Ecological Economics*, Vol. 52, No.1, pp. 5–17.

Berg, H; Schmidt, F. (1998): Industriepolitik, in: Klemmer, P. (Hrsg.): *Handbuch Europäische Wirtschaftspolitik*, München 1998, S. 849-944.

Bergek, A.; Jacobsson, S. (2003): The Emergence of a Growth Industry: A Comparative Analysis of the German, Dutch and Swedish Wind Turbine Industries, in: Metcalf, S; Cantner, U. (eds): *Change, Transformation and Development*. Physica-Verlag: Heidelberg, pp. 197-227.

Biocom AG (2006): Die deutsche Biotechnologiebranche 2006. Daten & Fakten, Biocom AG, Berlin

Blazejczak, J. et al. (1999): Umweltpolitik und Innovation: Politikmuster und Innovationswirkungen im internationalen Vergleich, in: *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht*, Vol. 22, 1999, S. 1-32.

- 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.
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (2005): BMBF-Pressemitteilung von 26.01.2005, „Weniger Abfalltransporte durch moderne Logistik“; siehe auch [www.kreislaufwirtschaft.net](http://www.kreislaufwirtschaft.net).
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (2006): Biotechnologie 2021 - Chancen, Herausforderungen und Anwendungsfelder für die Bioindustrie der Zukunft, November 2006 (bisher nicht veröffentlichter Bericht des Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation an das BMBF), Berlin, Stand November 2006
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hg.) (2000): Science live - Wissenschaft im Dialog: Perspektiven moderner Biotechnologie und Gentechnik. Bonn, April 2000
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.) (2006): Nano-Initiative – Aktionsplan 2010, Redaktion: VDI Technologiezentrum GmbH.
- BMU (2006): UMWELTBERICHT 2006, Umwelt – Innovation – Beschäftigung, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), Oktober 2006.
- Brösse, U. (1999): Industriepolitik, 2. Auflage, Oldenbourg Verlag München.
- BSW (2007): Statistische Zahlen der deutschen Solarwirtschaft Stand: Juni 2007. Bundesverbands Solarwirtschaft e.V.  
[http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/content\\_files/bswsolar\\_faktenbl\\_0607.pdf](http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/content_files/bswsolar_faktenbl_0607.pdf)
- Business Communication Company Inc. (2006): The Membrane Microfiltrations Market, BCC Research, Business Communications Company Inc. (BCC), 2006.
- Canadian Stewardship Practices for Environmental Nanotechnology, Environment Canada (Hrsg.), 2005.
- Carlsson, B.; Jacobsson, S.; Holmen, M.; Rickne, A. 2002: Innovation systems: analytical and methodological issues, in: Research Policy Vol. 31, pp. 233-245.
- Cebulla, E., Malanowski, N., Zweck, A. (2006): Innovationsbegleitung Nanotechnologie – Hochschulangebote im Bereich Nanotechnologie, Zukünftige Technologien Consulting Band 59, VDI Technologiezentrum GmbH.

- Cientifica (2006) VC to Nanotech: Don't call us, White Paper, Cientifica Ltd., 2006, [www.cientifica.eu/files/Whitepapers/VC\\_Dont\\_Call\\_Us.pdf](http://www.cientifica.eu/files/Whitepapers/VC_Dont_Call_Us.pdf) , (abgerufen am 21.11.07)
- Dasgupta, P./Stoneman, P. (eds.) (1987): Economic policy and technological performance, Cambridge, Cambridge University Press
- DECHEMA - Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (2004): Weiße Biotechnologie: Chancen für Deutschland, Positionspapier der DECHEMA e.V., Frankfurt a.M., Stand November 2004
- DECHEMA et al. (2006): F&E-Strategie Chemie und Biotechnologie für gesellschaftliche Bedürfnisfelder. Nationaler Implementierungsplan der europäischen Technologieplattform Sustainable Chemistry (SusChem). Erarbeitet durch: DECHEMA (Gesellschaft für chemische Technik und Biotechnologie), VCI (Verband der chemischen Industrie), GDCh (Gesellschaft Deutscher Chemiker) und DIB (Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie), September 2006
- Diallo, M. S. (2005): Dendritic Nanomaterials for Environmental Remediation, U.S. EPA Workshop on Nanotechnology for Site Remediation, Washington.
- DIW/ISI/Berger (2007): Wirtschaftsfaktor Umweltschutz. Vertiefende Analyse zu Umweltschutz und Innovation; BMU/UBA Schriftenreihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung 01/07, Berlin/Dessau.
- Dürkop, J.; Dubbert, W.; Nöh, I. (1999): Beitrag der Biotechnologie zu einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung. Texte / Umweltbundesamt, 99-01, Berlin
- EC – DG ENV (2006): Eco-industry, its size, employment, perspectives and barriers to growth in an enlarged EU. European Commission, DG Environment, Final Report, produced by Ernst & Young Environment and Sustainability Services (France) and by RDC-Environment, on behalf of the European Commission, September 2006.
- Edquist, C. (2005): Systems of innovation: Perspectives and challenges, in: Fagerberg, J. et al. (eds.): The Oxford Handbook of Innovation, Oxford University Press, Oxford, S. 181-208.
- EIAG (2006): Environmental Innovation – Bridging the gap between environmental necessity and economic opportunity, First Report of the Environmental Innovations Advisory Group EIAG in association with DEFRA, November 2006.

- EPIA / Greenpeace / Photon International (2007): Solar Generation IV – 2007.  
[http://www.epia.org/fileadmin/EPIA\\_docs/publications/epia/EPIA\\_SG\\_IV\\_final.pdf](http://www.epia.org/fileadmin/EPIA_docs/publications/epia/EPIA_SG_IV_final.pdf)
- EuropaBio – The European Association for Bioindustries; ESAB European Section Applied Biocatalysis: Industrial or White Biotechnology, A driver of sustainable growth in Europe, Brussels, Gent (ohne Datumsangabe)
- Fels, G. (1985): Industriepolitik als Instrument zur Förderung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit, in: Wirtschaftsdienst, Vol. 65.1985, S. 233-237.
- Festel, G.; Knöll, J.; Götz, H.; Zinke, H. (2004a): Der Einfluß der Biotechnologie auf Produktionsverfahren in der Chemieindustrie, Chemie Ingenieur Technik, 76: 307 - 312
- Festel, G.; Knöll, J.; Götz, H.; Zinke, H. (2004b): Der Einfluß der Biotechnologie auf Produktionsverfahren in der Chemieindustrie, Chemie & Wirtschaft – Jahrgang 3, Ausgabe 2, Mai 2004, S. 34 - 46
- Fischer, R.; Hirth, T. (2004): Vom Biokatalysator zum Produkt - industrielle Biotechnologie in der Fraunhofer-Gesellschaft. München: Jahresbericht der Fraunhofer Gesellschaft. S. 52-61
- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe HG. (2006): Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe. meó Consulting Team, Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Faserinstitut Bremen, Gülzow
- Freedonia (2006): Membrane Separation Technologies, The Freedonia Group, 2006, [http://freedonia.ecnext.com/coms2/summary\\_0285-325739\\_ITM](http://freedonia.ecnext.com/coms2/summary_0285-325739_ITM) (abgerufen am 21.11.07)
- Frerichs, L (2005): Agrartechnik in Deutschland. Ingenieurleistungen in einer Branche mit Weltgeltung. Unveröffentlichtes Vortragsmanuskript.
- Fritsch, M. (1995): The market — market failure, and the evaluation of technology promoting programmes, in: Becher, G., Kuhlmann, S. (eds.) (1995): Evaluation of technology policy programmes in Germany, London, Kluwer Academic Publishers, pp. 311-330
- Fritz, P., Gundert-Remy, U., Zeddies, J. u. a. (2005): Der Beitrag der Abfallwirtschaft zu einer nachhaltigen Entwicklung in Baden-Württemberg, Sondergutachten, Der Nachhaltigkeitsbeirat der Landesregierung Baden-Württemberg (NBBW), Stuttgart, März 2005.

- Frost & Sullivan (2003): U.S. Powder Coating Markets. Report A390-39. San Jose, CA 2003
- FTD – Financial Times Deutschland (2007): Sprit aus Abfall. Beitrag von Sonja Braun vom 23. Februar 2007, S. 8
- Gahlen, B./Stadler, M. (1986): Marktstruktur und Innovationen — eine modelltheoretische Analyse, Institut für Volkswirtschaftslehre, Universität Augsburg, Beitrag Nr. 39, Augsburg
- Genter, C. (2003): Innovative waste management products – European market survey, Technology Review 147/2003, produced by the AMCG Unternehmensberatung GmbH (Munich, D), TEKES – National Technology Agency, Helsinki.
- Glauner, C., Malanowski, N., Werner, M., Henn, S., Bachmann, G., Zweck, A. (2006): Nanotechnologie in Dresden/Sachsen – Regionalstudie, Zukünftige Technologien Consulting Band 60, VDI Technologiezentrum GmbH.
- Glauner, C., Zweck, A.: Mitteldeutschland als Cluster der nanobasierten Umwelttechnik? Tagungsband des Innovationsforums „Nanobasierte Umwelttechnik“ vom 09. bis 10. November 2006, Jena; siehe auch [www.kompetenznetze.de/nanotechnologie](http://www.kompetenznetze.de/nanotechnologie).
- Global Sources (2007): Industry Overview Solar Panels China.  
<http://www.chinasourcingreports.com/csr/Hardware-&-DIY/Solar-Panels/p/CSRSPL/Industry-Overview.htm>
- Grupp, H. (1997): Messung und Erklärung des technischen Wandels. Grundzüge einer empirischen Innovationsökonomik., Springer-Lehrbuch, Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Grupp, H. (Hrsg.); Schmoch, U.; Mannsbart, W.; Schwitalla, B. (1988): Technikprognosen mit Patentindikatoren. Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln.
- Hall (2006): Entsorgungsunternehmen in Europa, Internationales Forschungsinstitut für öffentliche Dienste (PSIRU), [www.epsu.org/a/1791](http://www.epsu.org/a/1791) (abgerufen am 25.07.07)
- Hekkert, M.P.; Suurs, R.A.N.S.O.; Kuhlmann, S.; Smits, R.E. (2007): Functions of innovation systems - A new approach for analysing technological change. In: Technological Forecasting and Social Change, Vol. 74, No. 4, S. 413-432.
- Hemmelskamp, J.; Brockmann K. L. (1997): Environmental Labels - The German 'Blue Angel'. Futures 29(1): pp. 67-76.

- Hillenbrand, T.; Hiessl, H. (2006): Sich ändernde Planungsgrundlagen für Wasserinfrastruktursysteme. Teil 1: Klimawandel, demographischer Wandel, neue ökologische Anforderungen. KA - Abwasser, Abfall (53), Nr. 12, S. 1265-1271
- Hillenbrand, T.; Hiessl, H. (2007): Sich ändernde Planungsgrundlagen für Wasserinfrastruktursysteme. Teil 2: Technologischer Fortschritt und sonstige Veränderungen. KA - Abwasser, Abfall (54), Nr. 1, S. 47-53
- Hippel, E. von (1978): Successful Industrial Products from Customer Ideas. Journal of Marketing, 42 (1). USA.
- Hippel, E. von (1986): Lead Users: A Source of Novel Product Concepts. Management Science, Vol. 32, No. 7, July 1986. Cambridge, Mass., USA. (The Institute of Management Sciences)
- Hoffknecht, A., Teichert, O. (2006): Nutzung der Nanotechnologie für sicherheitstechnische Anwendungen, Zukünftige Technologien Consulting Band 63, VDI Technologiezentrum GmbH.
- Hoppenheidt, K.; Mücke, W.; Peche, R.; Tronecker, D.; Roth, U.; Würdinger, E.; Hottenroth, S.; Rommel, W. (2005): Entlastungseffekte für die Umwelt durch Substitution konventioneller chemischtechnischer Prozesse und Produkte durch biotechnische Verfahren. Forschungsbericht des Umweltbundesamtes 202 66 326, UBA-FB 000778, Berlin
- IBTF – UK Industrial Biotechnology Task Force (Hg.) (2004): Industrial Biotechnology: Delivering Sustainability and Competitiveness, United Kingdom (<http://www.bio-economy.net/centre10key.html>, letzter Abruf 31.01.2007)
- ISI (2006): Nachfrageorientierte Innovationspolitik, Politikbenchmarking Report im Rahmen des TAB für den Deutschen Bundestag, Karlsruhe/Berlin.
- Jacob, K. u. a. (2005): Lead Markets for Environmental Innovations. ZEW Economic Studies, Vol. 27, Heidelberg.
- Johnson, A.; Jacobsson, S. (2000): Inducement and Blocking Mechanisms in the Development of a New Industry, in: Coombs R, Green K, Walsh V, Richards A (eds) Technology and the Market: Demand, Users and Innovation. Cheltenham, U.K. and Northampton, MA, USA: Edward Elgar.
- Kamat, P. V., Meisel, D. (2003): Nanoscience opportunities in environmental remediation, Dendrimers & nanosciences, vol. 6, no. 8-10 (68 ref.), pp. 999-1007.

- Kemp, R. et al. 2000: How should we study the relationship between environmental regulation and innovation? IPTS Report EUR 19827 EN, Sevilla, May 2000
- Klodt, H. (1995): Grundlagen der Forschungs- und Technologiepolitik, München, Vahlen
- Kohn, H. (1984): Pragmatische Technologiepolitik, in: Wirtschaft und Produktivität, Nr. 2
- Kubias, A. (2005): Simulation von Sortieranlagen, 2005
- Larsen, S. C. (2004): Nanocatalysts for Environmental Technology, ACS Symposium Series 890, Nanotechnology and Environment, Applications and Implications, American Chemical Society (Hrsg.).
- Legler, H., Krawczyk, O., Walz, R., Eichhammer, W., Frietsch, R. (2006): Wirtschaftsfaktor Umweltschutz: Leistungsfähigkeit der deutschen Umwelt- und Klimaschutzwirtschaft im internationalen Vergleich, UBA-Texte 16/06, Dessau.
- Legler, H., Schmoch, U., Gehrke, B., Krawczyk, O. (2003): Innovationsindikatoren zur Umweltwirtschaft – Studien zum deutschen Innovationssystem, Nr. 2-2003, Niedersächsisches Institut für Wirtschaftsforschung und Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung im Auftrag des BMBF.
- Legler, H.; Grupp, H.; Gehrke, B.; Schasse, U. (1992): Innovationspotential und Hochtechnologie – Technologische Position Deutschlands im internationalen Wettbewerb. Physica-Verlag, Heidelberg
- Legler, H.; Krawczyk, O.; Rammer, C.; Frietsch, R. (2007): Zur technologischen Leistungsfähigkeit der deutschen Umweltschutzwirtschaft im internationalen Vergleich, Bundesministerium fuer Bildung und Forschung (BMBF) (ed.), Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 20-2007, Berlin.
- Leone, R., Hemmelskamp, J. 2000: The impact of EU Regulation on Innovation of European Industry, Heidelberg, Physica.
- Lundvall, B. Å. (1988): Innovation as an Interactive Process: From User-Producer Interaction to the National Systems of Innovations. In: Dosi et al., Technical Change and Economic Theory, London, New York: Pinter Publ.
- Lundvall, B. Å. (1991): Innovation, the Organised Market and the Productivity Slowdown. In: Technology and Productivity. The Challenge for Economic Policy, Paris: OECD.

- Lundvall, B. A. et al. 2002: National Systems of Production, Innovation and Competence Building, in: Research Policy, Vol. 31, 2002, S. 213-231.
- Luther, W. (Hrsg.) (2004a): Technological Analysis, Industrial application of Nanomaterials – chances and risks, Zukünftige Technologien Consulting Band 54, VDI Technologiezentrum GmbH.
- Luther, W., Bachmann, G., Festel, G., Klatt, G., Zweck, A. (2006): Kommerzialisierung der Nanotechnologie – Analyse der Erfolgsfaktoren und Rahmenbedingungen, Zukünftige Technologien Consulting Band 65, VDI Technologiezentrum GmbH.
- Luther, W., Malanowski, N., Bachmann, G., Hoffknecht, A., Holtmannspötter, D. Zweck, A. (2004b): Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt, Zukünftige Technologien Consulting Band 53, VDI Technologiezentrum GmbH.
- Lux Research (2004): The Nanotech Report 2004, New York: Lux Research, 2004, siehe auch [www.luxresearchinc.com/tnr.php](http://www.luxresearchinc.com/tnr.php) (abgerufen am 21.11.07)
- Malerba, F. (2005): Sectoral Systems: How and why innovation differ across sectors, in: Fagerberg, J. et al. (Eds.): The Oxford Handbook of Innovation, Oxford University Press, Oxford, S. 308-406
- Malshe, A. P., Rajurkar, K. P. (2004): Environmental Applications, Environmentally benign Nanomanufacturing, ACS Symposium Series 890, Nanotechnology and Environment, Applications and Implications, American Chemical Society (Hrsg.).
- Mazda Motors GmbH (2006): Mazda entwickelt neuen Biokunststoff für Fahrzeug-Innenräume, Meldung der Mazda Motors GmbH vom 18.05.2006, (<http://www.mazda.de/AboutMazda/MazdaAktuell/NeuigkeitenArchiv/20060518.htm>, letzter Abruf 31.01.2007)
- McKinsey Company Inc. (2006a): Industrial Biotech – Shaking up Energy and Chemicals, Vortragsfolien von Jens Riese für den World Congress on Industrial Biotechnology, Toronto, July 13, 2006
- McKinsey Company Inc. (2006b): Industrial Biotechnology – Expert Survey Results, Vortragsfolien, Frankfurt a.M., January 17 2006
- Meffert, H.; Kirchgeorg, M. (1998): Marktorientiertes Umweltmanagement. Stuttgart, Schäfer Poeschel.
- Meyer-Krahmer, F. (2004): Innovations- und Technologiepolitik, in: Gerlach, F.; Ziegler, A. (Hrsg.): Neue Herausforderungen der Strukturpolitik, Marburg 2004, S. 181-203.

- Meyer-Krahmer, F. (2004a): Vorreiter-Märkte und Innovation, in: Steinmeier, F.W.; Machnig, M. (Hrsg.): *Made in Deutschland 21'*, Hamburg, S. 95-110.
- Mowery, D. (1994): *Science and Technology Policy in Interdependent Economies*, Boston, Kluwer Academic Publishers
- Mowery, D. C. and N. Rosenberg (1978): The Influence of Market Demand upon Innovation: A Critical Review of Some Recent Empirical Studies. *Research Policy*, No. 8
- MRST - Ministry of Research, Science and Technology, New Zealand (2005): *Future-watch: Biotechnologies to 2025*, Report prepared for New Zealand Ministry of Research, Science and Technology, New Zealand
- Nelson, R. 2002: Technology, institutions, and innovation systems, in: *Research Policy*, Vol 31, 2002, S. 265-272.
- Nelson, R.R. (1994): The co-evolution of technology, industrial structure, and supporting institutions. *Industrial and Corporate Change*, vol. 3, no. 1, pp.47-63.
- Oberender, P. (1987): Möglichkeiten und Grenzen staatlicher Technologieförderung: Eine ordnungspolitische Analyse, in: *Jahrbuch für Sozialwissenschaft* 38
- OECD - Organisation for Economic Cooperation and Development (2006): *The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda*, OECD, Paris ([www.oecd.org/dataoecd/7/51/37504590.pdf](http://www.oecd.org/dataoecd/7/51/37504590.pdf), letzter Abruf 31.01.2007)
- OECD - Organisation for Economic Cooperation and Development (2007): *Statistical Definition of Biotechnology*, ([www.oecd.org](http://www.oecd.org), letzter Abruf 31.01.2007)
- Paschen, H. u. a. (2003): *TA-Projekt Nanotechnologie*, Arbeitsbericht Nr. 92, Berlin, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB).
- Peter, P. (2005): *Umwelt- und Gesundheitsrisiken nanotechnologischer Applikationen*, Semesterarbeit, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, ETH.
- Prakash, A. (2002): *Green Marketing, Public Policy and Managerial Strategies*. *Business Strategy and the Environment* 11(5): pp. 285-297.
- Pridöhl, M (2005): *Nanotechnologien: Fortschritt für Mensch, Umwelt und Wirtschaft*, Workshop „Dialog zur Bewertung von synthetischen Nanopartikeln in Arbeits- und Umweltbereichen“, 11. bis 12. Oktober 2005, Bundesumweltministerium, Bonn.

- Prognos AG (2005): Analyse und Darstellung der durch die TA Siedlungsabfall und die Ablagerungsverordnung ausgelösten Investitionen sowie Arbeitsplatzeffekte, Abschlussbericht, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- Recycling Magazin online (2005): In einer Pilotanlage sollen durch ein neuartiges Kunststoff-Recyclingverfahren PP und PE zu Kraftstoff umgewandelt werden.
- Recycling Magazin online (2006): PVC-freie PET-Flakes, 09.10.2006.
- Reinhardt, F. L. (1998). Environmental Product Differentiation - Implications for Corporate Strategy. *California Management Review* 40(4).
- Reiß, T.; Hinze, S.; Dominguez-Lacasa, I. (2004): Performance of European Member States in Biotechnology. *Science and Public Policy* 31 (2004), 5, S. 344-358
- Roland Berger (2007): Umweltpolitische Innovations- und Wachstumsmärkte aus Sicht der Unternehmen. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, Förderkennzeichen (UFOPLAN) 206 14 132/04, Reihe „Umwelt, Innovation, Beschäftigung“, Band 2/07 Berlin.
- Rothwell, R.; Freeman, Ch.; Horlsey, A.; Jervis, V.T.P.; Robertson, A.B.; Townsend J. (1974): SAPPHO Updated: Project SAPPHO Phase II: In *Research Policy*, Vol. 3, pp. 258-291.
- Schmookler, J. (1966): *Invention and Economic Growth*. Harvard University Press, Cambridge, Mass., USA.
- Schug, H., Krück, C., Ploetz, C., Zweck, A. (Hrsg.) (2007): Nachhaltigkeit, Kooperationen und die Zukünfte der Abfallwirtschaft, Zukünftige Technologien Band 68, VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf.
- Seitz, M. (1999): *Staatliche Industriepolitik*, Nomos, Baden-Baden.
- Selwy, J., Leverett, B. (2006): *Emerging Markets in the Environmental Sector*, Prepared for the Department of Trade and Industry, Environmental Industries Unit, U.K.
- Serwe, H.-J. (2005): Nachhaltigkeitsaspekte der Abfallwirtschaft am Beispiel des Kreises Mettmann, in: Schug u. a. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit in der Abfallwirtschaft, Zukünftige Technologien Band Nr. 56*, Zukünftige Technologien Consulting (ZTC) der VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf.
- Smith, K. (1991): Innovation Policy in an Evolutionary Context, in: Saviotti, P. P., Metcalfe, J. 5. (eds.): *Evolutionary Theories of Economic and Technological Change*, Harwood Academic Publishers, Reading, pp. 256-275

- Smits, R.; Kuhlmann, S. (2004): The rise of systemic instruments in innovation policy, in: *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, Vol. 1, No.1, pp. 1-26.
- Steinfeldt, M. u. a. (2004): Nachhaltigkeitseffekte durch die Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte, *Schriftenreihe des IÖW*, 177/04.
- Streit, M. (1984): Innovationspolitik zwischen Unwissenheit und Anmaßung von Wissen, in: *Hamburger Jahrbuch für Wirtschafts- und Gesellschaftspolitik* 29
- Tao, N. (2005): *Proceedings—Nanotechnology and the Environment: Applications and Implications Progress Review Workshop III*, October 26–28, Arlington, U.S. Environmental Protection Agency (Hrsg.).
- Teubal, M.; Yinnon, T.; Zuscovitch, E. (1991): Networks and Market Creation. In: *Research Policy*, No. 20.
- TOMRA – Capital Markets Day presentation material, 09 November 2006, Felix Konferansesenter, Oslo, <http://hugin.info/162/R/1087211/190366.pdf>, abgerufen am 05.02.07.
- Toyota Motor Corporation (2006): *Sustainability Report 2006. Towards a New Future for People, Society and the Planet*, August 2006, Tokyo, Japan
- Tratneyk, P. C., Johnson, R. (2006): *Nanotechnologies for the environmental cleanup, nanotoday*, Volume 1, Number 2, May.
- U.S. Environmental Protection Agency (2005): *Nanotechnology White Paper, External Review Draft*.
- U.S. Environmental Protection Agency (Hrsg.) (2005): *Proceedings – Nanotechnology and the Environment: Applications and Implications Progress Review Workshop III*, October 26–28, 2005, Arlington.
- Umweltbundesamt (2005): *Daten zur Umwelt 2005*. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- US BTAC - US- Biomass Research and Development Technical Advisory Committee (2002): *Roadmap for Biomass Technologies in the United States* (<http://www1.eere.energy.gov/biomass/publications.html>, letzter Abruf 31.01.2007)
- Utterback JM (1994): *Mastering the Dynamics of Innovation: How Companies Can Seize Opportunities in the Face of Technological Change*. Boston, MA: Harvard Business School Press.

- Waldapfel, H.-J. (2007): Kommunale Kooperationen in der Abfallwirtschaft am Beispiel des Kreises Mettmann. in: Schug u. a. (Hrsg.): Nachhaltigkeit, Kooperationen und die Zukünfte der Abfallwirtschaft, Zukünftige Technologien Band Nr. 68, Zukünftige Technologien Consulting (ZTC) der VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf.
- Walz, R. (2004): Innovation effects of energy policy instruments in Germany. In: *Energy & Environment* 15 (2004), Nr. 2, S. 249-260.
- Walz, R. (2006): Increasing Renewable Energy in Europe – Impacts on Competitiveness and Lead Markets. In *Energy & Environment*, Vol. 17 (2006), Nr. 6, S. 951-975.
- Walz, R. (2007): The role of regulation for sustainable infrastructure innovations: the case of wind energy. In: *International Journal of Public Policy*, Vol. 2 (2007), No. 1/2, S. 57-88.
- Walz, R.; Kuhlmann, S. (2005): Nachhaltigkeitsinnovationen in systemischer Perspektive, in: Mappus, S. (Hrsg.): *Erde 2.0 - Technologische Innovationen als Chance für eine nachhaltige Entwicklung*, Berlin, Heidelberg: Springer, S. 278-310.
- Walz, R. et al. (2007a): Forschungs- und Technologiekompetenz für eine nachhaltige Entwicklung in den BRICS-Staaten, Bericht des Fraunhofer ISI für den Rat für Nachhaltige Entwicklung, erscheint Anfang 2008.
- Walz, R.; Ragwitz, M.; Schleich, J. (2007): Regulation and innovation: the case of renewable energy technologies. Accepted paper, 6<sup>th</sup> Conference on Applied Infrastructure Research (Infraday), Berlin 5./6.10.2007.
- Wong, V., W. Turner, et al. (1996): Marketing Strategies and Market Prospects for Environmentally-Friendly Consumer Products. In: *British Journal of Management* 7(3): pp. 263-281.
- World Resources Institute (2002): *Tomorrow's markets, Global trends and their implications for business*.
- Zeiger, E. (2006): Sortierung verschiedener Abfallströme mit Mogensen-Röntgensortiertechnik. *AufbereitungsTechnik* 47 (2006) Nr. 3
- Zweck, A. u. a. (2007): *Nanotechnology in Germany: From Forecasting to Technological Assessment to Sustainability Studies*, eingereicht beim *Journal of Cleaner Production*, 2007

## A Anhang

### A.1 Anhang zu Kapitel 2

Abbildung-Anhang A.1-1: Patentanteile der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die einzelnen Technologielinien der Produktgruppe „Erneuerbare Energien“

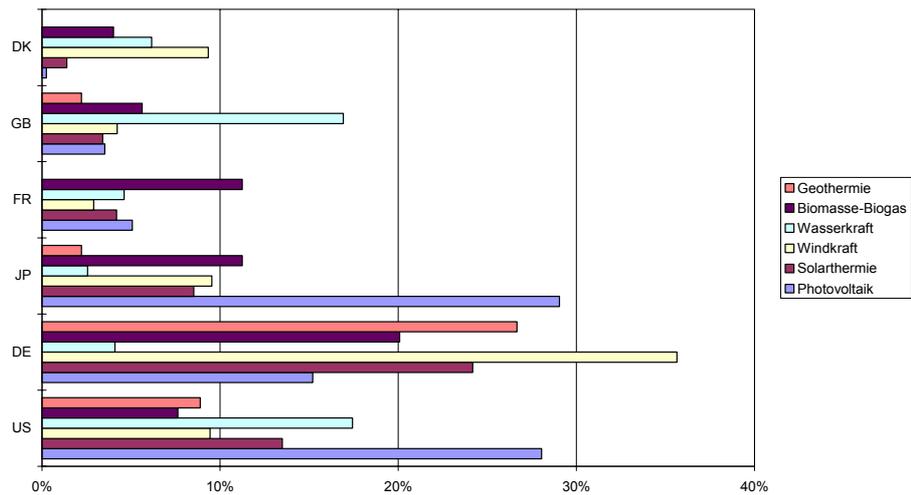


Abbildung-Anhang A.1-2: Patentanteile der Länder mit den meisten Patentanmeldungen für die einzelnen Technologielinien der Produktgruppe effiziente und saubere Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien

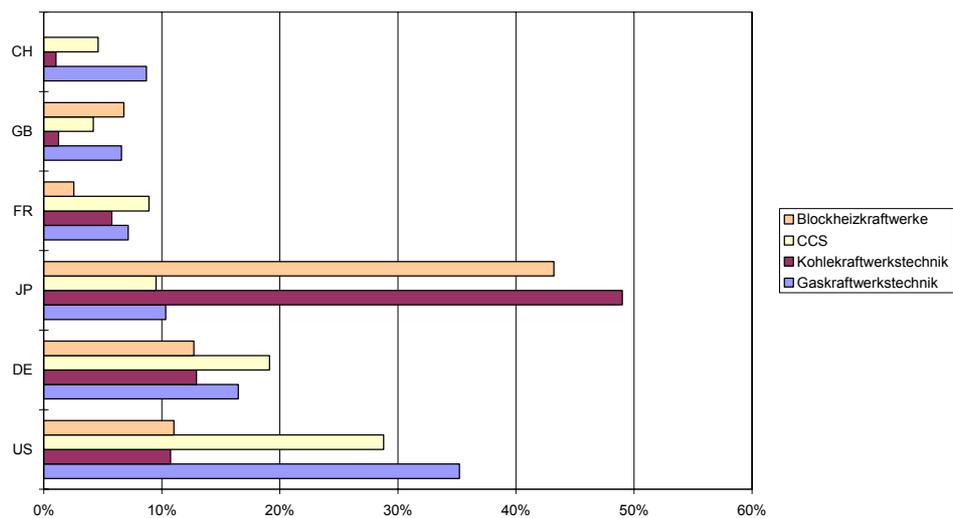


Abbildung-Anhang A.1-3: Disaggregation der Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer nach Technologielinien der Produktgruppe Erneuerbare Energien

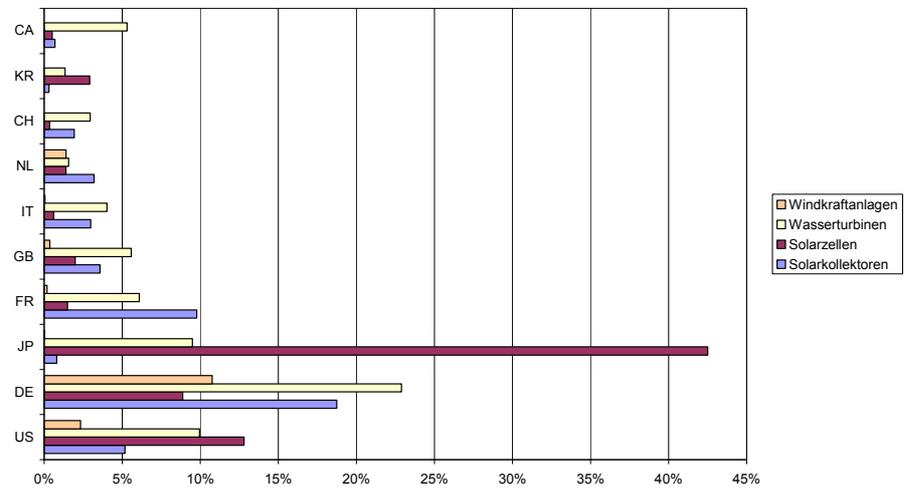


Abbildung-Anhang A.1-4: Disaggregation der RCA-Werte der wichtigsten Exportländer nach Unterkategorien der Technologielinie Erneuerbare Energien

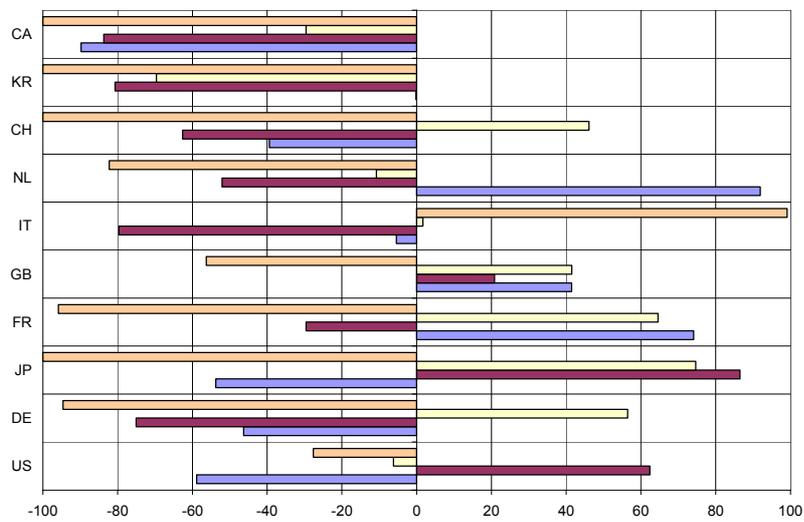


Abbildung-Anhang A.1-5: Disaggregation der Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer nach Technologielinien der Produktgruppe Effiziente und saubere Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien

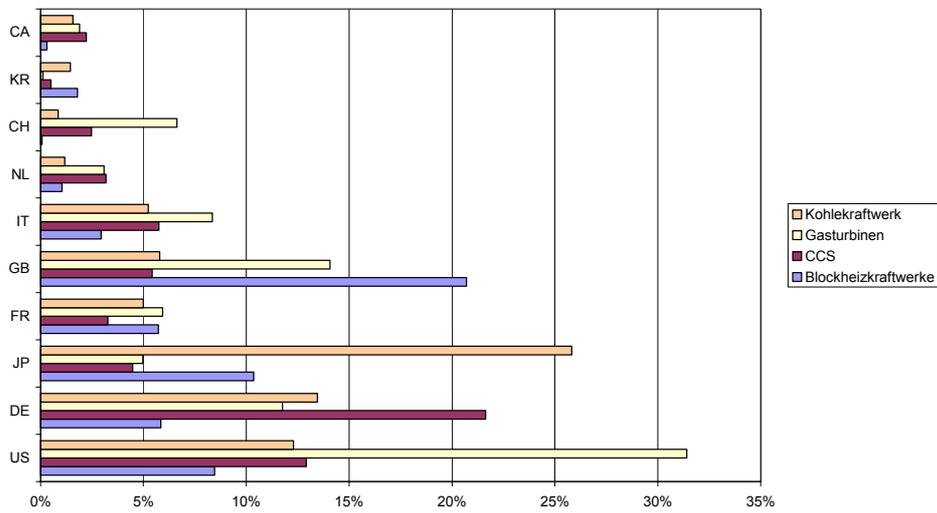


Abbildung-Anhang A.1-6: Disaggregation der RCA-Werte der wichtigsten Exportländer nach Technologielinien in der Produktgruppe Effiziente und saubere Kraftwerks- und Umwandlungstechnologien

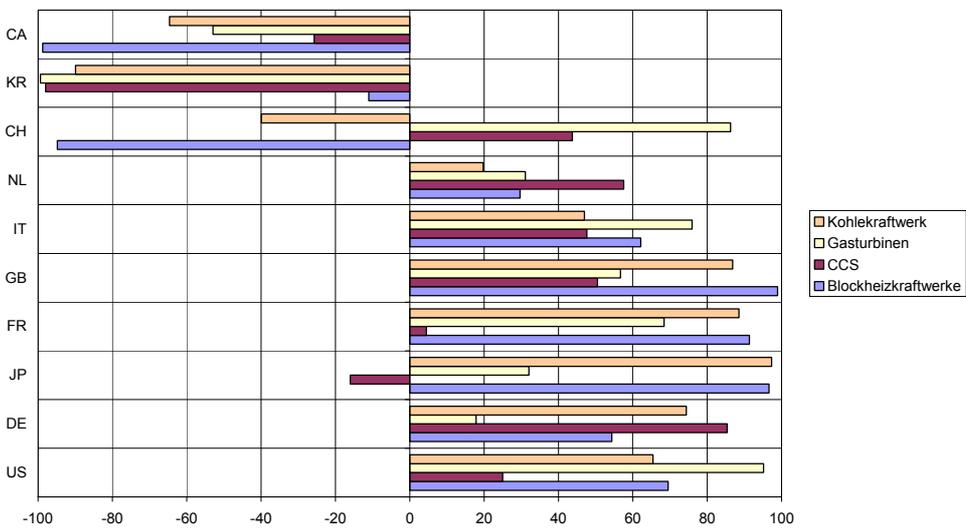


Abbildung-Anhang A.1-7: Disaggregation der Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer nach Technologielinien der Produktgruppe Dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte

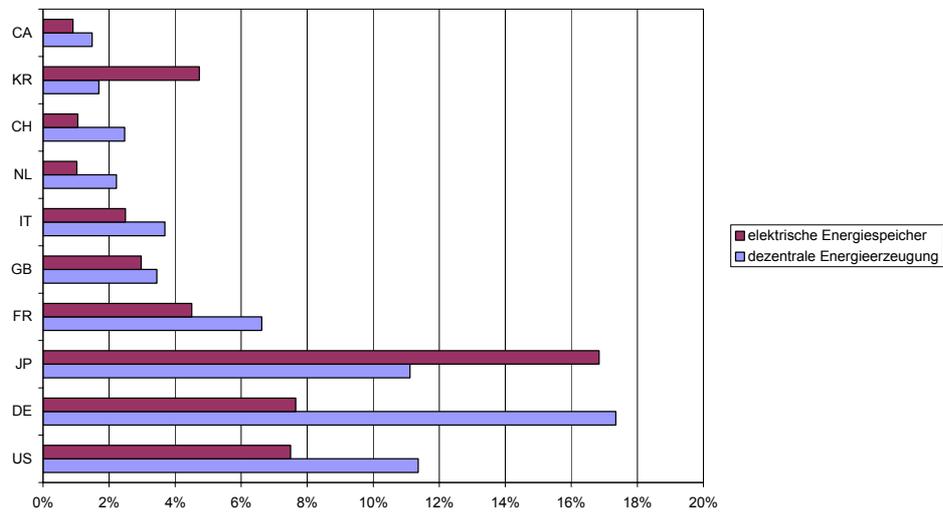
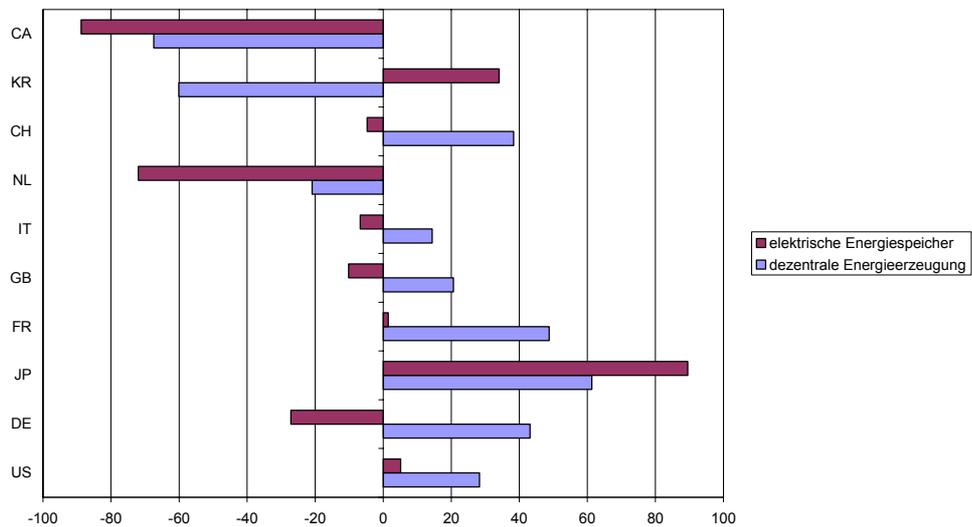


Abbildung-Anhang A.1-8: RCA-Werte der wichtigsten Exportländer für die Technologielinien in der Produktgruppe Dezentrale Energieerzeugung und neue Verteilungskonzepte



## A.2 Anhang zu Kapitel 3

Abbildung-Anhang A.2-1: Patentanteile nach Technologielinien der Produktgruppe Energieeffiziente Elektrogeräte

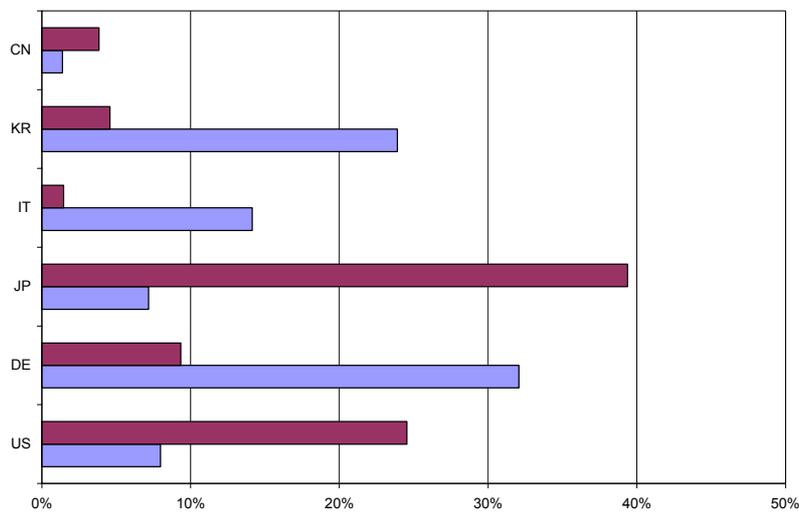


Abbildung-Anhang A.2-2: Patentanteile nach Technologielinien der Produktgruppe Gebäudetechnik

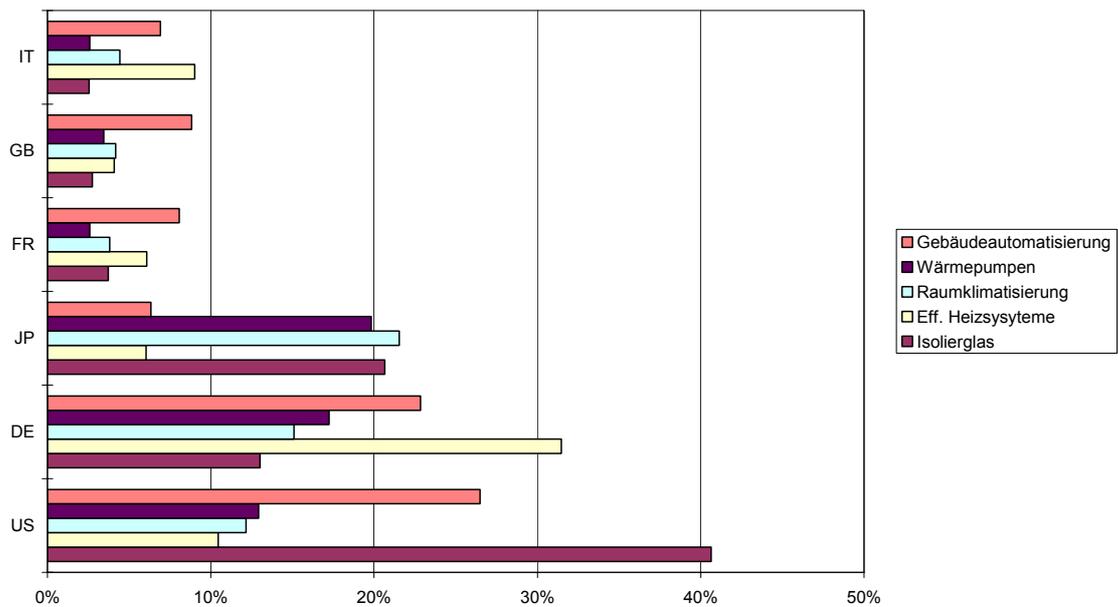


Abbildung-Anhang A.2-3: Patentanteile nach Technologielinien der Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien

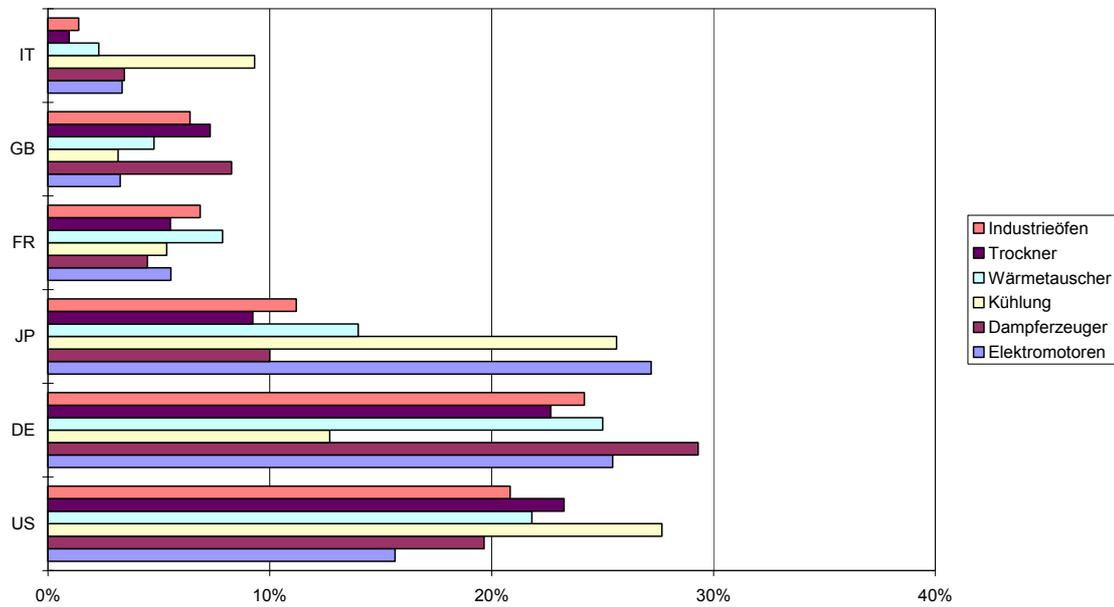


Abbildung-Anhang A.2-4: RCA-Werte der einzelnen Technologielinien der Produktgruppe Energieeffiziente Gebäudetechnik

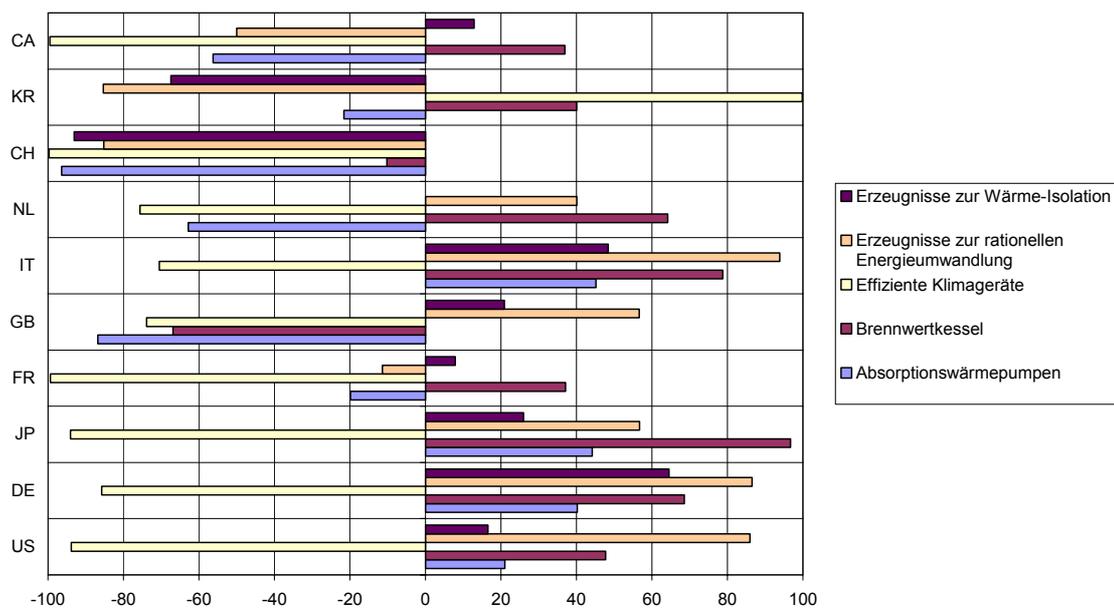


Abbildung-Anhang A.2-5: Disaggregation der Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer nach Technologielinien der Produktgruppe Energieeffiziente Gebäudetechnik

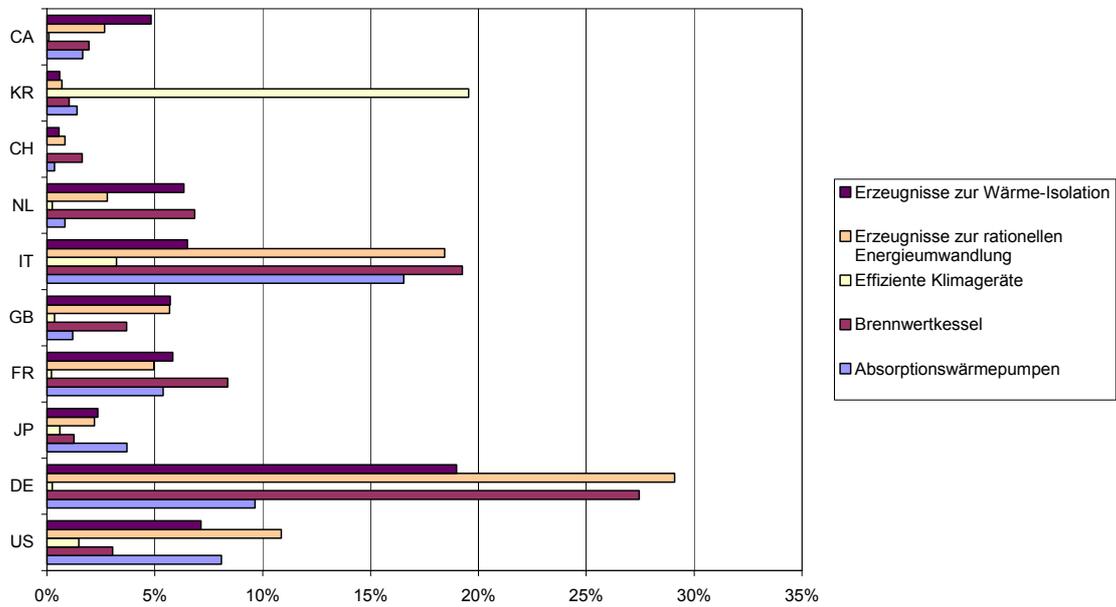


Abbildung-Anhang A.2-6: RCA-Werte der einzelnen Technologielinien der Produktgruppe energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien

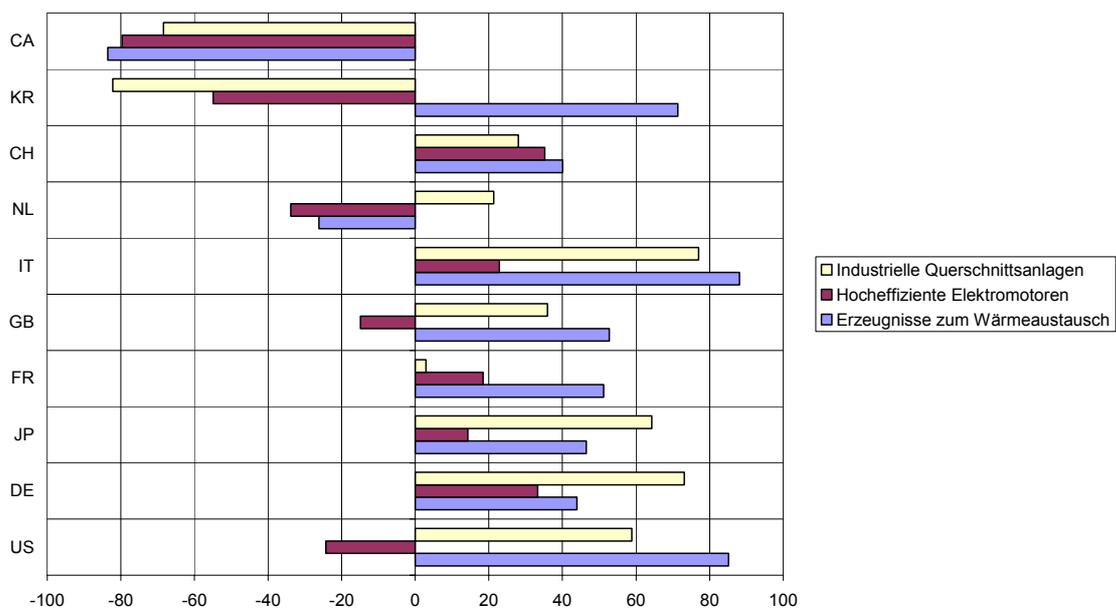
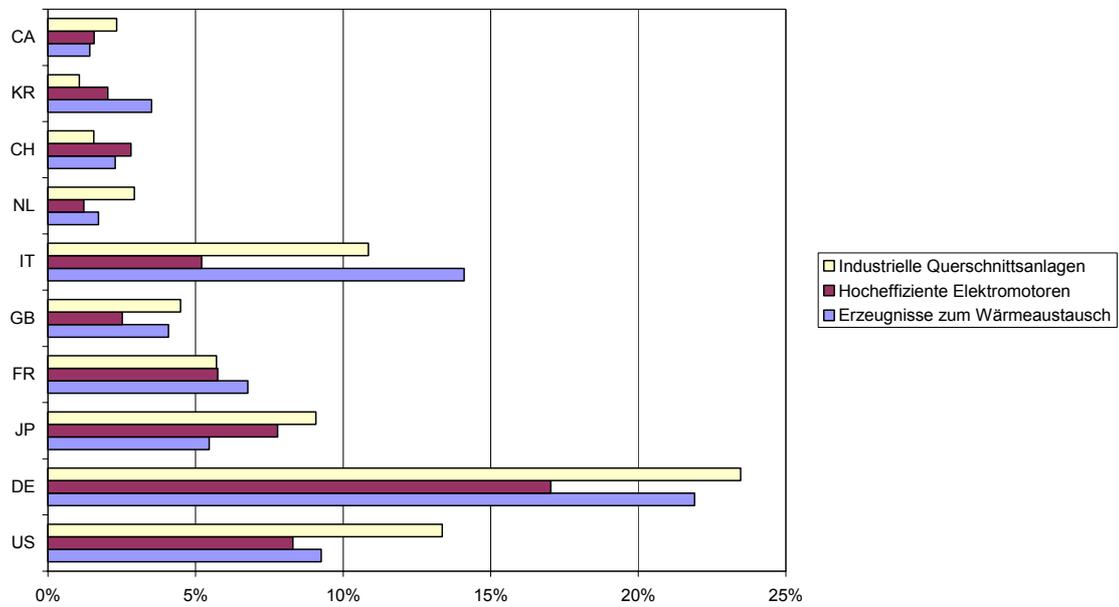
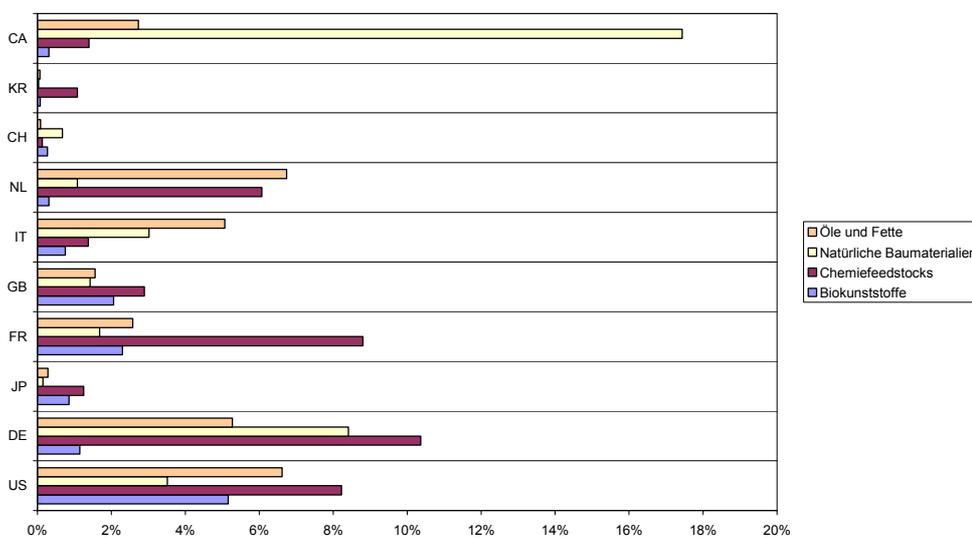


Abbildung-Anhang A.2-7: Disaggregation der Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer nach Technologielinien der Produktgruppe Energieeffiziente industrielle Querschnittstechnologien



### A.3 Anhang zu Kapitel 4

Abbildung-Anhang A.3-1: Welthandelsanteil in den Technologielinien der Nachwachsenden Rohstoffe



## A.4 Anhang zu Kapitel 5

Abbildung-Anhang A.4-1: Patentanteile der Produktgruppe Antriebstechnologien nach Technologielinien

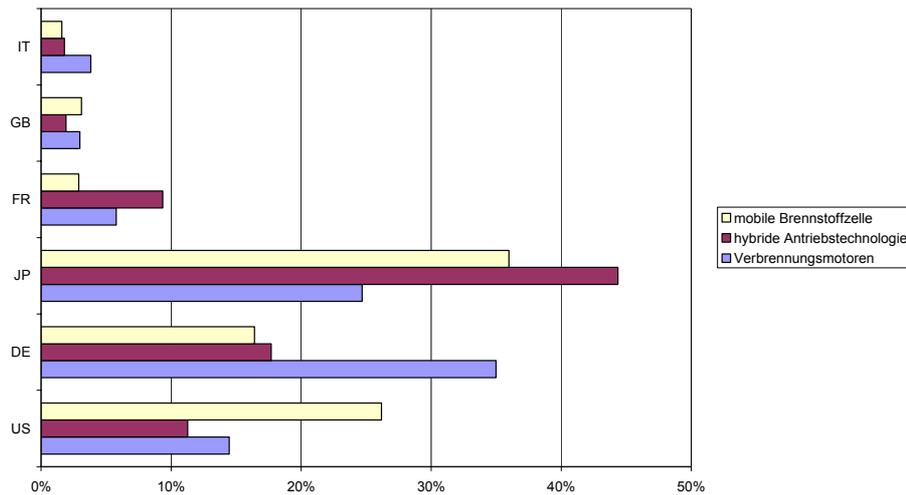


Abbildung-Anhang A.4-2: Patentanteile der Technologielinien in der Produktgruppe Fahrzeugtechnik und -design

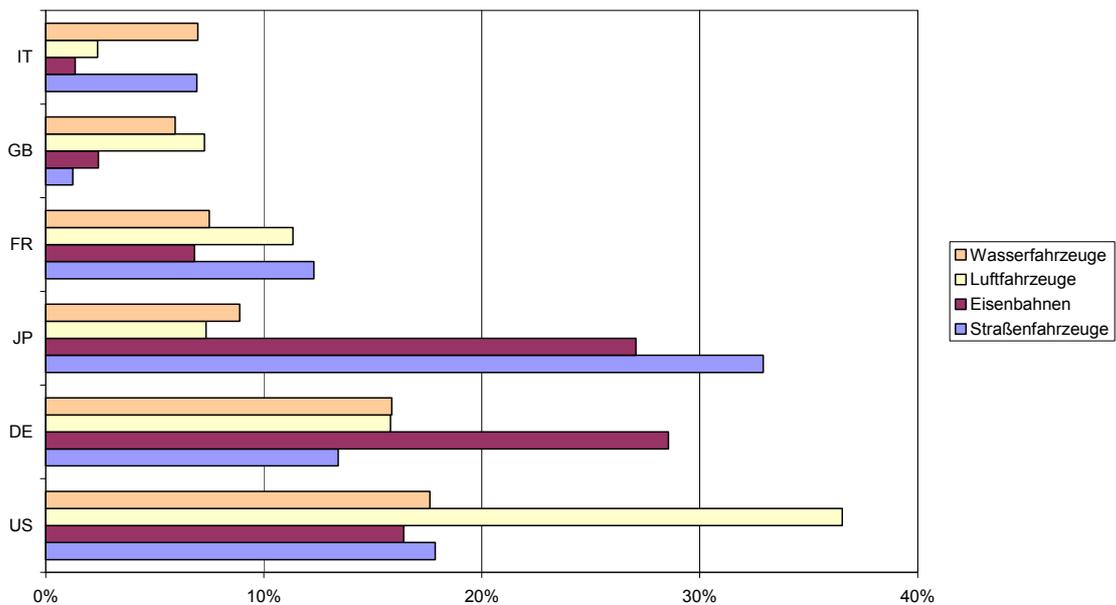


Abbildung-Anhang A.4-3: Patentanteile ausgewählter Technologielinien in der Produktgruppe Verkehrsinfrastruktur

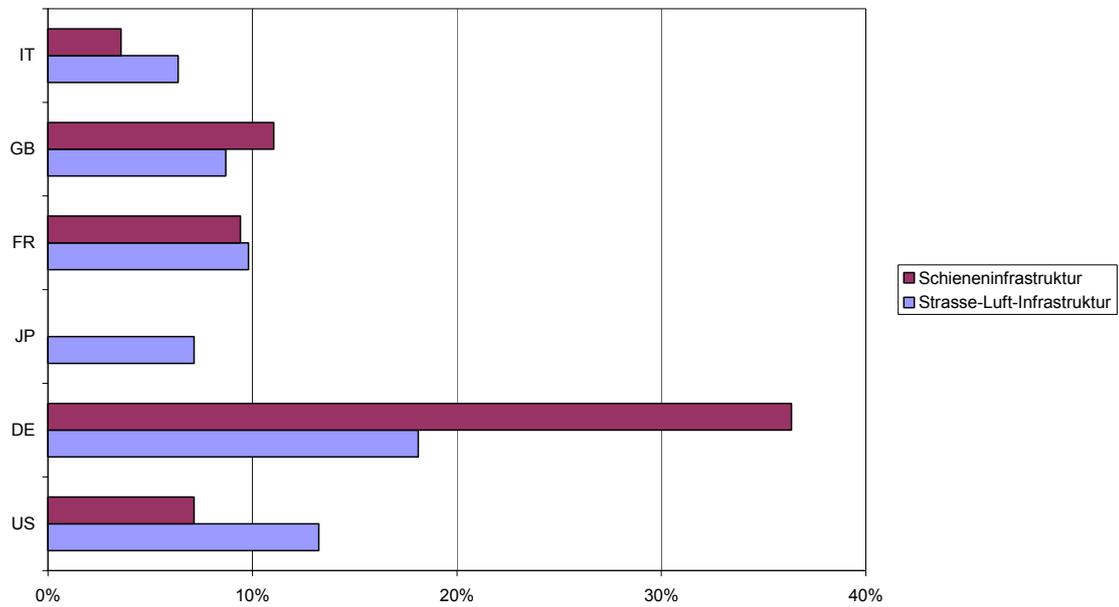


Abbildung-Anhang A.4-4: RCA für die Technologielinien in der Produktgruppe Antriebstechnologien

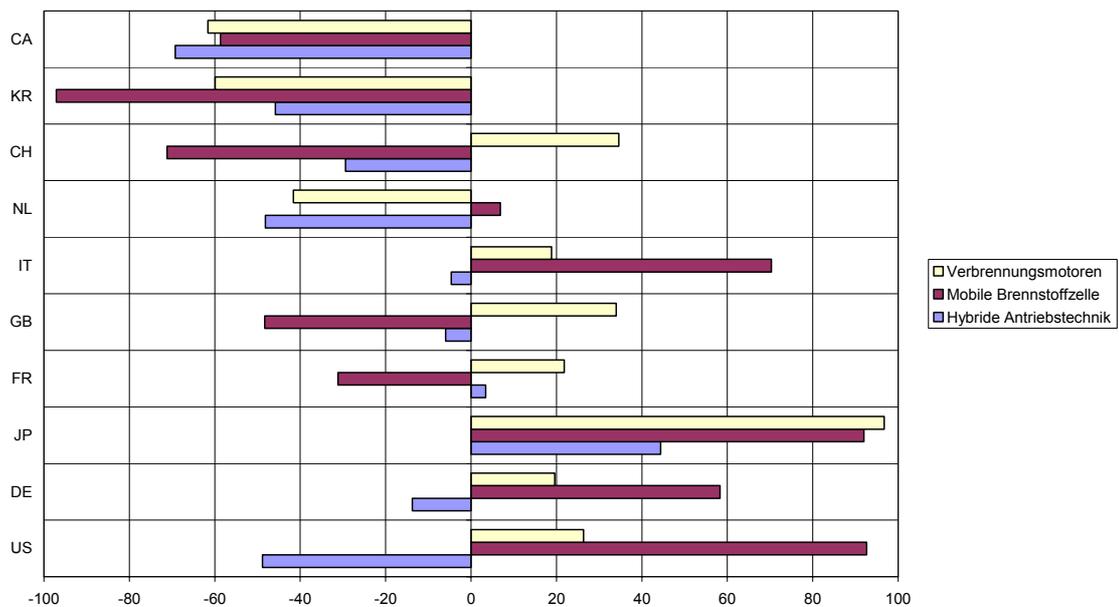


Abbildung-Anhang A.4-5: Welthandelsanteile der Technologielinien in der Produktgruppe Antriebstechnologien

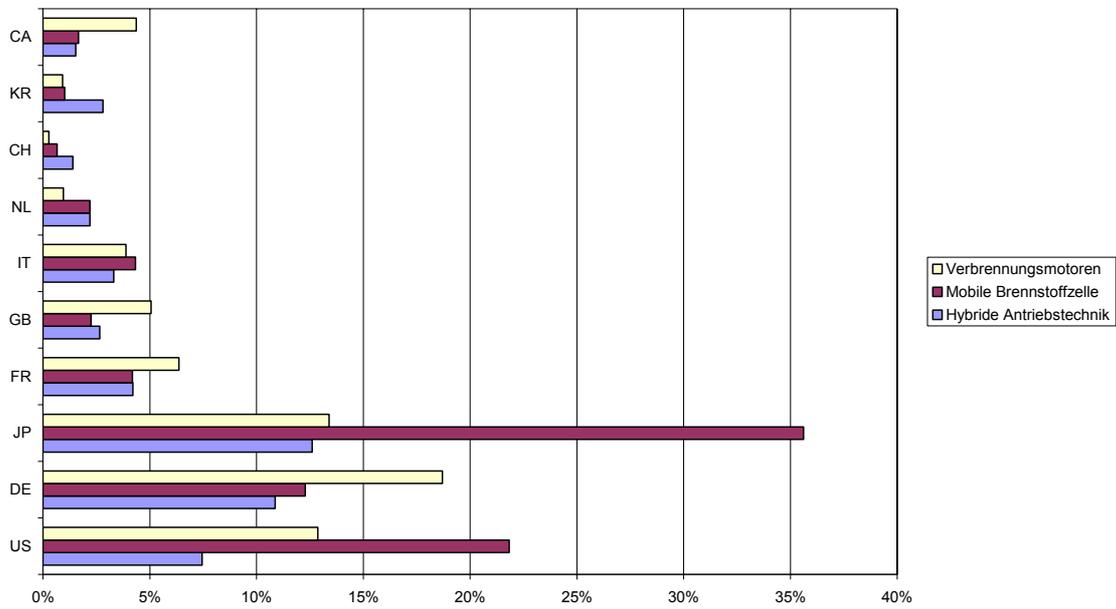


Abbildung-Anhang A.4-6: RCA in den Technologielinien der Produktgruppe Fahrzeugtechnik und -design

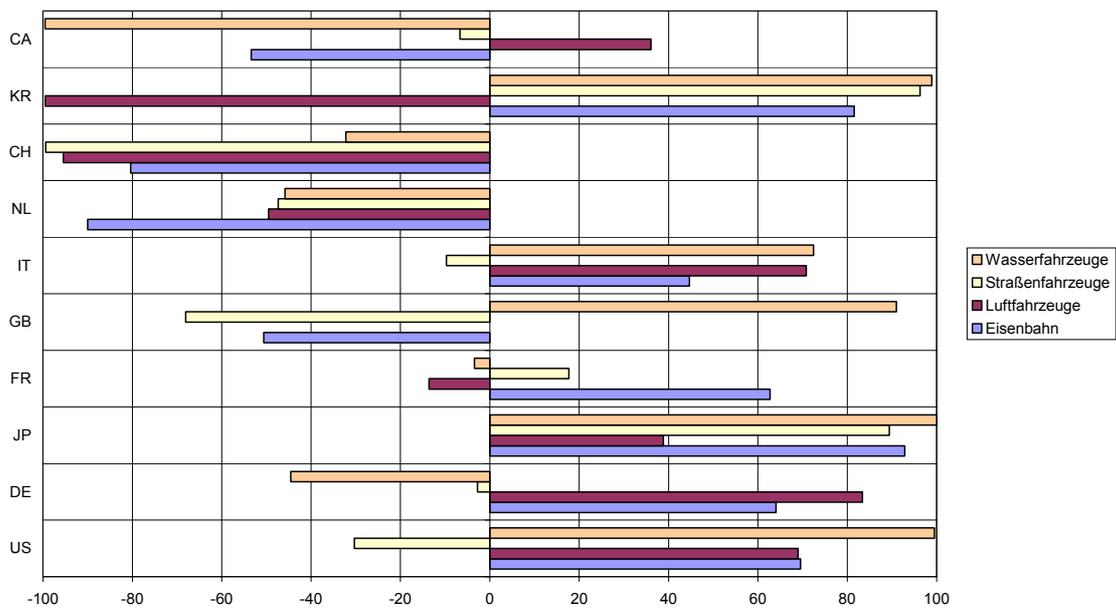


Abbildung-Anhang A.4-7: Welthandelsanteile der Technologielinien in der Produktgruppe Fahrzeugtechnik und -design

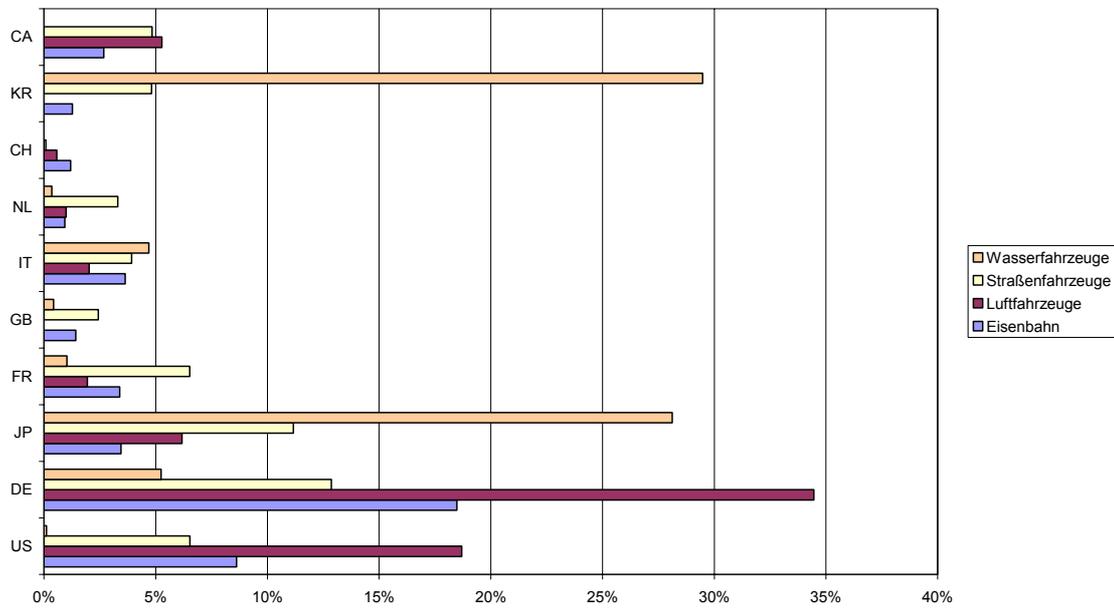


Abbildung-Anhang A.4-8: RCA der Technologielinien in der Produktgruppe Verkehrsinfrastruktur

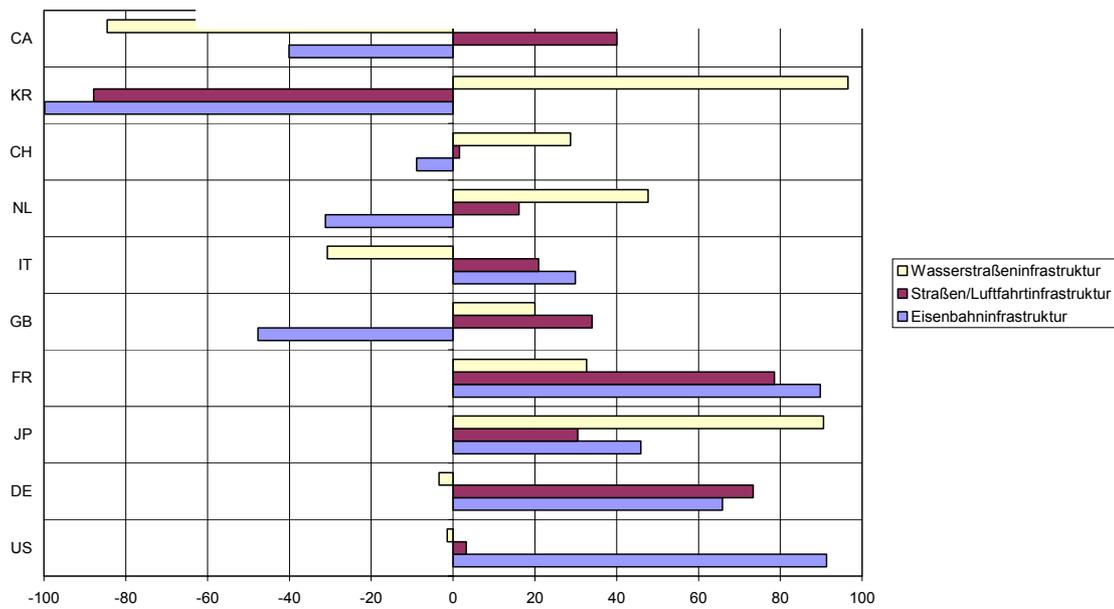
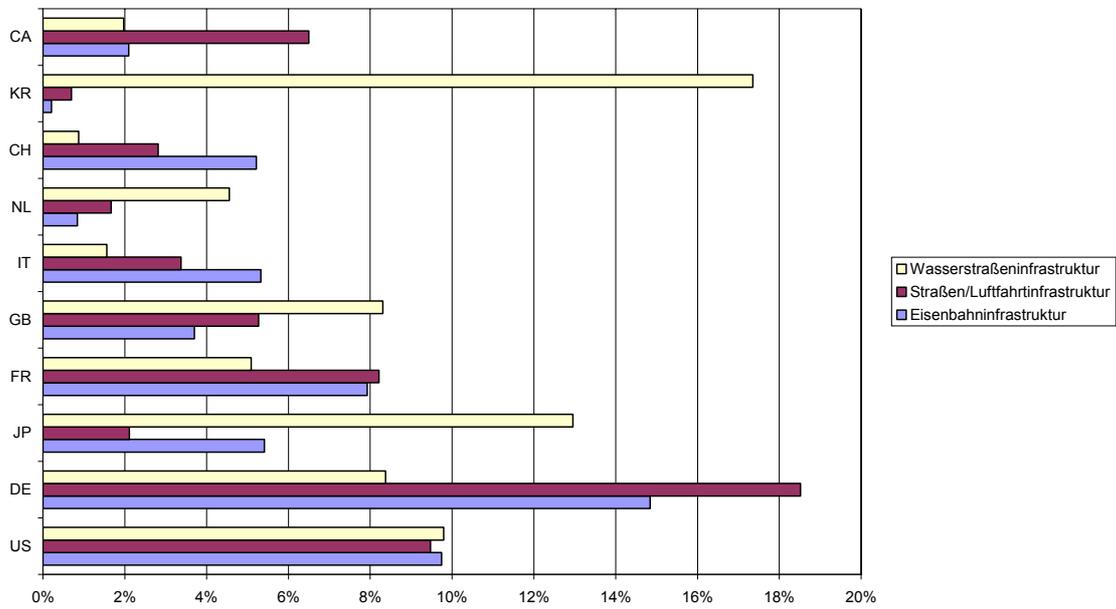


Abbildung-Anhang A.4-9: Welthandelsanteile der Technologielinien in der Produktgruppe Verkehrsinfrastruktur



## A.5 Anhang zu Kapitel 6

Abbildung-Anhang A.5-1: Disaggregation der Patentzahlen nach Techniklinien innerhalb der Produktgruppe Wasserversorgung

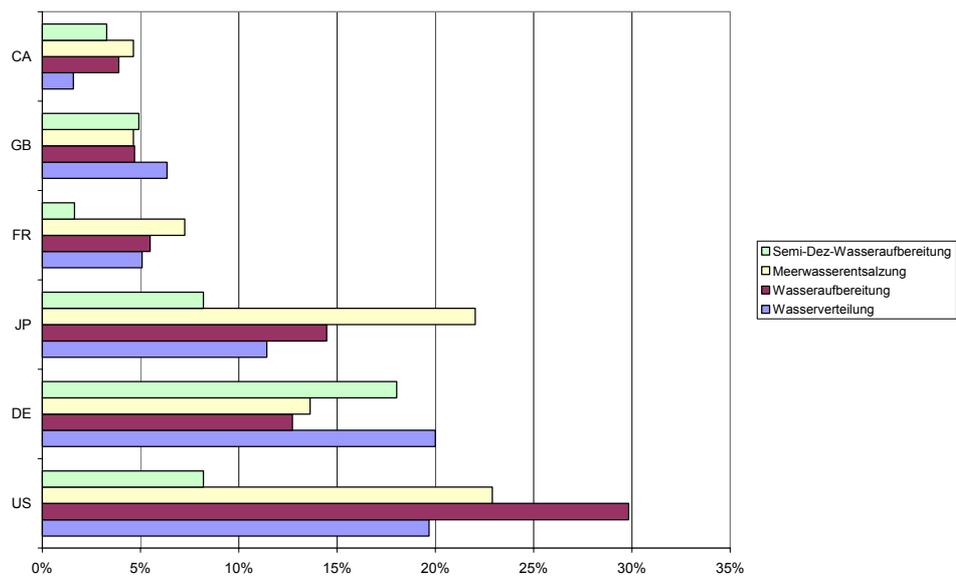


Abbildung-Anhang A.5-2: Disaggregation der Patentzahlen nach Techniklinien innerhalb der Produktgruppe Abwasserentsorgung

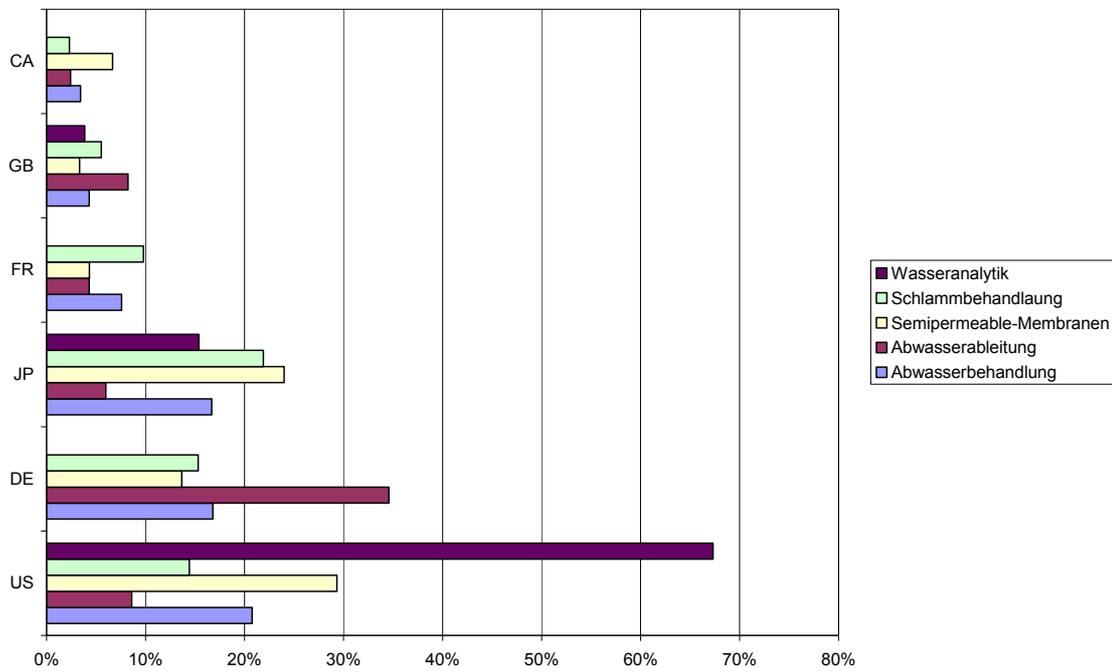


Abbildung-Anhang A.5-3: Disaggregation der Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer nach Technologielinien der Produktgruppe Wasserversorgung

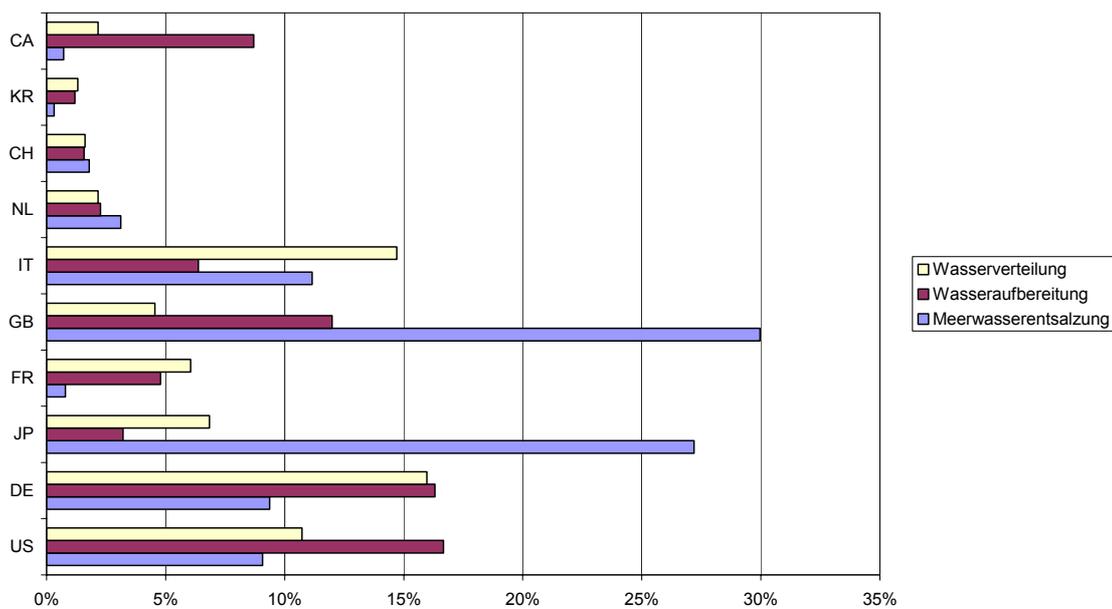


Abbildung-Anhang A.5-4: Disaggregation der Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer nach Technologielinien der Produktgruppe Abwasserentsorgung

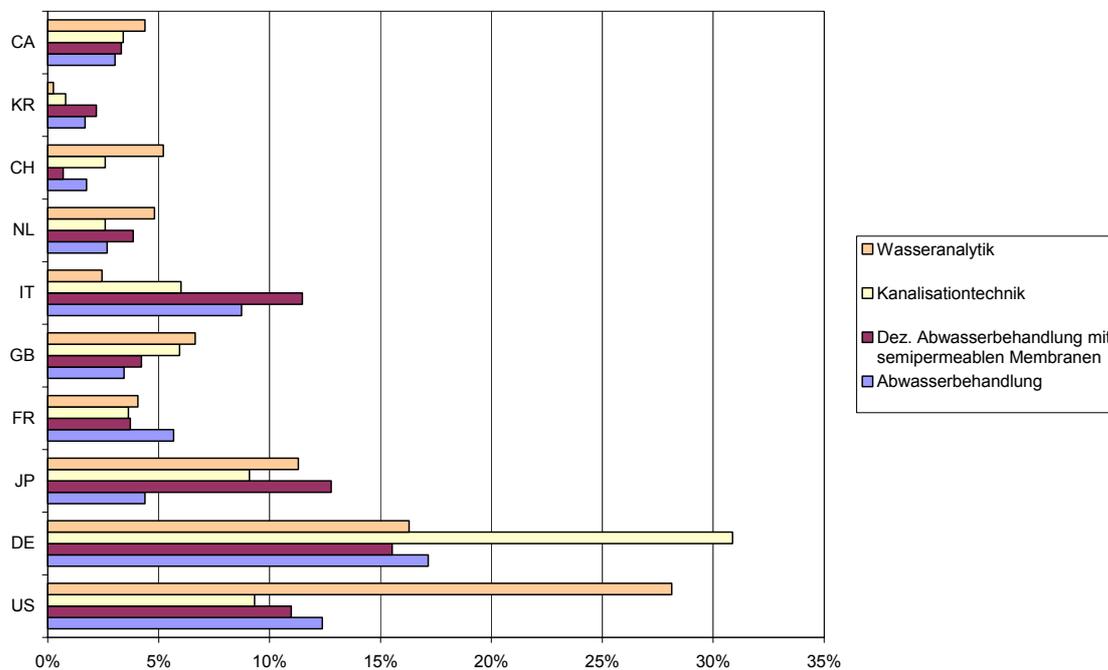
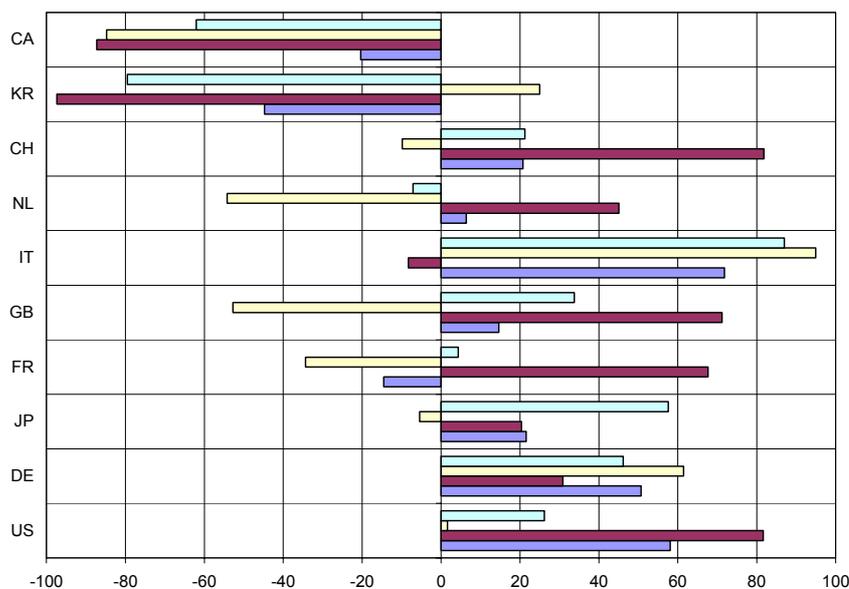


Abbildung-Anhang A.5-5: Disaggregation der RCA-Werte der wichtigsten Exportländer nach Produktgruppen innerhalb des Handlungsfeldes Nachhaltige Wasserwirtschaft



## A.6 Anhang zu Kapitel 7

Abbildung-Anhang A.6-1: Relative Patentanmeldungen der einzelnen Produktgruppen und Technologielinien im Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft, Abfall, Recycling

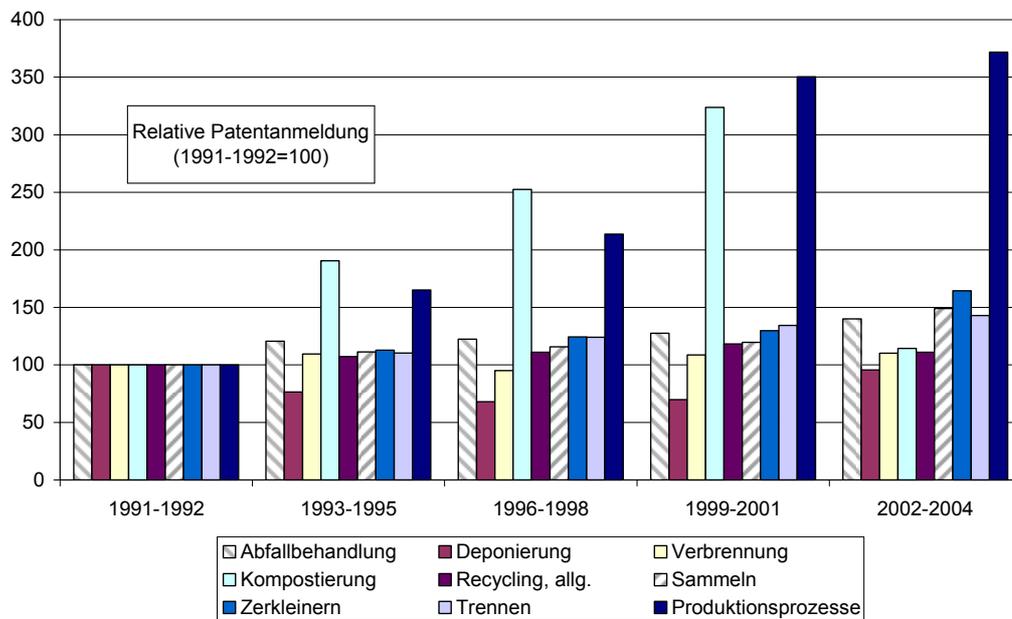


Abbildung-Anhang A.6-2: Patentanteile der Technologielinie Sammeln

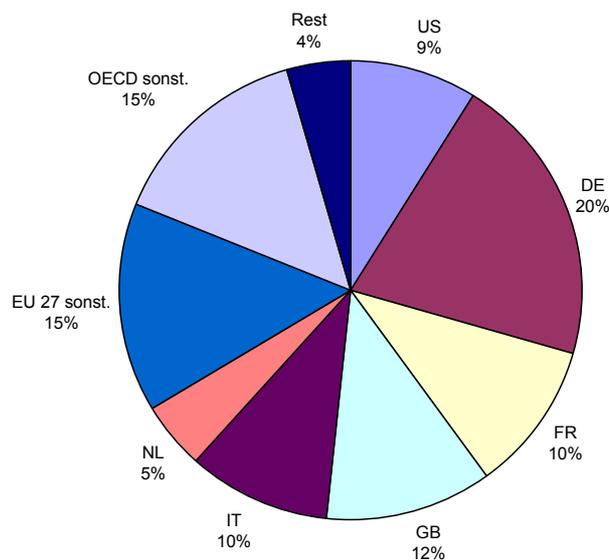


Abbildung-Anhang A.6-3: RPA der Technologielinie Sammeln

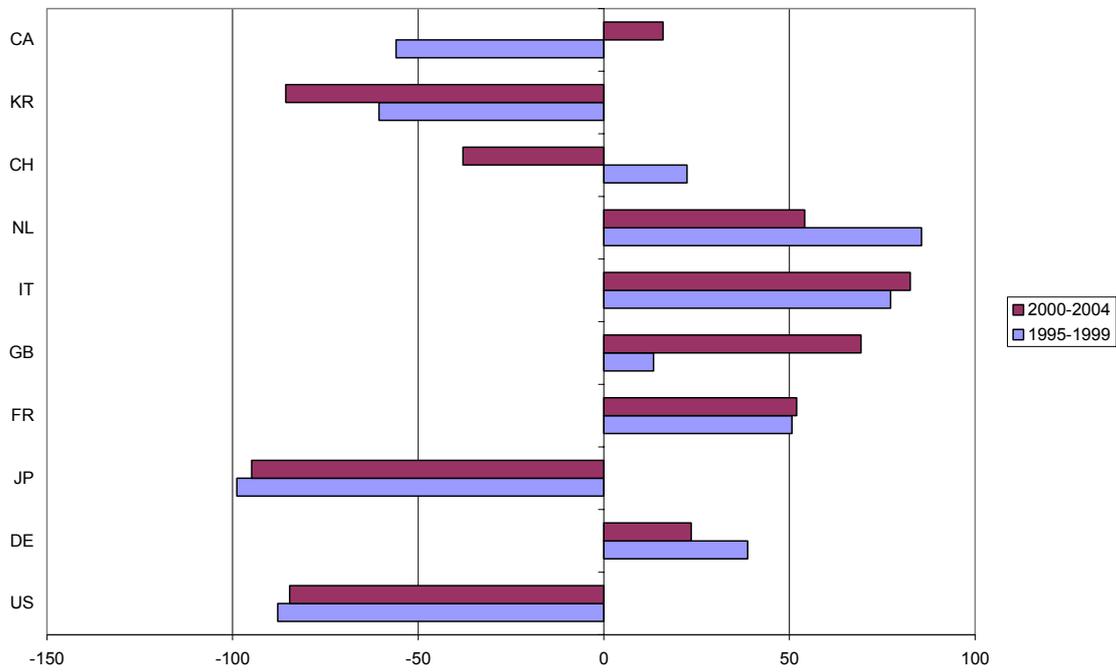


Abbildung-Anhang A.6-4: Patentanteile der Produktgruppe Recycling

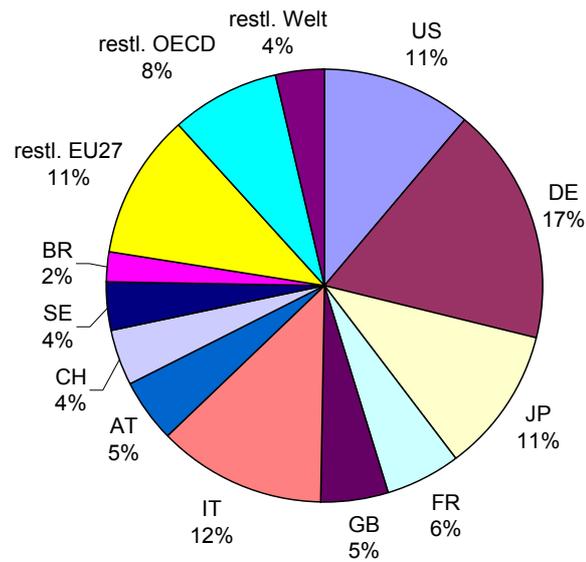


Abbildung-Anhang A.6-5: Patentanteile der Produktgruppe Produktionsprozesse

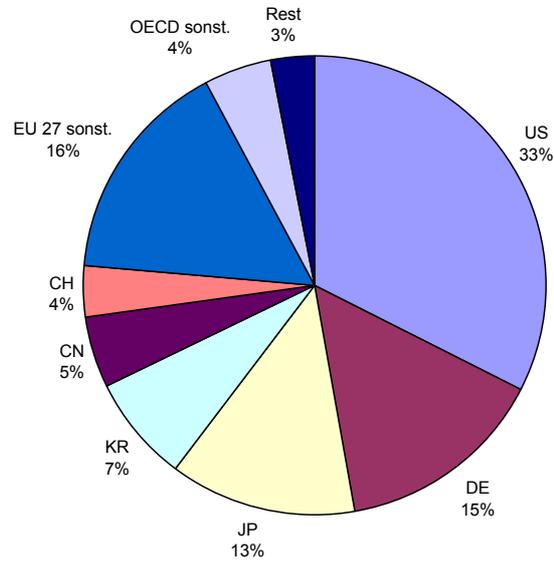


Abbildung-Anhang A.6-6: RPA der Produktgruppe Produktionsprozesse

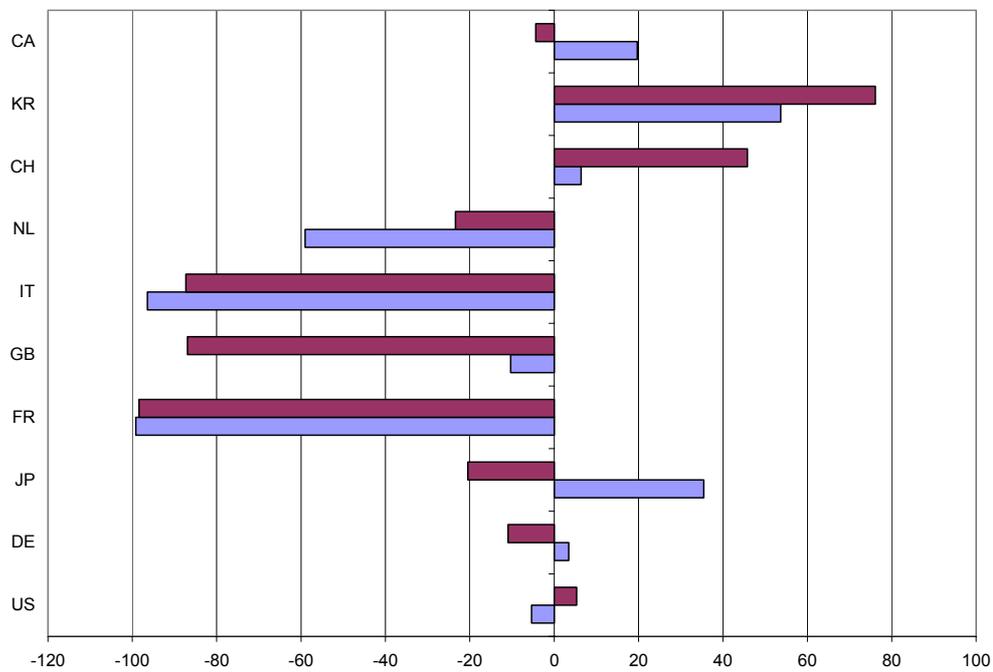


Abbildung-Anhang A.6-7: Welthandelsanteile der Technologielinien in der Produktgruppe Stofftrennung

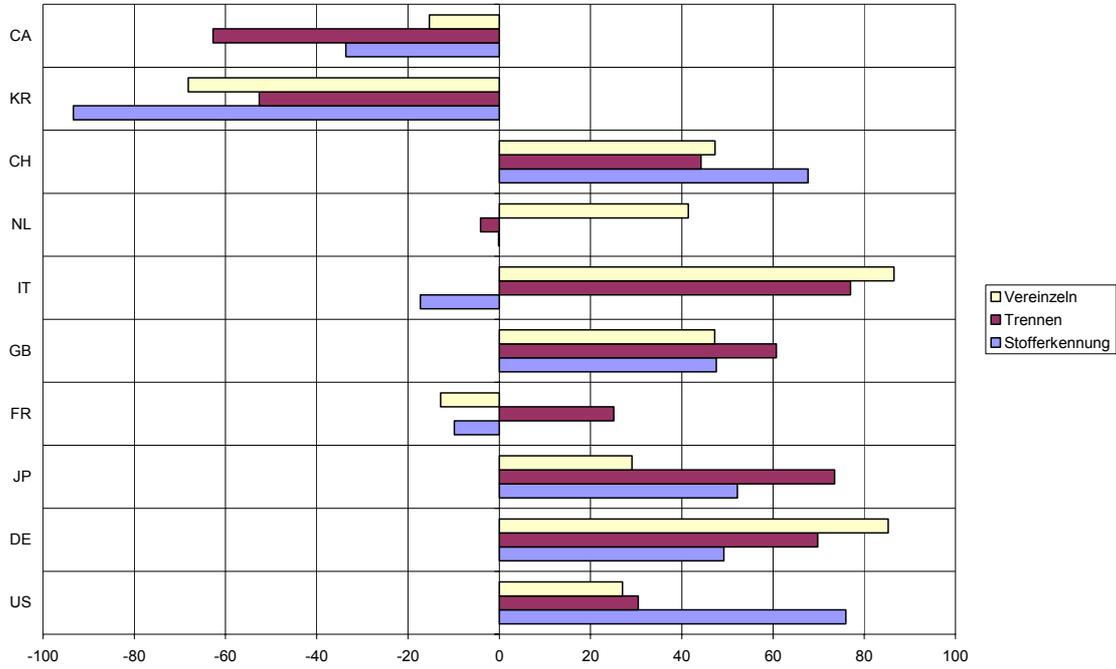


Abbildung-Anhang A.6-8: Welthandelsanteile der Produktgruppe Produktionsprozesse

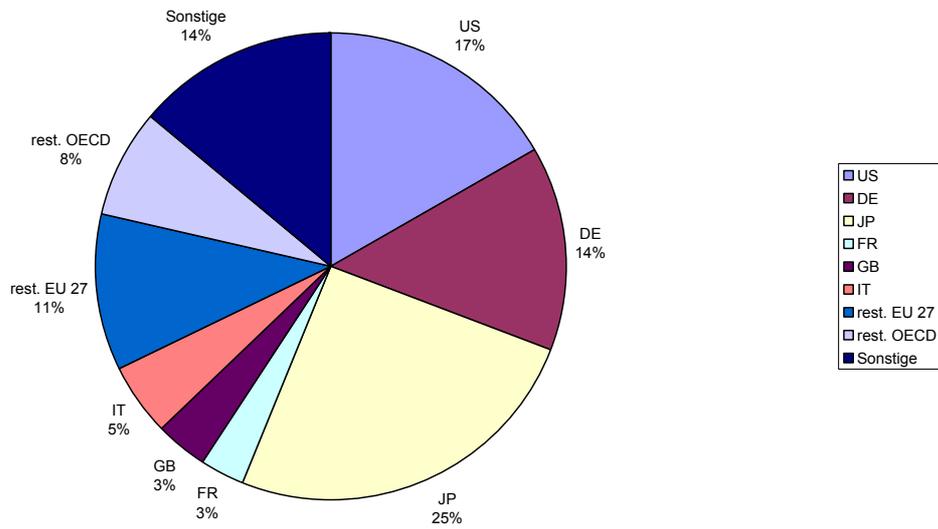
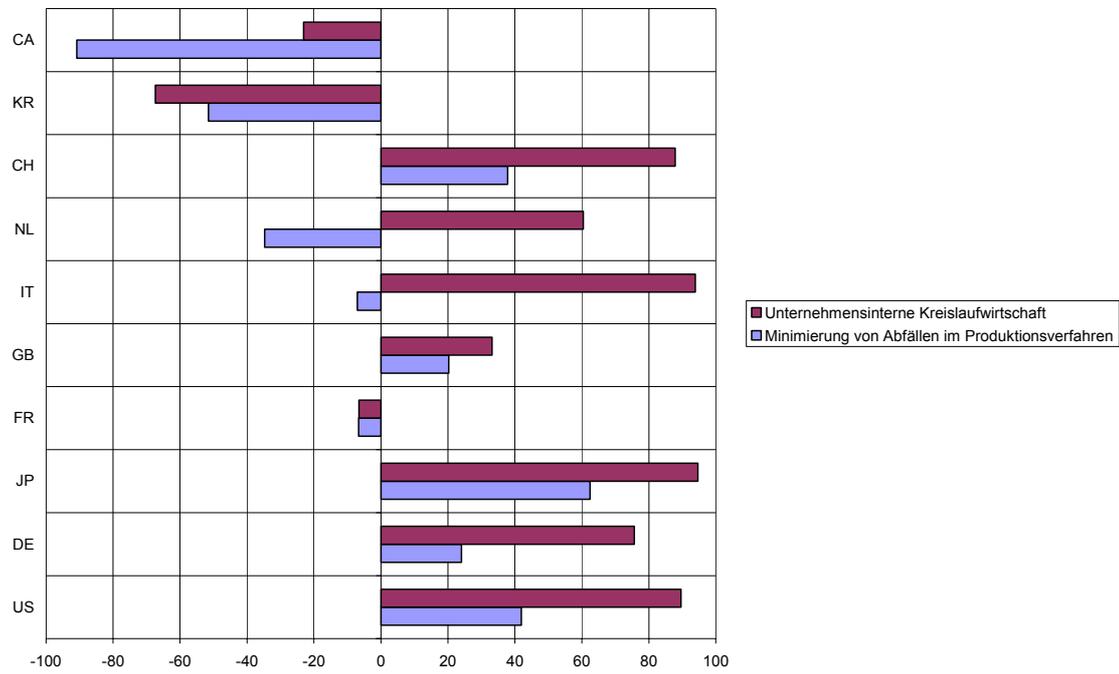
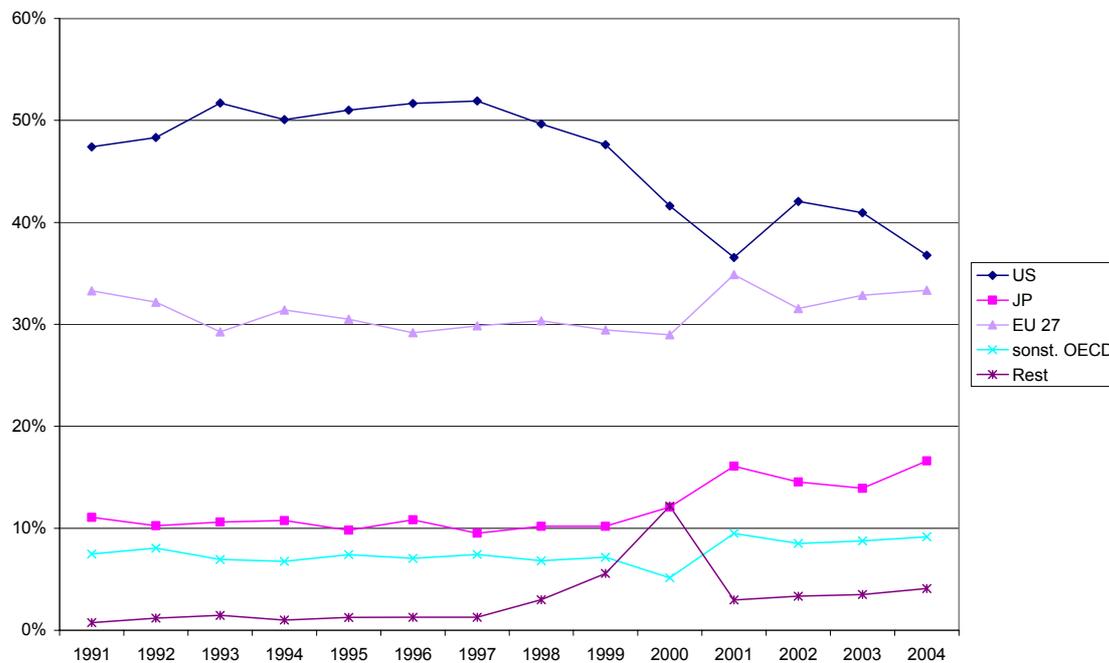


Abbildung-Anhang A.6-9: RCA der Produktgruppe Produktionsprozesse



## A.7 Anhang zu Kapitel 8

Abbildung-Anhang A.7-1: Zeitverlauf der Patentanteile im Handlungsfeld Biotechnologie



## A.8 Anhang zu Kapitel 9

Abbildung-Anhang A.8-1: Anmelderländer im Handlungsfeld Nanotechnologie 2000-2004

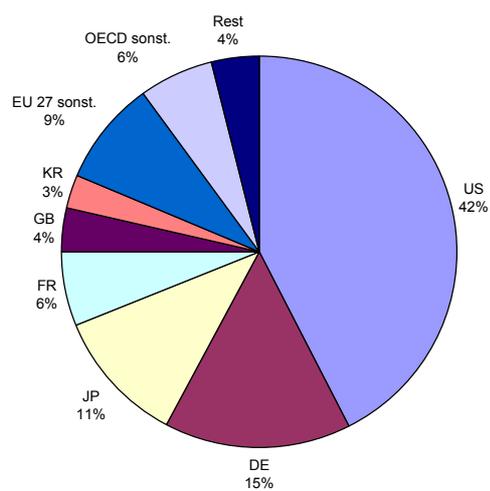
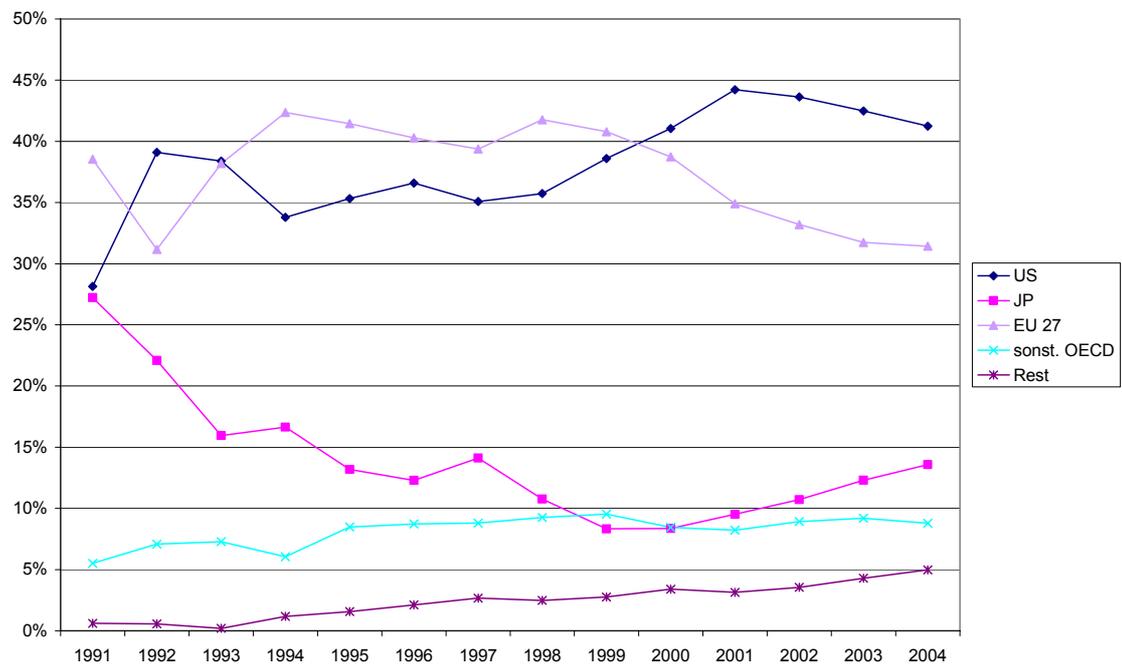


Abbildung-Anhang A.8-2: Zeitverlauf der Patentanteile im Handlungsfeld Nanotechnologie



In der Reihe „Umwelt, Innovation, Beschäftigung“ sind bisher die folgenden Bände erschienen:

- 01/07      Wirtschaftsfaktor Umweltschutz: Vertiefende Analyse zu Umweltschutz und Innovation
- 02/07      Umweltpolitische Innovations- und Wachstumsmärkte aus Sicht der Unternehmen
- 03/07      Zukunftsmarkt Solarthermische Stromerzeugung
- 04/07      Zukunftsmarkt CO<sub>2</sub>-Abscheidung und –Speicherung
- 05/07      Zukunftsmarkt Elektrische Energiespeicherung
- 06/07      Zukunftsmarkt Solares Kühlen
- 07/07      Zukunftsmarkt Energieeffiziente Rechenzentren
- 08/07      Zukunftsmarkt Biokunststoffe
- 09/07      Zukunftsmarkt Synthetische Biokraftstoffe
- 10/07      Zukunftsmarkt Hybride Antriebstechnik
- 11/07      Zukunftsmarkt Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement
- 12/07      Zukunftsmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft und Nanotechnologie
- 13/07      Zukunftsmarkt Stofferkennung und -trennung
- 01/08      Umwelt und Innovation – Eine Evaluation von EU-Strategien und Politiken
- 02/08      Instrumente zur Förderung von Umweltinnovationen- Bestandsaufnahme, Bewertung und Defizitanalyse
- 03/08      Innovationsdynamik und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in grünen Zukunftsmärkten

Alle Veröffentlichungen können kostenlos auf [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de) heruntergeladen werden.