

Fraunhofer Institut
Systemtechnik und
Innovationsforschung

Analyse von Entwicklungstrends in der Biotechnologie

Bericht zum Teilbereich
Umweltbiotechnik

Thomas Reiß
Sybille Hinze
Bärbel Hüsing
Gunnar Münt
Elke Strauß

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

1995

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Arbeiten wurden durch eine Zuwendung des Bundesministers für Forschung und Technologie (BMFT) unterstützt.

Förderkennzeichen: 0310468A
ISI-Projekt-Nr.: 107883

ISI-Mitarbeiter: Günter Heger, Datenbankrecherchen
Dipl.-Wissorg. Sybille Hinze
Dr. rer. nat. Bärbel Hüsing
Norbert Kirsch M. A.
cand. biol. Hanna König
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Gunnar Münt
Dr. rer. nat. Thomas Reiß
Dipl.-Agr.-Biol. Elke Strauß
cand. Wirtsch.-Ing. Andreas Tögel
cand biol. Matthias Zielke

ISI-Sekretariat: Ilse Gottschalg

Projektleiter: Thomas Reiß

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI)
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe
Fax: 0721/68 91 52

Inhaltsverzeichnis

Seite

Tabellenverzeichnis VI
Abbildungsverzeichnis VII

1. Aufgabenstellung und Konzeption 1
   1.1 Biotechnologie im Wandel 2
   1.2 Fragestellung 4
   1.3 Aufbau der Studie 4

2. Umweltbiotechnik 7
   2.1 Strukturierung der Umwelttechnik 8
   2.2 Umweltanalytik, Umweltüberwachung 9
   2.3 Schadstoffabbau 10
   2.4 Vermeidung 14

3. Methoden und Vorgehensweise 17
   3.1 Mehrdimensionale Indikatoren 18
      3.1.1 Datenerhebung 21
         3.1.1.1 Literatur-Recherchen 21
         3.1.1.2 Patent-Recherchen 23
      3.1.2 Datenaufbereitung 24
   3.2 Ökonomische Analysen 25
      3.2.1 Abgrenzung des ökonomisch relevanten Bereichs der Umweltbiotechnik 26
      3.2.2 Prinzipielle methodische Ansätze 27
      3.2.3 Vorgehensweise 28

4. Internationale Entwicklungstrends in Wissenschaft und Technik 35
   4.1 Umweltanalytik 37
      4.1.1 Strukturen und Trends im Bereich der Wissenschaft 37
      4.1.2 Strukturen und Trends im Bereich der technischen Entwicklung 49
      4.1.3 Allgemeine zeitliche Entwicklungstrends 52

Seite

4.2 Abbau von Umweltbelastungen 53
4.2.1 Strukturen und Trends im Bereich der Wissenschaft 54
4.2.2 Strukturen und Trends im Bereich der technischen Entwicklung 67
4.2.3 Allgemeine zeitliche Entwicklungstrends 77
4.3 Vermeidung von Umweltbelastungen 78
4.3.1 Strukturen und Trends im Bereich der Wissenschaft 78
4.3.2 Strukturen und Trends im Bereich der technischen Entwicklung 88
4.3.3 Allgemeine zeitliche Entwicklungstrends 92
4.4 Bedeutung der Biotechnologie für die Umwelttechnik - Fazit 93
4.5 Bedeutung der Umweltbiotechnik innerhalb der gesamten Biotechnologie 97
4.6 Spezialisierungsmuster der Bundesrepublik in der Umwelttechnik 100
4.6.1 Umweltanalytik 101
4.6.2 Abbau von Umweltbelastungen 103
4.6.3 Vermeidung von Umweltbelastungen 106

5. Marktpotentiale und Außenhandel 111
5.1 Die Entstehung eines Marktes für Umweltbiotechnik 112
5.1.1 Die Angebotsseite 112
5.1.2 FuE-Strategien der Unternehmen 114
5.1.3 Die Nachfrageseite 115
5.2 Marktpotentialabschätzungen 116
5.3 Die Entwicklung der Produktion von Gütern mit Relevanz für die Umweltbiotechnik in Deutschland 120
5.4 Spezialisierung im Außenhandel 123
5.5 Fazit der ökonomischen Analysen 131

6. Internationale Analyse der forschungs- und technologiepolitischen Programme zur Umweltbiotechnik 133
6.1 Zielsetzung, Vorgehensweise und Grenzen der Darstellung 134
6.2 Europäische Union 136
6.3 Großbritannien 138
6.4 Niederlande 140
6.5 Frankreich 141
6.6 Deutschland 144

Seite

6.7 USA 145
6.8 Japan 147
6.9 Vergleichende Analyse der forschungs- und technologiepolitischen Programme zur Umweltbiotechnik 149
6.10 Bewertung des deutschen forschungs- und technologiepolitischen Programms zur Umweltbiotechnik im internationalen Vergleich 155

7. Zusammenfassende Bewertung des Techniksystems Biotechnologie/Umwelttechnik 159

8. Literaturverzeichnis 165

Anhang: Liste der biotechnischen Produkte der Umwelttechnik nach dem Systematischen Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken (GP) von 1989

Tabellenverzeichnis

Seite

Tabelle 4.1: Zeitliche Entwicklung der häufigsten Themen der Umweltanalytik im Bereich der Wissenschaft 38
Tabelle 4.2: Patentanmeldungen für den Bereich Umweltanalytik im Zeitraum 1984 bis 1991 50
Tabelle 4.3: Zeitliche Entwicklung der häufigsten Themen des Bereichs "Abbau von Umweltbelastungen" in der Wissenschaft 54
Tabelle 4.4: Patentanmeldungen im Bereich Abbau von Umweltbelastungen 68
Tabelle 4.5: Zeitliche Entwicklung der häufigsten Themen des Bereichs Vermeidung von Umweltbelastungen in der Wissenschaft 79
Tabelle 4.6: Patentanmeldungen im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen 89
Tabelle 4.7: Statistischer Überblick zu den Anteilen biotechnologierelevanter Dokumente in der wissenschaftlichen Literatur und in der Patentliteratur 94

Tabelle 5.1: Der Markt für Umweltschutz der OECD in Mrd. US$ (OECD 1992b) 117
Tabelle 5.2: Die Verteilung der Produktion von Umweltschutzgütern zwischen den OECD-Staaten (OECD 1990) 119
Tabelle 5.3: Produktionswerte für Güter der Umweltbiotechnik für Deutschland in Tsd. DM 121
Tabelle 5.4 Export-Import-Salden einzelner Länder in den Bereichen "Abbau" und "MSR" (in Tausend US$) (eigene Berechnungen 125

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abbildung 1.1: Konzeption des Forschungsvorhabens 5

Abbildung 2.1: Struktur der Umwelttechnik. Aktuelle Bedeutung für die Umweltindustrie: groß (++), mittel (+) 8

Abbildung 4.1 Umweltanalytik im Jahr 1985 - Strukturen in der Wissenschaft 41

Abbildung 4.2: Umweltanalytik im Jahr 1990 - Struktur in der Wissenschaft 44

Abbildung 4.3: Zeitliche Entwicklung von Patentanmeldungen im Bereich Umweltanalytik 52

Abbildung 4.4: Länderspezifische Aufschlüsselung der zeitlichen Entwicklung von Patentanmeldungen im Bereich Umweltanalytik 53

Abbildung 4.5: Abbau von Umweltbelastungen im Jahr 1985 - Strukturen in der Wissenschaft 57

Abbildung 4.6: Abbau von Umweltbelastungen im Jahr 1990 - Strukturen in der Wissenschaft 62

Abbildung 4.7: Abbau von Umweltbelastungen im Zeitraum 1984 bis 1986 - Strukturen im Bereich der technischen Entwicklung 71

Abbildung 4.8: Abbau von Umweltbelastungen im Zeitraum 1989 bis 1991 - Strukturen im Bereich der technischen Entwicklung 74

Abbildung 4.9: Zeitliche Entwicklung von Patentanmeldungen im Bereich Abbau von Umweltbelastungen 77

Abbildung 4.10: Länderspezifische Aufschlüsselung der zeitlichen Entwicklung von Patentanmeldungen im Bereich Abbau von Umweltbelastungen 78

Abbildung 4.11: Vermeidung von Umweltbelastungen im Jahr 1985 - Strukturen in der Wissenschaft 83

Abbildung 4.12: Vermeidung von Umweltbelastungen im Jahr 1990 - Strukturen in der Wissenschaft 85

Abbildung 4.13: Zeitliche Entwicklung von Patentanmeldungen im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen 92

Abbildung 4.14: Länderspezifische Aufschlüsselung der zeitlichen Entwicklung von Patentanmeldungen im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen 93

Seite

Abbildung 4.15: Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt in der gesamten Biotechnologie und im Teilbereich Umweltbiotechnik für alle Länder 97
Abbildung 4.16: Anteil der Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt im Teilbereich Umweltbiotechnik an der gesamten Biotechnologie für alle Länder 98
Abbildung 4.17: Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt in der gesamten Biotechnologie und im Teilbereich Umweltbiotechnik für die Bundesrepublik 99
Abbildung 4.18: Anteil der Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt im Teilbereich Umweltbiotechnik an der gesamten Biotechnologie für die Bundesrepublik 99
Abbildung 4.19: Spezialisierung der Bundesrepublik in der Umweltanalytik 102
Abbildung 4.20: Spezialisierung der Bundesrepublik im Bereich Abbau von Umweltbelastung im Zeitraum 1984 - 1986 104
Abbildung 4.21: Spezialisierung der Bundesrepublik im Bereich Abbau von Umweltbelastung im Zeitraum 1989 - 1991 105
Abbildung 4.22: Spezialisierung der Bundesrepublik im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen im Zeitraum 1984 - 1986 107
Abbildung 4.23: Spezialisierung der Bundesrepublik im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen im Zeitraum 1989 - 1991 109

Abbildung 5.1: Produktionswerte für die Bereiche der Umweltbiotechnik für Deutschland in Tsd. DM 122
Abbildung 5.2: RCA-Jahreswerte im Bereich "Abbau" 126
Abbildung 5.3: RCA-Jahreswerte im Teilbereich "Wasser/Abwasser" 127
Abbildung 5.4: RCA-Jahreswerte im Teilbereich "Luft" 127
Abbildung 5.5: RCA-Jahreswerte für "Pumpen" 128
Abbildung 5.6: RCA-Jahreswerte für den Bereich "MSR" 129
Abbildung 5.7: RCA-Jahreswerte für den Teilbereich "Regeln" 129
Abbildung 5.8: RCA-Jahreswerte für den Teilbereich "Analytik" 130

1. Aufgabenstellung und Konzeption

In diesem Kapitel wird zunächst die aktuelle Bedeutung und die erwartete künftige Entwicklung der Biotechnologie beschrieben und hieraus die Notwendigkeit für eine systematische Wissenschafts- und Technikbeobachtung abgeleitet (Kap. 1.1). Im anschließenden Kapitel 1.2 wird die konkrete Fragestellung für die Analyse von Entwicklungstrends in der Umweltbiotechnik formuliert. Schließlich folgt in Kapitel 1.3 eine Erläuterung der Gesamtstruktur dieser Studie.

1.1 Biotechnologie im Wandel

Die Bedeutung der modernen Biotechnologie erstreckt sich derzeit vor allem auf Anwendungen in den Bereichen Gesundheit, Landwirtschaft/Nahrungsmittelproduktion und Umwelt (OECD 1989, 1992a, OTA 1991). Die bei weitem größten ökonomischen Effekte lassen sich im Gesundheitswesen ausmachen. Dies ist gleichzeitig auch der einzige Bereich, in dem die direkten ökonomischen Effekte der modernen Biotechnologie mit befriedigender Zuverlässigkeit quantifizierbar sind. Gemäß der von Ernst & Young jährlich durchgeführten Erhebung zur Biotechnologie belief sich der Weltmarkt für gentechnisch hergestellte Medikamente im Jahr 1992 auf ca. 6 Mrd. US$ (Hodgson und Barlow 1993). In den beiden übrigen erwähnten Anwendungsfeldern der modernen Biotechnologie sind derzeit kaum vergleichbare nachvollziehbare Angaben verfügbar. Auf die Problematik der Abschätzung ökonomischer Potentiale der modernen Biotechnologie wird auch in Kapitel 5 dieses Berichtes eingegangen.

Trotz dieser generellen Unsicherheiten ist klar zu erkennen, daß im Vergleich zu den Ende der 70er und Anfang der 80er Jahre geäußerten großen Erwartungen an die baldige Realisierbarkeit ökonomischer Potentiale der modernen Biotechnologie eine deutliche Ernüchterung eingesetzt hat (OTA 1991). Dennoch wird die moderne Biotechnologie in praktisch allen aktuellen internationalen Studien zu den kritischen Technologiefeldern der Zukunft als eine der **Schlüsseltechnologien für das 21. Jahrhundert** bezeichnet (vgl. z. B. Grupp 1993a). Ausschlaggebend für diese Einschätzung sind vor allem zwei grundlegende Merkmale der modernen Biotechnologie: Zum einen ist die moderne Biotechnologie eine universelle Basistechnologie, die in verschiedensten Anwendungsfeldern eingesetzt werden kann. Besonders ausgeprägt ist dieses Merkmal heute schon im Pharmabereich, wo die Entwicklung neuer Wirkstoffe ohne den Einsatz biotechnologischer Methoden kaum mehr denkbar ist. Ob das entwickelte Produkt letztlich mit Hilfe biotechnischer Verfahren oder durch chemische Verfahren produziert wird, ist bei dieser Betrachtung von untergeordneter Bedeutung. An diesem Beispiel wird auch besonders deutlich, daß Aussagen über Marktpotentiale biotechnischer Produkte nicht notwendigerweise Rückschlüsse auf die tatsächliche Bedeutung der Biotechnologie für die Entwicklung dieser Produkte zulassen.

Das zweite entscheidende Merkmal der modernen Biotechnologie ist ihre künftig erwartete Bedeutung als technologische Voraussetzung für die interdisziplinäre Weiterentwicklung anderer kritischer Technikfelder. Diese **Vernetzung zwischen Technikbereichen** ist ein wesentlicher Faktor für die technologische Entwicklung im nächsten Jahrhundert. Konkret bedeutet dieses Verflechtungspotential, daß die Weiterentwicklung zahlreicher wichtiger Technikbereiche stark durch biotechnische Ansätze beeinflußt werden wird (Grupp 1993a). Das interdisziplinäre Vernetzungspotential der modernen Biotechnologie deutet sich heute schon beispielsweise in der Umwelttechnik an. Hier ist erkennbar, daß zahlreiche Ansätze zur Vermeidung

und zur Lösung von Umweltproblemen letztlich auf biotechnischen Prinzipien aufbauen (vgl. Kap. 2).

Die erwartete künftige Entwicklung der Technologien des 21. Jahrhundert und insbesondere die zunehmende interdisziplinäre Vernetzung wird neue Anforderungen an die Forschungs- und Technologiepolitik stellen. Eine wesentliche Aufgabe der Politik wird es sein, die Ausbildung der erforderlichen Verknüpfungen zwischen unterschiedlichen Technikbereichen zu fördern, da nicht zu erwarten ist, daß sich die komplexen Netzwerke im erforderlichen Maße von selbst ausbilden werden. Die Rolle der Politik in diesem Zusammenhang wird oft als die eines aktiven Moderators bezeichnet. Um diese strategische Funktion ausüben zu können, werden objektive Informationen über wesentliche Entwicklungstendenzen in den jeweiligen Technikbereichen benötigt. Hierbei sind insbesondere solche Informationen von Interesse, die sich auf die Ausbildung von Schnittstellen zwischen unterschiedlichen Technikfeldern beziehen.

Die Innovationsforschung hat in jüngerer Zeit ein methodisches Instrumentarium entwickelt, das die Analyse dieser Aspekte erlaubt (Grupp 1992, Grupp und Schmoch 1992). Von besonderer Bedeutung sind hierbei die sogenannten **multivariaten Verfahren**, die es erlauben, mit Hilfe mehrdimensionaler Indikatoren die gegenseitige Durchdringung verschiedener Technikfelder quantitativ zu analysieren.

Für diese Untersuchung wurde aus der gesamten Biotechnologie der Teilbereich **Umweltbiotechnik** ausgewählt. Hierfür waren vor allem die folgenden Überlegungen ausschlaggebend: Der Problemdruck durch zunehmende Umweltbelastungen wächst. Dies gilt sowohl für die lokale Ebene, man denke nur an die wachsende Zahl bekanntwerdender kontaminierter Standorte, als auch für globale Herausforderungen, wie z. B. die zunehmende Meeresverschmutzung oder drohende Klimaänderungen aufgrund zunehmender CO_2-Konzentrationen bzw. einer abnehmenden Ozonschicht in der Atmosphäre. Zur Lösung der Umweltproblematik ist es erforderlich, sowohl neue ökonomische, ökologische und soziale Strategien zu entwickeln als auch verschiedene technische Optionen auf zu erwartende Lösungspotentiale zu überprüfen. Eine technische Option in diesem Zusammenhang ist die Biotechnologie, von der bedeutende Lösungsbeiträge für zahlreiche der aktuellen Umweltprobleme erwartet werden. In der Bewertung der Bedeutung der Umweltbiotechnik sind allerdings auch teilweise erhebliche Unsicherheiten zu beobachten. Wesentliche Fragen hierbei sind: Wie verhält sich die Umweltbiotechnik zu konkurrierenden technischen Lösungsansätzen? Lassen sich Aussagen über ökonomische Effekte ableiten? Werden durch biotechnische Ansätze zusätzliche Umweltprobleme geschaffen? Hinzu kommt, daß bei der Entwicklung der Umwelttechnik nicht-technische Hemmnisse eine wichtige Rolle spielen. Ein Beispiel ist die Festlegung von Grenzwerten für Umweltbelastungen, die in vielen Fällen erst den Anstoß für neue technische Entwicklungen gegeben haben.

1.2 Fragestellung

Um die erwarteten Potentiale der Biotechnik für die Lösung von Umweltproblemen adäquat im politischen Raum berücksichtigen zu können, erscheint vor diesem Hintergrund eine Ausweitung der verfügbaren Informationsbasis erforderlich. Insbesondere werden zusätzliche objektive Daten über Entwicklungstrends in der Umweltbiotechnik benötigt. Durch die Anwendung multivariater Verfahren, die durch ökonomische und FuE-politische Betrachtungen ergänzt werden, soll in der vorliegenden Untersuchung eine entsprechende Datenbasis zur Verfügung gestellt werden. Insbesondere sollen Beiträge zu folgenden Fragen geliefert werden:

1. Welche Bedeutung hat die Biotechnologie für wichtige Teilbereiche der Umwelttechnik? Schwerpunkte werden auf die Bereiche Analytik, Schadstoffabbau bzw. -behandlung und Vermeidung von Umweltbelastungen gelegt. Dies sind gleichzeitig die Teilbereiche des 1992 angelaufenen BMFT-Förderkonzeptes zur Umweltbiotechnik.
2. Welche zeitlichen Trends lassen sich in der Entwicklung der Umwelttechnik und der Umweltbiotechnik beobachten?
3. Wie ist die internationale Position der Bundesrepublik in diesem Techniksystem einzuschätzen?
4. Welche Rolle spielt die Umweltbiotechnik innerhalb der gesamten Biotechnologie?
5. Wie lassen sich die ökonomischen Effekte der Umweltbiotechnik abschätzen und bewerten?
6. Welche Schwerpunkte und Tendenzen sind in der Forschungs- und Technologiepolitik zur Umweltbiotechnik international zu erkennen?

1.3 Aufbau der Studie

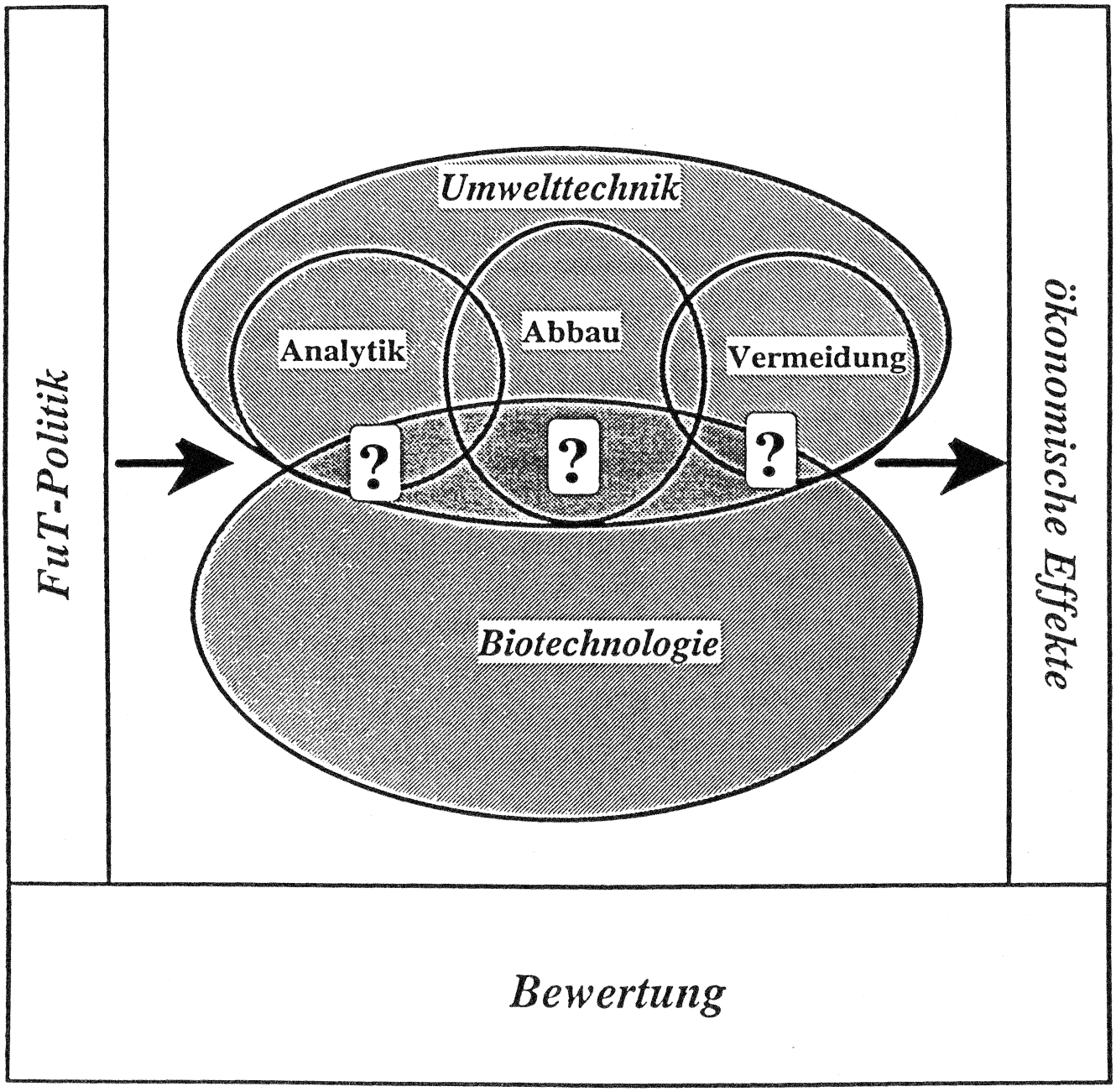
Zur Beantwortung der im vorangegangenen Kapitel zusammengefaßten Fragestellungen wurde eine mehrdimensionale Konzeption entwickelt, die verschiedene analytische Ansätze kombiniert (Abb. 1.1).

Zunächst wird in Kapitel 2 das Untersuchungsfeld, die Umweltbiotechnik, beschrieben, eingegrenzt und die wesentlichen Teilbereiche der Umweltbiotechnik, die Gegenstand der nachfolgenden Untersuchungsschritte sind, definiert.

Im Mittelpunkt der Untersuchung steht die Analyse des Techniksystems Biotechnologie/Umwelttechnik mit der Methode der Co-Occurrence-Analyse. Ziel dieser Analyse ist es, Strukturen in komplexen Techniksystemen erkennbar zu machen. Mit diesem Verfahren kann somit die Frage nach der Bedeutung der Biotechnologie für die Umwelttechnik analysiert wer-

den (Frage 1). Als Datenbasis für die Co-Occurrence-Analyse dienen Patentanmeldungen und wissenschaftliche Publikationen auf dem Gebiet der Biotechnologie/Umwelttechnik, die auf das Vorkommen gemeinsamer Merkmalspaare (Co-Occurrence) hin untersucht werden (mehrdimensionale Indikatorik). Die methodischen Details der mehrdimensionalen Indikatorik werden in Kapitel 3.1 erläutert. Die wesentlichen Ergebnisse sind in den Kapiteln 4.1 bis 4.4 dargestellt.

Abbildung 1.1: Konzeption des Forschungsvorhabens



Die Bedeutung der Umweltbiotechnik innerhalb der gesamten Biotechnologie (Frage 4) wird auf der Grundlage von Patentanmeldungen in diesen Bereichen abgeschätzt (Kap. 4.5).

Generelle zeitliche Trends im Techniksystem Biotechnologie/Umwelttechnik (Frage 2) werden auf der Basis der zeitlichen Entwicklung von Patentanmeldungen analysiert (Kapitel 4.1 bis 4.3). Zusätzlich werden zeitliche Änderungen bei Einzelthemen anhand von Häufigkeitsänderungen von Patentklassen und Literaturdeskriptoren verfolgt.

Zur Abschätzung der internationalen Position und Spezialisierung der Bundesrepublik in diesem Techniksystem (Frage 3) werden zwei Strategien verfolgt:

- Ermittlung von länderspezifischen Patentanmeldungen in den betrachteten Technikgebieten (Kap. 4.X.3).
- Berechnung von Patentspezialisierungsindikatoren (Grupp und Schmoch 1992), die eine Aussage darüber erlauben, ob ein Land in einem bestimmten technischen Gebiet im Vergleich zu seinen sonstigen Patentieraktivitäten über- oder unterdurchschnittlich engagiert ist. Somit lassen sich technologische Stärken und Schwächen ermitteln (Kap. 4.6).

Die Kernanalyse des Techniksystems Biotechnologie/Umwelttechnik wird durch Umfeldanalysen ergänzt. Diese konzentrieren sich auf zwei Schwerpunkte. Zum einen werden ökonomische Potentiale der Umweltbiotechnik analysiert (Frage 5). Schwerpunkte liegen hierbei auf Marktaspekten und insbesondere auf der Analyse von Außenhandelsströmen. Ein wesentlicher Aspekt der ökonomischen Betrachtung wird es sein, auf die Schwierigkeiten hinzuweisen, die ökonomische Analysen in einem sich noch entwickelnden komplexen Technikfeld mit sich bringen (Kap. 3.2 und Kap. 5). Zum anderen werden auf der Basis publizierter Informationen entsprechende forschungs- und technologiepolitische Programme in wichtigen Konkurrenzländern Deutschlands zusammengestellt, um die in der Bundesrepublik verfolgten Ansätze besser einordnen und bewerten zu können (Frage 6, vgl. Kap. 6).

Schließlich werden die verschiedenen methodischen Analysestränge zur einer Gesamtbewertung des Techniksystems Biotechnologie/Umwelttechnik kombiniert (Kap. 7).

2. Umweltbiotechnik

In diesem Kapitel wird zunächst der Gesamtbereich Umwelttechnik zusammenfassend beschrieben und strukturiert (Kap. 2.1). Anschließend werden technische Potentiale und Limitierungen der Biotechnologie beschrieben (Kap. 2.2 - 2.4). Insgesamt soll somit die technologische Basis für die nachfolgenden Analysen verdeutlicht werden.

2.1 Strukturierung der Umwelttechnik

Bei einer Strukturierung des Gesamtgebiets der Umwelttechnik ist es erforderlich, sowohl die belasteten Umweltkompartimente als auch die technischen Strategien zur Behebung der jeweiligen Belastungen einzubeziehen. Die Struktur, die sich aus diesen beiden Dimensionen ergibt, läßt sich in Form einer Matrix darstellen (Abb. 2.1). In den betroffenen Umweltkompartimenten Luft, Wasser und Boden können Schadstoffe erzeugt, transportiert, verteilt, akkumuliert oder abgebaut werden. Die technischen Strategien zur Behebung von Umweltbelastungen lassen sich in die Bereiche Analytik, Abbau und Vermeidung untergliedern. Diese Matrix ist nicht nur ein methodisches Hilfsmittel zur Strukturierung der Umwelttechnik, sondern spiegelt weitgehend auch die Organisation der in diesem Bereich tätigen Industrie, die Gesetzgebung und auch die unterschiedlichen technischen Konzepte wider (OECD 1993, Reiß und Hüsing 1992). Die aktuelle industrielle Bedeutung der einzelnen Felder ist jedoch höchst unterschiedlich. Die bei weitem wichtigste technische Strategie in allen drei betroffenen Kompartimenten ist zur Zeit der Abbau von Umweltbelastungen (Abb. 2.1). Es wird allerdings erwartet, daß die Bedeutung der übrigen Felder künftig deutlich zunehmen wird (OECD 1993).

Abbildung 2.1: Struktur der Umwelttechnik. Aktuelle Bedeutung für die Umweltindustrie: groß (++), mittel (+) (Quelle: OECD 1993)

	Analytik	**Abbau**	**Vermeidung**
Luft		++	
Wasser	+	++	+
Boden		++	+

Die drei Teilbereiche der Umwelttechnik - Analytik/Überwachung, Abbau, Vermeidung - bilden auch die Grundstruktur für die verschiedenen Analysestränge der vorliegenden Untersuchung. Die für die Literatur- und Patentanalysen erforderlichen Suchstrategien für diese Bereiche werden in Kapitel 3.1 beschrieben. Bei den ökonomischen Analysen (Kap. 5) stoßen diese definitorischen Abgrenzungen allerdings an ihre Grenzen, da sich die Strukturen von Wissenschafts- und Technikgebieten nur unzureichend auf Wirtschaftsklassifikationssysteme abbilden lassen. Somit ist eine gewisse Inkongruenz zwischen den Wissenschafts- und Technikanalysen (Kap. 4) und den ökonomischen Analysen (Kap. 5) unvermeidlich.

2.2 Umweltanalytik, Umweltüberwachung

Klassische biologische Analyseverfahren werden schon seit Jahren in der Wasser- und Abwasserüberwachung eingesetzt. Hierzu gehören beispielsweise die Messung des biochemischen Sauerstoffbedarfs oder der Daphnien-Test. Mit diesen Verfahren werden jedoch nicht bestimmte Einzelschadstoffe erfaßt, sondern komplexe Umweltsituationen, die sich auf ganze Organismen auswirken. Der Zeitbedarf dieser Ansätze ist hoch. Aus der modernen Biotechnologie kristallisieren sich vor allem drei Methoden zur Umweltanalytik bzw. Überwachung heraus: Biosensoren, Immuntests und DNA-Sonden. Diese Verfahren wurden zunächst für Anwendungen im Gesundheitsbereich entwickelt. Vor allem Immuntests haben dort schon weite Verbreitung gefunden. Prinzipielle Vorteile dieser biotechnischen Analyseverfahren sind ihre hohe Spezifität, ihre große Empfindlichkeit und ihr universeller Einsatzbereich. Dennoch sind diese Verfahren im Umweltbereich erst wenig verbreitet.

Einige wenige **Immuntests** für bestimmte Umweltschadstoffe, wie z. B. polychlorierte Biphenyle oder Pentachlorphenol sowie für Herbizide wie Atrazin, sind inzwischen kommerziell erhältlich (van Emon und Mumma 1990). Neue Impulse für die Anwendung von Immuntests können u. a. von verschärften gesetzlichen Umweltauflagen ausgehen. Ein Beispiel hierfür ist die Trinkwasser-Richtlinie der Europäischen Union, die für einzelne Pestizide eine Höchstkonzentration von 0,1 µg/l verlangt. Für die Messung und Überwachung derart geringer Schadstoffmengen sind hochempfindliche und spezifische Verfahren erforderlich, wie sie prinzipiell in Form von Immuntests zur Verfügung gestellt werden können.

Auch der Einsatz von **Biosensoren** in der Umweltanalytik und -überwachung befindet sich erst am Anfang der Entwicklung (Scheller et al. 1992, Freitag 1993). Besondere Vorteile von Biosensoren werden bei Überwachungsaufgaben gesehen, die eine Online-Messung unterschiedlicher Parameter erfordern. Ein Beispiel hierfür ist ein Biosensor für die Abwasserüberwachung, der in jüngster Zeit von zwei deutschen Unternehmen entwickelt wurde. Dieser Biosensor ermöglicht die Messung des biochemischen Sauerstoffbedarfs innerhalb weniger Minuten. Die bisher üblichen Standardverfahren benötigen hierfür mehrere Tage. Die Funktion des neu entwickelten Biosensors beruht auf der Messung des Sauerstoffverbrauchs von immobilisierten Mikroorganismen mit Hilfe einer Sauerstoffelektrode. Erste Geräte werden derzeit in Kläranlagen auf ihre Praxistauglichkeit überprüft. Andere Biosensoranwendungen in der Umweltanalytik konzentrieren sich auf die empfindliche Messung von Einzelschadstoffen. Hierzu gehören beispielsweise ein kürzlich vorgestellter Einmalsensor für die Messung von Formaldehyd in der Luft, der inzwischen kommerziell erhältlich ist, oder der Prototyp eines Sensors für die Phenolmessung (BMFT 1992).

Ein weiteres Verfahren der modernen Biotechnologie, dem künftig größere Bedeutung in der Umweltanalytik bzw. -überwachung zukommen kann, ist die Analyse von Mikroorganismen oder Viren mit Hilfe von **DNA-Sonden** (Steffan und Atlas 1991). Durch die Entwicklung der PCR-Technik wurde es möglich, DNA-Segmente, die für bestimmte Organismen charakteristisch sind, enorm zu vervielfältigen und somit einer effizienten Messung durch Hybridisierung mit komplementärer Reporter-DNA zugänglich zu machen. Inzwischen sind erste Tests auf der Basis der PCR-Technik zur Bestimmung von Legionellen (den Erregern der Legionärskrankheit) im Trinkwasser auf dem Markt.

Gerade im Bereich Analytik sind die Übergänge zwischen Umwelttechnik und ökologischer Forschung fließend. So können beispielsweise die auf DNA-Sonden basierenden Meßverfahren auch zur Überwachung der Zustände und Veränderungen von Populationen in Ökosystemen in Abhängigkeit von bestimmten Umwelteinflüssen verwendet werden. Ebenso ist es möglich, Fragen der biologischen Vielfalt mit diesem Instrumentarium zu untersuchen. Ein weiterer Bereich ist die Überwachung bzw. Bestimmung von gentechnisch veränderten Organismen in der Umwelt. In der vorliegenden Untersuchung werden diese Bereiche nicht in die Definition der Umwelttechnik einbezogen.

2.3 Schadstoffabbau

Beim Schadstoffabbau mit Hilfe biotechnischer Verfahren werden Schadstoffe mineralisiert, neutralisiert, immobilisiert und weniger toxisch gemacht. Biotechnische Abbaustrategien können sowohl zur Behandlung diffus verteilter Schadstoffe in den drei Umweltkompartimenten Luft, Wasser und Boden eingesetzt werden als auch zur Schadstoffbehandlung an den Entstehungsorten. Hierbei unterscheidet man zwischen add-on-, end-of-pipe- und Recycling-Technologie. **Add-on-Technologie** zielt darauf ab, die vorhandenen Prozesse durch zusätzliche Verfahrensschritte, die die entstehenden Schadstoffströme zu nützlichen Produkten umwandeln, zu ergänzen. Ein Beispiel hierfür ist die mikrobielle Synthese von Brenzkatechin aus phenolischen Abwasserströmen. **End-of-pipe-Prozesse** reinigen Schadstoffströme bis zu einem Zustand, in dem die verbleibenden Substanzen gefahrlos in die Umwelt entlassen werden können. Unter **Recycling-Verfahren** in diesem Zusammenhang sind Maßnahmen zu verstehen, die nicht direkt in den Produktionsprozeß integriert sind, sondern die die am Ende anfallenden Abfallstoffe zu Substanzen rezyklieren, die außerhalb der Produktionsprozesse verwertbar sind. Produktionsintegrierte Recycling-Verfahren werden dagegen zu den Vermeidungsstrategien gerechnet (vgl. Kap. 2.4).

Wichtige biotechnische Verfahren bei der **Abluftreinigung** sind Biofilter und Biowäscher (Dragt und van Ham 1992, Junghans und Dittrich 1992). In diesen Systemen werden Schad-

oder Geruchsstoffe in der Luft durch Mikroorganismen abgebaut. Prinzipielle Vorteile dieser Ansätze sind:

- Schadstoffe können vollständig zu unschädlichen Substanzen abgebaut werden, ohne daß toxische Reststoffe oder Zwischenprodukte angereichert werden,
- die Betriebskosten dieser Filter sind im Vergleich zu alternativen thermischen oder chemischen Verfahren um 60 bis 80 % geringer,
- die Energiebilanz ist günstig.

Diesen Vorzügen stehen derzeit aber auch eine Reihe von Nachteilen entgegen:

- Biofilter und Biowäscher können nicht für alle Schadstoffe eingesetzt werden,
- es handelt sich in der Regel um empirische Prozesse, die nach dem Prinzip Versuch und Irrtum optimiert werden.

Hinzu kommt, daß biotechnische Verfahren für die in diesem Bereich aktiven Ingenieure weitgehend unbekannt sind.

Die wichtigsten Anwendungsfelder biotechnischer Abluftreinigungsverfahren sind die Landwirtschaft, die Lebensmittelverarbeitung, Kläranlagen, Altölverarbeitung und Lackierereien. Bisher werden vor allem biologische Erdfilter, die mit natürlich vorkommenden Mikroorganismen besiedelt sind, eingesetzt. Neue Techniken zielen darauf ab, Bakterien mit speziellen Abbaueigenschaften mit Keramikfiltern oder Membranen zu kombinieren, um somit das Einsatzspektrum zu erweitern und höhere Abbauleistungen zu erreichen. Diese zweite Generation von Biofiltern steht kurz vor der Markteinführung. Biowäscher werden heute schon in Lackierereien der Automobilindustrie eingesetzt. Integrierte Systeme werden entwickelt, die in der ersten Stufe mit organischen Schadstoffen belasteter Abluft als Substrat für den Aufbau von Biomasse nutzt und in der zweiten Stufe diese Biomasse energetisch verwertet. Entsprechende Ansätze befinden sich derzeit in einer Pilotphase. Künftige Anwendungen bei der biotechnischen Abluftreinigung können sich auch auf die Umwandlung anorganischer Komponenten in weniger schädliche Substanzen erstrecken. Hierzu zählen beispielsweise Aktivitäten zur CO_2-Fixierung aus Abluft, wie sie derzeit in Japan verfolgt werden.

Der derzeit wichtigste Anwendungsbereich biotechnischer Verfahren zum Schadstoffabbau ist die biologische **Abwasserreinigung**. Die schon seit Jahrzehnten eingesetzten biologischen Reinigungsverfahren stellen insgesamt einen der bedeutendsten Anwendungsbereiche der gesamten Biotechnologie dar. Biologische Verfahren werden vor allem zum Abbau der Kohlenstoffbelastungen und bei der Stickstoffeliminierung eingesetzt. In der Vergangenheit wurden überwiegend aerobe Verfahren eingesetzt. Seit 10 bis 15 Jahren gewinnen anaerobe Verfahren an Bedeutung. Diese sind vor allem für die Reinigung organisch hochbelasteter industrieller Abwässer geeignet und werden oft auch mit aeroben Verfahren kombiniert. Künftig werden folgende Entwicklungen im Bereich der biologischen Abwasserreinigung erwartet:

- Verbesserung der Prozeßstabilität und Prozeßzuverlässigkeit durch Optimierung von Meß-, Steuer- und Regelungsverfahren,
- Entwicklung und praktische Anwendung der biologischen Phosphateliminierung. Phosphate werden bisher überwiegend chemisch oder chemisch-physikalisch aus den Abwasserströmen entfernt. Vor allem in den USA gibt es dagegen schon mehrjährige Erfahrungen mit biologischen Nebenstromverfahren, die eine effiziente Phosphateliminierung erlauben. Auch in der Bundesrepublik werden seit kurzem diese Ansätze auf ihre praktische Eignung überprüft. Ein wesentliches Problem der biologischen Phosphoreliminierungsverfahren ist die Integration mit der biologischen Stickstoffeliminierung. Die Entwicklung integrierter Verfahren zur Nährstoffeliminierung ist daher ein wesentliches Ziel für künftige Arbeiten.
- Ausweitung biotechnischer Behandlungsverfahren auf verschiedene industrielle Prozesse beispielsweise in der petrochemischen und chemischen Industrie,
- Anwendung spezieller hochaktiver Mikroorganismen für die Behandlung spezifischer Schadstoffe,
- Entwicklung von Kompaktanlagen.

Auch bei der **Trinkwasseraufbereitung** können biotechnische Behandlungsverfahren eingesetzt werden. Die bisherigen Anwendungen konzentrieren sich praktisch vollständig auf die Eliminierung von Nitrat. Die entsprechenden biotechnischen Ansätze beruhen auf der Fähigkeit verschiedener Gruppen von Mikroorganismen, Nitrat zu gasförmigem Stickstoff zu reduzieren (Denitrifikation). Zwei prinzipielle Verfahren sind zu unterscheiden: Die sogenannte chemoorganotrophe Nitratreduktion, bei der organische Substrate (z. B. Methanol oder Essigsäure) zugegeben werden und die sogenannte chemolithotrophe Nitratreduktion, bei der Wasserstoff als Reduktionsmittel eingesetzt wird.

Biotechnische Ansätze zum **Abbau von Schadstoffbelastungen im Boden** beruhen auf der Fähigkeit bestimmter Mikroorganismen, die in diesem Medium, wozu auch das möglicherweise kontaminierte Grundwasser zu zählen ist, vorhandenen Schadstoffe als Nahrungs- und/oder Energiequelle zu nutzen. Bei der verfahrenstechnischen Umsetzung dieses Prinzips ist zwischen in-situ- und ex-situ-Ansätzen zu unterscheiden. Bei der in-situ-Behandlung werden Schadstoffe direkt im belasteten Boden ohne Ausgrabungen behandelt. Bei den ex-situ-Verfahren werden die belasteten Böden ausgehoben und in speziellen Bioreaktoren oder Mieten behandelt. Die Effizienz der biotechnischen Bodensanierungsverfahren hängt von folgenden Faktoren ab:
- der Bioabbaubarkeit der Substanzen,
- der Bioverfügbarkeit der Substanzen für die abbauenden Mikroorganismen,
- den Umweltfaktoren, die den Abbau beeinflussen,
- dem Vorhandensein einer geeigneten Population von Mikroorganismen, die in der Lage ist, die fraglichen Schadstoffe abzubauen.

Die einfachsten und damit auch kostengünstigsten in-situ-Behandlungsverfahren beruhen hauptsächlich auf einer Optimierung der Umweltfaktoren für den Schadstoffabbau. Dies kann beispielsweise durch die Zufuhr von Nährstoffen oder von Sauerstoff erreicht werden. Bei den komplexeren ex-situ-Verfahren sind die Möglichkeiten zur Optimierung der Schadstoffabbaubedingungen vielfältiger. Hier können nicht nur Nährstoffe zugeführt werden, sondern beispielsweise auch pH-Werte oder Feuchtigkeitsgehalte besser eingestellt werden. Auch der Einsatz spezieller, besonders effizienter schadstoffabbauender Mikroorganismen ist unter den kontrollierten Bedingungen eines ex-situ-Verfahrens erfolgversprechender, da hier Selektionsbedingungen eingestellt werden können, die ein Überleben dieser speziellen Organismen erleichtern.

Prinzipielle Vorteile der biotechnischen Bodensanierungsverfahren sind:
- relative Kostengünstigkeit im Vergleich zu thermischen oder chemisch/physikalischen Alternativverfahren,
- prinzipielle Möglichkeit einer vollständigen Mineralisierung, d. h. des Abbaus der organischen Schadstoffe in anorganische Moleküle (Kohlendioxid, Wasser, Salzsäure usw.),
- Erhalt der Bodenstruktur.

Trotz des offensichtlichen Potentials des biologischen Schadstoffabbaus ist seine derzeitige Bedeutung auf internationaler Ebene noch relativ gering. Dies liegt u. a. daran, daß die biologischen Verfahren auch eine Reihe von Nachteilen aufweisen, die sie für den Techniker in der Praxis oft nicht konkurrenzfähig erscheinen lassen. So sind die Abbauzeiten häufig relativ lang, der Abbau erfolgt nicht vollständig, d. h. Restkonzentrationen verbleiben, besonders persistente Stoffe werden biologisch oft nur unzureichend abgebaut, die Verfügbarkeit der Schadstoffe ist gerade in tonigen oder schluffigen Böden unzureichend. Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß durch biologischen Abbau festgelegte Schadstoffe unter Umständen erst mobilisiert werden können und daß in bestimmten Fällen die Abbauprodukte toxischer sein können als die Ausgangssubstanzen.

Bei der biologischen Bodensanierung wird die Bedeutung der gesetzlichen Rahmenbedingungen für die Weiterentwicklung der Umwelttechnik besonders deutlich. So hat beispielsweise in den Niederlanden eine sehr strenge Richtwertgestaltung, die nur sehr geringe Rückstandskonzentrationen erlaubt, dazu geführt, daß in der Praxis nur Verbrennungsverfahren eingesetzt werden können, da diese Richtwerte mit anderen Verfahren wirtschaftlich nicht zu erreichen sind. Diese führen jedoch nicht nur zum vollständigen Schadstoffabbau, sondern zerstören auch die Struktur der belasteten Böden. D. h., die Endprodukte der Schadstoffbehandlung können nicht mehr als Boden bezeichnet und verwendet werden. In der Bundesrepublik gelten dagegen derzeit keine derart strengen gesetzlichen Grenzwerte. Dies hat dazu geführt, daß hier biologische Ansätze, die notwendigerweise immer auch geringe Restkonzentrationen verbleiben lassen, deutlich verbreiteter sind als in den Niederlanden.

Zur Behandlung von Schadstoffbelastungen in festen Medien ist neben der Bodensanierung auch die **Behandlung fester Abfallstoffe** zu zählen. Die derzeit wichtigsten biotechnischen Ansätze hierfür sind verschiedene Kompostierungsverfahren, die auf aeroben Stoffwechselabbauwegen beruhen. Neue Entwicklungen konzentrieren sich u. a. auf anaerobe Verfahren, bei denen als zusätzlich nutzbares Produkt energetisch verwertbares Biogas (CH_4, CO_2) gebildet wird (Trösch 1993).

2.4 Vermeidung

Biotechnologie kann auf verschiedene Weise zur Vermeidung von Umweltbelastungen beitragen. Die schon skizzierten Ansätze zur Behandlung von Schadstoffströmen können prinzipiell auch in diese Kategorie eingeordnet werden, da sie letztlich dazu führen, daß die Umweltkompartimente mit weniger schädlichen Substanzen belastet werden. In der vorliegenden Untersuchung wird jedoch der Vermeidungsbegriff im engeren Sinne ausgelegt. Er umfaßt solche Ansätze, die erst gar nicht dazu führen, daß Schadstoffe entstehen bzw. die dazu beitragen, daß geringere Schadstoffmengen im Rahmen verschiedenster Produktionsverfahren erzeugt werden. Gerade in diesem Sinne werden von biotechnischen Verfahren künftig wesentliche Beiträge erwartet. **Biotechnische Produktionsprozesse** sind prinzipiell als Kreislaufprozesse angelegt und durch folgende Merkmale ausgezeichnet:

- Die eingesetzten Rohstoffe werden letztlich über solargetriebene photosynthetische Prozesse erneuert.
- Die Rohstoffumwandlung erfolgt mit Hilfe spezifischer Enzyme, die unter milden Prozeßbedingungen (Temperatur, Druck) im wäßrigen Medium arbeiten. Diese Enzyme ihrerseits werden wiederum durch zelluläre biologische Prozesse synthetisiert. D. h., auch die Herstellung der produktionstechnischen Systeme selbst ist in die biologischen Kreislaufkonzepte eingebettet.
- Die erforderliche Prozeßenergie kann zumindest teilweise durch Abbau der erneuerbaren Rohstoffe bzw. Substrate zur Verfügung gestellt werden.
- Die entstehenden organischen Produkte sind biologisch abbaubar. Das hierbei ebenfalls frei werdende CO_2 kann über photosynthetische Syntheseprozesse wieder für die Bereitstellung von Rohstoffen verwendet werden.

Trotz dieser prinzipiellen Vorzüge werden biotechnische Prozesse bei der industriellen Produktion bisher nur selten genutzt. Ein Beispiel für die positiven Umwelteffekte durch biotechnische Produktionsprozesse ist die enzymatische Penizillinspaltung. Das früher hier eingesetzte chemische Verfahren wurde inzwischen nahezu vollständig durch einen biotechnischen Prozeß auf der Basis von Enzymen verdrängt. Im Vergleich zum chemischen Verfahren ermöglicht das biotechnische Verfahren deutliche Ressourceneinsparungen. Bezogen auf die weltweite Jahres-

produktion von ca. 4.000 t 6-Aminopenizillansäure werden jährlich mehrere 100 t organischer Lösungsmittel und anorganischer Substrate eingespart. Auch die Energieeinsparung liegt bei mehreren Millionen Kilowattstunden.

Eine weitere Strategie, mit der biotechnische Ansätze zur Vermeidung der Entstehung von Umweltbelastungen beitragen können, ist die Herstellung und Nutzung von **Biomaterialien.** Hierbei sind insbesondere Biopolymere zu nennen (Steinbüchel 1992). Diese können auf zweifache Weise einen Beitrag zur Vermeidung von Umweltbelastungen leisten: Zum einen sind für ihre Synthese keine fossilen Rohstoffquellen notwendig. Daher kann der Einsatz von Biopolymeren über die Substitution petrochemischer Kunststoffe indirekt einen Beitrag zur Schonung der fossilen Rohstoffquellen leisten. Zum andern sind Biopolymere per se biologisch abbaubar und tragen somit zur Vermeidung der Entstehung von schwerabbaubaren Kunststoffabfällen bei. Insgesamt gilt auch hier wieder, daß sowohl Synthese als auch Abbau von Biopolymeren in Kreislaufprozesse eingebettet sind, in denen das zur Synthese notwendige biologisch fixierte CO_2 beim Abbau wieder freigesetzt wird. Die Anwendungsoptionen für Biopolymere sind sehr vielfältig und reichen von Verpackungsmaterialien bis zu speziellen Konstruktionswerkstoffen. Ein bekanntes Beispiel für ein kommerziell vertriebenes Biopolymer ist die bakteriell synthetisierte PHB (Polyhydroxy-Buttersäure), die von der Firma ZENECA (früher: ICI) hergestellt wird (Asche 1991). Wie für die oben erwähnten biotechnischen Produktionsprozesse gilt auch für Biopolymere, daß das derzeit realisierte Anwendungsspektrum noch gering ist. Im Falle der Biopolymere sind die derzeit hohen Herstellungskosten als wesentliches Hemmnis zu nennen. Diese liegen beispielsweise für PHB ca. beim 15-fachen der Kosten vergleichbarer petrochemischer Kunststoffe.

Auch in der Landwirtschaft können biotechnische Ansätze prinzipiell zur Vermeidung von Umweltbelastungen führen. Hierzu zählen beispielsweise schädlingsresistente Nutzpflanzen, die zu einer Verringerung des Pestizideinsatzes in der Landwirtschaft und damit indirekt zur Vermeidung von Umweltbelastungen führen können. Auch nachwachsende Rohstoffe werden oft unter dem Aspekt der Vermeidung von Umweltbelastungen diskutiert. Allerdings zeigen neuere Ansätze zu Ökobilanzen von nachwachsenden Rohstoffen, daß pauschale Aussagen über Umweltentlastungspotentiale dieser Strategien nicht zu vertreten sind. Sowohl der Bereich der Landwirtschaft als auch die nachwachsenden Rohstoffe werden in der vorliegenden Untersuchung nicht behandelt.

3. Methoden und Vorgehensweise

Für die Analyse der drei Teilbereiche der Umwelttechnik wurde mit einer multivariaten Analyse ein, auch international gesehen, relativ junges Verfahren eingesetzt. Daher wird in Kapitel 3.1. zunächst das Verfahren im allgemeinen - von der Datengewinnung bis hin zur Konstruktion der Indikatoren - als auch das konkrete Vorgehen bei der Analyse kurz dargelegt. Soweit für das inhaltliche Verständnis erforderlich, werden zusätzliche methodische Details in Kapitel 4 ergänzt. In Kapitel 3.2. folgt die Beschreibung der bei den ökonomischen Analysen von Kapitel 5 gewählten Vorgehensweisen und Methoden.

3.1 Mehrdimensionale Indikatoren

Die Analyse der Strukturen der drei Teilbereiche der Umwelttechnik - Umweltanalytik; Abbau von Umweltbelastungen; Vermeidung von Umweltbelastungen - wurde mit Hilfe multivariater Verfahren vorgenommen. Zur Anwendung kamen hierbei die - **Co-Wort-Analyse** sowie die **Co-Klassifikations-Analyse.** Beide Verfahren gehören in die Gruppe der Co-Occurrence-Verfahren. Diese Verfahren analysieren das gemeinsame Vorkommen bestimmter Merkmalspaare (hier Begriffe bzw. Klassifizierungen). Die Werte (Häufigkeiten) für das gemeinsame Auftreten von Merkmalspaaren geben Aufschluß über die Stärke des Zusammenhangs zwischen den Merkmalsausprägungen. Die Informationsbasis der Analysen besteht aus dem von Fachwissenschaftlern publiziertem Material (Vorträge, Tagungsbeiträge, wissenschaftliche Publikationen und Patentschriften). **Wissenschaftliche Publikationen** werden allgemein als Outputindikatoren im Bereich der Grundlagenforschung betrachtet, wogegen die **Patente** als Output des technischen Entwicklungsprozesses gelten. Die Analyse auf der Basis der wissenschaftlichen Publikationen wird somit darauf ausgerichtet, Arbeitsschwerpunkte der Forschung zu identifizieren, während die Patentanalyse sich auf die Erkennung von Entwicklungslinien im Technikbereich konzentriert. Publikationen und Patente werden als Basis genutzt, da in ihnen zuerst die Entwicklungstrends sichtbar werden.

In Patenten und Publikationen kommen letztlich die kognitiven Strukturen der in ihnen widergespiegelten wissenschaftlichen und technischen Aktivitäten zum Ausdruck. Die Analyse dieser kognitiven Basis führt in der Regel zu umfangreichen, multidimensionalen tabularen Informationen, die dem erkenntnistheoretisch Interessierten, dem Fachwissenschaftler oder auch dem Forschungspolitiker, der Entscheidungen zu treffen hat, in dieser Form noch keine unterstützenden Informationen liefern. Es kommt nun darauf an, die vorliegenden Informationen so aufzubereiten, daß Gesamtzusammenhänge verständlich werden. Eine mögliche Lösung dieser grundlegenden Problematik ist die Verwendung **graphischer Repräsentationen**, das bedeutet die Darstellung der Zusammenhänge in "**Karten**" (Rip 1988). Die Karten können als relationale Indikatoren angesehen werden, mit deren Hilfe netzwerkartige kognitive Strukturen der in der wissenschaftlichen Literatur oder den Patenten repräsentierten wissenschaftlichen oder technischen Aktivitäten identifiziert werden können.

Die Nutzung von Karten hat verschiedene Vorteile. Zum einen können große Datenmengen sichtbar gemacht werden, deren Zusammenhänge in graphischer Darstellungsform zudem erheblich leichter zu verstehen sind. Hinzu kommt, daß die Menge an Informationen durch Auswahl der relevanten Merkmale reduziert werden kann. Zur Erstellung der Karten wird ein statistisches Verfahren - die **multidimensionale Skalierung** - genutzt. Grundlage bilden die sich aus der Anwendung der bibliometrischen Verfahren ergebenden Verflechtungsmatrizen, wobei die Werte für das gemeinsame Auftreten der Merkmalspaare Auskunft über die Stärke der Be-

ziehung zwischen den Strukturelementen geben. Die multidimensionale Skalierung, ein Verfahren, das besonders in der Psychologie Anwendung findet, dient der Ermittlung einer Konfiguration der Werte in der Art, daß die Werte der Matrix als Distanzmaße zwischen den Merkmalsausprägungen betrachtet werden. Diese Distanzen werden über einen mehrstufigen Iterationsprozeß in einer optimalen Konfiguration dargestellt. Von Bedeutung ist, daß das Verhältnis der verschiedenen Distanzen zutreffend widergespiegelt wird. Das Ergebnis des Iterationsprozesses wird dann in mehrdimensionalen Karten ausgegeben, wobei sich herausgestellt hat, daß aus Gründen der Interpretierbarkeit die Ausgabe in zwei- oder maximal dreidimensionaler Form zu bevorzugen ist (Borg 1981; Kruskal und Wish 1989).

Anschaulich läßt sich das Verfahren der multidimensionalen Skalierung wie folgt beschreiben: Den Ausgangspunkt bildet eine Entfernungstabelle in Matrixform, wie sie etwa in jedem Autoatlas für die Entfernungen zwischen verschiedenen Orten enthalten ist (wobei hier jedoch die Entfernung in Straßenkilometern angegeben wird und nicht die Luftlinien-Entfernung). Große Entfernungen sprechen für eine geringe Verflechtung und geringe Entfernung für eine enge Verflechtung. Durch Anwendung des statistischen Verfahrens der multidimensionalen Skalierung wäre der Computer in der Lage, eine Karte zu zeichnen, in der die gegenseitige Lage der Städte zueinander möglichst originalgetreu abgebildet wird, dabei ist nur von Bedeutung, daß das Verhältnis der Distanzen zueinander den Tatsachen entspricht, wohingegen die Lage bezüglich der Himmelsrichtungen, d. h. die Absolutorientierung, nicht unbedingt der Realität entspricht (Borg 1981). Die bei der Interpretation der Karten in Kapitel 4 verwendeten Himmelsrichtungen dienen daher lediglich der besseren Veranschaulichung und haben keine inhaltliche Bedeutung.

Als Entfernungsangaben dienen in der vorliegenden Analyse Informationen, die zum einen aus der Co-Wort-Analyse und zum anderen aus der Co-Klassifikations-Analyse gewonnen wurden. Bei der **Co-Wort-Analyse**, die bei der Literaturanalyse zur Anwendung kam, wurden aus den recherchierten Publikationen alle Begriffe extrahiert, die im Deskriptoren-Feld nachweisbar waren. **Deskriptoren** sind die durch einen Thesaurus der Datenbank vorgegebenen kontrollierten Begriffe, die durch Indexer den Publikationen - entsprechend ihrem Inhalt - zugeordnet werden. Der Nachteil bei der ausschließlichen Verwendung der kontrollierten Begriffe besteht darin, daß der Thesaurus einer Datenbank nur in unregelmäßigen Abständen überarbeitet wird und somit neue Begriffe, die auf neue Erkenntnisse zurückgehen, oftmals erst mit Verzögerungen in den Thesaurus aufgenommen werden. Daher wurden neben den Deskriptoren zusätzlich die Begriffe abgefragt, die dem Identifier-Feld zugeordnet wurden. Diese Begriffe entstammen nicht dem durch den Thesaurus vorgegebenen Vokabular, sondern sind **zusätzliche freie Begriffe**, die zusätzliche Informationen über neuere Entwicklungstrends liefern.

Da jedem Dokument in der Regel mehrere kontrollierte als auch unkontrollierte Begriffe zugeordnet werden, ist es möglich, jeden dieser Begriffe auf sein gemeinsames Vorkommen mit den jeweils anderen Begriffen hin zu untersuchen. Die Anzahl, die für das gemeinsame Vorkommen zweier Begriffe in den Datensets ermittelt wurde, dient als Information bezüglich der Stärke der Verflechtung der beiden Teilbereiche, die sich hinter den Begriffen verbergen.

Entsprechend ist das Vorgehen bei der **Co-Klassifikationsanalyse.** Der Unterschied besteht in der Verwendung der den Dokumenten zugeordneten Klassifikationscodes anstelle der kontrollierten bzw. freien Begriffe. Die Co-Klassifikationsanalyse wurde für die Patentdokumente angewendet. Sowohl für die Einordnung von wissenschaftlichen Publikationen in Datenbanken als auch für Patentschriften existieren Klassifikationsschemata. Im Bereich des Patentwesens ist das die **internationale Patentklassifikation (IPC),** auf deren Grundlage weltweit Patente geordnet werden. Die IPC besitzt eine hierarchische Struktur, wobei es in absteigender Reihenfolge Sektionen, Untersektionen, Hauptgruppen und Untergruppen gibt. Derzeit gibt es acht Sektionen, die die verschiedenen Fachgebiete abdecken. Die IPC wird in regelmäßigen Abständen in ihrer Struktur an den Stand der technischen Entwicklung angepaßt (Schmoch 1990). Jedes Patent wird entsprechend seinem Inhalt auf möglichst niedrigem Aggregationsniveau in die IPC eingeordnet. Patente, deren Inhalt Relevanz für verschiedene Bereiche besitzen, werden mehrfach eingeordnet. Wissenschaftliche Literaturdatenbanken besitzen meist ein ähnliches, allerdings international nicht abgestimmtes und weniger verbindliches Klassifikationssystem (Grupp 1990).

Die **Mehrfachklassifikationen** sind die Basis für die Co-Klassifikations-Analyse. Klassifikationspaare bilden die Grundlage für die Identifikation von sich überschneidenden Themenstellungen. Für jeden betrachteten Wissenschaftsbereich (unabhängig vom jeweiligen Aggregationsniveau) läßt sich so eine Verflechtungsmatrix erstellen. Die Co-Klassifikations-Analyse wird genutzt, um auf relativ hohem Aggregationsniveau Hauptlinien der Entwicklung aufzudecken. Sie ist relativ einfach einsetzbar, da sie auf bereits existierenden Klassifikationsschemata beruht. Dies kann jedoch auch als nachteilig angesehen werden, da diese Schemata nicht immer dem neuesten Stand der Entwicklung entsprechen (Engelsman und van Raan 1991, Hinze 1993).

Ergebnis sowohl der Co-Wort- als auch der Co-Klassifikationsanalyse sind **Verflechtungsmatrizen** mit n x n Elementen, die den reinen Häufigkeiten für das gemeinsame Vorkommen von Begriffen bzw. Klassifikationscodes entsprechen. Für das weitere Vorgehen ist für diese Daten eine Normierung durchzuführen. Hierfür können verschiedene Indizes genutzt werden. In diesem Fall kommt der Proximity-Index zur Anwendung, da dieser besonders sensitiv auf das Auftauchen neuer Teilgebiete reagiert und auch für die Widerspiegelung kleinerer Teilgebiete Vorteile gegenüber anderen Indizes aufweist (Callon et al. 1986). Die so entstandenen Matri-

zen werden dann durch das bereits am Anfang kurz beschriebene statistische Verfahren der multidimensionalen Skalierung in zweidimensionale Karten umgesetzt.

Da insbesondere auch Informationen über zeitliche Veränderungen in der Ausrichtung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten von Interesse sind, wurden verschiedene Zeitpunkte bzw. Zeitabschnitte betrachtet und ausgewertet.

3.1.1 Datenerhebung

Im folgenden wird die Auswahl der Datenbanken und die Erstellung der Abfrage-Strategien für die untersuchten Teilbereiche der Umwelttechnik nach Literatur- und Patentdaten getrennt erläutert.

3.1.1.1 Literatur-Recherchen

Aus den zahlreichen, zur Verfügung stehenden Literaturdatenbanken, führte eine erste Auswahl zu mehreren Datenbanken, die Informationen zur Umwelttechnik enthielten, wie z. B. ENVIROLINE, POLLUTION ABSTRACTS, SCISEARCH, DECHEMA oder ISMEC (Information Service in Mechanical Engineering). Diese wurden eingehender auf ihre inhaltliche und geographische Abdeckung, die angebotenen Felder und die Möglichkeit der Stichwortsuche und Länderabfrage in einzelnen Feldern hin überprüft. Keine dieser Datenbanken erwies sich letztlich als geeignet, da entweder die Suchmöglichkeiten oder die inhaltliche und geographische Abdeckung nicht ausreichten. Für die Identifizierung und Abgrenzung der vorgegebenen Teilbereiche "Analytik", "Schadstoffabbau in Wasser, Boden und Luft" und "Vermeidung von Umweltbelastungen" innerhalb der gesamten Umwelttechnik wurde schließlich die Datenbank COMPENDEX ausgewählt, die von der Engineering Information, Inc. in den USA hergestellt wird. Dies ist eine bibliographische Datenbank, die internationale Zeitschriften, Bücher, Konferenz- und Forschungsberichte sowie nicht konventionelle Literatur auf dem Gebiet des Ingenieurwesens enthält. Die inhaltliche Abdeckung dieser Datenbank umfaßt neben der Umwelttechnik, die sich auf Sachgebiete wie "Chemische Verfahrenstechnik", "Elektrotechnik", "Regeltechnik" oder "Maschinenbau" verteilt, auch die Biotechnologie und eignet sich daher zur Untersuchung der Beziehung zwischen Biotechnologie und Umwelttechnik.

Für die drei Bereiche "Abbau", "Analytik" und "Vermeidung" wurde jeweils eine eigenständige Suchstrategie ausgearbeitet, wobei eine Stichwortsuche in Titel, Abstract, Deskriptoren- und

Identifier-Feld mit dem von der Datenbank vorgegebenen Klassifikationsschema kombiniert wurde.

Bei der "**Abbau**"-**Strategie** wurde überwiegend auf die bestehenden Klassifikations-Codes für "Air Pollution", "Water Pollution", "Water Treatment", "Sewage and Industrial Wastes Treatment" und "Environmental Engineering" zurückgegriffen, und diese mit eindeutigen Stichworten wie "Soil Pollution" oder "Wastewater" kombiniert. Hierdurch wurden Dokumente erfaßt, die einerseits schon vom Datenbankhersteller als für Luft-, Wasser- oder Bodenverschmutzung relevant eingestuft wurden, andererseits aber auch aus anderen Klassen stammen konnten, sofern sie sich mit dem Schadstoffabbau in Wasser, Boden und Luft befassen.

Beim Bereich "**Analytik**" wurden ebenfalls die bestehenden Klassifikationen für Wasser- und Luftverschmutzung, aber auch "Environmental Engineering" und "Chemical Engineering" mit Stichworten kombiniert. Es wurden gezielt Techniken, die in der chemischen Analytik eingesetzt werden, wie z. B. Chromatographie, Spektroskopie, Photometrie, aber auch weniger spezifische Stichworte wie Sensor, Analysetechnik oder Umweltanalytik, abgefragt.

Bei der Abgrenzung des Bereichs "**Vermeidung**" stellte sich das Problem, daß einerseits entsprechende Klassifikations-Codes nicht vorhanden waren und andererseits relevante Dokumente über alle bestehenden Klassen verteilt, weder an bestimmte Technologien noch Methoden gekoppelt, auftreten können. Relevante Dokumente konnten daher nur identifiziert werden, wenn durch eine eindeutige Beschreibung in Titel oder Abstract der umweltrelevante Aspekt des Verfahrens deutlich wurde. Entsprechend wurden Stichwortkombinationen wie z. B. "reduced emission", "less pollution" oder "environmentally acceptable" abgefragt. Daneben wurden auch Dokumente erfaßt, die sich mit Techniken zur Lärmvermeidung oder Energieeinsparung, mit biologisch abbaubaren Materialien und Biopolymeren befassen, aufgenommen. Diese rein auf Stichworten basierende Suchstrategie war sicherlich nicht optimal, unter den gegebenen Bedingungen aber die einzige Möglichkeit den Bereich abzugrenzen.

Explizit ausgeschlossen wurden regenerative Energien, nachdem ein erster Test ergab, daß die insgesamt erzielte Treffermenge zu 50 % aus Dokumenten zur Solarenergie bestanden hätte. Der Bereich "Vermeidung von Umweltbelastungen" zielte auch in erster Linie auf neue Technologien oder Verfahren ab, die Umweltbelastungen durch Substitution bestehender Verfahren oder Materialien z. B. durch biotechnische Produktionsprozesse oder "Biopolymere" verhindern.

3.1.1.2 Patent-Recherchen

Für internationale Vergleiche beim Patentaufkommen ist das Europäische Patentamt (EPO) zu bevorzugen, da hier für alle Länder die gleichen Zugangsbedingungen herrschen und gleichzeitig eine Auswahl an qualitativ höherwertigen Patentanmeldungen erfaßt wird, da sich die höheren Verfahrenskosten[1] nur bei einer geplanten Anmeldung in mindestens drei Ländern lohnen. Daher werden vor allem wirtschaftlich relevante Patente am EPO angemeldet (Grupp und Soete 1993, Schmoch und Kirsch 1993). Derartige Patentrecherchen können in den Datenbanken WPIL (World Patents Index Latest) und EPAT (European Patents) durchgeführt werden. Die Datenbank EPAT enthält alle europäischen Patentanmeldungen, ein entscheidender Vorteil von WPIL besteht aber in der besseren Möglichkeit der Stichwortsuche in den vom Datenbankhersteller aufbereiteten Titeln und Abstracts.

Da die **Suchstrategien für die Patentrecherchen** möglichst analog zu den Strategien für die Literaturrecherche erstellt werden sollten und darin zahlreiche Stichwortabfragen enthalten waren, wurden beide Datenbanken in Kombination eingesetzt. Zunächst wurde die Suchstrategie in der Datenbank WPIL ausgeführt, die erzeugte Treffermenge nach EPAT übertragen und dort alle weiteren Abfragen zu den Länder- und Klassenstatistiken vorgenommen.

Analog zur Literaturrecherche wurde auch bei den Patenten für jeden der drei Teilbereiche eine eigenständige Suchstrategie ausgearbeitet. Patentanalysen bieten zusätzlich die Möglichkeit, die bereits in der Literaturrecherche eingesetzten Stichworte durch die eher technik-, aber auch anwendungsorientierten Klassen der Internationalen Patentklassifikation (IPC) zu erweitern. Hierzu wurden aus dem Gesamtbestand an IPC-Klassifikationen alle ausgewählt, die für Umwelttechnik relevant schienen und je nach inhaltlicher Ausrichtung einem der drei Teilbereiche zugeordnet.

Durch die Verwendung der IPC-Klassifikationen konnten die Treffermengen bei den Bereichen "Abbau" und "Analytik" im Vergleich zur reinen Stichwortstrategie erheblich vergrößert werden. Im Zweifelsfalle wurde die Definition der Teilbereiche eher weiter gefaßt, so daß im Falle der "Abbau"-Strategie auch Klassen enthalten sind, die die inhaltliche Abdeckung eher im Sinne einer "Abfall-Behandlung" ausweiten.

---

[1] Bei diesen Kosten sind nicht nur die reinen Patentanmeldungskosten zu berücksichtigen, sondern auch die Aufwendungen für die erforderlichen korrespondierenden Anwälte in den Zielländern sowie die Übersetzungskosten. Nach einer französischen Untersuchung (Debontride 1993), die als repräsentativ für die durchschnittliche europäische Situation angesehen werden kann, liegen die Kosten für eine EPO-Anmeldung mit Registrierung in 7 Ländern bei 50.000 - 60.000 DM. Die Einzelanmeldung würde dagegen in Frankreich ca. 7.000 DM, in Japan ca. 10.000 DM und in den USA ca. 11.000 DM kosten.

Derartige Abgrenzungsschwierigkeiten traten im "Analytik"-Bereich nicht auf, da dieser auch über die IPC-Klassen recht eindeutig faßbar ist. Für den Bereich "Vermeidung" wurde die Stichwortstrategie der Literaturrecherche übernommen, da keine IPC-Klasse diesem Bereich eindeutig zugeordnet werden konnte.

3.1.2 Datenaufbereitung

Die Abfrage der Datenbanken anhand der erstellten Such-Strategien liefert eine Gesamt-Treffermenge an Literaturnachweisen bzw. Patentanmeldungen, die die Datenbasis für weitere Analysen nach Zeiträumen bzw. Länderherkünften darstellt.

Im Falle der Literaturdaten wurden die für jeden Teilbereich erzielten Dokumente auf die gewünschten Publikationsjahre eingeschränkt und als Ausgabedateien mitgespeichert. Für die Analyse dieser Daten mußten spezielle Software-Programme entwickelt werden. Diese neue Software ermöglicht zum einen die Extraktion aller für die weitere Auswertung notwendigen Deskriptoren bzw. der Identifier. Durch ein weiteres Modul werden die Häufigkeiten der identifizierten Begriffe über die gesamte Datenmenge ermittelt. Die so erstellten Stichwortlisten wurden dahingehend überarbeitet, daß inhaltlich zusammengehörige Stichworte zu einer kombinierten Abfrage verknüpft wurden. In einem zweiten Durchgang können die Werte für die absolute Häufigkeit der kombinierten Stichwortabfragen ermittelt werden, die die Grundlage für die Entscheidung bildeten, welche Stichworte bzw. Stichwortkombinationen in die Co-Wort-Analyse miteinbezogen wurden. Außerdem ist auch die länderweise Ermittlung dieser Häufigkeiten für die Bestimmung nationaler Aktivitäten möglich. Ein drittes Modul realisiert daran anschließend die Ermittlung der Häufigkeiten für das gemeinsame Vorkommen der zuvor identifizierten am häufigsten auftretenden Begriffe, die dann auch in der erforderlichen Matrixstruktur vorliegen und somit direkt für die Weiterverarbeitung der Daten mit Hilfe der Statistiksoftware gesucht werden können, durch die letztendlich die graphische Umsetzung der Informationen durch Anwendung des Verfahrens der mulltidimensionalen Skalierung erfolgt.

Bei den Patentdatenbanken bestehen prinzipiell bessere Möglichkeiten, statistische Analysen online durchzuführen. Dementsprechend konnten alle notwendigen Daten online ermittelt werden, wobei das Vorgehen analog zur Bearbeitung der Literaturdaten war. Bei den Patentdaten wurden nicht Deskriptoren bzw. Identifiern abgefragt, sondern die europäischen Klassifikationen (EC), die den einzelnen Patentanmeldungen zugewiesen sind. Die EC entspricht der internationalen Patentklassifikation (IPC), ist aber auf dem untersten Niveau der hierarchischen Gliederungsstruktur noch feiner aufgeteilt. Die ermittelten EC-Klassen wurden gegebenenfalls nach inhaltlichen Gesichtspunkten zusammengefaßt und die absoluten Häufigkeiten für diese Klassen-Kombinationen ermittelt. Bei der Co-Klassifikations-Analyse wurde die Häufigkeit des

gemeinsamen Vorkommens zweier Klassen bzw. Klassenkombinationen in einer Patentanmeldung bestimmt. Auch diese Werte wurden nach einer Normierung mittels multidimensionaler Skalierung weiter bearbeitet.

Um die Spezialisierungsindizes der einzelnen Länder zu berechnen, mußten zusätzlich die länderspezifischen Häufigkeiten für die einzelnen Stichworte bzw. Klassen erhoben werden. Hierbei tritt bei den Literaturdaten das Problem auf, daß in der Regel die Länderherkunft des Literaturnachweises nicht Bestandteil des Datensatzes ist oder nicht in abfragbarer Form enthalten ist. Bei der Datenbank COMPENDEX ist ein Länderkürzel ebenfalls nur indirekt im Feld mit der Quellenangabe enthalten, allerdings auch nur bei 70 bis 80 % der Dokumente und nicht in standardisierter Schreibweise. Im Gegensatz dazu sind bei Patentdatenbanken eindeutige Länderabfragen möglich und für statistische Analysen nutzbar.

3.2 Ökonomische Analysen

Während sich die technischen Entwicklungen und ihre wissenschaftlichen Grundlagen in der Biotechnologie und der Umwelttechnik bereits über einen längeren Zeitraum hinweg beispielsweise anhand der in Kapitel 3.1 genannten Verfahren nachvollziehen lassen, befindet sich die Anwendung der neuen Erkenntnisse und deren Übertragung auf marktfähige Produkte oder Verfahren noch in ihren Anfängen. Obwohl der gesamte Umweltschutzsektor seit etwa einem Jahrzehnt ständig an wirtschaftlicher Bedeutung gewinnt, gilt dies nicht für alle seine Teilbereiche und neueren Entwicklungen. Auch die Verwendung moderner biotechnologischer Verfahren im Umweltschutz zählt zu diesen Bereichen, deren Anwendungspotential sich erst langsam konkreter abzuzeichnen beginnt (vgl. Kap. 2). Für eine ökonomische Analyse kommt erschwerend hinzu, daß es sich auch bei der Biotechnologie um ein relativ junges Technikgebiet handelt, das erst seit wenigen Jahren wirtschaftlich verwertbare Anwendungen findet.

Ausgehend von der Tatsache, daß sich die Umweltbiotechnik als neues Teilgebiet im Grenzbereich zweier selbst noch junger Technologien entwickelt, sollen im folgenden die verschiedenen Methoden, mit denen ökonomische Analysen ähnlicher Gebiete prinzipiell möglich sind oder die bereits angewendet wurden, und deren jeweilige Problematik, kurz dargestellt werden. Daran schließt sich die Darstellung der von uns gewählten Methoden an, verbunden mit einer eingehenden Beschreibung ihrer Vorzüge, ihrer Nachteile und ihres Zwecks.

3.2.1 Abgrenzung des ökonomisch relevanten Bereichs der Umweltbiotechnik

Die Umweltbiotechnik ist als Technikgebiet zu jung, um sich bereits als wirtschaftlich bedeutender Bereich etabliert oder in seinen Anwendungen gar standardisiert zu haben. Damit hängt zusammen, daß sich bislang weder ein Sektor der Umwelttechnik noch der Biotechnologie mit eigenen Unternehmens- und Marktstrukturen herausgebildet hat. Eine ökonomische Analyse kann daher nicht auf eine von vornherein klar definierte und abgegrenzte Gruppe von Unternehmen zurückgreifen, sondern sollte sich vornehmlich an den vorhandenen Produkten orientieren. Folglich ist man darauf angewiesen, eine eher heterogen erscheinende Gruppe von Produkten abzugrenzen, die als biotechnologisch relevante Umweltschutzgüter in den verschiedensten Industriezweigen hergestellt und angeboten werden.

Die technische (Weiter-)Entwicklung von Produkten und Prozessen verläuft in beiden Technikbereichen stürmisch. Die zur Analyse notwendige Abgrenzung der relevanten Produktgruppen verändert sich dabei im gleichen Maße. Dieser Umstand hat generell zur Folge, daß die Aussagefähigkeit ökonomischer Analysen in diesem Bereich auf einen begrenzten Zeitraum beschränkt und Prognosen nur bedingt möglich sind.

Zum zweiten hängt die zukünftige Entwicklung biotechnologischer Produkte im Umweltschutz von der weiteren Entwicklung nicht nur der Umwelttechnik allgemein, sondern vor allem auch der Biotechnologie ab. Es ist in diesem Zusammenhang darauf hinzuweisen, daß die ökonomische Bedeutung des untersuchten Grenzbereichs insbesondere davon abhängt, welcher Vorleistungs- oder Wertschöpfungsanteil an Umweltschutzgütern der Biotechnologie heute und in Zukunft zukommt. Es ist aus heutiger Sicht unwahrscheinlich, daß in Zukunft Anlagen und Verfahren für den Umweltschutz zum größten Teil auf biotechnologische Komponenten zurückgreifen werden (siehe dazu auch IFO 1992). Oftmals wird die Anlage einzelne biotechnologische Komponenten enthalten, die in ihrem Wert in die gesamten Herstellungskosten der Anlage eingehen. Über den derzeitigen Anteil der Biotechnologie an der Umwelttechnik liegen Schätzungen der OECD (1993) von 15 % bis 25 % am Gesamtwert vor.

Für die Zukunft wird dagegen entscheidend sein, wie weit die Biotechnologie nicht nur in der Umwelttechnik, sondern auch in anderen Bereichen der Wirtschaft Einzug hält. Freeman (OECD 1989) hat die Einflußgrößen dieser Entwicklung auf fünf Faktoren reduziert. Er stellt darin sehr anschaulich dar, daß, in Anlehnung an theoretische Konzepte von Kuhn (1962) zum Verlauf der wissenschaftlichen Entwicklung und Dosi (1982) über ähnliche Strukturbrüche in der wirtschaftlichen Entwicklung, die Biotechnologie in Zukunft ein eigenes technoökonomisches Paradigma ausbilden muß - ähnlich wie die Mikroelektronik -, um als echte Querschnittstechnologie in vielen Bereichen der Wirtschaft Verwendung zu finden. Die Abgrenzung der

biotechnologischen Umweltschutzgüter muß sich daher auch in Zukunft an der Entwicklung in den anderen Anwendungsbereichen der Biotechnologie orientieren.

3.2.2 Prinzipielle methodische Ansätze

Entsprechend der oben beschriebenen Schwierigkeit, eine eindeutige Abgrenzung des Bereichs der Umweltbiotechnik vorzunehmen, ist auch das methodische Vorgehen für ökonomische Analysen nicht eindeutig festgelegt.

Gewöhnlich beschreitet man in dieser Art von Analyse zwei unterschiedliche Wege: Zum einen kann man, wie in der IFO-Studie (IFO 1992) zum Thema, anhand einer **Unternehmensbefragung** den gegenwärtigen und zukünftigen Markt (gemeint ist dabei mit "Markt" immer die tatsächlich nachgefragte Absatzmenge) für einzelne Güter der Umweltschutztechnik von Experten schätzen lassen und einen biotechnologisch relevanten Anteil daran ermitteln. Bei ausreichend großer Stichprobe, die nach Möglichkeit zudem Unternehmen aus verschiedenen Ländern umfassen sollte, läßt sich aus den Ergebnissen ein Markt für einzelne Produkte ermitteln sowie eine Aussage über den vermuteten zukünftigen Trend. Wie das Resultat der IFO-Studie aber zeigt, ist man mit Hilfe der Expertenaussagen nicht in der Lage, auf stark disaggregiertem Niveau zu einem einheitlichen Ergebnis über das Marktpotential zu kommen. Die Schwankungsbreite der Schätzungen ist in der Regel groß; die Anteilsabschätzungen für die Biotechnologie bleiben vage. Hinzu kommt, daß die Resultate in ihrer Entstehung oft nicht nachvollziehbar sind. Für die Erhöhung der Aussagefähigkeit dieser Methode wäre es erforderlich, die Befragung in einer internationalen oder zumindest europaweiten Stichprobe zu wiederholen.

Der zweite übliche Weg in ökonomischen Analysen geht von dem gegenwärtigen oder zukünftig zu erwartenden **Bedarf an Umweltschutztechnik** aus. Basis der von der OECD (1993) vorgenommenen Marktabschätzung in einzelnen Bereichen der Umweltschutztechnik ist dabei die Abschätzung der zu reinigenden Wasser- und Luftmengen, des Volumens der sanierungsbedürftigen Böden, des festen Abfalls sowie des Grads der Verunreinigung. Nach der länder- oder regionenweisen Aufteilung des potentiellen Bedarfs wird dieser mit den bislang realisierten Maßnahmen im Umweltschutz verglichen und aus der Differenz der zukünftige Trend der Marktentwicklung unter Berücksichtigung der jeweiligen nationalen Gesetzgebung abgeleitet. Auch bei diesem Verfahren muß der biotechnologisch relevante Anteil an den Umweltschutzmaßnahmen geschätzt werden, wobei jeweils Daten über den Anteil der bereits realisierten biotechnologischen Anlagen zur Beurteilung herangezogen werden.

Während diese Methode zu einer weitaus verläßlicheren Gesamtbeurteilung des Umweltschutzmarktes kommt und die Entwicklungen einzelner Teilbereiche getrennt darstellt, haften ihr zwei große Nachteile an: Zum einen nimmt man bei der Wahl dieser Methode implizit an, daß der erwartete Bedarf an Umweltschutzgütern in Zukunft auch tatsächlich entsteht und damit langfristig potentielle und tatsächliche Nachfrage übereinstimmen. Da die Nachfrage nach solchen Gütern aber häufig erst durch entsprechende Gesetzesauflagen geschaffen wird und die Gesetzgebungsverfahren von Land zu Land unterschiedlich weit fortgeschritten sind, ist diese Annahme nicht immer gerechtfertigt. Zum zweiten lassen die auf hohem Aggregationsniveau entstandenen Marktabschätzungen keine unmittelbaren Schlüsse auf den Einsatz einzelner - insbesondere biotechnologischer - Verfahren zu. Damit bietet keine der beschriebenen Methoden eine zuverlässige Basis zur Beurteilung des biotechnologischen Anwendungspotentials in der Umwelttechnik.

3.2.3 Vorgehensweise

Vor diesem Hintergrund wird im folgenden eine Vorgehensweise gewählt, die die Vorteile der beiden oben beschriebenen Verfahren verknüpft. Dabei sollen der Gedanke eines möglichst globalen Marktes für Umweltschutzgüter und die Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse als Leitlinien dienen. Ziel unseres Vorgehens ist es, auf nationaler Ebene das heute in Deutschland hergestellte wertmäßige Volumen der biotechnologisch relevanten Umweltschutzgüter anhand von **Produktionsstatistiken** zu ermitteln. Im zweiten Schritt schließt sich eine Untersuchung der **Ex- und Importe** der wichtigsten OECD-Länder in den ausgewählten Warengruppen an, um die Spezialisierung einzelner Länder auf bestimmte Umweltschutzgüter sowie ihre Stärken und Schwächen herauszuarbeiten.

Gemäß den Ausführungen in Kapitel 3.2.1 haben wir eine Gruppe von Umweltschutzgütern ausgewählt,

a) bei denen entweder Biotechnologie in irgendeiner Form bereits heute zum Einsatz kommt (z. B. Filter),
b) von denen in Zukunft zu erwarten ist, daß die bislang verwendeten mechanischen, thermischen oder chemischen Verfahren durch biotechnologische ersetzt werden oder
c) die selbst keine biotechnologischen Komponenten enthalten, aber für den Einsatz biotechnologischer Teile von großer (komplementärer) Bedeutung sind (z. B. Pumpen).

Die Auswahl der nach diesem Verfahren ermittelten Güter basiert auf einer vom Statistischen Bundesamt für interne Zwecke erstellten **Liste von Umweltschutzgütern**. Wir verfolgen damit einen den beiden oben genannten Studien vergleichbaren Ansatz, indem wir, ausgehend von der Umweltschutztechnik, den biotechnologisch relevanten Anteil nach den oben gewähl-

ten drei Kriterien abgrenzen. Wir behalten dabei für die ökonomische Analyse die für diese Studie geltende Aufteilung in die Bereiche Analytik, Abbau von Schadstoffen und Vermeidung so weit wie möglich bei. Da sich der Bereich der Vermeidung von Umweltbelastungen nicht eindeutig in einzelnen Produkten niederschlägt, kann dieser Teil nicht gesondert untersucht werden. Sofern der Aspekt der Vermeidung von Umweltbelastungen Eingang in den Entwurf und die Planung von Produkten findet, wird er aber in den Produktgruppen der anderen Bereiche miterfaßt.

Die Liste der Umweltschutzgüter des Statistischen Bundesamtes wurde vom Niedersächsischen Institut für Wirtschaftsforschung (NIW) auf das derzeit für Deutschland gültige **Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken (GP)** aus dem Jahre 1989 umgeschlüsselt (veröffentlicht in Gehrke et al. 1992a). Die nach dem GP abgegrenzte Liste der Umweltschutzgüter gliedert sich in die Bereiche Abfall, Wasser/Abwasser, Luft, Lärm und Meß- und Regeltechnik. Bei der Auswahl der biotechnologisch relevanten Güter aus dieser Liste wurde der Bereich "Lärm" fallengelassen, da derzeit kein biotechnologisches Anwendungspotential in dieser Gruppe erkennbar ist. Die Bereiche "Abfall", "Wasser/Abwasser" und "Luft" entsprechen in etwa der von uns gewählten Gruppe "Abbau". Der in dieser Studie abgegrenzte Bereich "Analytik" ist strenggenommen nur mit der Meßtechnik vergleichbar. Da aber im Einzelfall schwer zu entscheiden ist, ob ein Druckregler oder eine Membran eher im Bereich des Abbaus von Schadstoffen Verwendung findet oder aber in Meßgeräten, haben wir die Bereiche "Analytik" (= Messen) und "Regeln" getrennt erhoben, aber dann zum Bereich "MSR" (Messen-Steuern-Regeln) zusammengefaßt. Der Bereich "MSR" ist daher weitergefaßt als der Bereich "Analytik". Die Abgrenzung der von uns ausgewählten Güter auf Basis der GP ist im Anhang angegeben.

In einem zweiten Schritt wurde diese Liste der biotechnologisch relevanten Umweltschutzgüter vom NIW auf die derzeit gültige **Außenhandels(waren)klassifikation SITC (III)** umgeschlüsselt. Auch in dieser Liste der Warengruppen im Außenhandel konnte die Einteilung in die Bereiche "Abfall", "Wasser/Abwasser", "Luft", "Analytik" und "Regeln" beibehalten werden. Es ist in diesem Zusammenhang darauf hinzuweisen, daß im Bereich "Wasser/Abwasser" die Pumpen als wertmäßig besonders interessanter Bereich der verwandten (komplementären) Güter (siehe oben unter c)) getrennt erfaßt werden.

Im folgenden sollen kurz einige Kriterien angesprochen werden, die für die **Auswahl der Produkte in Wirtschaftsstatistiken** von Bedeutung sind. Weiter oben wurde bereits darauf hingewiesen, daß es sich sowohl bei der Biotechnologie als auch bei der Umwelttechnik um sehr junge Technikgebiete handelt, die sich bislang noch nicht in einer bestimmten Gruppe von Produkten etablieren konnten. Biotechnologische Verfahren treten erst seit kurzer Zeit in Konkurrenz zu den herkömmlichen mechanischen, thermischen oder chemische Verfahren auf. Eine

Auswahl von biotechnologisch relevanten Umweltschutzgütern auf der Basis der Liste des Statistischen Bundesamtes nach den genannten drei Kriterien (siehe oben a) bis c)) muß daher immer den heutigen Stand der Technik sowohl im Umweltbereich als auch im Bereich der Biotechnologie vor Augen haben. Inwieweit zukünftig auch andere Produkte von einer Umstellung auf biotechnologische Verfahren betroffen sind, läßt sich nur nach eingehender Beurteilung der jetzigen technischen Entwicklung ableiten, die aber erst in einiger Zeit Eingang in Produkte finden wird. Die Auswahl der zukünftig relevanten Produkte hat daher zum Teil prognostischen Charakter und bleibt unscharf.

Hinzu kommt, daß die von uns zur Untersuchung herangezogenen Zahlen zur Produktion und zum Außenhandel zwar auf den neuesten Wirtschaftsstatistiken basieren, aber auch diese Klassifikationen Güter benennen und zu Gruppen zusammenfassen, die zum Zeitpunkt des Inkrafttretens der Klassifikationen dem Stand der Technik entsprachen. Klassifikationen veralten natürlich ebenfalls mit der Rate des technischen Wandels und müssen von Zeit zu Zeit revidiert werden. Dieser Revisionsprozeß kann aber gerade bei Außenhandelsklassifikationen wegen der Notwendigkeit zur vielfältigen Abstimmung auf internationaler Ebene lange Zeit in Anspruch nehmen.

Die in dieser Studie verwendeten Klassifikationen sind beide im Jahr 1988 in Kraft getreten; sie sind also vergleichsweise jung. Dennoch laufen auch sie den neueren Entwicklungen gerade im Bereich der Biotechnologie hinterher. Dieses Problem läßt sich allerdings durch die Wahl eines geeigneten Aggregationsniveaus für die Betrachtung vermeiden. Bei der Wahl des Aggregationsniveaus hat man stets eine Gratwanderung zwischen dem Interesse an einer möglichst detaillierten, sprich: disaggregierten, Darstellung der Daten und der Notwendigkeit, durch eine weiterreichende Abgrenzung der Produktgruppen auch neuere Entwicklungen innerhalb einer Gruppe zu erfassen, vor sich.

Während wir für die nationale Produktionsstatistik (GP) auf das sechsstellige Aggregationsniveau zugreifen konnten, erlaubte die Gliederung der SITC (III) lediglich eine Auswahl auf fünfstelligem Niveau. Die Abgrenzung der Umweltbiotechnologie in dem GP ist damit feiner gegliedert als in der SITC (III). Dieser Umstand zeigt sich besonders daran, daß bei der Umschlüsselung von dem GP auf die SITC (III) einige dieser disaggregierten Warenklassen vollständig verloren gingen (z. B. GP 32 51 28 = Einzelapparate für die organische Chemie) oder aber in größeren Klassen untergingen.[2]

---

[2] Neben der SITC (III) gilt seit 1988 zusätzlich die internationale Zollklassifikation "Harmonisiertes System zur Bezeichnung und Codierung von Waren" (HS) für die Deklaration im Warenhandel. Beide Systematiken bieten derzeit Daten lediglich auf einem vergleichsweise hohen Aggregationsniveau an. Die SITC gliedert sich in ihrer dritten Revision auf der kleinsten (fünfstelligen) Ebene in 3.118 Einzelpositionen. Das HS bietet dagegen 5.018 sechsstellige Unterpositionen an. Die Außenhandelsdaten für das feiner gegliederte HS sind aber derzeit noch nicht für alle Länder verfügbar. Die aus dem HS abgeleitete "Kombinierte Nomenklatur" (KN) für den Warenhandel innerhalb der Europäischen Union

Bei Marktabschätzungen im Bereich der Umweltbiotechnik stößt man generell auf das Problem, daß Produkte der Umwelttechnik in der Regel nicht für sich gehandelt, sondern als Bestandteil größerer Anlagenkomplexe an den Abnehmer übergeben werden. Hier tritt zum einen das Problem der Vorleistungsverflechtung auf, das dann entsteht, wenn ein Unternehmen als Systemlieferant eine komplette Anlage erstellt und die dafür benötigten, eventuell biotechnologischen Komponenten selbst herstellt und nicht bei anderen Unternehmen einkauft. In der Produktions- oder Außenhandelsstatistik taucht dann nur der Wert der gesamten Anlage auf, nicht aber das einzelne biotechnologische Bauteil, das man dann folglich auch nicht identifizieren kann.

Es ist aber nicht nur dieses Problem der Vorleistungsverflechtung, das die Bewertung anhand von Wirtschaftsstatistiken, aber auch bei Unternehmensbefragungen und sonstigen Analysen erschwert. Wie bei jungen Technologien üblich, entfällt ein wesentlicher Teil der Leistung für die Planung und Inbetriebnahme umwelttechnischer Anlagen auf Beratungs- und sonstige Dienstleistungstätigkeiten, die nicht in allen Fällen in den Verkaufspreis eines Produktes eingerechnet sind, sondern getrennt ausgewiesen werden. Diese Beratungsleistungen, die nach einer Schätzung der OECD (1993) bis zu 25 % des gesamten Umweltmarktes ausmachen, werden häufig nicht in den Produktions- oder Außenhandelsstatistiken erfaßt.

In der vorliegenden Analyse sollen im ersten Schritt auf Basis der deutschen Produktionsstatistik (GP) die **Produktionswerte der einzelnen Teilbereiche der Umweltbiotechnik** für die Jahre 1990, 1991 und 1992 untersucht werden. Die Beschränkung auf Deutschland ist dabei wegen des nur national geltenden GP nicht nur notwendig, sondern läßt sich auch mit der Vorreiterrolle der Bundesrepublik im Umweltschutz rechtfertigen.

An dieser Stelle ist jedoch noch einmal darauf hinzuweisen, daß der Bereich Abfall/Böden mit nur zwei Warennummern sehr schwach vertreten und mit Sicherheit unterpräsentiert ist. Für die Außenhandelsanalyse mußten wir uns sogar einzig auf die Gruppe der Autoklaven beschränken, was die Aussagefähigkeit der Analyse für diesen Teilbereich deutlich einschränkt. Als besonders mißlich muß das Fehlen von Produktionszahlen für den Bereich der Rauchgasreinigung eingestuft werden. Betroffen ist hiervon die Meldenummern 315.48- des GP. Obwohl dieser Bereich für den Abbau von Schadstoffen in der Luft von herausragender Bedeutung ist und darüber hinaus hier ein Anwendungspotential für Biotechnologie besteht, kann eine Analyse mangels Daten nicht durchgeführt werden.

---

bietet zwar 9.906 achtstellig bezifferte Warennummern an, nach Angaben des Statistischen Bundesamtes werden vollständige Datensätze auf Achtstellerniveau aber erst für das Jahr 1995 vorliegen.

Die im zweiten Schritt durchgeführte **Außenhandelsanalyse** baut auf den Untersuchungen auf, die Dosi, Pavitt und Soete (1990) in den 80er Jahren durchführten. Sie zeigten anhand einfacher theoretischer und eingehender empirischer Untersuchungen den Zusammenhang zwischen der technologischen Stärke eines Landes und seinem Erfolg im Außenhandel auf. Ausgehend von der Hypothese, daß Innovationsfähigkeit und Außenhandelserfolg sich gegenseitig bedingen und Hand in Hand gehen, wollen wir eine Analyse der Spezialisierungsstruktur einiger wichtiger OECD-Länder für den Bereich der Umweltbiotechnik durchführen.

Ähnliche Untersuchungen führten Gehrke et al. (1992a) zum einen für den Bereich der gesamten Umwelttechnik in Niedersachsen durch, zum anderen untersuchten Gehrke et al. (1992b) in einer detaillierten Spezialisierungsanalyse in diesem Bereich die OECD-Mitgliedsstaaten im Rahmen der jährlichen Berichterstattung zur technologischen Wettbewerbsposition Deutschlands an den BMFT.

In der vorliegenden Analyse wird die dort angegebene Methodik übernommen. Insbesondere verwenden auch wir den für die Analyse von Außenhandelsströmen gängigen **Spezialisierungsindikator RCA** (Revealed Comparative Advantage), der auf theoretische Konzepte von Balassa (1965) zurückgeht und hier in einer von Legler (1982) und Grupp (1993b) modifizierten Form verwendet wird. Der RCA berechnet sich nach folgender Formel:

$$RCA_{ij} = 100 \tanh \left[\ln \left[(ex_{ij} / im_{ij}) / \left(\sum_j ex_{ij} / \sum_j im_{ij} \right) \right] \right]$$

Es bezeichnen darin:

ex: Ausfuhren
im: Einfuhren
i: Länderindex
j: Produktgruppenindex

Der RCA gibt an, inwieweit Ausfuhrüberschüsse oder -defizite bei einer bestimmten Produktgruppe von der Außenhandelsposition bei verarbeiteten Industriewaren insgesamt abweichen. Der in den eckigen Klammern angegebene Wert ist ein asymmetrisches, nur einseitig gebundenes Maß (Minimum: 0, neutraler Wert: 1, Maximum strebt gegen unendlich), das negative und positive Spezialisierungen verzerrt darstellen würde. Durch die Logarithmierung wird er symmetrisiert (neutraler Wert: 0, beidseitig ungebunden) und durch den Tangens hyperbolicus (tanh) auf die Indexwerte ±100 gebunden.

Der RCA beantwortet gleichzeitig zwei Fragen: Zum einen gibt er an, in welchem Maße inländische Anbieter einer Branche sowohl im Vergleich zum Ausland als auch im Vergleich zu Anbietern anderer inländischer Branchen auf dem Weltmarkt Fuß gefaßt haben. Zum anderen

gibt der RCA eine Antwort auf die Frage, in welchem Maß es einer inländischen Branche gelungen ist, im Vergleich zu den Anbietern aus anderen Branchen Importe zu substituieren. Stimmt die Export-Import-Relation der betrachteten Warengruppe mit der bei allen Warengruppen überein, so nimmt der RCA den Wert Null an. Hohe positive Werte weisen auf komparative Vorteile im Sinne der Außenhandelstheorie hin - mithin also auf eine starke internationale Wettbewerbsposition. Für negative Werte gilt die Umkehrung analog. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß die RCA-Werte vom Saldo der Ex- und Importe eines Landes bei verarbeiteten Waren abhängen. Diese Abhängigkeit macht sich besonders bei Ländern bemerkbar, deren Leistungsbilanz bei verarbeiteten Waren deutliche Überschüsse oder Defizite aufweist. In solchen Fällen müssen RCA-Werte, die nur wenig vom neutralen Wert Null abweichen, mit Vorsicht interpretiert werden. Beispielswweise wird für ein Land mit insgesamt hohen Ausfuhrüberschüssen ein im Vergleich zu diesem Überschuß kleineres Verhältnis von Exporten zu Importen bereits als negative Spezialisierung gewertet, obwohl der Saldo in dieser Produktgruppe noch positiv ist.

Die bei der ökonomischen Analyse betrachteten **Länder** wurden vornehmlich nach zwei Kriterien ausgewählt. Erstens standen die europäischen Nachbarstaaten Frankreich, Großbritannien, Italien, die Niederlande und Dänemark als mögliche Konkurrenten eines sich zügig entwickelnden Marktes für Umwelttechnik innerhalb der Europäischen Union im Vordergrund. Frankreich und Großbritannien wurden zusätzlich wegen ihrer Größe, Italien und Dänemark wegen der in Studien von Gehrke et al. (1992b) ermittelten starken Außenhandelsposition im Umweltbereich und die Niederlande wegen der in vielen Studien vermuteten technologischen Stärke im Umweltbereich ausgewählt. Zweitens richtet sich das Augenmerk auf die USA und Japan als wichtigste außereuropäische Mitbewerber.

Neben den weiter oben gemachten **Einschränkungen**, die generell für die Analyse von Daten aus Wirtschaftsstatistiken gelten, muß hier noch auf eine zusätzliche Problematik hingewiesen werden: Die Aussagekraft des Spezialisierungsindikators RCA, wie aber auch anderer Indikatoren der empirischen Außenhandelsanalyse, gilt nur dann uneingeschränkt, wenn man von einem freien Welthandel ausgehen kann, bei dem die Warenströme durch das freie Spiel von Angebot und Nachfrage bei vollständiger Konkurrenz zustande kommen. Da man diese idealtypischen Bedingungen aber nicht antreffen wird, sondern stattdessen tarifäre (z. B. Zölle) und nichttarifäre (z. B. Mengenkontingente, freiwillige Exportbeschränkungen, technische Standards) Handelshemmnisse die Handelsströme verzerren, muß man im Einzelfall die Marktverhältnisse der jeweiligen Gütergruppen untersuchen. Aus diesem Grund stellen wir in Kapitel 5 zunächst auch die Marktstruktur des Bereichs der Umweltbiotechnik - getrennt nach Angebots- und Nachfrageseite - dar.

Im Fall der Umweltbiotechnik handelt es sich dabei um einen Bereich (siehe dazu Kap. 5), in dem es wegen der vom Staat dominierten Nachfrageseite in einzelnen Bereichen (z. B. Wasser/Abwasser) zu erheblichen Verzerrungen der Handelsströme kommen kann. Darüber hinaus können Gründe für eine Beschränkung des Außenhandels in der landesspezifischen Ausgestaltung der Umweltgesetzgebung liegen, die es ausländischen Anbietern schwer macht, Anlagen und Geräte zu liefern, die den jeweiligen nationalen Spezifikationen genügen. Hinzu kommt noch die Schwierigkeit für ausländische Unternehmen, sich an nationalen Ausschreibungsverfahren zu beteiligen und die notwendigen Beratungs- und anderen Dienstleistungen über einen längeren Zeitraum hinweg im Ausland anbieten zu können.

Trotz der erörterten Einschränkungen läßt sich aus dem Muster der Außenhandelsspezialisierung die **Verteilung relativer Wettbewerbsstärken und -schwächen** einzelner Länder ermitteln. Behält man die genannten Probleme der Methode im Hinterkopf, ist - entsprechend der Theorie von Dosi, Pavitt und Soete (1990) - für jedes Land eine Aussage darüber möglich, inwieweit dieses Land bereits heute sich am Weltmarkt bietende Wachstumschancen mit der von ihm angebotenen Produktpalette nutzt. Ferner zeigen deutliche Spezialisierungsvorteile für ein Land, daß es die zur Zeit gängige Technik beherrscht, dieses Land in Zukunft bei einem Wechsel der Basistechnologie von herkömmlichen (mechanischen, thermischen und chemischen) Verfahren zur Biotechnologie aber darauf achten muß, die neue Technologie sofort in entsprechendem Umfang in den eigenen Produkten einzusetzen. Nur dann wird ein Wechsel in der Technologie nicht zu einem Verlust der Wettbewerbsposition führen.

4. Internationale Entwicklungstrends in Wissenschaft und Technik

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der multivariaten Analyse des Techniksystems Biotechnologie/Umwelttechnik dargestellt. Im Mittelpunkt steht die Frage, inwieweit die in Kapitel 2 beschriebenen biotechnischen Ansätze zur Analyse, zum Abbau bzw. zur Behandlung sowie zur Vermeidung von Umweltbelastungen schon in wissenschaftlichen Publikationen und Patentanmeldungen des Gesamtbereiches Umwelttechnik ihren Niederschlag finden. Wissenschaftliche Publikationen werden hierbei als Maß für eher grundlegend ausgerichtete Forschungsaktivitäten verwendet. Hinter Patentanmeldungen steht in der Regel ein Verwertungsinteresse, so daß diese als Maß für Aktivitäten im Bereich der Technikentwicklung angesehen werden können.

In den Kapiteln 4.1 bis 4.3 werden die drei Teilbereiche der Umwelttechnik - Analytik, Abbau, Vermeidung - behandelt, wobei jeweils eine einheitliche Struktur zugrunde gelegt wird:

1. Darstellung von Strukturen und Trends in der Wissenschaft (Kap. 4.X.1).
   - Allgemeine Beschreibung des Teilbereichs anhand der Häufigkeit von Stichworten.
   - Analyse der zeitlichen Entwicklung von Einzelthemen.
   - Beschreibung der Strukturen des Teilbereichs im Jahr 1985.
   - Darstellung von Strukturänderungen beim Übergang von 1985 zum Jahr 1990.
2. Darstellung von Strukturen und Trends in der Technikentwicklung (Kap. 4.X.2).
   - Generelle Themenbeschreibung anhand der Definitionen der Patentklassifikation.
   - Darstellung der zeitlichen Entwicklung von Einzelthemen.
   - Darstellung der Strukturen des Teilbereichs im Zeitraum 1984 bis 1986.
   - Beschreibung von Strukturänderungen beim Übergang zum Zeitraum 1989 bis 1991.
3. Darstellung der generellen und der länderspezifischen Entwicklungstrends der Teilbereiche anhand der zeitlichen Entwicklung von Patentanmeldungen (Kap. 4.X.3).

Bei der graphischen Auswertung der multivariaten Analysen zeigt sich, daß die zweidimensionalen Darstellungsmöglichkeiten die tatsächlichen mehrdimensionalen Strukturen nicht immer adäquat abbilden können. Daher wurden zusätzlich die tabellarischen Informationen der Verflechtungsmatrizes bei der Interpretation berücksichtigt. Weiterhin zeigte es sich als unbedingt erforderlich, die Interpretation der komplexen Verflechtungsbeziehungen in einem Team vorzunehmen, das sowohl mathematisch-methodischen als auch biologisch-umwelttechnischen Sachverstand einbezog.

Die wichtigsten Ergebnisse werden am Schluß der jeweiligen Teilkapitel in einem Kasten zusammengefaßt.

In Kapitel 4.4 wird anhand der vorangegangenen Analysen der Teilbereiche der Umwelttechnik die Bedeutung der Biotechnologie für die Umwelttechnik zusammenfassend dargestellt. Diese Analyse wird ergänzt durch eine statistische Auswertung biotechnologierelevanter Stichworte in den wissenschaftlichen Publikationen sowie biotechnologierelevanter Patentklassen in den Patentanmeldungen.

Ein anderer Aspekt der Bedeutung der Biotechnologie wird in Kapitel 4.5 behandelt. Hier geht es um eine Abschätzung der Rolle der Umweltbiotechnik innerhalb der gesamten Biotechnologie. Hierzu wird die zeitliche Entwicklung von Patentanmeldungen für die gesamte Biotechnologie mit entsprechenden Zeitreihen für die Umweltbiotechnik verglichen.

Die technologische Spezialisierung Deutschlands in den analysierten Teilbereichen der Umwelttechnik wird anhand von Patentspezialisierungsindikatoren analysiert (Kapitel 4.6). Hierbei lassen sich auch Aussagen über die Spezialisierung der Bundesrepublik in denjenigen Teilfeldern der Umwelttechnik, die heute schon durch biotechnologische Ansätze beeinflußt werden, ableiten.

4.1 Umweltanalytik

4.1.1 Strukturen und Trends im Bereich der Wissenschaft

Mitte der 80er Jahre waren die mit Abstand **häufigsten Medien**, auf die sich die Umweltanalytik konzentrierte, die Luft und das Wasser (Tab. 4.1). Deutlich weniger häufig werden in den relevanten wissenschaftlichen Arbeiten Stichworte genannt, die die festen Umweltmedien Boden und feste Abfälle beschreiben. Die wichtigsten untersuchten **Substanzen** im Bereich der Umweltanalytik sind in diesem Zeitraum organische Chemikalien allgemein und speziell die Kohlenwasserstoffe. Weiterhin spielen Gefahrstoffe und Aerosole eine wichtige Rolle. Unter den anorganischen nichtmetallischen Chemikalien dominieren Schwefeldioxid, andere Schwefelverbindungen, Chlorverbindungen sowie Stickstoffverbindungen. Wichtigstes Metall ist Blei mit seinen Legierungen. Bei den eingesetzten **Methoden** zur Umweltanalytik werden chromatographische Analyseverfahren am häufigsten genannt. Eine wichtige Rolle spielen weiterhin spektroskopische Verfahren und nicht näher spezifizierte chemische Analysen. Unter den 50 häufigsten Begriffen aus diesem Bereich finden sich nur fünf **Begriffe aus der Biologie**: Biochemie, Bakteriologie, Meeresbiologie, biologische Materialien sowie Enzyme. Der Anteil der biologierelevanten Schlüsselbegriffe in der wissenschaftlichen Literatur zur Umweltanalytik ist somit auch unter Berücksichtigung der Häufigkeit ihres Auftretens in Publikationen insgesamt gering (vgl. auch Kap. 4.4).

Zeitliche Entwicklung von Einzelthemen

Zur Abschätzung der zeitlichen Entwicklung von Einzelthemen innerhalb der Umweltanalytik wurden in Tabelle 4.1 die prozentualen Änderungen der Anteile der einzelnen Begriffe an der Gesamtmenge der Publikationen berechnet. (Da je Dokument mehrere Deskriptoren vergeben werden, addieren sie die Prozentanteile auf über 100 %.) Ein Vergleich der Absolutwerte ist nicht aussagefähig, da sich generell die Gesamtzahl der Nennungen zwischen beiden Zeiträumen wesentlich unterscheidet. Zunächst werden die Medien diskutiert, dann die analytischen Methoden, gefolgt von den Stoffen und den biologierelevanten Stichworten.

Im Falle der **Umweltmedien** hat in der wissenschaftlichen Literatur die Bedeutung der für den Bereich wasserrelevanten Stichworte beim Übergang vom Jahr 1985 zum Jahr 1990 deutlich abgenommen. Dies gilt sowohl für die den eigentlichen **Wassercluster** ausmachenden Stichworte wie Wasseranalytik und Wasserbehandlung als auch für zusätzliche Themen wie Abwasser, Regenwasserablauf, Wasserressourcen oder Wasserversorgung. Einzig für den Begriff Wasserverschmutzung ist eine Zunahme des Anteils der dieses Thema beinhaltenden Dokumentationen erkennbar. Anders stellt sich das Bild bezüglich des Mediums **Luft** dar. Die all-

Tabelle 4.1: Zeitliche Entwicklung der häufigsten Themen der Umweltanalytik im Bereich der Wissenschaft

	1985 Anteil in % (N=761)	1990 Anteil in % (N=490)	Zuwachs in %
Luftverschmutzung	31.14	31.43	
Wasserverschmutzung	19.84	21.63	↑
Wasseranalytik	18.00	6.53	↓↓
Organika	15.51	11.84	↓
Chromatographie	10.91	11.63	↑
Abwasser	10.91	3.47	↓↓
Spektroskopie	8.28	7.35	↓
Kohlenwasserstoffe	6.44	6.33	
Aerosole	6.18	9.18	↑
chem. Analytik	6.04	4.69	↓
Regenwasserablauf	5.65	4.90	↓
Industrieabfälle	4.73	4.29	↓
Wasserbehandlung	4.73	4.08	↓
Biochemie	4.47	2.86	↓
Gefahrstoffe	4.20	5.71	↑
Atmosphäre	4.07	4.08	
chem. Reaktionen	4.07	3.47	↓
Wasserressourcen	3.94	0.82	↓↓
Fernerkundung	3.29	5.71	↑↑
Bakteriologie	3.02	1.63	↓
Chemikalien	2.63	1.63	↓
Staub	2.63	4.90	↑↑
Sensoren	2.63	4.29	↑↑
Meeresbiologie	2.50	1.63	↓
Schwefeldioxid	2.50	1.84	↓
Abgase	2.37	2.65	↓
Massenspektroskopie	2.37	4.49	↑↑
Pestizide	2.37	0.82	↓↓
Karzinogene	2.23	1.43	↓
Fluoreszenz	2.23	3.67	↑↑
Papierindustrie	2.10	1.02	↓↓
Boden	2.10	2.45	↑
Schwefel	2.10	0.20	↓↓
biol. Materialien	1.97	2.04	
Chlorverbindungen	1.97	1.63	↓
Computer	1.97	2.86	↑
Gase	1.97	2.65	↑
Seen	1.97	0.82	↓↓
Enzyme	1.84	0.20	↓↓
Meßgeräte	1.84	1.02	↓
Blei	1.84	0.61	↓↓
Stickstoffverbindungen	1.84	0.82	↓↓
Flüsse	1.84	1.84	
Wasserversorgung	1.84	1.43	↓
KFZ-Motoren	1.71	3.27	↑↑
Bodenverschmutzung	1.71	4.49	↑↑↑
Abfallbeseitigung	1.71	4.29	↑↑↑
Kohlenstoff	1.58	1.43	↓
radioaktiver Abfall	1.58	1.84	↑
Kohle	1.45	2.45	↑↑
Verbrennungsmotoren	1.45	2.24	↑↑
mathematische Modelle	1.45	2.24	↑↑
Ozon	1.45	1.02	↓
Probennahme	1.45	2.65	↑↑
Dieselmotoren	1.05	2.04	↑↑
Schwermetalle	1.05	1.84	↑↑
IR-Spektroskopie	1.05	3.67	↑↑↑
Kohlenmonoxid	0.92	2.45	↑↑↑
Biomasse	0.79	2.65	↑↑↑
Meteorologie	0.79	1.84	↑↑↑
Stickoxide	0.66	3.47	↑↑↑
Berufskrankheiten	0.66	2.24	↑↑↑
Aromaten	0.53	2.86	↑↑↑
Mutagene	0.39	2.24	↑↑↑
Algen	0.00	1.84	nach 1985
Küstenzonen	0.00	1.84	neu
Mikroorganismen	0.00	2.86	eingeführt

gemeinen Themen wie Luftverschmutzung oder Atmosphäre sind in ihrer Bedeutung etwa konstant. Zunehmend wichtiger geworden in der wissenschaftlichen Literatur sind außerdem diejenigen Begriffe, die sich mit partikulären Verunreinigungen und entsprechenden analytischen Problemen der Luft befassen. Hier sind besonders die Aerosole und Staub zu nennen. Ein klarer Trend ist beim Umweltmedium **Boden** zu beobachten. Die Anteile der Begriffe Bodenverschmutzung und **Abfallbeseitigung** haben sich mehr als verdoppelt. Offensichtlich hat die Bedeutung umweltanalytischer Fragestellungen im Zusammenhang mit den festen Umweltmedien in der wissenschaftlichen Literatur wesentlich an Bedeutung gewonnen.

Unter den umweltanalytischen **Methoden** hat die am häufigsten genannte Chromatographie von 1985 bis 1990 leicht zugenommen, während die Spektroskopie sowie die nicht weiter spezifizierte chemische Analytik an Bedeutung eingebüßt haben. Deutlich wichtiger sind dagegen aus Sicht der Wissenschaft die Fernerkundung, Sensoren, Massenspektroskopie, Fluoreszenz sowie die Infrarotspektroskopie (vgl. oben) geworden. Diese Methoden haben nicht nur ihre Anteile wesentlich erhöht, sondern wurden auch absolut häufiger in den wissenschaftlichen Publikationen genannt.

Bei den **Umweltschadstoffen** wurden die im ersten Zeitabschnitt häufigeren Substanzen im jüngeren Zeitraum generell nicht mehr so intensiv behandelt. Bemerkenswert ist die Gruppe derjenigen Schadstoffe, deren Bedeutung zugenommen hat. Es sind dies einerseits Kohlenmonoxid und Stickoxide, die vor allem beim Betrieb von Verbrennungskraftmaschinen gebildet werden, und Aromaten und Mutagene, zwischen denen ebenfalls ein inhaltlicher Zusammenhang besteht. Verschiedenen Aromaten wird eine mutagene Wirkung zugeschrieben. Offensichtlich werden diese beiden Themenfelder in der jüngeren wissenschaftlichen Literatur im Zusammenhang mit umweltanalytischen Fragestellungen stärker beachtet.

Bei den **biologierelevanten Stichworten** ergibt sich ein differenziertes Bild. Der eher wenig spezifische Begriff Biochemie hat deutlich an Bedeutung eingebüßt. Ebenso haben die Bakteriologie und die Meeresbiologie abgenommen. Dem steht eine Zunahme der spezifischeren Begriffe Mikroorganismen und Algen gegenüber. Geht man davon aus, daß Bakteriologie und Mikroorganismen sowie Meeresbiologie und Algen jeweils die gleiche Grundthematik beschreiben, so hat die Bedeutung der Themen Bakteriologie/Mikroorganismen und Meeresbiologie/Algen sogar deutlich zugenommen. Eine weitere bemerkenswerte Zunahme ist bei der Biomasse zu erkennen. Hier wurden nicht nur die Anteile, sondern auch die absoluten Nennungen in der wissenschaftlichen Literatur mehr als verdoppelt. Der einzige relevante Bedeutungsverlust bei den biologierelevanten Themen betrifft somit die Enzyme.

Strukturen im Jahr 1985

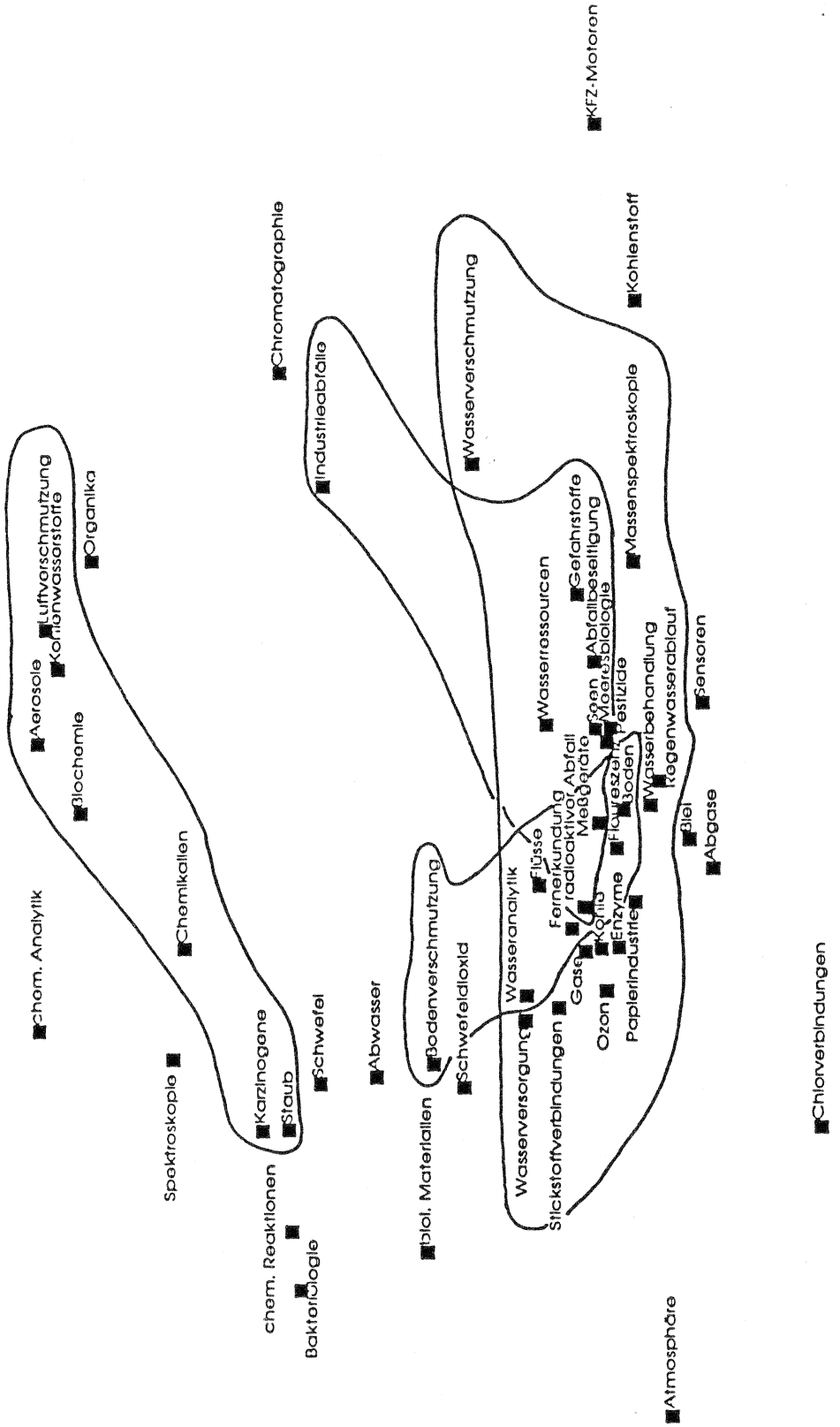
Die komplexen Bezüge zwischen den einzelnen in der wissenschaftlichen Literatur definierten Themen zur Umweltanalytik sind in Abbildung 4.1 dargestellt. Bei der Interpretation dieser Karte werden Schwerpunkte auf die Bezüge zwischen den Umweltmedien und zwischen den Analysemethoden gelegt. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Verortung der bisher erkennbaren biologischen Ansätze in der Umweltanalytik.

Medien, Substanzen, Analysemethoden

Die wichtigsten **Umweltmedien** sind in der Umweltanalytikkarte deutlich erkennbar. So liegt der aus den Begriffen Wasserversorgung, Wasseranalyse, Abwasser, Regenwasser und Wasserbehandlung gebildete **Wassercluster** im Süden der Karte. Im Norden ist ein **Luftcluster** erkennbar, der vor allem durch die Begriffe Luftverschmutzung, Aerosole und Staub gebildet wird. Zwei weitere zum Luftcluster zu zählende Begriffe verdeutlichen die methodische Problematik, die komplexen Informationen zweidimensional darzustellen. Erstens sind dies die Abgase, die einerseits eine deutliche Beziehung zum Luftcluster aufweisen. Andererseits besteht eine starke Koppelung zur Papierindustrie. Für die Papierindustrie wiederum ist eine enge Beziehung zum Abwassercluster im Süden charakteristisch. Die zweidimensionale Darstellung führt dazu, daß die Abgase ebenfalls im Süden angesiedelt sind. Zweitens ist dies der Begriff Atmosphäre. Auch dieser Begriff hat eine deutliche Bindung zum nördlichen Luftcluster, wird aber über eine ebenfalls starke Koppelung an Ozon, das wiederum aufgrund seines Einsatzes zur Wasserbehandlung erwartungsgemäß im südlichen Wassercluster angeordnet ist, aus diesem Zusammenhang herausgezogen. Bei den festen Medien ist im Osten des Wasserclusters ein **Abfallcluster** zu erkennen, der durch Begriffe wie Industrieabfälle, Gefahrstoffe, Abfallbeseitigung und radioaktive Abfälle definiert wird. Über einen deutlichen Bezug dieses Clusters zu den Industriezweigen Papierverarbeitung und Schwermetalle ergibt sich eine Überlappung mit dem Wasserbereich. Im westlichen Teil des Wasserclusters ist über die Begriffe Boden und Bodenverschmutzung ein **Bodencluster** definiert.

Beziehungen zwischen den Medien sind vor allem für Luft und Wasser sowie für Boden und Wasser erkennbar. Die Brücke zwischen Luft und Wasser wird einerseits über die Substanzen Ozon und Schwefel geschlagen und andererseits über den Industriezweig Papierverarbeitung. Beides ist durchaus plausibel, da Ozon einerseits als Luftkomponente und andererseits als Medium zur Wasserbehandlung genutzt wird. Schwefel wiederum kann ebenfalls als Luft- oder Wasserkontamination auftreten. Die Papierindustrie wiederum wirft sowohl hinsichtlich ihres Beitrags zur Luft- als auch zur Wasserverschmutzung erhebliche Probleme auf. Die Beziehung zwischen Boden und Wasser beruht, anders als der Zusammenhang zwischen Luft und Wasser,

Abbildung 4.1: Umweltanalytik im Jahr 1985 - Strukturen in der Wissenschaft



auf direkten gemeinsamen Nennungen in wissenschaftlichen Publikationen und nicht auf der Vermittlung über Methoden, Substanzen oder Industriezweige.

Die wichtigste **Methode** in der Umweltanalytik, die Chromatographie, hat offensichtlich die größte Bedeutung für Analysen in den Medien Luft und Wasser. Hier sind deutlich engere Koppelungen festzustellen als zum Bereich Boden oder feste Abfälle. Auch die zweitwichtigste Methode, die Spektroskopie, weist überwiegend Bezüge zur Luft und zum Wasser auf. Chemische Analysen sind vor allem mit dem Luftbereich verknüpft.

Biologische Komponenten

Der wichtigste **biologische Ansatz** in der Umweltanalytik ist mit dem Stichwort **Biochemie** umrissen. Die wichtigsten Bezüge biochemischer Ansätze ergeben sich zu den Medien Luft und Wasser. Da die Koppelungen zur Luft deutlich stärker sind, ist die Lage im Norden der Karte plausibel. Wie die Beziehungen zur chemischen Analytik, zur Chromatographie und zu den anderen biologischen Ansätzen Bakteriologie und Enzyme zeigen, spielt die Kombination von Methoden bei biochemischen Analysen durchaus eine Rolle. Die größte Bedeutung kommt den biochemischen Ansätzen bei der Analyse von organischen Chemikalien inklusive Kohlenwasserstoffen zu. Weiterhin bestehen Bezüge zu nicht näher definierten Chemikalien, zu krebserregenden Substanzen und zu biologischen Materialien.

Die **Bakteriologie** im Bereich der Umweltanalytik weist vor allem Bezüge zu den Medien Luft und Abwasser auf. Der Abwasserbezug unterstreicht die Bedeutung der Bakteriologie oder allgemein der Mikrobiologie in diesem Bereich auch für analytische Zwecke. Der inhaltliche Bezug zur Luftverschmutzung kommt dagegen eher überraschend und müßte durch eine genauere Analyse der betroffenen wissenschaftlichen Originalarbeiten inhaltlich hinterfragt werden. Da es sich bei der Bakteriologie um einen sehr allgemeinen Begriff handelt, ist es nicht überraschend, daß keine deutliche Struktur bei Beziehungen zu Methoden für die Umweltanalytik zu erkennen ist. Bei den zu analysierenden Schadstoffen sind starke Bezüge zu organischen Chemikalien allgemein sowie zu Kohlenwasserstoffen zu erkennen. Über die Kohlenwasserstoffe erfolgt zudem eine indirekte Koppelung an den Luftcluster.

Der nächste biologierelevante Begriff, **biologische Materialien**, beinhaltet vor allem funktionelle und strukturelle Bestandteile von Lebewesen. Es handelt sich also nicht um technische Materialien biologischen Ursprungs wie beispielsweise Biopolymere. Diese Begriffsdefinition ist wesentlich für die Interpretation der Verwandtschaftsbeziehungen dieses Feldes. Bezüglich der Medien ist eine starke Koppelung an den Wassercluster und hier insbesondere an die Begriffe Wasseranalyse und Abwasser zu beobachten. Eine schwächere Anbindung existiert auch zum Luftbereich. Aufgrund dieser Bezüge erklärt sich die prinzipielle Lage im Westen zwi-

schen dem Luft- und dem Wassercluster. Bei den Methoden besteht ein Bezug zur chemischen Analytik und, was nicht direkt aus der Karte, sondern aus der tabellarischen Verflechtungsmatrix hervorgeht, zur Chromatographie. Auf der stofflichen Seite ist eine Verwandtschaft zu den Chlorverbindungen, zu organischen Chemikalien und zu Blei bzw. Bleilegierungen zu beobachten. Insgesamt ist die Position der biologischen Materialien in der Karte der Umweltanalytik durchaus plausibel, da sie verdeutlicht, daß in der Wissenschaft vor allem die schädigenden Effekte von bestimmten Chemikalien wie Chlorverbindungen, organischen Verbindungen oder Bleiverbindungen auf biologische Komponenten wie z. B. Blut thematisiert werden. Analysemethoden hierfür sind die chemische Analytik und die Chromatographie.

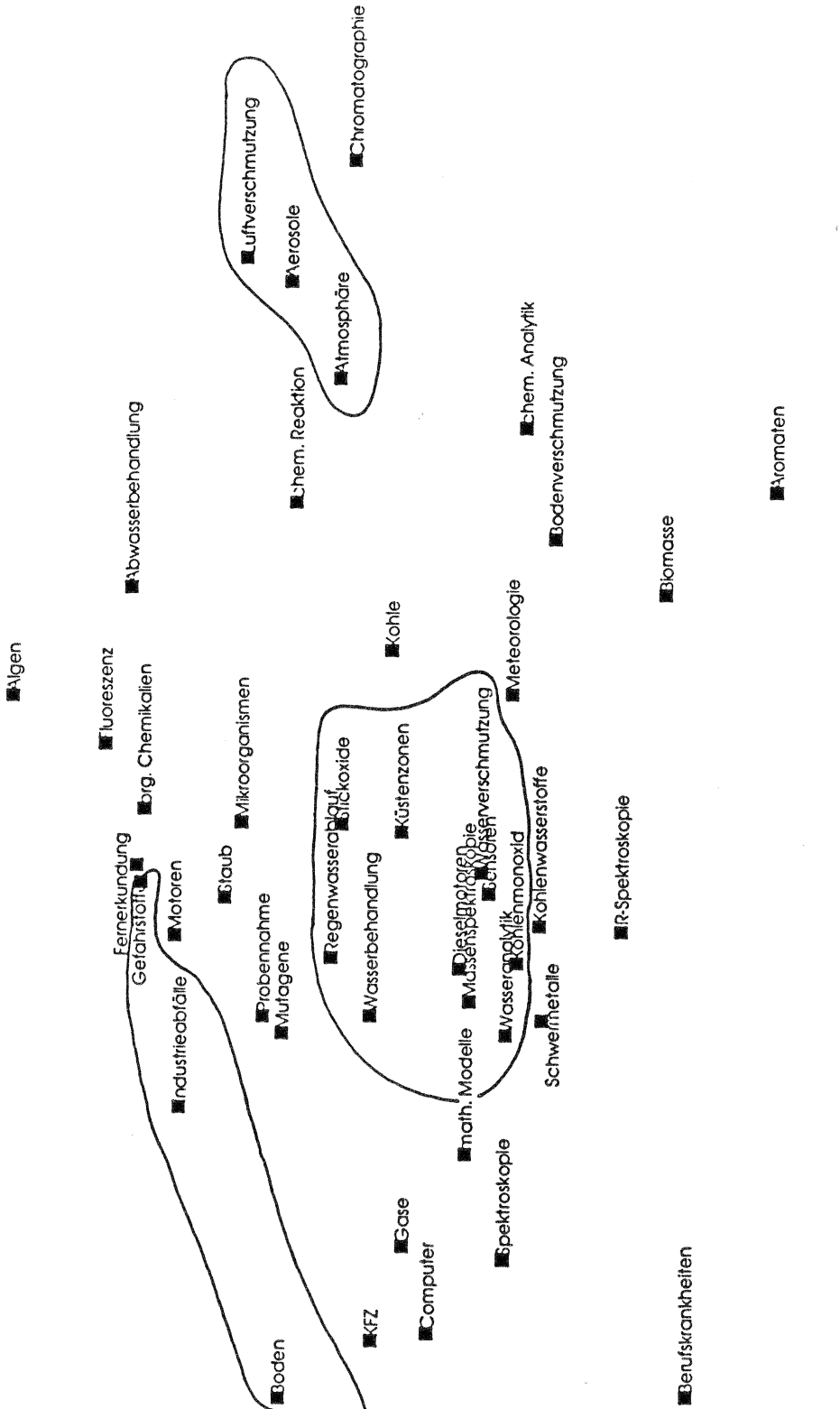
Der Begriff **Enzyme** taucht relativ selten unter den Begriffspaaren auf. Daher sind auch keine deutlichen Strukturen zu erkennen. Lediglich der enge Bezug zum Wassercluster, in den die Enzyme praktisch eingebettet sind, ist offensichtlich. Diese Verbindung spiegelt die Nutzung von Enzymen für die Wasseranalytik wider.

Strukturen im Jahr 1990

Medien, Substanzen, Analysemethoden

Die Struktur der Umweltanalytik aus Sicht der Wissenschaft im Jahr 1990 scheint sich auf den ersten Blick stark von der entsprechenden Struktur im Jahr 1985 zu unterscheiden (vgl. Abb. 4.2 und 4.1). Die genauere Analyse ergibt jedoch, daß dies nur teilweise zutrifft. Grundsätzlich gleich geblieben sind die relativen **Bezüge zwischen den verschiedenen Medien**. Auch 1990 ist ein klarer **Wassercluster** im Süden der Karte zu identifizieren. Er wird vor allem durch die Stichworte Wasserverschmutzung, Wasseranalytik und Wasserbehandlung definiert (Abb. 4.2). Auch der **Luftcluster** im Nordosten der Karte ist deutlich zu erkennen. Seine Struktur ist noch ausgeprägter als im Jahr 1985. Dies liegt vor allem an der Tatsache, daß nicht nur die Stichworte Luftverschmutzung und Aerosole in dieser Region lokalisiert sind, sondern zusätzlich auch wie erwartet der Begriff Atmosphäre. Die Zuordnung der Atmosphäre zum "richtigen" Cluster ergibt sich dadurch, daß in der 1990er-Karte Ozon als Stichwort nicht mehr auftaucht. Die Doppelbeziehung von Ozon sowohl zur Atmosphäre als auch zur Wasserbehandlung war ja bei der Karte für das Jahr 1985 dafür verantwortlich gewesen, daß der Begriff Atmosphäre trotz deutlicher Bezüge zum Luftcluster an der "falschen" Stelle aufzufinden war. Angesichts der intensiven Diskussion in den letzten Jahren über den Abbau der Ozonschicht in der Atmosphäre ist das Verschwinden dieses Begriffes aus der Liste der 50 häufigst genannten Stichworte im Bereich der Umweltanalytik im Jahr 1990 überraschend. Offensichtlich schlägt sich die intensive öffentliche Diskussion nicht in entsprechendem Maße in der wissenschaftlichen Literatur nieder. Dies kann allerdings nur eine Hypothese sein, die durch eine systemati-

Abbildung 4.2: Umweltanalytik im Jahr 1990 - Struktur in der Wissenschaft



sche inhaltliche Analyse der entsprechenden Originalartikel überprüft werden müßte. Der dritte erkennbare Medienclustcr betrifft die feste Phase und umfaßt Begriffe wie **Boden und Abfallbeseitigung** im Westen der Karte. Die relativen Beziehungen zwischen diesen prinzipiellen Medienclustern des Bereichs Umweltanalytik haben sich beim Übergang von 1985 zu 1990 geändert. Die Ursache hierfür sind die teilweise veränderten Verwandtschaftsbeziehungen zwischen den Medien und den Methoden und zwischen den Medien und den Substanzen.

Auch im Jahr 1990 zählen zu den wichtigsten **Methoden** für die Umweltanalytik die Chromatographie, Spektroskopie, Fernerkundung, nicht näher definierte chemische Analysen, die Massenspektroskopie, Sensoren und die Fluoreszenz. Als neue Methode 1990 taucht die Infrarotspektroskopie unter den häufigst genannten Stichworten auf. Im folgenden werden Gemeinsamkeiten und Änderungen der Methodenbezüge zu den Umweltmedien diskutiert. Hieraus ergeben sich erste Hinweise für eine möglicherweise geänderte Bedeutung der verschiedenen methodischen Ansätze für die Analyse von Schadstoffbelastungen in den betrachteten Medien.

Im Falle der wichtigsten Methode, der **Chromatographie**, bleiben die engen Beziehungen zum Luft- und zum Wassercluster im Prinzip erhalten. Die größere Nähe zum Luftcluster im Jahr 1990 liegt nicht an einer verstärkten direkten Beziehung der Chromatographie zum Luftmedium, sondern wird indirekt über eine verstärkte Verwandtschaft zu den chemischen Reaktionen, die wiederum eine deutliche Verbindung zur Luftverschmutzung haben, vermittelt. Insgesamt deutet diese Struktur darauf hin, daß das Thema chemische Analysen von Schadstoffbelastungen in der Luft insgesamt an Bedeutung zugenommen hat. Bei den mit Hilfe chromatographischer Verfahren analysierten Substanzen kristallisiert sich im Jahr 1990 ein gewisser Schwerpunkt bei den Aromaten heraus. Der noch im Jahr 1985 vorhandene eher gleichmäßig verteilte Bezug zu den verschiedenen Schadstoffklassen ist somit offensichtlich aufgelöst worden.

Die Bedeutung der **Spektroskopie** in der Umweltanalytik erstreckt sich auch im Jahr 1990 vor allem auf die Medien Wasser und Luft. Diese Beziehung ergibt sich vor allem aus der Analyse der Verflechtungsmatrix. In der Karte (Abb. 4.2) wird diese prinzipielle Relation überlagert durch zwei weitere starke Beziehungen. Zum einen ist dies eine Verbindung zu den Kraftfahrzeugen, zu Dieselmotoren und zu Schwermetallen. Diese Verbindung deutet auf eine steigende Bedeutung spektroskopischer Methoden für die Analytik von Umweltbelastungen, die durch den Kfz-Betrieb hervorgerufen werden (z. B. Detektion von Blei), hin. Die zweite Überlagerung ist eine deutliche inhaltliche Nähe der Spektroskopie zu den Kohlenwasserstoffen. Die Kohlenwasserstoffe wiederum haben von 1985 nach 1990 eine bemerkenswerte Verlagerung aus dem Luftcluster in den Wassercluster und auch in Richtung des Bodenclusters durchgemacht. Offensichtlich sind Kohlenwasserstoffe als Schadstoffe im Zusammenhang mit umweltanalytischen Fragestellungen in jüngerer Zeit in den Medien Wasser und Boden wichtiger

geworden. Diese Verlagerung hat letztlich auch die Spektroskopie in eine Position westlich des Wasserclusters gezogen, obwohl die Verbindung zum Luftcluster ähnlich stark ist.

Bei der **chemischen Analytik** ist beim Vergleich der beiden Zeitpunkte eine Bewegung in Richtung auf den Wassercluster zu beobachten. Gleichzeitig kristallisiert sich ein stärker werdender Bezug zu Aromaten als zu analysierenden Schadstoffklassen heraus.

Die als neue Methode unter den 50 häufigsten Stichworten der Umweltanalytik aufgetauchte **Infrarotspektroskopie** zeigt in der Verflechtungsmatrix vor allem Beziehungen zum Wasser- und zum Luftcluster. Gleichzeitig besteht eine inhaltliche Nähe zur Massenspektroskopie und zu nicht näher spezifizierten spektroskopischen Methoden. Diese Beziehungen sind dafür verantwortlich, daß die Infrarotspektroskopie in der 1990er-Karte näher beim Wassercluster liegt als beim Luftcluster. Gleichzeitig deutet diese Verflechtung auf die Bedeutung eines Methodenmixes verschiedener spektroskopischer Ansätze inklusive der Massenspektroskopie hin.

Eine interessante Veränderung vom Jahr 1985 zum Jahr 1990 hat sich beim Stichwort **Kraftfahrzeuge** ergeben. 1985 gab es schwache Bezüge zum Luftcluster, zu Blei als Schadstoff und allgemein zu Industrieabfällen. Aus der insgesamt wenig intensive Verflechtung resultierte eine eher externe Lage im Südosten der Karte. 1990 haben die Verflechtungen des Begriffs Kraftfahrzeuge deutlich zugenommen. Dadurch hat sich die Position der Kraftfahrzeuge in eine deutlich zentralere Lage im mittleren Westen der Karte verschoben. Insgesamt deutet dies darauf hin, daß in den wissenschaftlichen Publikationen der jüngeren Zeit Kraftfahrzeugen im Zusammenhang mit umweltanalytischen Fragestellungen verstärkte Aufmerksamkeit zukommt.

Biologische Komponenten

Die **Anzahl der biologierelevanten Stichworte** unter den 50 häufigsten Bezügen im Bereich Umweltanalytik hat sich beim Übergang vom Jahr 1985 zum Jahr 1990 nicht verändert. Beide Male finden sich fünf Begriffe. Insgesamt ist allerdings eine leichte Zunahme der Gesamthäufigkeit der Nennung dieser Begriffe zu beobachten. Dies deutet insgesamt auf eine leicht gestiegene Bedeutung biologierelevanter Ansätze für umweltanalytische Fragen hin (vgl. auch Kap. 4.4). Weiterhin haben sich die Begriffe selbst geändert. Neu hinzugekommen sind die Mikroorganismen, die Algen und die Biomasse. Mikroorganismen und Algen wurden allerdings erst nach 1985 in den Thesaurus aufgenommen. Die Einführung dieser neuen Begriffe ging ganz offensichtlich zu Lasten der Bakteriologie und der Meeresbiologie, die im Jahr 1985 noch in der Karte präsent waren, die aber im Jahr 1990 nicht mehr zu den 50 häufigsten Begriffen zählten. Außerdem hat auch die Bedeutung der Enzyme abgenommen, so daß sie nicht mehr in der Karte repräsentiert sind. Diese Bewegung kommt überraschend, da eher zu erwarten gewe-

sen wäre, daß die Bedeutung von Enzymen vor allem im Zusammenhang mit enzymgekoppelten Immuntests auch in der Umweltanalytik in jüngerer Zeit an Bedeutung zugenommen hätte.

Bei den **biochemischen Analyseansätzen** ist eine deutliche Änderung der Lage zu erkennen. Die Position im äußersten Westen der 1990er-Karte ergibt sich vor allem durch die folgenden Bezugsänderungen: Die starke Verbindung zum Luftcluster im Jahr 1985 hat 1990 deutlich abgenommen. Die inhaltliche Nähe zu Kohlenwasserstoffen blieb dagegen erhalten. Da nun die Kohlenwasserstoffe wie schon erwähnt 1990 eine deutliche Verschiebung zum Wassercluster erfahren haben, wurde auch die Biochemie aus der Luft in Richtung Wasser verschoben. Ein dritter Faktor ist ein deutlicher Bezug zu biologischen Materialien, die ebenfalls weit westlich lokalisiert sind. Insgesamt ergibt sich somit ein Bedeutungszuwachs biochemischer Ansätze für umweltanalytische Probleme im Medium Wasser.

Der neue Begriff **Mikroorganismen** ist zum zweitwichtigsten biologierelevanten Begriff geworden. Die zentrale Position in der Karte ergibt sich über starke Beziehungen zu organischen Chemikalien und Gefahrstoffen im Norden sowie zum Wassercluster im Süden. Offensichtlich sind Mikroorganismen in der wissenschaftlichen Literatur vor allem im Zusammenhang mit analytischen Fragestellungen im Medium Wasser, die sich überwiegend auf Gefahrstoffe und organische Chemikalien beziehen, ein Thema.

Der zweite neue biologische Begriff, die **Biomasse**, weist schwächere Bezüge zu den Medien Luft und Wasser auf sowie eine sehr starke Verbindung zum Stichwort Bodenverschmutzung. Vermutlich wird hiermit das Problem der Bodenbelastung im Zusammenhang mit Biomasseerzeugung thematisiert. Interessanterweise weisen beide Begriffe in der Verflechtungsmatrix Bezüge zur Biochemie auf. Dies deutet darauf hin, daß bei den analytischen Fragen, die sich aus der Verbindung von Biomasseerzeugung und Bodenverschmutzung ergeben, biochemische Ansätze eine Rolle spielen.

Bei den **biologischen Materialien** bestätigt sich in der 1990er-Karte die für den älteren Zeitraum formulierte Interpretation, wonach es bei diesem Themenkomplex vor allem um Analyseprobleme im Zusammenhang mit der Belastung biologischer Komponenten (z. B. Blut) durch Umweltschadstoffe geht. Eine interessante Veränderung ist die deutlichere Verbindung von Kraftfahrzeugen zu diesem Bereich. Dies deutet darauf hin, daß in jüngerer Zeit die Bedeutung von Kraftfahrzeugen als Quellen für Schadstoffbelastungen biologischer Materialien in der wissenschaftlichen Literatur stärker thematisiert wurden.

Der dritte neue biologische Begriff, die **Algen**, zeigt insgesamt nur wenige schwache Bezüge. Diese insgesamt geringe Verflechtung führte zusammen mit der schon erwähnten zweidimensionalen Darstellungsproblematik dazu, daß die Algen in eine Randlage geraten, die die schwa-

chen Verknüpfungen nicht mehr erkennen läßt. Aus der Verflechtungsmatrix ergeben sich dagegen die erwarteten Bezüge zum Medium Wasser und zur Biomasse. Bei den analytischen Methoden ist eine inhaltliche Verknüpfung zu Fluoreszenz erkennbar. Auch dies ist plausibel, da Algen beispielsweise über die Fluoreszenz bestimmter Farbstoffe meßbar sind.

Umweltanalytik - Strukturen und Trends im Bereich der Wissenschaft

1. Umweltmedien

Luft und Wasser waren Mitte der 80er Jahre mit Abstand die häufigsten Medien in der wissenschaftlichen Literatur zur Umweltanalytik. Am Beginn der 90er Jahre hat die Bedeutung des Wasserkompartimentes deutlich abgenommen. Das Umweltmedium Luft ist hingegen wichtiger geworden, was vor allem auf einer stärkeren Thematisierung von Analysefragen im Zusammenhang mit partikulären Luftverunreinigungen beruht. Stark zugenommen hat die Bedeutung umweltanalytischer Fragestellungen im Zusammenhang mit den festen Umweltmedien (Boden, Abfälle). Inhaltliche Verflechtungen werden vor allem zwischen Luft und Wasser und zwischen Wasser und Boden gesehen. Diese Beziehungen bleiben im Zeitverlauf im wesentlichen erhalten.

2. Methoden

Chromatographie und Spektroskopie sind die wichtigsten Methoden zur Umweltanalytik im Bereich der Wissenschaft. Anfang der 90er Jahre ist ein Trend hin zu verfeinerten methodischen Ansätzen, wie Massenspektroskopie, Fluoreszenz, Infrarotspektroskopie, Sensoren und Fernerkundung, zu erkennen. Die wichtigsten Anwendungsfelder der umweltanalytischen Methoden sind die Medien Luft und Wasser.

3. Schadstoffe

Mitte der 80er Jahre konzentriert sich die Umweltanalytik im Bereich der Wissenschaft vor allem auf organische Chemikalien, Schwefel-, Chlor- und Stickstoffverbindungen sowie Blei mit seinen Verbindungen. Zu Beginn der 90er Jahre gewinnen Kohlenmonoxid und Stickoxide, die vor allem beim Betrieb von Verbrennungskraftmaschinen (z. B. Kraftfahrzeuge) gebildet werden, sowie Aromaten, andere Kohlenwasserstoffe und Mutagene an Bedeutung. Weiterhin ist eine Verlagerung der Kohlenwasserstoffe in Richtung auf das Wasserkompartiment zu erkennen.

4. Biotechnologische Ansätze

Insgesamt ist der Anteil biotechnologierelevanter Schlüsselbegriffe in der wissenschaftlichen Literatur zur Umweltanalytik relativ gering. Vor allem allgemeine Ansätze, wie biochemische Methoden oder Mikroorganismen, werden für analytische Fragestellungen diskutiert. Spezifische biotechnische Analyse- bzw. Überwachungsverfahren, beispielsweise auf der Basis von Biosensoren oder Immuntests sind in der wissenschaftlichen Literatur kein häufig genanntes Thema. Anfang der 90er Jahre hat die Bedeutung biotechnologischer Ansätze zugenommen, wobei insbesondere die Analyse von organischen Verbindungen und Gefahrstoffen im Medium Wasser wichtiger wird.

4.1.2 Strukturen und Trends im Bereich der technischen Entwicklung

Im Bereich Umweltanalytik waren im zu analysierenden Zeitraum nur relativ wenige Patentanmeldungen zu verzeichnen. Daher ist eine Aufteilung der Anmeldungen auf zwei Zeiträume zur Ermittlung der zeitlichen Entwicklung von Strukturen in diesem Technikbereich nicht durchführbar. Die folgende Analyse basiert somit auf Patentanmeldungen im Gesamtzeitraum 1984 bis 1991.

Eine zweite Einschränkung ist vorweg zu schicken. Generell ergab die multivariate Analyse, daß die Anzahl der Mehrfachklassifikationen in diesem Feld zu gering ist, um eine methodisch korrekte Karte dieses Technikfeldes zu konstruieren. Für das Technikgebiet selbst ist aus dieser Beobachtung zu schließen, daß bei den insgesamt analysierten 765 Patentanmeldungen in der Umweltanalytik generell nur relativ wenige inhaltliche Querbezüge gesehen werden. Die einzelnen Teilbereiche der Umweltanalytik stehen vielmehr eher isoliert dar. Im folgenden wird daher auf eine Interpretation der nur schwach oder überhaupt nicht vorhandenen Querbezüge verzichtet. Aussagen über die Bedeutung der einzelnen Teilbereiche lassen sich dennoch aus den jeweiligen Klassenhäufigkeiten ableiten (Tab. 4.2). Dabei werden zunächst die Umweltmedien besprochen, gefolgt von den Analysemethoden und schließlich den biologisch relevanten Ansätzen.

Die wichtigsten **Umweltmedien**, für die Patente im Bereich der Umweltanalytik angemeldet wurden, sind das Wasser und die Luft. Gemessen an der Anzahl der Patentanmeldungen kommt dem Medium Boden nur ca. ein Drittel der Bedeutung der anderen beiden Medien zu. Die Schwerpunkte der wissenschaftlichen Arbeiten im Bereich der Umweltanalytik (Kap. 4.1.1) spiegeln sich somit offensichtlich auch in den eher auf technische Entwicklungen ausgerichteten Patentanmeldungen wider.

Die wichtigsten **Meßmethoden** sind elektrische Verfahren, zu denen auch elektrochemische und magnetische Ansätze zählen. Hierzu gehören beispielsweise verschiedene Elektrodentypen zur Messung unterschiedlichster chemischer Parameter. An zweiter Stelle folgen optische Analyseverfahren, die nicht auf Untersuchungen eines Spektrums beruhen. Die zugrunde liegenden physikalischen Phänomene sind beispielsweise die Lichtstreuung oder die Reflexion. Spektroskopische Verfahren werden separat in einer Gruppe zusammengefaßt. Allgemeine chemische Methoden, mechanische Methoden sowie allgemeine biologische Meßverfahren haben jeweils eine ähnlich große Bedeutung. Explizit werden auch Immuntests in der Liste der wichtigsten Meßverfahren für die Umweltanalytik genannt.

Tabelle 4.2: Patentanmeldungen für den Bereich Umweltanalytik im Zeitraum 1984 bis 1991

	1984-1991 Anteil in % (N=765)
elektrische Mess.	20,78
Wasser	9,02
optische Analysen	8,37
Luft	7,97
Probenvorbereitung	5,75
chem. Methoden	4,97
mechan. Mess.	4,84
biol. Meßverfahren	4,31
Tiefbohren	3,27
Boden	2,75
biolog. Stoffe	2,61
Immunoassays	2,48
thermische Analysen	1,96
Chromatographie	1,96
Trennen	1,83
biol. Geräte	1,57
Diagnostik	1,44
chem.-phys. Verfahren	1,44
Geophysik	1,44
Abwasserbehandlung biol	1,31
Schallmess.	1,18
Abwasserbehandlung	1,05
Spektroskopie	1,05
Laborgeräte	0,92
Volumenmess.	0,92
Bauelemente	0,78
Größenmessung	0,78
Teilchenstrahlung	0,78
automat. Analyse	0,78
Signalsysteme	0,78
Zusatzstoffe	0,65
Enzyme	0,65
Mess. der Dichtheit	0,65
Öle	0,65
Entladungsröhren	0,65

Neben den eigentlichen Meßverfahren spielt bei den Patentanmeldungen auch die vorgelagerte Tätigkeit der Probenvorbereitung eine wichtige Rolle. Die gleichen Analysemethoden, die bereits in der wissenschaftlichen Literatur genannt wurden, treten auch in den eher anwendungsorientierten Patentanmeldungen auf, allerdings mit unterschiedlicher Wichtung. Besonders deutlich wird dies bei der Chromatographie und der Spektroskopie. Diese sind im Wissenschaftsbereich bei weitem die wichtigsten Verfahren, während sie dagegen in der technisch ausgerichteten Patentliteratur eher zu den seltener genannten Verfahren zählen. Im technischen Bereich dominieren dagegen die eher klassischen elektrischen und optischen Verfahren.

Biologische Analyseverfahren haben sich unter den wichtigsten Methoden in der Umweltanalytik etabliert. Die allgemeinen biologischen Meßverfahren, zu denen beispielsweise Messungen mit Hilfe von Mikroorganismen oder Enzymen zählen, gehören zu den vier wichtigsten Analyseverfahren. Berücksichtigt man, daß die separat aufgeführten Gruppen Immuntests und biologische Geräte ebenfalls zu den wichtigeren Verfahren in der Umweltanalytik zählen, so ist die Bedeutung biologischer Ansätze in der Umweltanalytik, wie sie sich in der Patentliteratur dokumentiert, noch höher einzuschätzen.

Insgesamt ergibt sich somit aus der Analyse wissenschaftlicher Publikationen und Patente im Bereich der Umweltanalytik, daß biologische Analyseverfahren nicht nur ein Thema wissenschaftlicher Aktivitäten sind, sondern sich auch im Bereich der Technikentwicklung, wie er durch Patentanmeldungen dokumentiert wird, etabliert haben.

Umweltanalytik - Strukturen und Trends im Bereich der technischen Entwicklung

1. Umweltmedien

Den Medien Wasser und Luft kommt zentrale Bedeutung zu, der Boden spielt eine untergeordnete Rolle.

2. Methoden

Elektrische, elektrochemische und magnetische sowie optische Analyseverfahren dominieren.

3. Biotechnologische Ansätze

Sowohl allgemeine biologische Meßverfahren als auch spezielle Verfahren, wie Immuntests, haben sich in der Umweltanalytik unter den wichtigsten Verfahren im Bereich der Technikentwicklung etabliert.

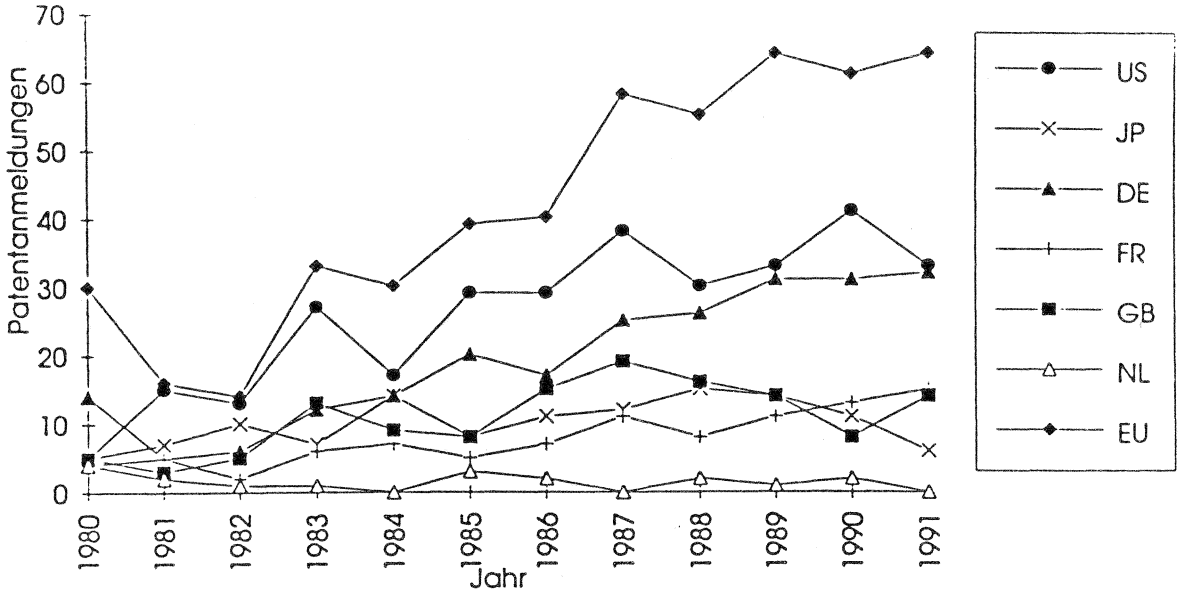
4.1.3 Allgemeine zeitliche Entwicklungstrends

Während der 80er Jahre hat die Anzahl der Patentanmeldungen im Bereich Umweltanalytik stetig zugenommen (Abb. 4.3). 1990 wurden weltweit fast dreimal soviel Patente in diesem Bereich angemeldet wie 1980. Allerdings ist Anfang der 90er Jahre eine gewisse Stagnation der Entwicklung zu erkennen. Der größte Anteil der Patentanmeldungen in der Umweltanalytik stammt während der gesamten 80er Jahre aus den Ländern der Europäischen Union (Abb. 4.4). Innerhalb Europas wiederum stammen die meisten Anmeldungen aus der Bundesrepublik. Großbritannien lag bis etwa Mitte der 80er Jahre auf ähnlichem Niveau wie die Bundesrepublik, hat dann jedoch an Boden verloren. Frankreich und die Niederlande haben über den gesamten Zeitraum nur sehr wenige Patente in diesem Bereich angemeldet. Die USA sind nach Europa zweitwichtigster Patentanmelder der Triade innerhalb des Bereichs Umweltanalytik. Vor allem gegen Ende der 80er Jahre ist eine gewisse Stagnation in den USA zu erkennen, während die europäischen Anmeldungen auch dann noch weiter anstiegen. Dies hat insgesamt zu einer Vergrößerung des Abstandes zwischen Europa und den USA geführt. Japan spielt in diesem Technikbereich keine bedeutende Rolle. Die Anzahl der jährlichen Patentanmeldungen blieb während der gesamten 80er Jahre auf nahezu konstant niedrigem Niveau. Aus Sicht der Triade sind somit im Bereich Umweltanalytik Europa und USA eindeutig dominierend.

Abbildung 4.3 Zeitliche Entwicklung von Patentanmeldungen im Bereich Umweltanalytik



Abbildung 4.4: Länderspezifische Aufschlüsselung der zeitlichen Entwicklung von Patentanmeldungen im Bereich Umweltanalytik



4.2 Abbau von Umweltbelastungen

4.2.1 Strukturen und Trends im Bereich der Wissenschaft

Mitte der 80er Jahre waren im Bereich Abbau von Umweltbelastungen wie auch bei der Umweltanalytik (vgl. Kap. 4.1.1) die Luft und das Wasser die wichtigsten Medien, auf die sich die relevanten wissenschaftlichen Arbeiten konzentrierten (Tab. 4.3). Die wichtigsten Unterthemen im Wasserkompartiment sind die Wasserverschmutzung, Abwasser sowie die Regenwasserablaufbehandlung. Deutlich seltener als die Luft und das Wasser werden in der wissenschaftlichen Literatur das Umweldkompartiment Boden sowie die festen Abfälle thematisiert.

Ein Großteil der häufigsten Stichworte in der wissenschaftlichen Literatur zum Abbaubereich beschreibt die Art der Umweltverschmutzung (Tab. 4.3). An erster Stelle stehen hierbei nicht näher spezifizierte industrielle Abfälle. Die zweitwichtigste Gruppe von Abfallstoffen bilden die radioaktiven Abfälle. Eine dritte bedeutende Gruppe sind die organischen Verbindungen und Chemikalien, zu denen auch ein Großteil der Gefahrstoffe zu zählen sein dürfte. Ebenfalls relativ häufig werden Luftschadstoffe genannt, zu denen sowohl gasförmige Komponenten wie Schwefeldioxid und Kohlenwasserstoffe als auch partikuläre Verunreinigungen wie Aerosole und Staub zählen. Weitere Begriffe zur Schadstoffcharakterisierung, die jeweils weniger häufig genannt werden, sind landwirtschaftliche Abfallstoffe, nicht näher definierte Stickstoff- und Schwefelverbindungen sowie Ozon.

Tabelle 4.3: Zeitliche Entwicklung der häufigsten Themen des Bereichs "Abbau von Umweltbelastungen" in der Wissenschaft

	1985 Anteil in % (N=7130)	1990 Anteil in % (N=4277)	Zuwachs in %
Luftverschmutzung	27.85	27.19	
Wasserverschmutzung	21.85	19.99	↓
Abwasser	19.00	12.35	↓
Abfallbeseitigung	9.21	9.87	↑
Regenwasserablaufbehandlung	8.68	7.39	↓
Industrieabfälle	7.28	5.75	↓
org. Verbindungen	5.09	5.73	↑
Wasserbehandlung	4.75	2.76	↓
Wasserressourcen	4.74	3.44	↓
Gefahrstoffe	4.50	5.54	↑
Abgase	4.47	4.61	
radioaktive Abfälle	3.84	1.82	↓↓
Boden	3.56	4.37	↑
radioaktive Materialien	3.39	0.96	↓↓
chem. Reaktionen	3.38	3.37	
Aerosole	2.96	5.00	↑↑
Müllbeseitigung	2.62	4.23	↑↑
Schwefeldioxid	2.57	2.31	↓
Chemikalien	2.36	1.26	↓
Papierindustrie	2.33	1.29	↓
Wasserversorgung	2.31	2.20	↓
Wasseranalytik	2.29	1.17	↓
Kohlenwasserstoffe	2.20	2.83	↑
Staub	2.19	3.18	↑
Wasserströme	2.17	3.37	↑↑
Biochemie	2.16	2.17	
Bodenverschmutzung	2.13	3.41	↑↑
Flüsse	2.09	2.95	↑
Meeresbiologie	2.08	0.72	↓↓
Kesselbeheizung	1.95	0.94	↓↓
Wasserbakteriologie	1.94	1.19	↓
landwirtsch. Abfälle	1.92	1.12	↓
Industrieanlagen	1.88	1.89	
Stickstoffverbindungen	1.77	0.37	↓↓
Regenwasserablauf	1.77	2.95	↓↓
Meteorologie	1.75	2.03	↑
Flüssigkeitsströme	1.71	2.81	↑↑
Bakteriologie	1.67	0.58	↓↓
Schwefelverbindungen	1.63	0.96	↓
Atmosphäre	1.50	1.64	↑
KFZ-Motoren	1.50	2.08	↑
Seen	1.49	1.43	
Abwasserkanal	1.42	1.94	↑
Abfallverwertung	1.36	0.00	↓↓
Verbrennung	1.33	1.22	↓
Staubauffänger	1.30	1.03	↓
chem. Apparate	1.28	1.19	↓
Organika	1.28	2.41	↑↑
Ozon	1.26	1.54	↑
Wasserleiter	0.00	2.20	nach 1985
Biomasse	0.00	1.87	neu
Bioreaktoren	0.00	2.76	eingeführt
Dieselmotoren	0.00	3.34	
Kraftstoff	0.00	1.78	
Schwermetalle	0.00	1.75	
Verbrennungsmotoren	0.00	2.62	
Deponien	0.00	2.06	
mathematische Modelle	0.00	3.67	
Mikroorganismen	0.00	1.71	
Stickoxide	0.00	3.76	
Müllverbrennung	0.00	2.45	
Risikostudien	0.00	2.43	
Installation	0.00	1.68	
Grundwasser	0.00	1.92	

Zeitliche Entwicklung von Einzelthemen

Der insgesamt häufigste Begriff im Bereich Abbau von Umweltbelastungen, die **Luftverschmutzung**, macht auch im Jahr 1990 mit nur geringen prozentualen Einbußen gegenüber 1985 den mit Abstand größten Anteil aller Begriffe aus. Andere Bestandteile des Luftkompartimentes, die Aerosole und der Staub, haben deutlich an Bedeutung gewonnen. Insgesamt führt dies dazu, daß die Rolle des Luftkompartiments in der wissenschaftlichen Literatur zum Abbau von Schadstoffbelastungen im Jahr 1990 noch bedeutender geworden ist. Die Ursache hierfür ist eine stärkere Konzentrierung auf die partikulären Komponenten der Luft, Aerosole und Staub.

Beim **Wasserkompartiment** ist insgesamt eine fallende Tendenz zu beobachten. Alle häufigen Begriffe, die dieses Umweltmedium definieren, haben prozentuale Anteile verloren (Tab. 4.3). Dagegen ist beim dritten Umweltkompartiment, dem **Boden**, ein deutlicher Anstieg der Beachtung in der wissenschaftlichen Literatur des jüngeren Zeitraumes zu erkennen. Sowohl der Begriff Boden als auch insbesondere die Bodenverschmutzung haben ihre Anteile deutlich erhöht. Ebenso wurden die Themen **Abfall- bzw. Müllbeseitigung** in der wissenschaftlichen Literatur im Jahr 1990 wesentlich stärker beachtet. Insgesamt ist somit bei den behandelten Umweltmedien eine Umorientierung vom Wasserkompartiment hin zu den Kompartimenten Luft und Boden sowie zur Abfallbehandlung zu erkennen.

Die wichtigsten **Schadstoffe** sind auch 1990 die nicht näher spezifizierten organischen Verbindungen und die Gefahrstoffe. Beide haben zudem ihre Anteile an allen genannten Stichworten erhöht. Dies gilt auch für die Kohlenwasserstoffe. Schwefeldioxid als wichtiger Luftschadstoff hat in der neueren wissenschaftlichen Literatur etwas an Bedeutung eingebüßt. Dagegen sind die nicht näher spezifizierten Abgase leicht angewachsen. Stickoxide als Luftschadstoffe wurden neu in die Begriffsliste aufgenommen. Möglicherweise hat dies dazu geführt, daß der Anteil der nicht näher definierten Stickstoffverbindungen zugunsten der genauer spezifizierten Stickoxide deutlich zurückgegangen ist. Nimmt man die Stickstoffverbindungen und die Stickoxide zusammen, so hat sich der Anteil der Stickstoffverbindungen erheblich erhöht. Auffallend ist, wie auch im Teilbereich Umweltanalytik, daß Ozon als Schadstoff nicht mehr in der Liste der häufigsten Begriffe geführt wird. Dies gilt, obwohl sich der Anteil von Ozon an den Stichworten erhöht hat. Die Erklärung hierfür ist, daß insgesamt eine **stärkere Differenzierung bei der Stichwortvergabe** stattgefunden hat, so daß ein größerer Bereich mittelhäufig genannter Begriffe entsteht. Radioaktive Materialien und Abfälle werden in der wissenschaftlichen Literatur des Jahres 1990 wesentlich seltener behandelt als noch im Jahr 1985. Eine ähnliche Einbuße haben auch die landwirtschaftlichen Abfälle und die nicht näher spezifizierten Chemikalien erlitten. Im Falle der Chemikalien kann dies jedoch durchaus auch ein Effekt der erwähnten stärkeren Differenzierung bei der Stichwortvergabe sein.

Bei den **biologierelevanten Stichworten** ist auch im Bereich Abbau von Umweltbelastungen eine Gesamtsteigerung des Anteils an allen Begriffseinträgen von 4,9 % im Jahr 1985 auf 5,6 % im Jahr 1990 zu verzeichnen. Das einzige Stichwort, das noch aus dem Jahr 1985 unter den häufigsten vertreten ist, ist die Biochemie, die ihren Anteil praktisch nicht verändert hat. Das häufigste biologierelevante Stichwort im Jahr 1990 ist der neu eingeführte Begriff Bioreaktoren. Die ebenfalls neu eingeführten Mikroorganismen repräsentieren inhaltlich vermutlich die Begriffe Wasserbakteriologie und Bakteriologie aus dem Jahr 1985, die demzufolge wesentlich an Bedeutung eingebüßt haben. Berücksichtigt man jedoch den wahrscheinlichen Substitutionseffekt, so ist der Anteil der Mikroorganismen insgesamt konstant geblieben. Bemerkenswert sind die Veränderungen der biologischen Anteile der Oberbegriffe Abwasser- und Regenwasserablaufbehandlung. Diese Oberbegriffe subsumieren ja auch einen gewissen Anteil an biologischen Teilthemen. Im Falle der Abwasserbehandlung lag der Anteil der biologischen Stichworte im Jahr 1985 noch bei 10 %. Dieser Anteil hat sich im Jahr 1990 auf rund 20 % verdoppelt. Im Falle der Regenwasserbehandlung ist eine Steigerung der Biologieanteile von 15 auf 19 % zu verzeichnen. Diese Entwicklungstendenz ist ein deutlicher Hinweis darauf, daß in der wissenschaftlichen Literatur die Bedeutung der Biotechnologie insbesondere für die Abwasserbehandlung in jüngerer Zeit stark zugenommen hat.

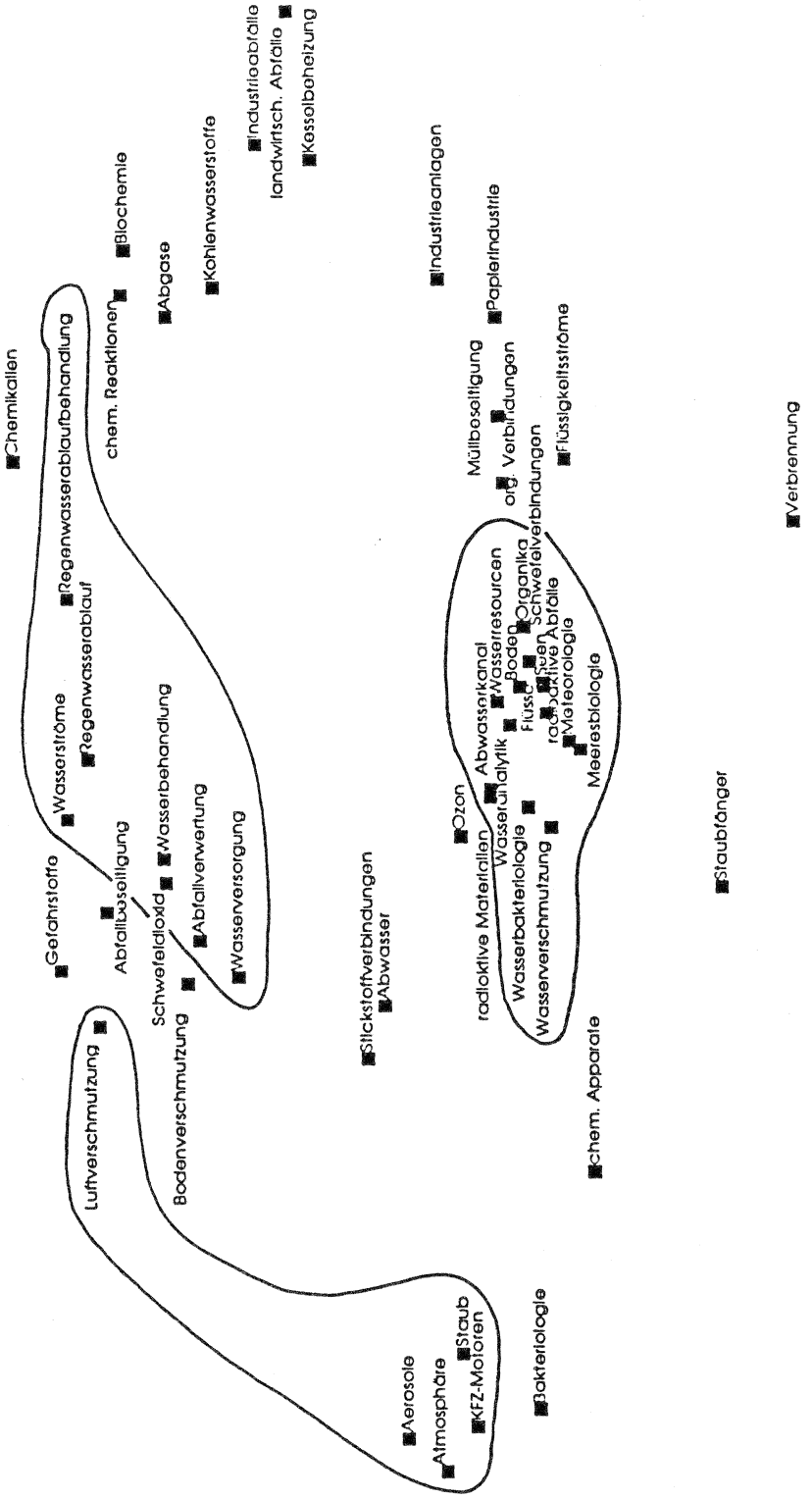
Strukturen im Jahr 1985

Die Struktur des Themenbereichs Abbau von Umweltbelastungen, wie sie sich Mitte der 80er Jahre aus der Analyse der in der wissenschaftlichen Literatur thematisierten Begriffe ergibt, ist in Abbildung 4.5 dargestellt. Bei der Interpretation dieser Karte werden wiederum die tabellarischen Informationen der Verknüpfungsmatrix hinzugezogen.

Medien, Substanzen, Analysemethoden

Die drei **Umweltkompartimente** Wasser, Luft und Boden/feste Abfälle sind in der Karte erkennbar, wobei die Trennschärfe der jeweiligen Abgrenzungen variiert. Beim **Wasser** sind recht deutlich zwei verschiedene Cluster identifizierbar. Der erste Cluster ist im Süden lokalisiert und wird vor allem aus den Begriffen Wasserverschmutzung, Wasserressourcen, Wasseranalysen, Seen, Wasserbakteriologie und Flüsse gebildet. Diese Begriffe stehen in enger Beziehung zueinander und definieren insgesamt denjenigen Teilbereich des Wasserkompartimentes, der sich mit dem Abbau von Umweltbelastungen in natürlichen Wasserressourcen befaßt. Der zweite Untercluster des Wasserkompartimentes faßt den Themenbereich Abwasser und Schmutzwasser zusammen. Er ist durch Begriffe wie Wasserbehandlung, Regenwasserbehandlung und Abwasser charakterisiert. Er erstreckt sich in der Karte über ein breiteres Band, das sich nördlich vom ersten Untercluster von West nach Ost ausdehnt.

Abbildung 4.5: Abbau von Umweltbelastungen im Jahr 1985 - Strukturen in der Wissenschaft



Das zweite Umweltkompartiment, die **Luft**, ist ebenfalls weiter ausgedehnt. Ein Teilbereich im Westen wird durch die Begriffe Luftverschmutzung, Aerosole, Staub und Atmosphäre gebildet. Aus diesem Kernbereich ist die Luftverschmutzung in die nordöstliche Richtung verlagert. Diese Verlagerung wird verursacht durch die starken Querbezüge des Begriffes Luftverschmutzung zu den einzelnen Luftschadstoffen wie Kohlenwasserstoffen, nicht näher definierten Chemikalien, Schwefeldioxid und Abgasen. Diese wiederum sind sowohl aufgrund ihrer zusätzlichen Querbezüge zu den anderen Umweltmedien Wasser und Boden als auch insbesondere aufgrund ihrer Verknüpfung mit den Schadstoffquellen, charakterisiert durch Begriffe wie Industrieanlagen und Papierindustrie, insgesamt im nördlichen Bereich der Karte verortet.

Das **Bodenkompartiment** ist auf den ersten Blick nicht klar lokalisierbar. Die wichtigsten Deskriptoren Boden und Bodenverschmutzung scheinen deutlich auseinanderzufallen. Die genauere Analyse unter Zuhilfenahme der Verflechtungsmatrix ergibt, daß die Lage des Begriffes Boden in der Mitte des ersten Wasserunterclusters nicht etwa auf einer besonders engen inhaltlichen Verknüpfung zwischen Boden und Wasser beruht, sondern auf mehreren ähnlich starken Querbezügen zu anderen Themen. Dies sind insbesondere die Bodenverschmutzung im Nordwesten, die Regenwasserbehandlung im Norden, Industrieabfälle und organische Verbindungen im Osten sowie die Bakteriologie im Westen. Diese Vernetzungsstruktur führt letztlich dazu, daß der Begriff Boden im Zentrum des aus den genannten Begriffen aufgespannten Netzes liegt. Die zweidimensionale Darstellung führt dazu, daß dieses Zentrum mit dem ersten Wasserteilcluster zusammenfällt. Eine ähnliche Situation ergibt sich für den Begriff Bodenverschmutzung. Auch hier gibt es mehrere Querbezüge in alle Richtungen, so daß der natürlich auch vorhandene starke Bezug zum Begriff Boden zumindest teilweise aufgewogen wird. Ein Teil der Quervernetzungen der Bodenverschmutzungen ergibt ein ähnliches Muster wie die entsprechenden Vernetzungen des Begriffs Boden. Dies sind die Bezüge zur Bakteriologie und zu den industriellen Abfällen sowie zu den organischen Verbindungen. Durch die zusätzlichen Verbindungen zu den Gefahrstoffen, zur Abfallbeseitigung und zu nicht näher definierten Chemikalien, die allesamt im Norden der Karte liegen, wird letztlich in der zweidimensionalen Darstellung die Bodenverschmutzung vom Boden weg in nördliche Richtung gezogen.

Die stärksten **Verknüpfungen zwischen den Medien** sind für Boden und Wasser erkennbar. Hier besteht einerseits eine direkte Verknüpfung des Begriffs Boden zu den Deskriptoren Abwasser und Regenabwasserablauf, die das Schmutzwasserteilcluster charakterisieren. Zum zweiten ergibt sich eine indirekte Verknüpfung über die Bakteriologie zum zweiten Teilbereich des Wasserclusters, der sich vor allem mit den natürlichen Wasserressourcen befaßt. Im Vergleich zur starken Verknüpfung zwischen Boden und Wasser sind die Beziehungen zwischen den Medien Boden und Luft sowie Luft und Wasser weniger stark ausgeprägt. In beiden Fällen handelt es sich um eine indirekte Verknüpfung über Schadstoffe, die in beiden Kompartimenten als Umweltbelastungen auftreten. Im Falle des Systems Boden/Luft sind dies vor allem die

Stickstoffverbindungen. Im Falle des Systems Luft/Wasser treten neben den Stickstoffverbindungen auch die Kohlenwasserstoffe und Ozon als verknüpfende Elemente auf. Besonders deutlich ist hierbei die verbindende Funktion des Ozons, das in der Karte zwischen dem Luftkompartiment und dem ersten Wasserunterclustер angesiedelt ist. Die Beziehungen von Ozon zur Luft und zur Behandlung von Wasserressourcen ergibt sich letztlich aus einer doppelten Funktion. Bei der Wasserbehandlung wird Ozon als desinfizierendes Agens eingesetzt, im Falle des Luftkompartimentes dagegen spielt Ozon in den unteren Atmosphäreschichten eher die Rolle eines Schadstoffs.

Im folgenden wird an zwei Beispielen ausgeführt, wie sich anhand der Karte Kausalbeziehungen zwischen Verschmutzungen, Medien und Behandlungsmethoden aufzeigen lassen. Auch hierbei wird die Interpretation zusätzlich durch die tabellarischen Informationen in der Verflechtungsmatrix gestützt. Das erste Beispiel ist die Verbrennung, die am südlichsten Punkt der Karte angesiedelt ist. Die Verbrennung hat deutliche Bezüge zum Begriff Kesselbefeuerung und zur Abfallbeseitigung. In der wissenschaftlichen Literatur wird somit die Doppelfunktion der Verbrennung einmal zu Heizzwecken und zum anderen zur Beseitigung von Abfällen thematisiert. Im Falle der Abfallbeseitigung lassen sich auch die Verbindungen zu den Quellen der Belastungen nachzeichnen. Es bestehen direkte Beziehungen zur Papierindustrie und zu nicht näher spezifizierten Industrieanlagen. Insgesamt wird über diese Verknüpfungen somit der Input für die Verbrennung definiert. Bei der Verbrennung selbst entstehen verschiedene Schadstoffe. Entsprechend ergeben sich aus der multivariaten Analyse der wissenschaftlichen Literatur enge Beziehungen sowohl zu den allgemeinen Begriffen Abgase und Staub als auch zu den speziellen Schadstoffklassen Stickstoffverbindungen und Schwefeldioxid. Schließlich zeigt die Verknüpfungsanalyse auch die umweltbelastende Konsequenz der Schadstoffverbrennung auf: Zwischen Verbrennung und Luftverschmutzung existiert eine starke Verknüpfung.

Das zweite Beispiel betrifft die Papierindustrie. Erwartungsgemäß ergibt sich ein Bezug zu Schwefelverbindungen, die in Form von Sulfiten oder Sulfaten wesentliche Abfallstoffe bei der Papierherstellung sind. Die weiteren Bezüge der Papierindustrie zu den Begriffen Flüsse und Wasserverschmutzung zeigen die Schadstoffpfade und als Konsequenz die Wasserverschmutzung auf. Die daher erforderliche Wasserbehandlung schließlich dokumentiert sich in Bezügen des Begriffs Papierindustrie zum Abwasser, zur Regenwasserbehandlung sowie zur Wasserbehandlung.

Biologische Komponenten

Bei der Bewertung der **biologischen Ansätze** zum Abbau von Umweltbelastungen sind nicht nur die explizit genannten biologierelevanten Begriffe Biochemie, Meeresbiologie, Wasserbakteriologie sowie Bakteriologie zu berücksichtigen, sondern auch die biologischen Komponen-

ten anderer Oberbegriffe. Zur Abschätzung dieses Effektes wurden zusätzlich alle Kombinationen analysiert, in denen biologische Stichworte vorkamen. Hieraus ergibt sich, daß nennenswerte Biologieanteile vor allem in zwei Oberbegriffen auftauchen. Dies sind der Begriff Abwasser (inklusive Abwasserbehandlung), bei dem ein Biologieanteil von rund 10 % zu verzeichnen ist, sowie der Begriff Regenwasserablaufbehandlung, bei dem der Biologieanteil bei ca. 15 % liegt. In beiden Themen ist somit schon per Definition ein deutlicher Anteil biologischer Ansätze enthalten.

Der in der wissenschaftlichen Literatur am häufigsten genannte biologische Begriff im Zusammenhang mit dem Abbau von Umweltbelastungen ist die **Biochemie**. Wie die enge Nachbarschaft zum Begriff chemische Reaktionen zeigt, werden biochemische Ansätze oft in Kombination mit chemischen Ansätzen thematisiert. Bezüglich der Umweltmedien besteht eine starke Verknüpfung biochemischer Ansätze zum Schmutzwassercluster, die vor allem über die Begriffe Regenwasserablauf und Abwasser vermittelt werden. Eine ähnlich starke Verknüpfung wird zu landwirtschaftlichen Abfällen konstatiert. Aus diesem Beziehungsgeflecht resultiert letztlich die zentrale Lage der Biochemie zwischen diesen beiden Bereichen. Zusätzlich gibt es eine schwächere Beziehung zum ersten Untercluster des Kompartiment Wasser, der sich überwiegend auf die natürlichen Wasserressourcen konzentriert. Im Falle der Umweltschadstoffe wird die stärkste Beziehung zu den Kohlenwasserstoffen gesehen, die daher erwartungsgemäß auch in engster Nähe zur Biochemie lokalisiert sind. Darüber hinaus bestehen schwächere Beziehungen zu organischen Chemikalien und zu nicht näher spezifizierten Chemikalien.

Bei der Interpretation des zweitwichtigsten Biologiebegriffes, der **Meeresbiologie**, muß die sich aus den Stichworten ergebende inhaltliche Definition dieses Begriffes berücksichtigt werden. Es geht demnach bei diesem Themenkomplex vorrangig nicht um den Abbau von Umweltbelastungen, sondern um die Aufklärung grundsätzlicher Fragen im Zusammenhang mit der Verschmutzung der natürlichen marinen Wasserressourcen. Vor diesem Hintergrund ist verständlich, daß die Meeresbiologie deutliche Verknüpfungen zu einem Großteil der Stichworte des Wasserressourcenclusters hat und insgesamt in nächster Nähe zu diesem Cluster verortet ist. Diese Beziehungen zu den Medien sind deutlich stärker als die Verknüpfungen zu den Schadstoffen, die bei dieser Thematik eine Rolle spielen. Es sind dies die organischen Verbindungen und Chemikalien, die Kohlenwasserstoffe sowie nicht näher spezifizierte Chemikalien.

Aus dem Beziehungsgeflecht der **Wasserbakteriologie** kristallisieren sich zwei Anwendungsfelder heraus. Erstens deuten die Verknüpfungen zum Teilbereich natürliche Wasserressourcen über die Begriffe Wasserversorgung, Wasseranalyse und Wasserverschmutzung darauf hin, daß ein inhaltlicher Zusammenhang der Wasserbakteriologie zur Bestandsaufnahme bzw. zur Überwachung von Wasserverschmutzungen gesehen wird (Wasserbakterien als Indikatoren für

Verschmutzung). Zweitens weisen die Verflechtungen mit dem Schmutzwassercluster über die Begriffe Wasserbehandlung, Abwasser und Regenwasserbehandlung auf eine Rolle der Wasserbakteriologie im Zusammenhang mit der Behandlung von Umweltbelastungen im Medium Wasser hin. Die relevanten Schadstoffe in diesem Themenkreis sind die organischen Chemikalien sowie mit geringerer Verknüpfungsstärke die Schwefelverbindungen. Interessanterweise wird über die Schwefelverbindungen auch eine Brücke zu den Verursachern der Umweltbelastung, nämlich in diesem Falle zur Papierindustrie, geschlagen.

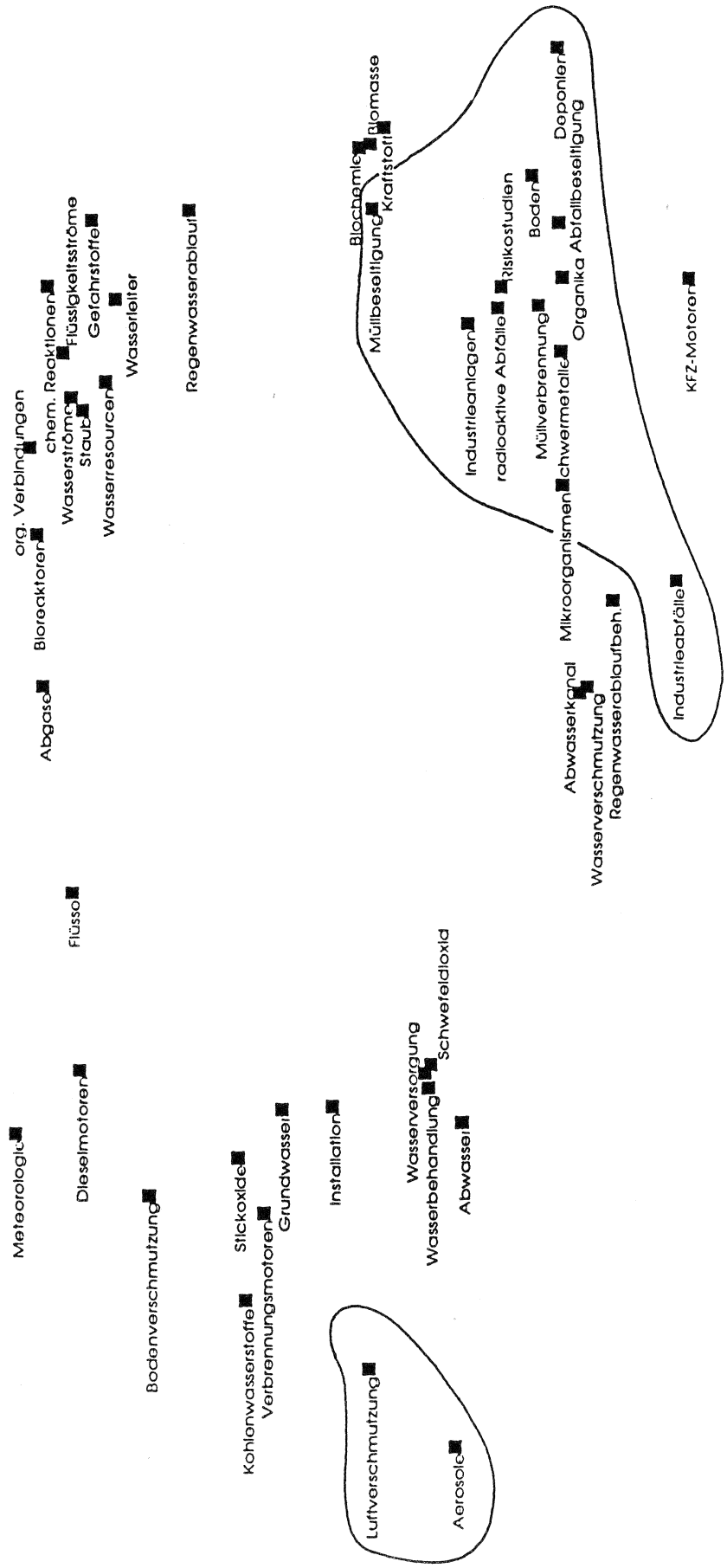
Der letzte biologische Begriff in der Abbaukarte ist die **Bakteriologie**, die im äußersten Westen lokalisiert ist. Die Bakteriologie weist aus Sicht der wissenschaftlichen Literatur Verknüpfungen zu allen Umweltmedien auf. Inhaltlich dürfte es sich bei der Bakteriologie um ähnlich grundsätzliche Themen im Zusammenhang mit dem Abbau von Umweltbelastungen handeln wie bei der Meeresbiologie. Die Lokalisierung der Bakteriologie am Rande der Karte ist aufgrund der Verflechtungen eher unerwartet und dürfte ein weiteres Beispiel für die zweidimensionale Darstellungsproblematik sein. Auch dieser Fall zeigt wiederum, daß eine Interpretation der Karten ohne Zuhilfenahme der Originalverflechtungsmatrix problematisch ist. Im Falle der Umweltschadstoffe werden Bezüge der Bakteriologie zu den organischen Verbindungen im allgemeinen und zu den Kohlenwasserstoffen im speziellen gesehen. Interessanterweise existiert ein zweiter Satz von Verknüpfungen zu den Stickstoffverbindungen und zu landwirtschaftlichen Abfällen. Die landwirtschaftlichen Abfälle wiederum stehen ebenfalls mit den Stickstoffverbindungen in Beziehung. Dieses Verknüpfungsgeflecht deutet somit eine Kausalbeziehung an, wonach landwirtschaftliche Abfälle eine Quelle für umweltbelastende Stickstoffverbindungen sind, die dann die Ökosysteme der Mikroorganismen, insbesondere in den wäßrigen Umweltkompartimenten, beeinflussen. Diese Effekte können beispielsweise Stoffwechselaktivitäten der Bakterien sein (Nitrifikation, Denitrifikation).

Strukturen im Jahr 1990

Medien, Substanzen, Analysemethoden

Die **Berücksichtigung der Umweltkompartimente**, die beim Abbau von Schadstoffbelastungen eine Rolle spielen, hat sich in der wissenschaftlichen Literatur im Jahr 1990 im Vergleich zum Jahr 1985 verändert (vgl. Abb. 4.6 und Abb. 4.5). Der **Luftbereich** ist im Jahr 1990 klarer strukturiert. Er wird im wesentlichen aus den Begriffen Luftverschmutzung und Aerosole gebildet, die eng zusammengerückt sind und im Osten der Karte lokalisiert sind. Der Begriff Atmosphäre, der noch 1985 ein Bestandteil des Luftkompartimentes war, ist 1990 nicht mehr unter den häufigen Begriffen zu finden. Auch die Beziehungen zu den wichtigsten Schadstoffen

Abbildung 4.6: Abbau von Umweltbelastungen im Jahr 1990 - Strukturen in der Wissenschaft



(Stickoxide, Schwefeldioxid sowie Kohlenwasserstoffe) sind in der Karte des Jahres 1990 deutlicher erkennbar. Ebenso lassen sich Kausalbezüge zu den Verursachern der Schadstoffemissionen erkennen, dies sind insbesondere Dieselmotoren und Verbrennungsmotoren.

Der **Wasserbereich** ist hingegen im Jahr 1990 weniger klar strukturiert als im Jahr 1985. Zwar sind alle wichtigen wasserrelevanten Begriffe wiederum stark miteinander verknüpft, jedoch tritt Wasser zusätzlich stärker als Mittler zu den anderen Umweltkompartimenten auf. Dies führt insgesamt dazu, daß die noch 1985 definierbaren Teilcluster Schmutzwasser und natürliche Wasserressourcen nicht mehr getrennt sind. Die deutlichsten Querbezüge des Wasserkompartimentes sind zur Bodenverschmutzung und zu einem neu gebildeten Industrieabfallcluster (siehe unten) im Nordosten der Karte zu erkennen. Im Falle der Bodenverschmutzung wird die stärkste Quervernetzung zum Wasserkompartiment über den Begriff Grundwasser vermittelt. Offensichtlich wird in der wissenschaftlichen Literatur der Zusammenhang zwischen Boden- und Grundwasserverschmutzung stärker thematisiert.

Ein **Bodencluster** ist auch hier nicht als solches erkennbar. Die beiden Hauptbegriffe Bodenverschmutzung und Boden haben zwar nach wie vor intensive Querbeziehungen, sind jedoch durch zusätzliche inhaltliche Verflechtungen auch in der 1990er-Karte voneinander getrennt. Bodenverschmutzung wird vor allem über den Schadstoff Kohlenwasserstoffe, der wiederum starke Quervernetzungen zum Luftcluster und zum westlichen Teil des noch erkennbaren Wasserbereiches hat, insgesamt nach Westen gezogen. Der Boden wurde dagegen durch Querverbindungen zu dem neu gebildeten Industrieabfallcluster nach Osten verlagert und ist jetzt in diesen eingebettet.

Neu herausgebildet hat sich im Jahr 1990 ein **Industrieabfallcluster**, der durch die Begriffe radioaktiver Abfall, Schwermetalle, Industrieanlagen, Abfall- bzw. Müllbehandlung, Müllverbrennung sowie Deponien definiert wird. Insgesamt deutet diese neue Struktur darauf hin, daß in der wissenschaftlichen Literatur der jüngeren Zeit dem Problemkreis der Behandlung von Industrieabfällen größere Aufmerksamkeit gewidmet wird.

Keine wesentlichen Änderungen haben sich für die wichtigsten **Schadstoffe** Kohlenwasserstoffe, Industrieabfälle sowie die organischen Verbindungen ergeben. Industrieabfälle spielen vor allem für die Umweltkompartimente Wasser und Boden eine Rolle. Die organischen Verbindungen bleiben eng mit dem Wasserkompartiment verbunden. Die Kohlenwasserstoffe spielen nach wie vor eine zentrale Vermittlerrolle zwischen den Umweltmedien Luft, Wasser und Boden. Bemerkenswert hierbei ist, daß die Verknüpfung zum Bodenkompartiment im Jahr 1990 stärker geworden ist. Der radioaktive Abfall war im Jahr 1985 vor allem im Zusammenhang mit dem Wasserkompartiment ein Thema der wissenschaftlichen Literatur. Im Jahr 1990 hat sich zusätzlich eine stärkere Beziehung zu den festen Abfällen herauskristallisiert (Abb. 4.6).

Eine weitere Verlagerung ist bei den Gefahrstoffen zu erkennen. Diese wurden aus dem Luftkompartiment stärker in Richtung der übrigen Umweltkompartimente Wasser und Boden verschoben. Diese Änderungen deuten darauf hin, daß in der wissenschaftlichen Literatur bezüglich dieser Schadstoffe eine gewisse Akzentverschiebung stattgefunden hat. Die Stickoxide verbleiben erwartungsgemäß eng mit dem Luftkompartiment verbunden. Deutlich sind auch die Bezüge zu den Verursachern, nämlich den verschiedenen Typen von Verbrennungskraftmaschinen zu erkennen. Interessanterweise ist die Verbindung der Stickoxide zu Schwefeldioxid stärker geworden. Dies deutet darauf hin, daß in der neueren wissenschaftlichen Literatur die Kombination der Luftschadstoffe Stickoxide und Schwefeldioxid im Zusammenhang mit dem Betrieb von Verbrennungskraftmaschinen stärker thematisiert wird.

Biologische Komponenten

Auch im Jahr 1990 waren insgesamt vier **biologische Begriffe** unter den häufigsten Stichworten vertreten. Die Stichworte selbst haben sich jedoch verändert. Die Meeresbiologie, die Wasserbakteriologie und die Bakteriologie sind nicht mehr vertreten, neu hinzugekommen sind die Begriffe Bioreaktor, Biomasse und Mikroorganismen. Im folgenden werden die Quervernetzungen der biologischen Begriffe in der 1990er-Karte dargestellt.

Bioreaktoren werden in der wissenschaftlichen Literatur in engem Zusammenhang mit der Abwasser- und Regenwasserbehandlung beschrieben. Keine Querbezüge existieren dagegen zur Bodenverschmutzung. Offensichtlich ist bisher der Einsatz von Bioreaktoren vor allem im Zusammenhang mit Verschmutzungen des Wasserkompartimentes und entsprechenden Behandlungsmethoden ein Thema der wissenschaftlichen Literatur. Aufgrund dieser Beziehungen zu den Umweltkompartimenten würde man erwarten, daß die Bioreaktoren eher im Südwesten der Karte lokalisiert sind. Die Lage im Nordosten erklärt sich aus den zusätzlichen Vernetzungen zu den übrigen biologierelevanten Begriffen sowie zum Begriff chemische Reaktionen (Abb. 4.6).

Die **Biochemie** hat nach wie vor starke Bezüge zum Regenwasser sowie eine schwächere Verbindung zum Abwasser. Zugenommen hat die Bedeutung der Biochemie für das Bodenkompartiment. Erwartungsgemäß gibt es auch intensive Verflechtungen mit den übrigen biologierelevanten Begriffen Bioreaktor, Mikroorganismen sowie Biomasse. Diese Verknüpfungen sowie der stärker gewordene Bezug zum Boden bestimmen insgesamt die Lage der Biochemie im Osten der Karte. Insgesamt läßt sich jedoch für die Biochemie nach wie vor kein dominanter Bezug zu bestimmten Umweltkompartimenten oder Schadstoffen feststellen, sondern eher eine grundsätzliche Vernetzung mit den verschiedenen Kompartimenten, die auch aufgrund des Querschnittscharakters der Biochemie erwartet ist.

Die **Biomasse** als neuer Begriff hat die stärksten Bezüge zu Deskriptoren des Wasserkompartiments. Insbesondere sind dies die Wasser-, die Abwasser- sowie die Regenwasserbehandlung. Weniger stark sind die Verflechtungen mit dem Bodenkompartiment. Die wichtigsten Schadstoffe im Zusammenhang mit der Biomasse sind die Kohlenwasserstoffe. Erwartungsgemäß gibt es Verflechtungen mit den übrigen biologierelevanten Begriffen. Die Lage der Biomasse in der Karte (Abb. 4.6) dürfte insgesamt ein Kompromiß der zweidimensionalen Darstellung sein, der versucht, die Bezüge zu den biologischen Begriffen im Osten der Karte und den das Wasserkompartiment definierenden Begriffen im Westen der Karte miteinander zu vereinen.

Die Position der **Mikroorganismen** in der Karte ergibt sich aus starken Beziehungen zu den Begriffen Abwasser-, Regenwasser- und Wasserbehandlung im Süden und Westen der Karte sowie zu den biologischen Begriffen Bioreaktor, Biochemie und Biomasse im Norden bzw. Osten. Interessant ist die unterschiedlich starke Beziehung der Mikroorganismen zu den Umweltmedien. Wie erwähnt, wird ein starker inhaltlicher Zusammenhang mit dem Wasser gesehen. Wesentlich schwächer sind dagegen die Verknüpfungen mit Boden und Luft. Dies weist insgesamt darauf hin, daß in der wissenschaftlichen Literatur Mikroorganismen im Zusammenhang mit dem Abbau von Umweltbelastungen bisher ganz überwiegend für Anwendungen im Wasserbereich diskutiert werden. Der Boden und die Luft spielen in der analysierten Literatur im Jahr 1990 für die Anwendung von Mikroorganismen kaum eine Rolle.

Abbau von Umweltbelastungen - Strukturen und Trends im Bereich der Wissenschaft

1. Umweltmedien

Mitte der 80er Jahre wurden die Medien Luft und Wasser mit Abstand am häufigsten in der wissenschaftlichen Literatur zum Abbau von Umweltbelastungen erwähnt. Beim Wasserkompartiment ist zwischen natürlichen Wasserressourcen und Schmutz- bzw. Abwasser zu unterscheiden. Anfang der 90er Jahre hat das Luftkompartiment an Bedeutung gewonnen, was vor allem auf die stärkere Beachtung partikulärer Verunreinigungen (Aerosole, Staub) zurückzuführen ist. Beim Umweltmedium Wasser ist dagegen eine fallende Tendenz zu beobachten. Wesentlich stärker werden in der neueren Literatur Fragen des Schadstoffabbaus im Boden, der Mitte der 80er Jahre noch keine wesentliche Rolle spielte, sowie die Abfall- und Müllbehandlung thematisiert. Quervernetzungen sind Mitte der 80er Jahre über die eingesetzten Methoden zwischen den Medien Boden und Wasser zu erkennen. Anfang der 90er Jahre tritt Wasser verstärkt als Mittler zwischen den einzelnen Medien auf. So stellt sich als neues Thema der wissenschaftlichen Literatur die Analyse des Zusammenhangs zwischen Boden- und Grundwasserverschmutzung heraus. Ebenso wird der Behandlung von Industrieabfällen Anfang der 90er Jahre stärkere Aufmerksamkeit gewidmet.

2. Schadstoffe

Industrieabfälle, radioaktive Verbindungen, organische Verbindungen sowie gasförmige und partikuläre Luftschadstoffe sind Mitte der 80er Jahre in der wissenschaftlichen Literatur dominierend. Anfang der 90er Jahre finden Stickstoffverbindungen und hier insbesondere die Stickoxide verstärkte Beachtung, während radioaktive Abfälle dagegen in der wissenschaftlichen Literatur seltener behandelt werden. Industrieabfälle spielen vor allem für die Umweltkompartimente Wasser und Boden eine Rolle. Organische Verbindungen werden überwiegend im Zusammenhang mit dem Wasserkompartiment behandelt. Kohlenwasserstoffe spielen eine zentrale Vermittlerrolle zwischen den Umweltmedien Luft, Wasser und Boden. Anfang der 90er Jahre kristallisiert sich eine stärkere Verknüpfung der Kohlenwasserstoffe mit dem Bodenkompartiment heraus. Ein weiterer Trend ist die zunehmende Beachtung der Beziehungen zwischen Schadstoffen und ihren Verursachern.

3. Biotechnologische Ansätze

Die wichtigsten Anwendungsfelder für biotechnische Ansätze sind die Wasser- und die Abwasserbehandlung. Die biotechnische Behandlung von Bodenverunreinigungen sowie die Abluftbehandlung sind bisher keine prominenten Themen in der wissenschaftlichen Literatur. Die Bedeutung biotechnischer Ansätze hat Anfang der 90er Jahre aus Sicht der Wissenschaft deutlich zugenommen. Hierbei kristallisiert sich ein Trend in Richtung auf fortgeschrittene biotechnische Verfahren, beispielsweise auf der Basis von Bioreaktoren, heraus.

4.2.2 Strukturen und Trends im Bereich der technischen Entwicklung

In der Patentliteratur aus dem Zeitraum 1984 bis 1986 zum Thema Abbau von Umweltbelastungen wurden die folgenden Themen mit Abstand am häufigsten genannt: Aerobe biologische Abwasserbehandlung, Filter für Flüssigkeiten, Katalysatoren auf der Basis anorganischer Verbindungen, Filter für Gase und die Abgasreinigung für Schwefelverbindungen. Die weiteren häufig genannten Themen sind in Tabelle 4.4 zusammengefaßt. Insgesamt läßt sich feststellen, daß der **Abwasserbereich** eindeutig dominiert, wobei innerhalb des Abwasserbereichs die **biologischen Verfahren** eine herausragende Rolle spielen. Ein zweiter Themenschwerpunkt sind verschiedene **Abgasreinigungsverfahren**, insbesondere für Schwefel- und Stickstoffverbindungen. Auffallend ist, daß das Thema Abbau von Schadstoffbelastungen im Boden nicht unter den häufigeren Patentklassen auftaucht. Explizit werden auch einige Schadstoffe genannt, auf die sich die Entwicklung von Abbauverfahren richtet. Dies sind zum einen Schwefelverbindungen allgemein und zum anderen Stickstoff- und Schwefelverbindungen sowie Halogenverbindungen in Abgasen. Biologische Ansätze unter den wichtigsten Patentgruppen konzentrieren sich zum einen, wie schon erwähnt, auf die Abwasserbehandlung, zum anderen kommt explizit die Mikrobiologie hinzu.

Zeitliche Entwicklung von Einzelthemen

Im Bereich **Abwasserbehandlung** haben die aeroben, die anaeroben und die kombiniert aeroben/anaeroben Verfahren beim Übergang vom Zeitraum Mitte der 80er Jahre zum Anfang der 90er Jahre deutlich an Bedeutung in der Patentliteratur eingebüßt. Hierdurch wurden die aeroben Abwasserbehandlungsverfahren von der Spitzenposition in der Häufigkeitstabelle verdrängt. Ebenfalls weniger bedeutend sind die Abwasserbehandlungsverfahren durch Erhitzen geworden. Nahezu unverändert häufig werden Patente zu Flockungs- oder Sorptionsverfahren für die Abwasserbehandlung angemeldet. Dagegen sind mehrstufige Verfahren, die Abwasserreinigung durch Reduktion sowie spezielle Mikroorganismen für die Abwasserreinigung in der Patentliteratur wichtiger geworden.

Auch bei den **Abgasreinigungsverfahren** ergibt sich ein heterogenes Bild. Deutlich an Bedeutung eingebüßt haben die Reinigungsverfahren für Schwefelverbindungen, für Stickstoffverbindungen, die Abgasreinigung durch Absorption, nicht näher definierte chemische Reinigungsverfahren sowie die Rauchgasbehandlung. Nahezu unverändert in ihrer Bedeutung blieb die Abgasreinigung durch Adsorption. Leicht zugenommen hat die Anzahl der Patentanmeldungen für Reinigungsverfahren für Halogene, stark zugenommen haben die Reinigungsverfahren für Gasgemische.

Tabelle 4.4: Patentanmeldungen im Bereich Abbau von Umweltbelastungen

	1984 Anteil in % (N=3666)	1989 Anteil in % (N=4854)	Zuwachs in %
Abwasserbeh. aerob	4,75	3,69	↓
Filter Flüssigkeiten	4,56	3,71	↓
Kat. m. anorg. Verb.	3,71	3,89	
Filter Gase	3,22	2,55	↓
Abgasreinigung S	3,08	1,36	↓↓
Membrantrennung	2,59	2,53	
Abgasreinigung N	2,48	1,42	↓
chem.-phys. Verfahren	2,43	1,83	↓
Abwasserbeh. Flockung	2,26	2,25	
Abgasreinigung Adsorption	1,94	1,98	
Füllstoffe	1,94	2,25	↑
radioakt. Flüssigkeiten	1,91	0,54	↓↓
Naßaufbereitung	1,91	1,85	
Abwasserbeh. mehrstufig	1,91	2,10	↑
Cracken	1,85	0,84	↓↓
Auspuffvorricht. m. Kat.	1,80	3,03	↑↑
Schwefel	1,77	0,93	↓
Abgasreinigung Absorption	1,64	0,82	↓
Abwasserbeh. anaerob	1,64	0,95	↓
Abwasserbeh. Reduktion	1,61	2,27	↑
Müllverbrennung	1,58	2,29	↑
Elektrostat. Abscheidung	1,53	0,87	↓
Ionenaustauschverfahren	1,36	1,34	
Abwasserbeh. Sorption	1,34	1,32	
Trennen Flüssigkeiten	1,31	1,59	↑
Schrottverarbeitung	1,31	0,82	↓
chemische Mittel	1,28	2,04	↑↑
Abgasreinigung chem.	1,25	0,25	↓↓
Träger f. Kat.	1,23	1,09	↓
Düngemittel aus Abfällen	1,20	1,48	↑
Reinigen	1,20	1,17	
Mikrobiologie	1,20	0,54	↓↓
radioakt. feste Stoffe	1,17	0,58	↓↓
Rauchgasbehandlung	1,17	0,97	↓
Schlammbehandlung	1,15	1,94	↑↑
Abwasserbeh. Erhitzen	1,09	0,84	↓
Brennstoffzufuhr	1,09	0,64	↓
Trennen Sedimentation	1,06	1,30	↑
makromol. Verbindungen	1,06	0,84	↓
Abwasserbeh. aerob. anaerob	1,06	0,62	↓
Abgasreinigung Gemische	1,04	1,96	↑↑
Industrie-Abfall-Verbrennung	1,04	1,26	↑
Abgasreinigung Halogene	1,01	1,09	↑
Sorbenzien	1,01	1,48	↑
Auspuffvorrichtungen	0,98	1,32	↑
Teilchenabsch. aus Gasen	0,98	0,76	↓
Mischen	0,95	0,60	↓
Mikroorganismen, Enzyme	0,93	0,70	↓
Metalle	0,93	0,33	↓↓
Makromoleküle	0,87	0,66	↓
Öfen fl.	0,87	0,84	
Verarbeitung	0,82	1,59	↑↑
Trennen Entgasung	0,76	1,19	↑↑
Abwasserbeh. biol. Mikroorg.	0,74	0,78	↑
Abfallvernichtung	0,71	2,80	↑↑↑
Abfalldeponie	0,68	0,95	↑
Biozide	0,63	0,99	↑↑
Lebensmittel	0,57	0,91	↑↑
Desinfektion	0,49	1,17	↑↑↑
Brennstoffe	0,44	0,91	↑↑↑
Kunststoffverarbeitung	0,33	1,07	↑↑↑
Zellulose	0,25	1,28	↑↑↑
Trocknen	0,22	1,13	↑↑↑
Abwasserbeh. Osmose	0,00	0,84	nach 1984 neu eingeführt

Ein deutlicher Schwerpunkt in der jüngeren Patentliteratur bildet sich bei den katalytischen Prozessen zum Abbau von Umweltbelastungen aus. Die **Katalysatoren** mit anorganischen Verbindungen haben leicht, Auspuffvorrichtungen mit Katalysatoren hingegen sogar deutlich an Bedeutung gewonnen. Es ist zu vermuten, daß dieser Trend bei Patentanmeldungen die Einführung von Katalysatoren für Kraftfahrzeugauspuffanlagen und andere Verbrennungsmaschinen widerspiegelt.

Ein zweiter deutlicher Schwerpunkt kristallisiert sich innerhalb der Abfallbehandlung zum Thema **Müllentsorgung** heraus. Patente zu den Themen Müllverbrennung, Industrieabfall-Verbrennung, Abfallvernichtung sowie Abfalldeponierung erreichen beim Übergang von den 80er zu den 90er Jahren deutlich höhere Anteile aller Anmeldungen zum Bereich Abbau von Umweltbelastungen. In diese Kategorie sind auch Patente zur Herstellung von Düngemitteln aus Abfällen einzuordnen. Auch hier ist ein deutlicher Zuwachs offensichtlich. Die Schlammbehandlung könnte ebenfalls dem Thema Abfallentsorgung zugerechnet werden. Inhaltlich erscheinen jedoch die Bezüge zur aeroben Abwasserbehandlung wesentlicher. Eines der großen Probleme der aeroben Abwasserbehandlungsverfahren sind die hierbei entstehenden großen Klärschlammengen. Wie der deutliche Zuwachs von Patentanmeldungen zur Schlammbehandlung zeigt, konzentriert sich eine wachsende Anzahl technischer Entwicklungsaktivitäten auf die Lösung dieser Problematik.

Die **Bedeutung biologischer Ansätze** im Bereich der technischen Entwicklung zum Thema Abbau von Umweltbelastungen hat insgesamt abgenommen. Während im Zeitraum 1984 bis 1986 noch 8,2 % der Patente einen deutlichen Bezug zur Biologie hatten, ist dieser Anteil im Zeitraum 1989 bis 1991 auf 6,1 % gesunken (vgl. Kap. 4.4). Entsprechend haben auch die Anteile der einzelnen biologierelevanten Begriffe, wie Mikrobiologie, Mikroorganismen und Enzyme, abgenommen. Leicht gestiegen sind die Patentanmeldungen zu speziellen Mikroorganismen für die Abwasserbehandlung. Aufgrund des geringen Gesamtanteils dieser Klasse fällt dieser Anstieg jedoch nicht ins Gewicht. Neben den explizit genannten biologierelevanten Begriffen ist auch zu berücksichtigen, daß die aeroben und anaeroben Abwasserbehandlungsverfahren, die ja von Natur aus biologischer Natur sind, ebenfalls deutlich an Bedeutung eingebüßt haben.

Insgesamt ergibt sich somit ein deutlicher Unterschied zwischen den zeitlichen Entwicklungstrends im Bereich der Forschung und im Bereich der technischen Entwicklung. Während im Forschungsbereich, repräsentiert durch die wissenschaftliche Literatur, die Bedeutung biotechnischer Ansätze für den Abbau von Umweltbelastungen zugenommen hat (vgl. Kap. 4.2.1), ist bei der technischen Entwicklung, repräsentiert durch Patentanmeldungen, ein gegenläufiger Trend zu erkennen. Dies deutet darauf hin, daß sich die vor allem im Bereich der Forschung entwickelten neuen Ansätze zur Anwendung der Biotechnologie in der Umwelt-

technik bisher noch nicht in entsprechendem Umfang in technischen Entwicklungsaktivitäten niedergeschlagen haben.

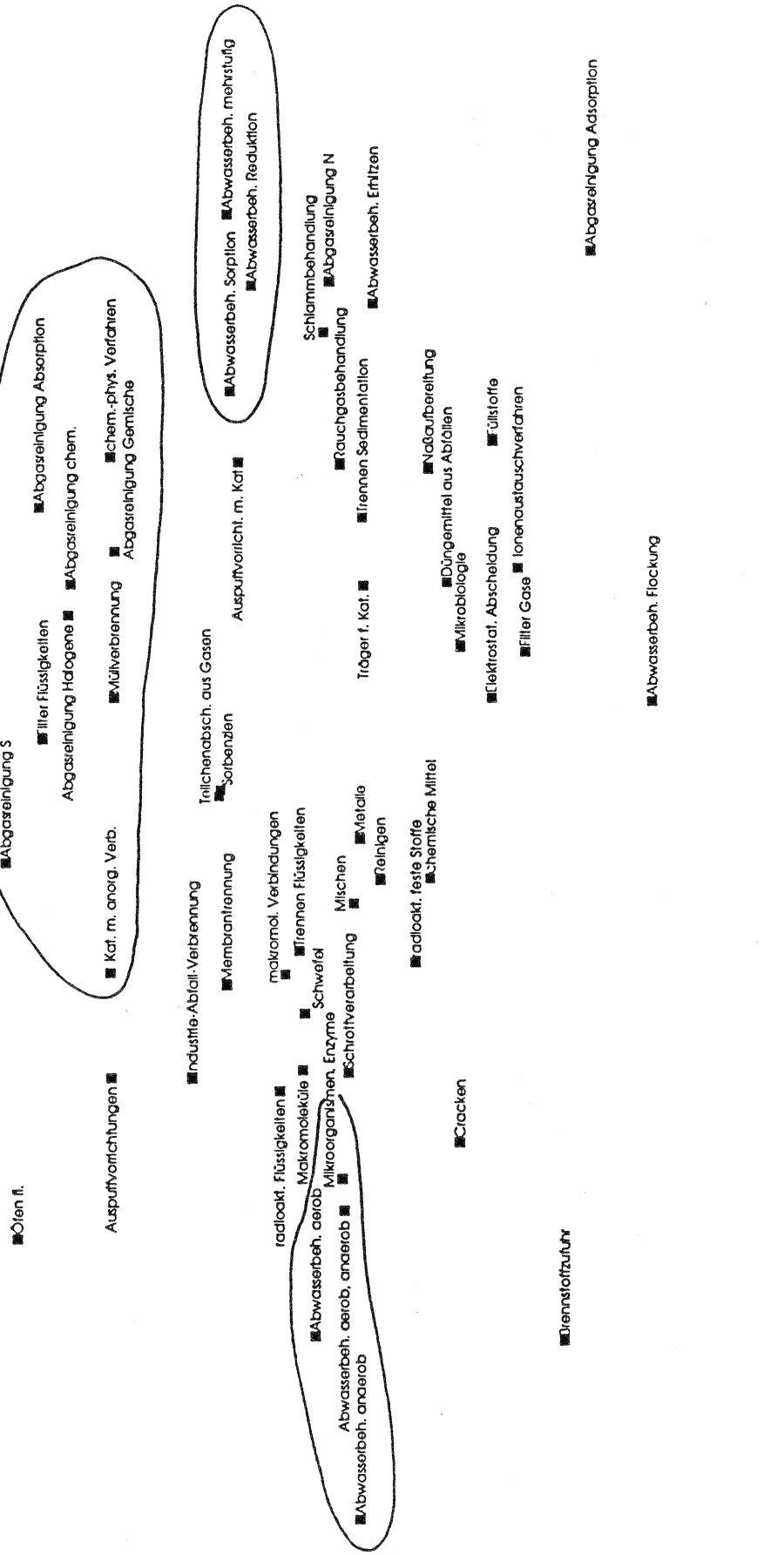
Strukturen im Zeitraum 1984 bis 1986

Die Struktur des Bereichs Abbau von Umweltbelastungen Mitte der 80er Jahre, wie sie sich aus der Verflechtungsanalyse der Patentanmeldungen ergibt, ist in Abbildung 4.7 dargestellt. Deutlich erkennbar sind zwei Cluster, die sich auf die **Abwasserbehandlung** beziehen. Der eine Cluster im Westen der Karte beschreibt die biologischen Abwasserreinigungsverfahren, er ist durch die Begriffe biologische aerobe, biologische anaerobe sowie kombinierte aerobe/anaerobe Abwasserbehandlung definiert. Im Osten der Karte sind die nicht-biologischen Abwasserbehandlungsmethoden, wie z. B. Verfahren auf der Basis von Sorption, von Katalysatoren, von Redoxvorgängen oder nicht näher spezifizierten mehrstufigen Prozessen konzentriert. Zwischen diesen beiden Abwasserclustern liegen im Süden der Karte nicht näher spezifizierte allgemeine Abwasserbehandlungsmethoden.

Im Norden der Karte ist ein Cluster von **Abgasreinigungsverfahren** erkennbar. Hierzu gehören verschiedene Methoden der Abgasreinigung wie chemische Verfahren oder Absorptionsverfahren sowie Abgasreinigungsverfahren für spezielle Schadstoffe wie Schwefelverbindungen oder Halogene. Enge Beziehungen zu diesem Cluster hat auch die Rauchgasbehandlung, die jedoch indirekt über eine Beziehung zu Abgasreinigungsverfahren für Stickstoffverbindungen in südliche Richtung aus diesem Abgascluster verlagert wird. Die Stickstoffabgasreinigungsverfahren wiederum sind aufgrund einer Koppelung an den Begriff Träger für Katalysatoren sowie Auspuffvorrichtungen mit Katalysatoren in südliche Richtung im Vergleich zum Hauptcluster der Abgasreinigung verlagert. Abwasser und Luft/Abgase sind die einzigen erkennbaren Cluster, die die verschiedenen Umweltmedien charakterisieren. Wie schon aus Tabelle 4.4 ersichtlich ist, spielt das dritte wesentliche Umweltkompartiment, der Boden, in der Patentliteratur zum Abbau von Umweltbelastungen Mitte der 80er Jahre keine Rolle. Dies gilt, obwohl explizit in der Suchstrategie nach Bodenverunreinigungen und Sanierungsverfahren gefragt wurde.

Zwischen den erkennbaren Clustern der Umweltmedien gibt es nur wenige **Quervernetzungen** (Abb. 4.7). Insbesondere ist der Luftcluster im Norden deutlich isoliert von den beiden Abwasserclustern im Zentrum der Karte. Dies ergibt sich vor allem aus der Analyse der tabellarischen Verflechtungsbeziehungen. Die beiden Abwassercluster sind verknüpft über eine Patentklasse, die Mischvorrichtungen enthält. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da Mischvorgänge bei fast allen Abwasserreinigungsverfahren eine wichtige Rolle spielen. Eine gewisse Ausnahme sind offensichtlich die anaeroben Verfahren, zu denen keine Quervernetzung zu erkennen ist.

Abbildung 4.7: Abbau von Umweltbelastungen im Zeitraum 1984 bis 1986 - Strukturen im Bereich der technischen Entwicklung



Bei der Betrachtung der allgemeinen **Methoden** zum Abbau von Umweltbelastungen in der Patentliteratur Mitte der 80er Jahre fällt zunächst auf, daß verschiedene Trennverfahren eine wichtige Rolle spielen. Unter den eigentlichen Behandlungsverfahren spielen Katalysatoren auf der Basis anorganischer Verbindungen eine wesentliche Rolle. Wie die Quervernetzungen zu den Begriffen Abgasreinigung für Stickstoffverbindungen bzw. Schwefelverbindungen sowie Auspuffvorrichtungen zeigen, werden diese Katalysatoren hauptsächlich für den Abbau von Schadstoffbelastungen in der Luft eingesetzt. Zusätzlich existiert jedoch auch eine Querbeziehung zu den Abwasserreinigungsverfahren auf der Basis von Redoxvorgängen. Die zweitwichtigste Querschnittsmethodik sind die Membrantrennverfahren, die überwiegend gemeinsam mit verschiedenen Abwasserreinigungsverfahren genannt werden. Eine zusätzliche Quervernetzung ist zur Mikrobiologie erkennbar, was andeuten könnte, daß hier auch kombinierte Verfahren entwickelt werden. Die nicht näher definierten chemisch-physikalischen Verfahren nehmen eine gewisse Vermittlerrolle zwischen dem Abgascluster im Norden und dem nicht-biologischen Abwasserbehandlungscluster im Osten der Karte ein.

Biologische Verfahren beim Abbau von Umweltbelastungen spielen, wie schon erwähnt, in der Patentliteratur Mitte der 80er Jahre vor allem für **Abwasserbehandlungsverfahren** eine Rolle. Ebenso hat die **Mikrobiologie** als weiterer biologischer Begriff erwartungsgemäß starke Quervernetzungen zum Cluster der biologischen Abwasserbehandlung. Zusätzlich sind aber auch direkte und indirekte Bezüge (über die Klasse chemisch-physikalische Verfahren) zum Abgasreinigungscluster zu erkennen. Die Position der Mikrobiologie im Süden der Karte dürfte sich jedoch vor allem aus weiteren Bezügen zur Naßaufbereitung und zur Düngemittelproduktion aus Abfällen ergeben. Insgesamt spielt die Mikrobiologie in der Abbaukarte Mitte der 80er Jahre eine eher zentrale Rolle. Mikrobiologische Verfahren werden nicht nur wie erwartet zur Abwasserreinigung eingesetzt, sondern zeigen auch erste Bezüge zur Abgasreinigung und interessanterweise auch zum Themenbereich Düngemittelproduktion aus Abfällen, der insgesamt als eine Add-on-Technik zur Beseitigung von Umweltbelastungen bezeichnet werden könnte. Die zweite separate biologische Gruppe, die **Mikroorganismen und Enzyme**, weisen eine enge Verbindung zum Cluster der biologischen Abwasserreinigung auf. Daneben deuten sich über Bezüge zu chemischen Mitteln und wiederum zur Düngemittelproduktion aus Abfällen zusätzliche Anwendungsfelder von Mikroorganismen und Enzymen an.

Strukturen im Zeitraum 1989 bis 1991

Die Berücksichtigung der **Umweltmedien**, die beim Schadstoffabbau eine Rolle spielen, hat sich im Bereich der technischen Entwicklung beim Übergang vom Zeitraum 1984 bis 1985 zum Zeitraum 1989 bis 1991 geändert. So sind im Bereich **Abwasser** die biologischen Verfahren (aerobe Abwasserbehandlung, anaerobe Abwasserbehandlung, Abwasserbehandlung mit Mikroorganismen) nicht mehr deutlich von den nicht-biologischen Verfahren wie beispielsweise

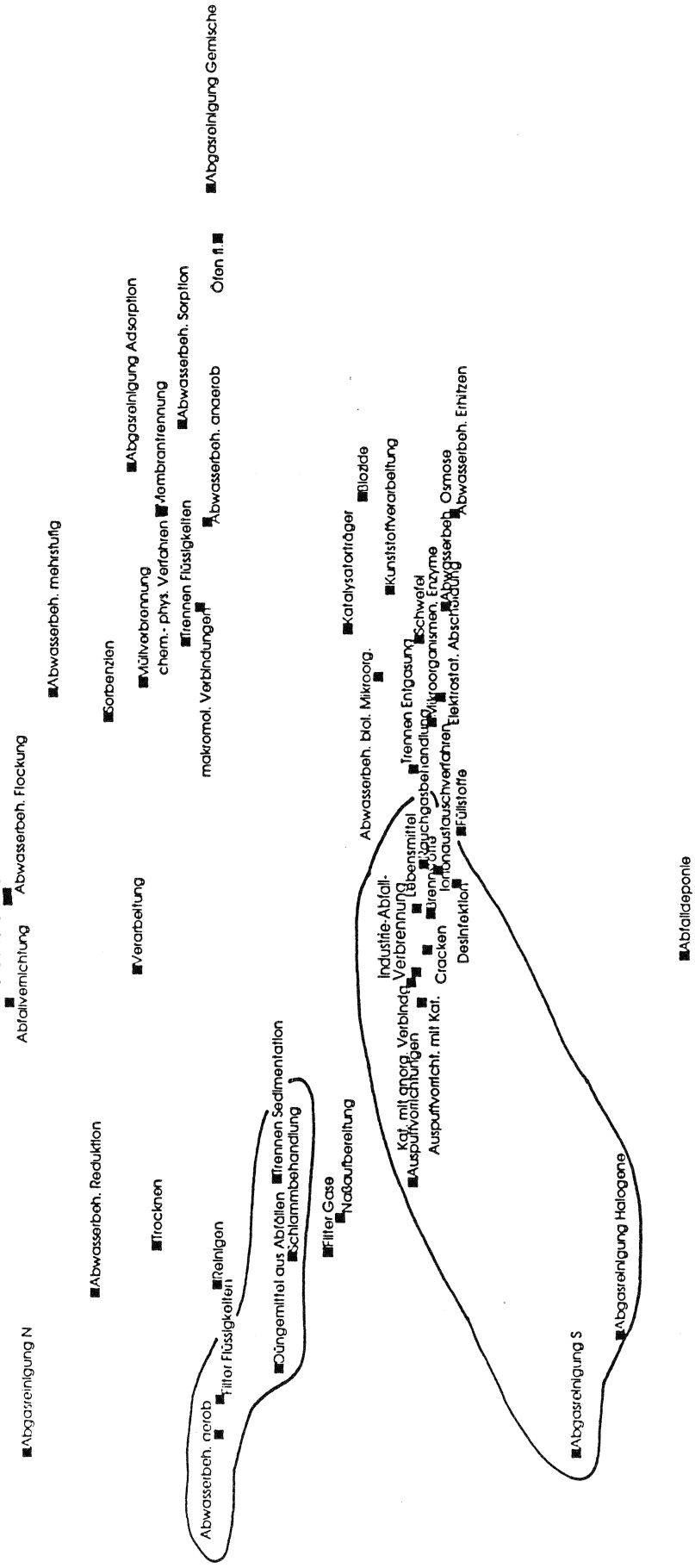
der Abwasserbehandlung durch Osmose, Sorption, Adsorption, Flockung oder auch der mehrstufigen Behandlung getrennt (Abb. 4.8). Statt dessen hat sich im Westen der Karte ein deutlicher Cluster herausgebildet, der sich thematisch auf den Bereich der aeroben Abwasserbehandlung und der hierbei erforderlichen Schlammbehandlung konzentriert. Auffallende Bezüge sind zwischen der aeroben Abwasserbehandlung, der Düngemittelproduktion aus Abfällen sowie der Schlammbehandlung zu erkennen. Zusätzlich sind verschiedene Methoden zum Trocknen und Trennen von flüssigen und festen Phasen in diesem Cluster lokalisiert. Diese Vernetzungen weisen darauf hin, daß in jüngerer Zeit bei der Weiterentwicklung der aeroben Abwasserbehandlung die Fortentwicklung von Schlammbehandlungsmethoden, wozu beispielsweise auch die Düngemittelproduktion aus Klärschlamm zählt, eine wichtigere Rolle spielt. Dieser neu entstandene thematische Cluster überlagert die nach wie vor vorhandenen starken Bezüge der biologischen Verfahren untereinander und führt somit dazu, daß die aerobe Abwasserbehandlung deutlich von den übrigen Abwasserbehandlungsverfahren getrennt wird.

Im Falle des Umweltmediums **Luft** ist in der neueren Karte der schon Mitte der 80er Jahre erkennbare Cluster wesentlich deutlicher ausgeprägt. Dieser Cluster im Süden der Karte enthält nicht nur die Quellen der Luftverunreinigungen wie beispielsweise die Industrieabfallverbrennung, sondern auch verschiedene schadstoffspezifische und allgemeine Behandlungsverfahren. Eine zusätzliche Vernetzung existiert zur Müllverbrennung, die jedoch aufgrund weiterer Querbezüge zur mehrstufigen Abwasserbehandlung, zur Abfallvernichtung und zur Abgasreinigung durch Adsorption in den Norden der Karte verlagert ist. Im Südwesten des Luftclusters sind die spezifischen Reinigungsverfahren für Schwefelverbindungen und Halogene lokalisiert. Beide weisen starke Querbezüge zum Kerncluster Luft auf. Ihre Position im Südwesten läßt sich aufgrund der tabellarischen Verflechtungsbeziehungen nicht erklären. Dies gilt im Prinzip auch für die Abgasreinigung für Stickstoffverbindungen, die trotz der erwarteten starken Beziehungen zum Luftcluster im äußersten Nordwesten der Karte lokalisiert sind. Besonders stark sind die Beziehungen zu den Katalysatoren.

Beim dritten Umweltmedium, dem **Boden**, hat sich in der jüngeren Karte nichts geändert. Die Behandlung von Bodenverunreinigungen ist in der technisch ausgerichteten Patentliteratur auch beim Übergang von den 80er zu den 90er Jahren kein besonders wichtiges Thema.

Die Vernetzungen zwischen den die beiden Umweltmedien Wasser und Luft repräsentierenden Clustern sind auch im jüngeren analysierten Zeitraum relativ gering. Lediglich über die Müllverbrennung, die sowohl Querbezüge zu mehrstufigen Abwasserbehandlungsmethoden als auch zu verschiedenen Abgasreinigungsverfahren aufweist, sowie über die Membrantrennverfahren, die ebenfalls bei der mehrstufigen Abwasserbehandlung und bei Trennverfahren zur

Abbildung 4.8: Abbau von Umweltbelastungen im Zeitraum 1989 bis 1991 - Strukturen im Bereich der technischen Entwicklung



Luftreinigung eingesetzt werden, deuten sich schwache Querbeziehungen an. Eine insgesamt stärkere Verflechtung ist dagegen - wie schon erwähnt - innerhalb des Abwasserclusters zu beobachten.

Die **Methoden** zum Abbau von Umweltbelastungen sind auch beim Übergang zu den 90er Jahren die gleichen geblieben wie schon Mitte der 80er Jahre. Allgemeine Trennverfahren, Membrantrennverfahren sowie Katalysatoren spielen nach wie vor eine zentrale Rolle. Ebenso sind die Anwendungsfelder dieser Methoden unverändert. Katalysatoren werden überwiegend zur Behandlung von Luftverunreinigungen eingesetzt, Membrantrennverfahren dagegen hauptsächlich im Abwasserbereich.

Biologische Verfahren sind auch im neueren Zeitraum vor allem für die Abwasserbehandlung von Bedeutung. Hierbei wurden zu den nach wie vor dominierenden aeroben und anaeroben Verfahren zusätzlich die Abwasserbehandlungsverfahren mit Mikroorganismen neu in die 50 häufigsten Patentklassen aufgenommen. Dagegen zählt die Mikrobiologie als Querschnittsbereich nicht mehr zu den häufigen Themen. Die Abwasserbehandlungsverfahren mit Mikroorganismen stehen erwartungsgemäß in enger Beziehung zu den Mikroorganismen und Enzymen. Diese weisen nicht nur Quervernetzungen mit den Abwasserklassen auf, sondern auch mit der unter dem Begriff Zellulose zusammengefaßten Papierindustrie. Dies ist ein Hinweis darauf, daß im Zusammenhang mit der Abwasserproblematik und ihrer Behandlung, die sich durch die Papierindustrie ergibt, mikrobielle Verfahren an Aufmerksamkeit gewonnen haben. Wie auch schon Mitte der 80er Jahre sind einige Querbezüge der biologischen Ansätze zu nicht-biologischen Verfahren erkennbar. Hierzu zählen beispielsweise Verbindungen der Abwasserbehandlung durch Sorption zu den Mikroorganismen und Enzymen. Insgesamt könnten dies auch wieder Hinweise auf die Bedeutung von kombinierten Methoden sein. Ebenso blieben die Querbeziehungen der mikrobiellen Abwasserbehandlungsverfahren zur Düngemittelproduktion aus Abfällen erhalten, was wiederum als Hinweis auf zusätzliche Anwendungsfelder der biologischen Verfahren gewertet wird. Neu in der Karte für den Zeitraum 1989 bis 1991 sind die Biozide. Wie auch die Analyse der Quervernetzungen zeigt, wird hierbei jedoch nicht die Behandlung, sondern die Belastung von Umweltmedien durch Biozide thematisiert.

Abbau von Umweltbelastungen - Strukturen und Trends im Bereich der technischen Entwicklung

1. Umweltmedien

Abwasserreinigungsverfahren und hier insbesondere biologische Verfahren haben Mitte der 80er Jahre herausragende Bedeutung im Bereich der technischen Entwicklung. Anfang der 90er Jahre hat die Bedeutung der eher etablierten Abwasserreinigungsverfahren jedoch abgenommen. Dagegen sind spezielle Verfahren, beispielsweise mehrstufige Verfahren oder Verfahren mit Hilfe spezieller Mikroorganismen wichtiger geworden. Zudem ist zwischen den verschiedenen Abwasserreinigungsverfahren zu Beginn der 90er Jahre eine zunehmende Verflechtung zu erkennen. Kombinierte Ansätze gewinnen offensichtlich an Bedeutung. Ein weiterer neuer Themenschwerpunkt ist die Schlammbehandlung. Ein zweiter Themenschwerpunkt Mitte der 80er Jahre sind verschiedene Abgasreinigungsverfahren, insbesondere für Schwefel- und Stickstoffverbindungen. Die neueren technischen Entwicklungen beziehen zunehmend die Verknüpfungen von Schadstoffen zu Verursachern ein. Der Abbau von Schadstoffbelastungen im Boden spielt weder in der älteren noch in der neueren Patentliteratur eine Rolle. Wachsende Bedeutung kommt jedoch der Müllbehandlung zu. Insgesamt bestehen zwischen den einzelnen Umweltmedien nur wenige inhaltliche Verknüpfungen.

2. Methoden

Allgemeine Trennverfahren, Membrantrennverfahren und Katalysatoren spielen sowohl Mitte der 80er als auch Anfang der 90er Jahre eine zentrale Rolle. Katalysatoren werden überwiegend zur Behandlung von Luftverunreinigungen eingesetzt, Membrantrennverfahren dagegen hauptsächlich im Abwasserbereich.

3. Biotechnologische Ansätze

Mit Abstand wichtigster Anwendungsbereich ist die Abwasser- und Wasserbehandlung. Biotechnischen Ansätzen zur Abluftbehandlung kommt bisher keine große Bedeutung zu. Ebenso sind biotechnische Bodensanierungsverfahren bisher kein wesentliches Thema in der Patentliteratur. Zu Beginn der 90er Jahre zeichnet sich ab, daß Methodenkombinationen unter Einbezug biotechnischer Verfahren sowie biotechnische Ansätze zur Behandlung spezieller Industrieabfälle an Bedeutung gewinnen.

4.2.3 Allgemeine zeitliche Entwicklungstrends

Während der 80er Jahre nahm die Anzahl der Patentanmeldungen im Bereich Abbau von Umweltbelastungen kontinuierlich zu (Abb. 4.9). Die Gesamtzahl der Patentanmeldungen hat sich im Jahr 1989 im Vergleich zum Jahr 1980 mehr als verdoppelt. Allerdings ist beim Übergang zu den 90er Jahren wie auch schon im Bereich Umweltanalytik eine Stagnation der Patentanmeldungsaktivitäten zu erkennen. Mit Abstand wichtigster Patentanmelder sind die Länder der Europäischen Union (Abb. 4.10). Über den gesamten betrachteten Zeitraum stammen aus der EU rund doppelt so viele Anmeldungen in diesem Bereich wie aus den USA. Innerhalb der europäischen Länder nimmt die Bundesrepublik eine dominierende Position ein. Mehr als die Hälfte der europäischen Patentanmeldungen stammen aus der Bundesrepublik. Seit Mitte der 80er Jahre liegt die Bundesrepublik sogar vor den USA. Die übrigen europäischen Länder, Frankreich, Großbritannien und die Niederlande, weisen im betrachteten Zeitraum keine große Entwicklungsdynamik auf. Lediglich in Frankreich scheint sich gegen Ende der 80er Jahre eine gewisse Intensivierung der Patentanmeldeaktivitäten anzudeuten. Japan spielt im Vergleich zu den USA und zur Europäischen Union und auch zur Bundesrepublik bisher eine eher unbedeutende Rolle in diesem Bereich. Allerdings ist seit Mitte der 80er Jahre ein deutlicher Anstieg der Anzahl der japanischen Patentanmeldungen zu erkennen. Das erreichte Absolutniveau bleibt dennoch relativ niedrig und ist in etwa vergleichbar mit dem Niveau der Bundesrepublik zu Beginn der 80er Jahre. Es bleibt allerdings abzuwarten, ob sich die angedeutete Intensivierung der japanischen Patentaktivitäten in diesem Bereich in den 90er Jahren verstärken wird.

Abbildung 4.9: Zeitliche Entwicklung von Patentanmeldungen im Bereich Abbau von Umweltbelastungen

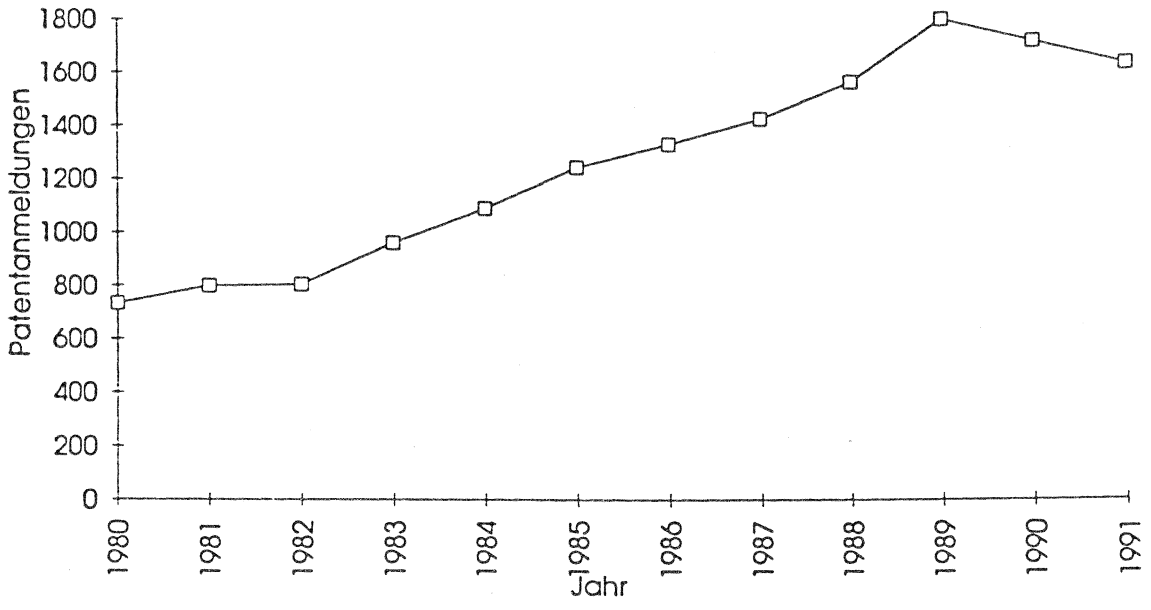
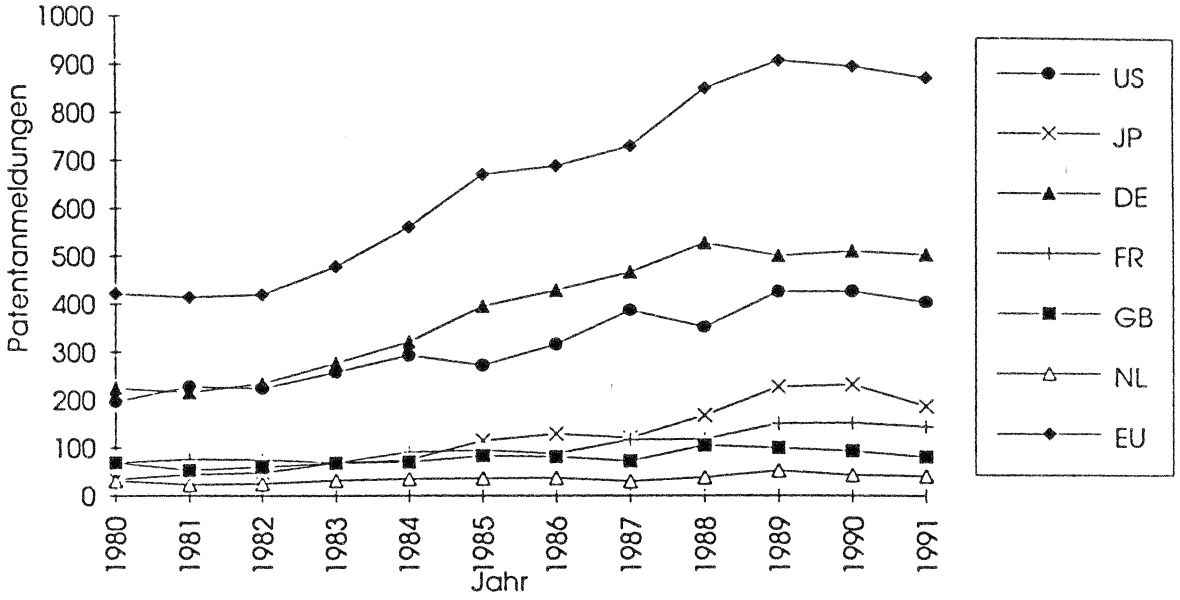


Abbildung 4.10: Länderspezifische Aufschlüsselung der zeitlichen Entwicklung von Patentanmeldungen im Bereich Abbau von Umweltbelastungen



4.3 Vermeidung von Umweltbelastungen

4.3.1 Strukturen und Trends im Bereich der Wissenschaft

Der Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen ist insgesamt sehr heterogen, was sich darin äußert, daß entsprechende Dokumente praktisch über alle Klassen der verwendeten Literaturdatenbank verteilt sind. Weiterhin sieht das Klassifikationsschema der Datenbank keine speziellen Codes für diesen Bereich vor. Daher mußte eine Suchstrategie verwendet werden, die ausschließlich auf Stichworten basiert (vgl. Kap. 3.1.1.1). Die folgende Darstellung ist vor dem Hintergrund dieser methodischen Einschränkungen zu sehen. Bei den analysierten Begriffen geht der Vermeidungsaspekt entweder unmittelbar aus dem Begriff hervor (z. B. Energieeinsparung) oder die Begriffe wurden deswegen erfaßt, weil sie in Kombination mit Stichworten, die den Bereich Vermeidung umschreiben, in den Dokumenten auftraten.

Mitte der 80er Jahre konzentrierten sich die meisten wissenschaftlichen Arbeiten zum Thema Vermeidung von Umweltbelastungen auf die Themen Energieeinsparung, Vermeidung von Luftverschmutzung, Lärmminderung, Vermeidung von Umweltbelastungen im Zusammenhang mit dem Bau von Gebäuden, Konstruktion und Betrieb verschiedener Motorentypen, Wasser

und Abwasser sowie Hochöfen und anderen auf Verbrennung beruhende Prozessen (Tab. 4.5). Biologische Begriffe tauchen nicht unter den 50 häufigsten Deskriptoren auf.

Tabelle 4.5: Zeitliche Entwicklung der häufigsten Themen des Bereichs Vermeidung von Umweltbelastungen in der Wissenschaft

	1985 Anteil in % (N=1919)	1990 Anteil in % (N=1801)	Zuwachs in %
Energieeinsparung	19,85	1,94	↓↓
Luftverschmutzung	9,43	7,94	→
Lärmminderung	7,71	5,05	→
Gebäude	5,52	1,22	↓↓
Wasser	5,11	2,89	→
Hochöfen	4,64	0,39	↓↓
Abfallbeseitigung	4,22	2,17	→
Heizung	4,06	0,39	↓↓
Stahl	3,13	1,89	→
Abwasser	2,92	1,00	↓↓
Verbrennung	2,71	1,78	→
Lärm	2,61	2,11	→
Industrieanlagen	2,50	1,28	→
Papierindustrie	2,34	0,50	↓↓
Abgase	2,24	1,28	→
Erdöl	2,24	1,28	→
Steuerungssysteme	2,19	2,33	↑
Dieselmotoren	2,14	3,28	↑↑
Kraftstoffe	2,03	1,72	→
Wohngebäude	2,03	0,00	↓↓
Klimaanlagen	1,98	0,44	↓↓
Flugzeuge	1,93	1,50	→
KFZ	1,93	0,67	↓↓
Flüssigkeitsströme	1,93	4,33	↑↑↑
Kunststoff	1,93	4,05	↑↑↑
KFZ-Motoren	1,88	1,94	
Kesselheizungen	1,82	0,89	↓↓
Glas	1,82	1,00	→
Industrieabfälle	1,82	0,78	↓↓
Eisen	1,82	0,67	↓↓
Kessel	1,77	0,28	↓↓
Wärmepumpen	1,77	0,17	↓↓
Walzwerke	1,72	0,11	↓↓
Schmutzwasserpumpen	1,72	0,00	↓↓
Verbrennungsmotoren	1,67	2,83	↑↑
Wärmeaustauscher	1,67	0,28	↓↓
Solarenergie	1,62	0,33	↓↓

	1985 Anteil in % (N=1919)	1990 Anteil in % (N=1801)	Zuwachs in %
Akustik	1,56	1,61	
Wärmetransfer	1,56	1,67	↑
Prozeßsteuerung	1,56	0,28	↓↓
Papier	1,51	0,28	↓↓
Ventilation	1,51	0,50	↓↓
Elektromotoren	1,46	0,50	↓↓
Erdgas	1,41	0,00	↓↓
chem. Reaktionen	1,35	2,05	↑↑
Erzbehandlung	1,30	0,33	↓↓
Zellstoff	1,30	0,11	↓↓
Müllbeseitigung	1,30	0,83	→
Chemie	1,25	0,67	→
Trockner	1,20	0,28	↓↓
Stromerzeugung	1,15	2,22	↑↑
Computersimulation	0,89	1,94	↑↑↑
Stickoxide	0,73	2,50	↑↑↑
Polymere	0,73	4,39	↑↑↑
Kernreaktoren	0,47	1,28	↑↑↑
Boden	0,47	1,72	↑↑↑
Keramik	0,42	2,61	↑↑↑
fossile Energie	0,42	1,67	↑↑↑
Laser	0,42	2,33	↑↑↑
Computer	0,36	2,50	↑↑↑
Medizintechnik	0,31	2,39	↑↑↑
Katalyse	0,26	1,72	↑↑↑
Materialbelastung	0,21	1,89	↑↑↑
Organika	0,21	1,55	↑↑↑
Kohlendioxide	0,16	1,72	↑↑↑
Licht	0,16	1,28	↑↑↑
Mikroskopie	0,16	1,50	↑↑↑
Aluminium	0,10	1,28	↑↑↑
IC Herstellung	0,10	1,28	↑↑↑
biol. Materialien	0,00	1,94	nach 1985
Computer Systeme	0,00	1,55	neu
Kristalle	0,00	2,17	eingeführt
Flüssigkeiten	0,00	1,28	
Spektroskopie	0,00	1,94	

Zeitliche Entwicklung von Einzelthemen

Die Häufigkeit der Nennung einzelner Themen in der wissenschaftlichen Literatur zum Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen hat sich im Übergang vom Jahr 1985 zum Jahr 1990 erheblich verändert (Tab. 4.5). Die noch 1985 zu den wichtigsten Themen zählenden Stichworte Energieeinsparung, Wasser bzw. Abwasser sowie Abfallbeseitigung haben sehr stark an Bedeutung eingebüßt. Auch die Lärmminderung hat - allerdings weniger dramatisch - an Bedeutung verloren.

Bemerkenswerte Verschiebungen hat es bei Begriffen gegeben, die alle dem **Materialsektor** zuzurechnen sind. Die eher konventionelle Materialbereiche definierenden Begriffe wie Stahl, Eisen und damit zusammenhängend die erforderliche Methodik zur Erzbehandlung, Hochöfen sowie Walzwerke haben insgesamt an Bedeutung eingebüßt. Dagegen haben neuere Materialien deutlich an Beachtung in der wissenschaftlichen Literatur gewonnen. Dazu gehören die Kunststoffe und damit zusammenhängend auch Polymere und andere Organika, keramische Werkstoffe, Kristalle sowie auch Aluminium als Leichtbauwerkstoff. Die Definition der Organika schließt beispielsweise spezielle hitzebeständige Materialien und Dünnfilmschichten ein. Dies ist ein Hinweis darauf, daß es sich um ausgesprochene Hochleistungsmaterialien handelt. Zusammenhängend mit diesen neueren Materialien haben auch Methoden, die zur Bearbeitung bzw. Herstellung dieser Materialien benötigt werden, an Bedeutung gewonnen. Beispiele hierfür sind chemische Reaktionen sowie die Lasertechnologie. Insgesamt deuten diese Verschiebungen im Materialsektor darauf hin, daß aus Sicht der Wissenschaft die Substitution konventioneller Materialien durch neue Hochleistungsmaterialien ein wichtiger Beitrag zur Vermeidung von Umweltbelastungen sein kann. Ein Beispiel für umweltentlastende Effekte wären Energieeinsparungen im Zusammenhang mit der Substitution von Stahl, das sowohl energieintensiv produziert wird als auch aufgrund seines Gewichtes beispielsweise bei Anwendungen im Verkehrssektor zu höheren Energieverbräuchen führt als dies bei der Verwendung von Leichtbauwerkstoffen der Fall ist.

Eine weitere deutliche Verschiebung hat sich beim Thema **Verbrennungsmotoren**, wozu beispielsweise Dieselmotoren, nicht näher definierte Verbrennungsmotoren sowie Motoren für Kraftfahrzeuge zählen, ergeben. Dieses Thema findet insgesamt deutlich stärkere Beachtung in der jüngeren wissenschaftlichen Literatur. Umweltschonende Effekte sind in diesem Zusammenhang einmal durch die Vermeidung bzw. Reduktion von Abgasen sowie durch eine Energieeinsparung durch effizientere Energienutzung beim Betrieb denkbar.

Unter den Querschnittsmethoden im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen fällt zum einen ein erheblicher Bedeutungszuwachs des Themas **Katalyse** auf. Umweltentlastende Effekte durch den Einsatz energiesparender katalytischer Prozesse werden in der jüngeren wis-

senschaftlichen Literatur offensichtlich stärker thematisiert. Ein zweites Beispiel betrifft die **Informationstechnik**. Diese wird in der Stichwortliste durch die eher grundlegenden Begriffe Computerprogrammierung und Computersysteme sowie durch die auf Anwendungen ausgerichtete Computersimulation definiert. Dieser gesamte Themenkomplex hat wesentlich an Bedeutung gewonnen. Dies wird als Hinweis auf eine zunehmend wichtigere Rolle der Informationstechnik im Umweltschutz und speziell im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen interpretiert. Aus der Stichwortliste läßt sich gleichzeitig entnehmen, daß die verstärkte Nutzung der Informationstechnik als Nebeneffekt auch negative Auswirkungen auf die Umwelt haben kann. Erwartungsgemäß nimmt nämlich die Nennung des Begriffs Produktion von integrierten Schaltkreisen zu. Die IC-Produktion wiederum ist bekanntlich mit teilweise erheblichen Umweltbelastungen verbunden.

Biologische Komponenten

Der Anteil der biologischen Stichworte in der wissenschaftlichen Literatur zum Teilbereich Vermeidung von Umweltbelastungen hat sich beim Übergang vom Jahr 1985 zum Jahr 1990 vervierfacht (vgl. Kap. 4.4). Dennoch ist der Gesamtanteil von rund 4 % immer noch so gering, daß die biologischen Stichworte unter den 50 häufigsten Stichworten keine Rolle spielen. Lediglich zwei Begriffe tauchen in der neueren Literatur auf: Biologische Materialien und die Medizintechnik. Beide beziehen sich überwiegend auf medizinische Probleme und sind nicht von unmittelbarer Relevanz für die Vermeidung von Umweltbelastungen. Der insgesamt dritthäufigste biologische Begriff, die Enzyme, hat knapp die Schwelle der 50 häufigsten Begriffe verfehlt. Die Bedeutung der Enzyme für die Vermeidung von Umweltbelastungen wird in der neueren wissenschaftlichen Literatur wesentlich höher eingeschätzt. Dies zeigt sich in der um mehr als das Vierfache angewachsenen Anzahl der Nennungen. Zu den weiteren biologischen Begriffen, die in der neueren wissenschaftlichen Literatur zum Thema Vermeidung von Umweltbelastungen häufiger auftauchen, zählen die Biomasse, Biopolymere, Bioreaktoren, Biosensoren, Biogas und die eher allgemeinen Begriffe Mikroorganismen, Bakterien und Biotechnologie. Insgesamt deutet sich somit an, daß die Biotechnologie in der wissenschaftlichen Literatur als eine wichtiger werdende Strategie zur Vermeidung von Umweltbelastungen eingeschätzt wird.

Berücksichtigt man die diskutierten Verschiebungen bei den Einzelthemen, so werden die fortgeschrittenen Materialien insgesamt zum wichtigsten Themenfeld der wissenschaftlichen Literatur des Jahres 1990 zum Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen. Die Luftverschmutzung und die Lärmvermeidung bleiben unverändert auf den nachfolgenden Plätzen zwei und drei. Energieeinsparung als Oberbegriff zählt nicht mehr zu den wichtigsten Themen. Dies muß jedoch nicht bedeuten, daß das Interesse an dieser Thematik in der wissenschaftlichen Literatur dramatisch abgenommen hat: Wie schon mehrfach erwähnt, ist in der neueren Literatur eine

stärkere Differenzierung der Themendefinition festzustellen, so daß Energieeinsparung als Oberbegriff durch spezifischere Stichworte zu den in Frage kommenden Maßnahmen für Energieeinsparung ersetzt werden kann.

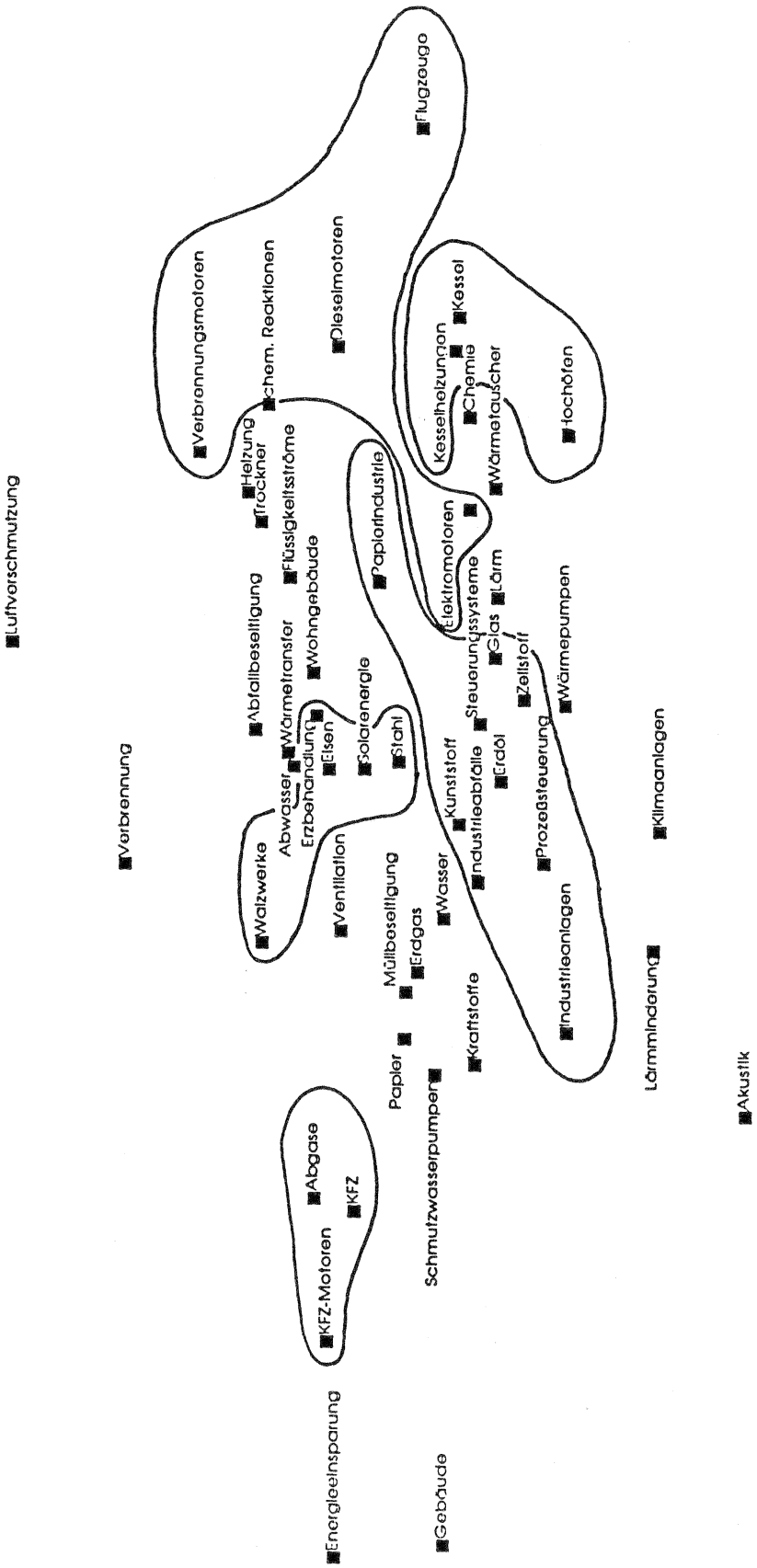
Strukturen im Jahr 1985

Die grundsätzliche Heterogenität des Bereichs Vermeidung von Umweltbelastungen wird auch in der Karte des Gebietes deutlich (Abb. 4.11). Dennoch lassen sich einige bemerkenswerte Strukturen und Zusammenhänge erkennen.

Im Westen der Karte liegt ein Cluster zum Thema **Kraftfahrzeuge**, der durch die Begriffe Kraftfahrzeuge, Kraftfahrzeugmotoren und Abgase definiert wird. Dieser Cluster hat deutliche direkte und über den Begriff Verbrennung indirekte Quervernetzungen zur Luftverschmutzung im Norden der Karte. Weitere Bezüge sind zu den Kraftstoffen und zum Begriff Lärmminderung im Süden der Karte zu erkennen. Insgesamt verdeutlichen diese Strukturen, daß die Vermeidung von Umweltbelastungen im Zusammenhang mit dem Betrieb von Kraftfahrzeugen ein wesentliches Thema der wissenschaftlichen Literatur Mitte der 80er Jahre war. Als Strategien werden hierbei offensichtlich direkte Maßnahmen zur Lärmminderung verfolgt, beispielsweise verbesserte Schallisolierungen der Motoren oder auch geringere Abrollgeräusche durch Optimierung der Reifen- und Fahrbahnbeschaffenheit beinhalten können. Indirekt dürfte vor allem die Verbesserung der Kraftstoffnutzung, die sich thematisch hinter dem Begriff Kraftstoffe verbirgt, zu Umweltentlastungen führen. Hierdurch werden einerseits direkte Emissionsreduktionen möglich, was sich auch durch Quervernetzungen des Begriffs Kraftstoffe zur Verbrennung und Luftverschmutzung verdeutlicht. Andererseits wirkt sich die hiermit verbundene Energieeinsparung indirekt positiv auf die Umwelt aus. Ein zweiter Motorencluster ist im Osten der Karte zu erkennen. Er wird durch die Begriffe Dieselmotoren, Flugzeugmotoren und nicht näher spezifizierte Motoren definiert. Auch dieser Cluster ist mit der Luftverschmutzung und der Lärmminderung vernetzt. Insgesamt weisen diese Bezüge der beiden Motorencluster darauf hin, daß die Hauptziele der wissenschaftlichen Arbeiten im Zusammenhang mit der Vermeidung von Umweltbelastungen beim Betrieb von Motoren auf die Minderung der Luftverschmutzung und der Lärmemission zielen.

Weitere Strukturen in der Karte aus dem Jahr 1985 sind für die Themenfelder Eisen-Stahlindustrie (Eisen und Legierungen, Stahl, Walzwerke), sonstige Industrieanlagen (Industrieanlagen, Industrieabfälle, Glas, Papierindustrie) sowie für Feuerungsanlagen (Kesselbefeuerung, Heizkessel, Öfen) erkennbar.

Abbildung 4.11: Vermeidung von Umweltbelastungen im Jahr 1985 - Strukturen in der Wissenschaft



Alle genannten Cluster sind vor allem über zwei Schlüsselbegriffe verknüpft. Der erste Schlüsselbegriff ist die **Kraftstoffeinsparung**, die in der wissenschaftlichen Literatur offensichtlich ein zentraler methodischer Ansatz zur Vermeidung von Umweltbelastungen in wesentlichen Anwendungsfeldern darstellt. Das zweite Beispiel betrifft die **Prozeßüberwachung bzw. -steuerung**. Die dieses Thema definierenden Begriffe Steuerungssysteme und Prozeßkontrolle weisen ebenfalls Bezüge zu allen wichtigen erkennbaren Clustern der 1985er-Karte auf. Dies sind insbesondere die Industriecluster im Zentrum der Karte (Eisen-Stahl-, Papier-, sonstige Industrie), die Befeuerung und Öfen im Osten der Karte, Gebäude und Heizungssysteme sowie die Energieeinsparung im Osten der Karte.

Strukturen im Jahr 1990

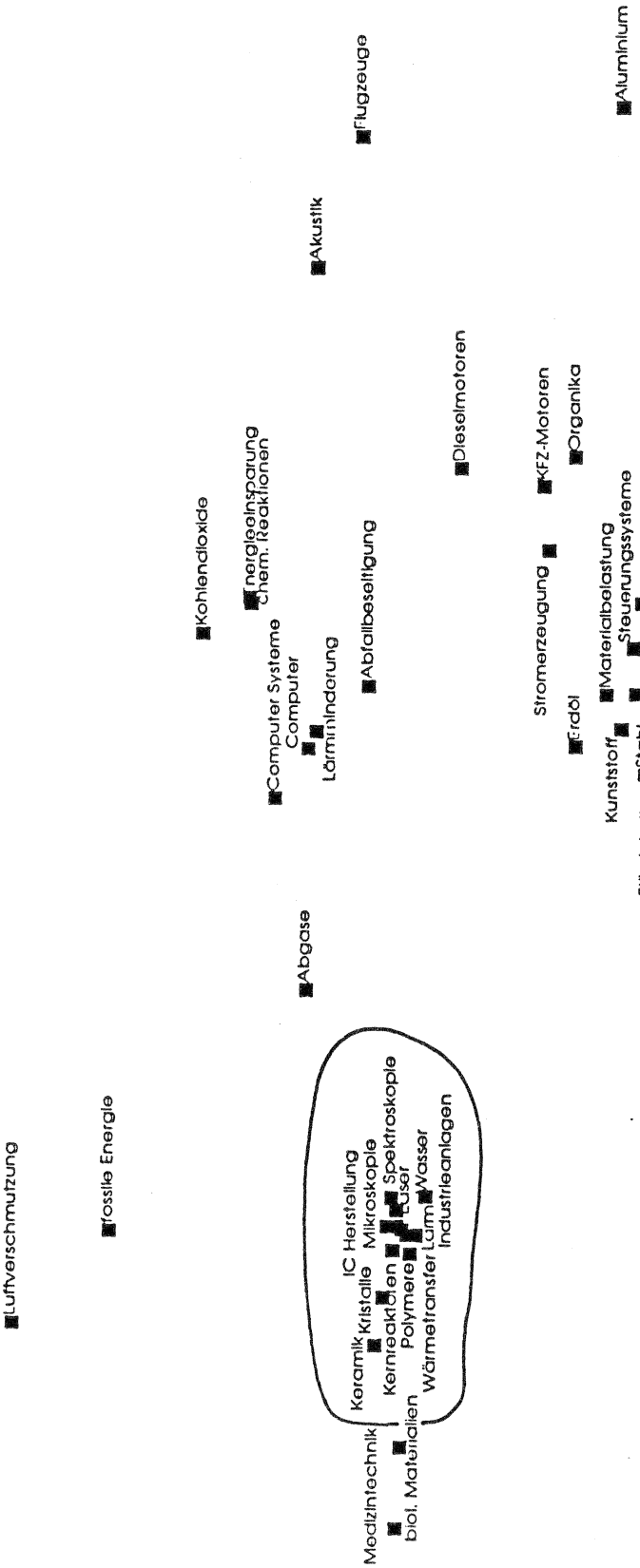
Die Struktur des Bereichs Vermeidung von Umweltbelastungen, wie sie sich aus der Analyse der wissenschaftlichen Literatur ergibt, hat sich beim Übergang vom Jahr 1985 zum Jahr 1990 deutlich verändert. Eine wesentliche Ursache für diese Strukturänderungen sind die erheblichen Häufigkeitsverschiebungen bei den wichtigsten genannten Deskriptoren (vgl. Tab. 4.5).

Der Bereich **Verbrennungskraftmaschinen**, der Mitte der 80er Jahre vor allem durch zwei Cluster (Automobilmotoren und sonstige Motoren) repräsentiert war, stellt sich im Jahr 1990 als ein breiteres Band dar, das sich im Süden der Karte von den nicht näher definierten Motoren und der Verbrennung im Westen bis zu den Dieselmotoren im Osten erstreckt. In diesem Band sind auch die Stickoxide als wichtige Schadstoffe von Verbrennungskraftmaschinen, Katalysatoren als wesentliche Methode zur Vermeidung der Emission von Luftschadstoffen sowie das Querschnittsthema Kraftstoffeinsparung lokalisiert. Insgesamt deutet diese Ausweitung der Motorencluster darauf hin, daß in der wissenschaftlichen Literatur das Thema Verbrennungskraftmaschinen im Zusammenhang mit der Vermeidung von Umweltbelastungen in jüngerer Zeit in einem eher größeren Kontext thematisiert wird.

Die **neuen Materialien** bilden im Osten der Karte einen eigenständigen Cluster. Er wird definiert durch die Begriffe Keramik, Kristalle und Polymere. Die Kunststoffe und Aluminium als Leichtbaustoff weisen ebenfalls deutliche Querbezüge zu diesem Materialcluster auf, werden jedoch über zusätzliche Verflechtungen zu Petroleum (Plastik) bzw. zu Flugzeugen (Aluminium) aus dem Kernbereich des Materialclusters herausgezogen.

Der Materialcluster wird von einem **Methodencluster** überlagert. Dieser ist definiert durch die Begriffe Mikroskopie, Laser, Herstellung intergrierter Schaltkreise und Spektroskopie. Erwartungsgemäß bestehen innerhalb dieses Clusters besonders starke Verbindungen zwischen der Lasertechnik und der Herstellung integrierter Schaltkreise.

Abbildung 4.12: Vermeidung von Umweltbelastungen im Jahr 1990 - Strukturen in der Wissenschaft



Nicht direkt zum kombinierten Material/Methodencluster gehören die Begriffe Kernreaktoren, Hitzetransfer, Industrieanlagen und Wasser. Sie werden jedoch durch indirekte Vernetzungen mit Teilthemen des Clusters in dessen Nähe gerückt. Im Falle der Kernreaktoren bestehen Verknüpfungen zum Materialcluster über die Keramik und zum Methodencluster über die Mikroskopie. Der Wärmetransfer vermittelt die Vernetzung der Industrieanlagen und des Begriffs Wasser zum Methodencluster. Innerhalb des Methodenclusters ist eine Koppelung des Wärmetransfers zur Herstellung integrierter Schaltkreise (IC) zu erkennen. Hier wird offensichtlich das Wärmeableitproblem bei ICs thematisiert.

Insgesamt zeigt die Herausbildung eines Clusters für neue Materialien, daß aus Sicht der Wissenschaft im Zusammenhang mit der Vermeidung von Umweltbelastungen ein enger inhaltlicher Zusammenhang zwischen den einzelnen Materialthemen existiert.

Auch die zweite Gruppe der in jüngerer Zeit wichtiger gewordenen Einzelthemen aus dem Bereich **Informationstechnik** hat zur Ausbildung zusätzlicher Strukturen in der Vernetzungskarte geführt. Es handelt sich um die Begriffe Computerprogramme, Computersimulation und Computersysteme. Zwischen diesen Begriffen herrscht eine enge Quervernetzung. Die Computersysteme und die Programmierung, die beide eher grundlegende Aspekte der Informationstechnik betreffen, weisen insgesamt nur wenige zusätzliche externe Querbeziehungen auf. Dagegen hat die Computersimulation, die praktisch die Anwendung der informationstechnischen Konzepte darstellt, deutliche Querbeziehungen zu verschiedenen Anwendungsbereichen. Diese zusätzlichen Vernetzungen sind letztlich auch für die Verlagerung der Computersimulation aus dem Kerncluster der Informationstechnik in Richtung Südwesten verantwortlich. Im einzelnen existieren Verknüpfungen zum Bereich Motoren und zur Kraftstoffeinsparung, zu den Energieanlagen, zum Materialcluster über den Begriff Kristalle sowie zur Medizintechnik. Die einzige stärkere Quervernetzung der Computerprogrammierung außerhalb des Informationstechnikclusters bezieht sich auf Steuerungssysteme. Diese weisen einerseits zusätzliche Verknüpfungen zur Computersimulation auf und andererseits sind Bezüge zu Anwendungsbereichen erkennbar. Dazu gehören Motoren, Lärmminderung, Verbrennung, Stromerzeugung und die Kraftstoffeinsparung.

Insgesamt deutet die Struktur somit darauf hin, daß sich die wissenschaftlichen Arbeiten zur Informationstechnik im Zusammenhang mit der Vermeidung von Umweltbelastungen sowohl auf grundlegende Aspekte konzentrieren, die vor allem durch die Quervernetzungen innerhalb des Informationstechnikclusters verdeutlicht werden, als auch auf bestimmte Anwendungsfelder. Die wichtigsten hiervon sind Verbrennungsvorgänge im Zusammenhang mit dem Betrieb von Motoren und der Stromerzeugung, die Lärmreduktion sowie Materialfragen.

Wie schon erwähnt, ist die Relevanz der in der Karte genannten biologischen Komponenten für die Vermeidung von Umweltbelastungen eher gering einzuschätzen. Der Grund hierfür ist, daß sich die beiden Begriffe biologische Materialien und Medizintechnik überwiegend auf Anwendungen in der Medizin (z. B. Implantate oder natürlich vorkommende Körperbestandteile) beziehen und nicht direkt auf Umweltaspekte. Daher sind auch die Quervernetzungen dieser Begriffe für die eigentliche Fragestellung weniger relevant und werden aus diesem Grunde nicht ausführlich diskutiert. Die Position der beiden Begriffe in der Nähe des Materialclusters ergibt sich unmittelbar aus Quervernetzungen zu diesem Cluster, insbesondere zu den Begriffen Keramik und Polymere. Die Medizintechnik wird zusätzlich über Verknüpfungen zu Begriffen des Methodenclusters (Laser und Spektroskopie) in diese Position gedrängt.

Vermeidung von Umweltbelastungen - Strukturen und Trends im Bereich der Wissenschaft

1. Wichtige Themen

In diesem insgesamt sehr heterogenen Bereich kristallisieren sich Mitte der 80er Jahre folgende Schwerpunkte heraus: Energieeinsparung, Vermeidung von Luftverschmutzungen, Lärmminderung, Vermeidung von Umweltbelastungen im Bauwesen, Konstruktion und Betrieb verschiedener Motorentypen, Wasser und Abwasser sowie verschiedene Verbrennungsprozesse.

Auch Anfang der 90er Jahre zählen die Vermeidung von Luftverschmutzungen und die Lärmminderung zu den wichtigsten Themen. Die Verbrennungskraftmaschinen werden in einem größeren Kontext als noch 1985 thematisiert. Als neue Schwerpunkte kristallisieren sich neue Materialien, katalytische Prozesse und die Informationstechnik heraus.

Zu den neuen Materialien zählen verschiedene Kunststoffe, Kristalle, Keramik und Aluminium als Leichtbaustoff. Insgesamt zeigt die Herausbildung eines Clusters für neue Materialien, daß aus Sicht der Wissenschaft zur Vermeidung von Umweltbelastungen ein enger inhaltlicher Zusammenhang zwischen verschiedenen materialrelevanten Themen existiert. Die wissenschaftlichen Arbeiten zur Informationstechnik konzentrieren sich sowohl auf grundlegende Aspekte als auch auf Anwendungsmöglichkeiten, vor allem im Zusammenhang mit Verbrennungsvorgängen, Motoren, Stromerzeugungsanlagen, der Lärmreduktion sowie Materialfragen.

2. Biotechnologische Ansätze

Biotechnologische Ansätze zur Vermeidung von Umweltbelastungen zählen bisher zwar nicht zu den häufigen Themen der wissenschaftlichen Literatur, sind aber auf niedrigem Niveau zu Beginn der 90er Jahre sichtlich in ihrer Bedeutung gewachsen. Erkennbare Trends sind biotechnologische Stoffumwandlungsprozesse, biologische Materialien sowie der Einsatz biotechnischer Komponenten zur Optimierung von Prozeßüberwachung bzw. -steuerung.

4.3.2 Strukturen und Trends im Bereich der technischen Entwicklung

Wie auch schon in der wissenschaftlichen Literatur stellt sich das Thema Vermeidung von Umweltbelastungen in der Patentliteratur als sehr heterogen dar. Dies zeigt sich beispielsweise darin, daß die Patentanmeldungen, verglichen mit den anderen Teilbereichen der Umwelttechnik, auf eine größere Anzahl von unterschiedlichen Patentklassen verteilt sind. Weiterhin werden in den einzelnen Patentschriften relativ wenige Mehrfachklassifikationen vergeben. Dies führt insgesamt dazu, daß in der Verflechtungsmatrix viele Leerstellen auftreten. Falls dagegen Verknüpfungen existieren, ist das Verflechtungsmaß gering. Aufgrund dieser speziellen Problematik des Themas Vermeidung von Umweltbelastungen ist eine methodisch korrekte Verflechtungsanalyse nicht durchführbar. Aussagen über inhaltliche Schwerpunkte und zeitliche Entwicklungstrends lassen sich dennoch auf Basis der Klassenhäufigkeiten in den betrachteten Zeiträumen ableiten.

Im Zeitraum 1984 bis 1986 wurden insgesamt 912 Patente zum Thema Vermeidung von Umweltbelastungen erfaßt (Tab. 4.6). Die wichtigsten Themen, die jeweils rund 10 % der gesamten Patente ausmachen, sind Strategien zur **Lärmvermeidung** und die Entwicklung von Abgasreinigungsverfahren im Zusammenhang mit Verbrennungsvorgängen. Zur Lärmvermeidung zählen die Einzelthemen Schalldämpfer, Autoschalldämpfer, Lärmisolierung und Lärmminderung. Der zweite wichtige Themenbereich, die **Abgasemissionsminderung**, wird durch die Patentklassen Motoren, Auspuffanlagen, Öfen für flüssige bzw. feste Brennstoffe, Brennstoffe, Brenner, Brennstoffzufuhr und Abgasreinigung definiert. Ein dritter Themenschwerpunkt sind technische Entwicklungen zur Vermeidung von Umweltbelastungen im Zusammenhang mit der **Papierindustrie**. Dieser Komplex macht zwischen 3 und 4 % der gesamten Patentanmeldungen aus und wird im einzelnen durch die Klassen Papierherstellung, Pulpenbehandlung und Zellstofflaugung abgegrenzt. Andeutungsweise läßt sich ein vierter Schwerpunkt zum Thema **thermische Müllbehandlung** erkennen. Hierzu zählen die Begriffe Müllverbrennung und Industrieöfen, die insgesamt jedoch auf nur einen geringen Anteil aller Patentanmeldungen kommen. Der überwiegende Anteil der Patentanmeldungen zur Vermeidung von Umweltbelastungen bezieht sich jedoch auf Einzelthemen, die jeweils wenig häufig sind und mehr oder weniger isoliert dastehen.

Der Anteil der biologierelevanten Patentklassen ist mit ca. 1,5 % sehr gering. Entsprechende Patentklassen tauchen daher nicht unter den häufigsten Klassen auf.

Im Zeitraum 1989 bis 1991 ist die Anzahl der Patentanmeldungen im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen auf 1.570 gestiegen. Die schon Mitte der 80er Jahre zu erkennenden Themenschwerpunkte sind auch Anfang der 90er Jahre erhalten geblieben. Der Schwerpunkt

Tabelle 4.6: Patentanmeldungen im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen

	1984 Anteil in % (N=912)	1989 Anteil in % (N=1570)	Zuwachs in %
Schalldämpfer allg.	3.62	4.46	↑
Autoschalldämpfer	3.07	2.17	↓
Motoren	2.30	1.59	↓
Öfen fl.	2.08	1.72	↓
Cracken	1.97	1.27	↓
Lärmisolierung	1.86	1.15	↓
Schichtkörper	1.86	1.91	
Brennstoffe fl.	1.75	1.08	↓
Zellstofflaugen	1.75	1.21	↓
Makromoleküle	1.54	1.40	↓
Auspuffanlagen	1.43	0.76	↓
Transportbehälter	1.43	3.95	↑↑↑
Auspuff/Schalldämpfer	1.43	1.91	↑
Abgasreinigung	1.32	0.25	↓↓
Kunststoffbearbeitung	1.32	0.89	↓
Fahrzeugisolierung	1.32	1.46	↑
Papierherstellung	1.32	1.72	↑
Lärmminderung	1.32	1.40	↑
Membrantrennung	1.21	1.02	↓
Werkstoffreinigung	1.21	1.59	↑
Öfen fest	1.21	0.38	↓↓
Werkzeugmaschinen	1.10	0.25	↓↓
Überzugsmittel	1.10	0.83	↓
Brenner	1.10	1.15	
Müllverbrennung	1.10	1.21	↑
Brennstoffzufuhr	0.99	1.02	
Galvanik	0.99	1.08	↑
Dämme	0.99	0.76	↓
Federn	0.99	0.38	↓↓
Luftzufuhr	0.99	0.51	↓
chem.-phys. Verfahren	0.88	0.83	↓
Katalysatoren	0.88	1.40	↑↑
N Heterozyklen	0.88	0.89	
Schwefel	0.88	0.38	↓↓
Abwasserbeh. biol.	0.88	0.25	↓↓
Abwasserbeh. mehrstufig	0.88	0.70	↓
Ätzen	0.88	0.96	↑
Gleisoberbau	0.88	0.64	↓
Rohre	0.88	0.89	
Biozide	0.77	1.21	↑↑
Adsorbtion	0.77	0.13	↓↓
O substituierte KW	0.77	0.83	↑
Wandverkleidung	0.77	0.64	↓
Transportvorrichtungen	0.77	1.02	↑
Zusatzstoffe	0.77	0.45	↓
Pulpenachbehandlung	0.77	0.83	↑
Motorsteuerung	0.77	0.57	↓
Industrieöfen	0.77	0.57	↓
Erhitzer	0.77	0.32	↓↓
Photographie	0.77	0.76	
Zündungen	0.77	0.13	↓↓
makromol. Verbindungen	0.66	1.08	↑↑
Metallgewinnung	0.66	0.76	↑
Zellulose	0.55	1.59	↑↑↑
Auspuffanlagen m. Kat.	0.55	1.59	↑↑↑
org. Massen (unges.)	0.55	1.15	↑↑↑
Antriebe	0.55	0.96	↑↑
Brennkammern	0.55	0.89	↑↑
org. Massen (ges.)	0.44	1.59	↑↑↑
Rauchgasbehandlung	0.33	0.76	↑↑↑
Abgasreinigung Gemische	0.33	0.70	↑↑↑
Abgasreinigung N	0.22	0.70	↑↑↑
Brennstoffzusätze	0.22	0.70	↑↑↑
Makromoleküle Verarb.	0.11	1.02	↑↑↑
org. N-Verb.	0.11	0.70	↑↑↑
Glas	0.00	1.02	nach 1984
Reinigungsmittel	0.00	0.96	neu
elektromech. Wandler	0.00	0.89	eingeführt

Lärmvermeidung hat seinen Anteil von rund 10 % beibehalten. Innerhalb dieses Themenbereiches sind leichte Verschiebungen der Einzelthemen zu erkennen (Tab. 4.6). So haben die allgemeinen Schalldämpfungsvorrichtungen und die Lärmminderung leicht an Bedeutung gewonnen, während die Autoschalldämpfer und die Lärmisolierung geringfügig eingebüßt haben. Der Themenbereich **Abgasemissionsminderung** im Zusammenhang mit Verbrennungsprozessen hat leicht an Bedeutung zugenommen und erreicht zu Beginn der 90er Jahre einen Anteil von ca. 12 % der Patentanmeldungen. Die Ursache hierfür ist, daß neue Themen hinzugekommen sind, die die bei den schon Mitte der 80er Jahre vorhandenen Teilbereichen eingetretenen Rückgänge mehr als ausgleichen. Zu diesen neuen Themen zählen die Brennkammern, Brennstoffzusätze und vor allem Auspuffanlagen mit Katalysatoren, die Rauchgasbehandlung sowie spezifische Abgasreinigungsverfahren für Stickstoffverbindungen und Gemische. Dieses Beispiel zeigt, daß die in jüngerer Zeit von der Gesetzgebung vorgegebenen schärferen Grenzwerte für Abgasemissionen tatsächlich zu einem Schub neuer technischer Entwicklungen geführt haben, die sich entsprechend in der Patentliteratur niederschlagen.

Leicht zugenommen haben auch die technischen Entwicklungsaktivitäten zur Vermeidung von Umweltbelastungen im Zusammenhang mit der **Papierindustrie.** Der Anteil dieses Komplexes ist auf über 4 % gestiegen. Dies liegt darin begründet, daß sowohl die schon Mitte der 80er Jahre bedeutenden Themen Papierherstellung und Pulpenbehandlung leicht gestiegen sind und mit der Zellulosebearbeitung ein neues Thema hinzugekommen ist.

Neben den schon erwähnten wichtigeren Einzelthemen innerhalb der diskutierten Schwerpunkte haben auch Patentanmeldungen zu den Bereichen **Antriebe, Reinigungsmittel und Biozide** deutlich an Bedeutung gewonnen. Interessanterweise kristallisiert sich in der jüngeren Patentliteratur zusätzlich ein neuer Themenschwerpunkt heraus. Es handelt sich hierbei um **neue Materialien** im weiteren Sinne. Hierzu zählen makromolekulare Verbindungen, substituierte Kohlenwasserstoffe, verschiedene organische Massen, organische Stickstoffverbindungen sowie die Verarbeitung von Makromolekülen. Auch das neue Thema Glas läßt sich diesem ansonsten überwiegend aus Kunststoffteilthemen gebildeten Materialcluster zurechnen. Die Herausbildung dieses neuen Schwerpunkts hatte sich schon in der wissenschaftlichen Literatur angedeutet. Offensichtlich ist dieses Thema schon so weit ausgereift, daß es sich auch in technischen Entwicklungen, wie sie in der Patentliteratur dokumentiert sind, niederschlagen.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß im Bereich der technischen Entwicklung die wichtigsten Themen zur Vermeidung von Umweltbelastungen beim Übergang vom Zeitraum Mitte der 80er Jahre zum Beginn der 90er Jahre erhalten bleiben. Es sind dies vor allem Abgasreinigungsverfahren im Zusammenhang mit Verbrennungsprozessen und die Vermeidung von Lärmemissionen. Innerhalb dieser Schwerpunktthemen sind jedoch bemerkenswerte Neuentwicklungen zu erkennen, wobei insbesondere auf die zunehmende Bedeutung von Katalysato-

ren zur Vermeidung von Abgasemissionen hinzuweisen ist. Als neues Thema kristallisieren sich neue Materialien im Zusammenhang mit Bemühungen zur Vermeidung von Umweltbelastungen heraus. Dieses Gebiet hat sich in den vergangenen fünf Jahren im Bereich der Wissenschaft und im Bereich der Technik parallel entwickelt.

Die biologischen Ansätze spielen bei den technischen Entwicklungen zur Vermeidung von Umweltbelastungen bisher keine Rolle. Insgesamt ist sogar eine sinkende Tendenz zu beobachten. Dies steht in deutlichem Gegensatz zu der Entwicklung in der Wissenschaft, wo dem Thema in jüngerer Zeit zunehmende Bedeutung zugeschrieben wird. Aus diesen unterschiedlichen Entwicklungstrends muß geschlossen werden, daß sich das große Potential, das biotechnischen Ansätzen zur Vermeidung von Umweltbelastungen vor allem im Bereich der Wissenschaft zugeschrieben wird, bisher nicht den entsprechenden technischen Entwicklungen niederschlägt.

Vermeidung von Umweltbelastungen - Strukturen und Trends im Bereich der technischen Entwicklung

1. Wichtige Themen

Mitte der 80er Jahre sind Strategien zur Lärmvermeidung und die Entwicklung von Abgasreinigungsverfahren die wichtigsten Themen im Bereich der technischen Entwicklung. Ein dritter Schwerpunkt sind technische Entwicklungen zur Vermeidung von Umweltbelastungen im Zusammenhang mit der Papierindustrie.

Zu Beginn der 90er Jahre hat der Themenbereich Abgasemissionsminderung noch leicht an Bedeutung gewonnen. Dies ist vor allem auf neue technische Entwicklungen, die aufgrund einer verschärften Umweltgesetzgebung in diesem Bereich erforderlich waren, zurückzuführen. Wichtigstes Beispiel hierfür sind Katalysatoren zur Vermeidung von Abgasemissionen. Als neues Thema bei Bemühungen zur Vermeidung von Umweltbelastungen kristallisieren sich neuere Materialien, wie z. B. makromolekulare Verbindungen, heraus.

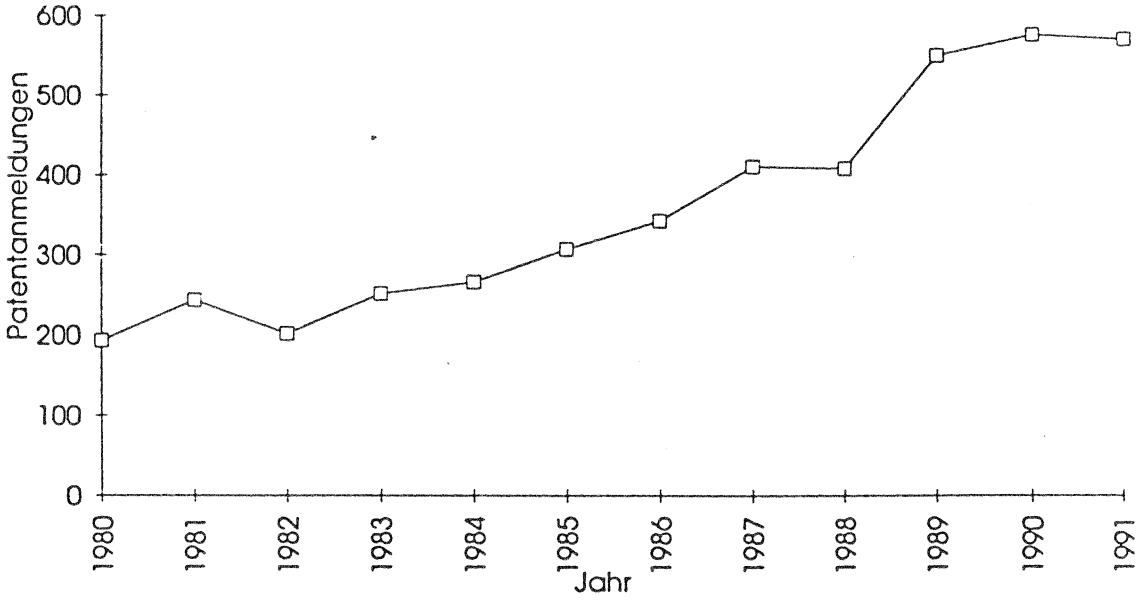
2. Biotechnologische Ansätze

Biotechnologische Ansätze spielen bei den technischen Entwicklungen zur Vermeidung von Umweltbelastungen bisher keine Rolle. Insgesamt ist sogar eine sinkende Tendenz zu beobachten. Das große Potential, das biotechnischen Ansätzen zur Vermeidung von Umweltbelastungen, vor allem im Bereich der Wissenschaft, zugeschrieben wird, schlägt sich bisher offensichtlich nicht in entsprechenden technischen Entwicklungen nieder.

4.3.3 Allgemeine zeitliche Entwicklungstrends

Wie in den beiden anderen Teilbereichen der Umwelttechnik hat auch im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen die Anzahl der Patentanmeldungen im Laufe der 80er Jahre erheblich zugenommen (Abb. 4.13). Im Jahr 1990 wurden fast dreimal so viele Patente in diesem Bereich angemeldet wie im Jahr 1980. Auch bei der Vermeidung von Umweltbelastungen ist beim Übergang von den 80er zu den 90er Jahren ein Abflachen der Patentaktivitäten zu erkennen. Allerdings ist dieser Effekt nicht so ausgeprägt wie in den Teilbereichen Analytik (Abb. 4.3) und Abbau von Umweltbelastungen (Abb. 4.9).

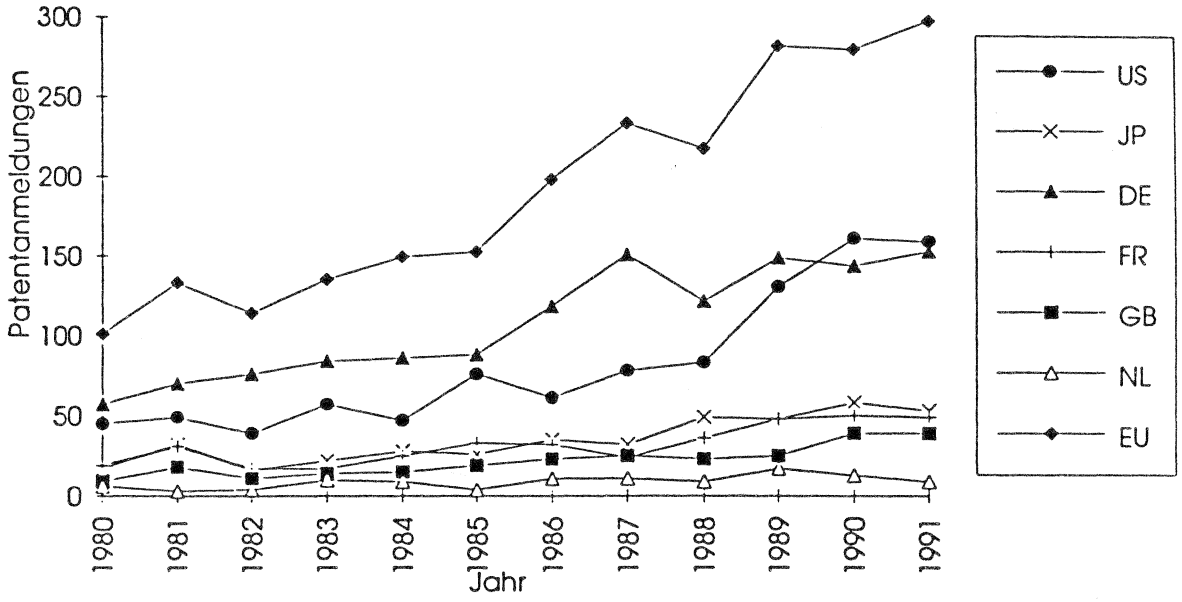
Abbildung 4.13: Zeitliche Entwicklung von Patentanmeldungen im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen



Fast die Hälfte der Patentanmeldungen und somit der mit Abstand größte Anteil in diesem Bereich über den betrachteten Zeitraum stammt aus den Ländern der Europäischen Union (Abb. 4.14). Innerhalb der EU wiederum nimmt Deutschland eine klar führende Position ein. Allerdings ist seit 1987 eine gewisse Stagnation der deutschen Patentanmeldungen zu beobachten. Die übrigen analysierten europäischen Länder, Frankreich, Großbritannien und die Niederlande, bewegen sich über die gesamten 80er Jahre auf relativ niedrigem Niveau. In Frankreich ist allerdings seit etwa 1987 eine leichte Steigerung der Patentaktivitäten zu erkennen. Nach der Europäischen Union sind die USA der zweitwichtigste Akteur der Triade. Bemerkenswert ist der erhebliche Zuwachs der Patentanmeldungen in den USA seit Mitte der 80er Jahre. Dies hat dazu geführt, daß Ende der 80er Anfang der 90er Jahre die USA einen geringen Vorsprung gegenüber der Bundesrepublik aufweisen. Der dritte Partner der Triade, Japan, spielt auch in diesem Teilbereich der Umwelttechnik keine wesentliche Rolle. Vom Jahr 1987 zum Jahr 1988 ist zwar eine gewisse Steigerung der Anmeldeaktivität zu erkennen, gegen Ende der 80er Jahre

geht diese jedoch eher wieder in Stagnation über. Insgesamt ergibt sich somit auch für den Teilbereich Vermeidung von Umweltbelastungen die Situation, daß innerhalb der Triade Europa eine eindeutige Führungsposition vor den USA einnimmt. Der erhebliche Zuwachs der Patentanmeldungen aus den USA gegen Ende der 80er Jahre deutet darauf hin, daß das Thema Vermeidung von Umweltbelastungen in den USA in jüngerer Zeit erheblich stärkeren Eingang in die technischen Entwicklungsaktivitäten findet.

Abbildung 4.14: Länderspezifische Aufschlüsselung der zeitlichen Entwicklung von Patentanmeldungen im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen



4.4 Bedeutung der Biotechnologie für die Umwelttechnik - Fazit

Gesamteinschätzung

Die Gesamtanteile biotechnologierelevanter Dokumente liegen sowohl bei der wissenschaftlichen Literatur als auch bei Patentanmeldungen in der Größenordnung von 5 % (Tab. 4.7). Zwischen den Teilbereichen der Umwelttechnik unterscheiden sich die Biotechnologieanteile jedoch teilweise erheblich.

Die größte Bedeutung kommt biotechnologischen Ansätzen in den Anwendungsfeldern Umweltanalytik und Abbau von Umweltbelastungen zu. Dies gilt sowohl im Bereich der Wissenschaft als auch im Bereich der technischen Entwicklung. Bei der **Umweltanalytik** ist der Anteil der biologischen Stichworte beim Übergang vom Jahr 1985 zum Jahr 1990 leicht von 5,5 % auf 5,9 % angestiegen. Im Falle der Patentliteratur konnte die zeitliche Entwicklung aufgrund der geringen Gesamtzahlen nicht analysiert werden.

Tabelle 4.7: Statistischer Überblick zu den Anteilen biotechnologierelevanter Dokumente in der wissenschaftlichen Literatur und in der Patentliteratur

	Analytik		Abbau		Vermeidung	
Literatur						
Zeitraum	1985	1990	1985	1990	1985	1990
Anzahl	761	490	7130	4277	1919	1801
Gesamtzahl der Stichworte	3050	2276	28160	19594	6836	7368
Gesamtzahl der Biotechnologie-Stichworte	168	135	1387	1094	67	259
Anteil der Biotechnologie (%)	5,5	5,9	4,9	5,6	1,0	3,9
Patente						
Zeitraum	1984 - 91		1984 - 86	1989 - 91	1984 - 86	1989 - 91
Anzahl Patente gesamt	765		3666	4854	912	1570
Anzahl der Biotechnologie-Patente	51		299	296	14	16
Anteil der Biotechnologie (%)	6,7		8,2	6,1	1,5	1,0

Beim **Abbau von Umweltbelastungen** sind bezüglich der Bedeutung biologischer Ansätze unterschiedliche zeitliche Entwicklungstrends in der wissenschaftlichen Literatur und in der Patentliteratur zu beobachten. Im Bereich der Wissenschaft hat der Anteil der biologierelevanten Stichworte von 4,9 % im Jahr 1985 auf 5,6 % im Jahr 1990 zugenommen. Im Bereich der technischen Entwicklung, der durch die Patentliteratur repräsentiert wird, ist dagegen ein Rückgang des Anteils der biotechnologierelevanten Patente von 8,2 % auf 6,1 % zu verzeichnen.

Der Teilbereich **Vermeidung von Umweltbelastungen** nimmt eine gewisse Sonderstellung ein, da er sehr heterogen ist und dadurch sowohl bei der Abgrenzung der relevanten wissenschaftlichen Literatur als auch der entsprechenden Patentklassen Probleme auftreten. Trotz dieser Einschränkungen läßt sich festhalten, daß die Bedeutung biotechnologischer Ansätze in diesem Teilbereich sowohl aus Sicht der Wissenschaft als auch im Bereich der Technikentwicklung signifikant geringer ist als in den anderen beiden Bereichen. Bemerkenswert sind die unterschiedlichen zeitlichen Entwicklungstrends in der wissenschaftlichen Literatur und in der Patentliteratur. Während die Anteile biotechnologierelevanter Patente in diesem Bereich leicht rückgängig sind, vervierfacht sich der Biotechnologieanteil in der wissenschaftlichen Literatur. Diese Diskrepanz ist ein Hinweis darauf, daß die Bedeutung biologischer Ansätze zur Vermeidung von Umweltbelastungen bisher überwiegend im Forschungsbereich thematisiert wird und noch keinen entsprechenden Einzug in die Technikentwicklung gefunden hat.

Umweltanalytik

Aus Sicht der Wissenschaft spielen vor allem *allgemeine* biologische Ansätze, wie biochemische Methoden oder Mikroorganismen, eine Rolle bei der Analyse von Umweltbelastungen. Der wesentlichste Anwendungsbereich ist das Wasserkompartiment. Bemerkenswert ist, daß

spezifische biotechnische Ansätze, wie z. B. Biosensoren, Enzymtests oder Immuntests, nicht unter den häufigen Themen der wissenschaftlichen Literatur auftauchen.

Im Bereich der technischen Entwicklungen haben sich biologische Analyseverfahren unter den wichtigsten Methoden der Umweltanalytik etabliert. Hierzu zählen beispielsweise Meßverfahren mit Hilfe von Mikroorganismen oder Enzymen oder auch die explizit erwähnten Immuntests. Insgesamt sind somit biologische Verfahren für die Umweltanalytik nicht nur ein Thema von Forschungsaktivitäten, sondern auch ein wesentlicher Bestandteil des sich in der Patentliteratur niederschlagenden technischen Know-hows in diesem Anwendungsfeld.

Abbau von Umweltbelastungen

Aus Sicht der Wissenschaft hat die Bedeutung biotechnologischer Ansätze für den Abbau von Umweltbelastungen noch stärker zugenommen als aus den prozentualen Anteilen entsprechender Stichworte in Tabelle 4.7 hervorgeht. Der Grund hierfür ist, daß die Oberbegriffe Abwasser- und Regenwasserbehandlung schon per Definition einen bestimmten Anteil an biologischen Teilthemen enthalten, der beim Übergang vom Jahr 1985 zum Jahr 1990 wesentlich angestiegen ist. Die wichtigsten Anwendungsfelder für biotechnische Ansätze beim Abbau von Umweltbelastungen sind die Wasser- und die Abwasserbehandlung. Die biotechnische Behandlung von Bodenverunreinigungen ist bisher kein prominentes Thema in der wissenschaftlichen Literatur. Ein neu aufkommendes Thema im Bereich der Wissenschaft ist der Einsatz fortgeschrittener biotechnischer Verfahren auf der Basis von Bioreaktoren für die Behandlung von Umweltbelastungen vor allem im Wasserbereich.

Bei den technischen Entwicklungsaktivitäten, wie sie sich in der Patentliteratur widerspiegeln, ist die biologische Abwasserbehandlung ein traditionell wichtiges Verfahren. Im Vergleich zur Wasser- bzw. Abwasserbehandlung spielen biotechnische Ansätze zur Abluftbehandlung bisher eine untergeordnete Rolle. Bodensanierungsverfahren, unabhängig davon, ob biologische Ansätze oder rein chemisch-physikalische Ansätze verfolgt werden, sind, wie bereits für die wissenschaftliche Literatur festgestellt wurde, bisher kein wesentliches Thema in der Patentliteratur.

Auch im Bereich der technischen Entwicklung deuten sich neue Ansätze auf der Basis biologischer Komponenten an. So sind in der jüngeren Patentliteratur erste Hinweise auf eine zunehmende Bedeutung von Mikroorganismen zur Behandlung spezieller Industrie-Abfall-Probleme, wie sie beispielsweise in der Papierindustrie auftreten, zu erkennen. Ein weiterer Trend zeichnet sich in Richtung auf die Entwicklung von Methodenkombinationen zwischen biotechnischen und physikalisch-chemischen Verfahren ab.

Insgesamt ergibt sich im Bereich Abbau von Umweltbelastungen eine deutliche Diskrepanz zwischen den zeitlichen Entwicklungstrends im Bereich der Wissenschaft und im Bereich der Technikentwicklung. Während im Forschungsbereich die Bedeutung biotechnische Ansätze deutlich zugenommen hat, ist im Bereich der technischen Entwicklung eher ein gegenläufiger Trend zu beobachten. Dies deutet darauf hin, daß die zweifellos vorhandenen neuen biotechnischen Ansätze bisher vor allem im Forschungsstadium weiterentwickelt werden und sich bisher noch nicht in entsprechendem Umfang in technischen Entwicklungsaktivitäten niedergeschlagen haben.

Vermeidung von Umweltbelastungen

Biotechnische Ansätze zur Vermeidung von Umweltbelastungen schlagen sich bisher in der die technischen Entwicklungsaktivitäten repräsentierenden Patentliteratur nicht nieder. Dagegen ist im Bereich der Wissenschaft ein deutlicher Anstieg zu erkennen. Biotechnologisch relevante Themen sind zwar noch nicht unter den häufigsten Teilgebieten der wissenschaftlichen Literatur vertreten, dennoch kristallisieren sich unter Berücksichtigung des gesamten zur Analyse zur Verfügung stehenden Datenmaterials mehrere Einzelthemen von zunehmender Bedeutung heraus. Erstens deuten die Begriffe Enzyme und Bioreaktoren darauf hin, daß biotechnologische Stoffumwandlungsprozesse im Zusammenhang mit der Vermeidung von Umweltbelastungen stärker thematisiert werden. Ein zweiter Aspekt sind die biologischen Materialien, charakterisiert durch die Begriffe Biopolymere und Biomasse, durch deren Herstellung über biotechnische Prozesse und auf der Basis nachwachsender Rohstoffe sowie ihrer prinzipiellen biologischen Abbaubarkeit umweltentlastende Effekte erwartet werden. Auch dieser Themenkreis schlägt sich in der neueren Literatur stärker nieder. Schließlich könnte der häufiger genannte Begriff Biosensoren als Hinweis darauf interpretiert werden, daß auch bei der Optimierung von Prozeßüberwachung bzw. -steuerung zur Vermeidung von Umweltbelastungen biotechnische Komponenten an Bedeutung gewinnen.

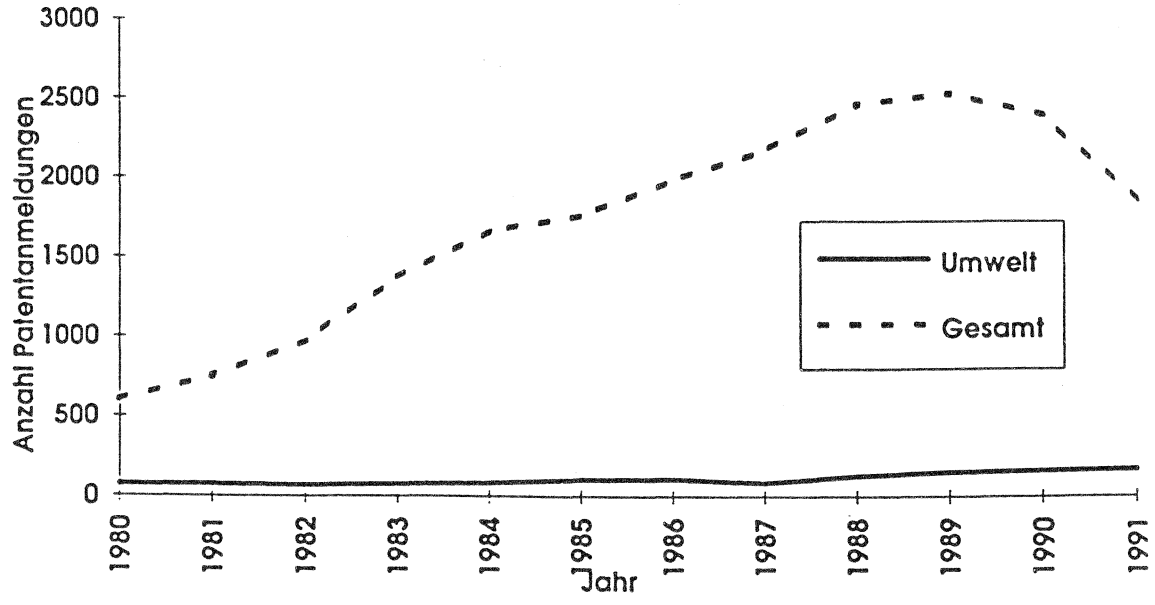
Insgesamt gilt für den Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen, daß sich das große Potential, das biotechnischen Ansätzen zur Vermeidung von Umweltbelastungen im Bereich der Wissenschaft zugeschrieben wird, bisher nicht in entsprechenden technischen Entwicklungen niederschlägt. Offensichtlich kommen die interdisziplinären Ansätze auch unter Einbezug biotechnischer Verfahren, wie sie gerade im Bereich der Umwelttechnik aufgrund der im wissenschaftlichen Bereich festgestellten Verflechtungsbeziehungen erforderlich sind, bisher nicht in ausreichendem Maße zum Tragen.

4.5 Bedeutung der Umweltbiotechnik innerhalb der gesamten Biotechnologie

Um einen Gesamteindruck über die Rolle der Umweltbiotechnik innerhalb der gesamten Biotechnologie zu erhalten, wurde eine Patentanalyse durchgeführt, bei der Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt für den Gesamtbereich der Biotechnologie mit entsprechenden Patentanmeldungen für den Teilbereich Umweltbiotechnik über den Zeitraum 1980 bis 1991 analysiert wurden. Der Vergleich wurde sowohl für alle Anmelderländer am Europäischen Patentamt als auch für die Bundesrepublik durchgeführt.

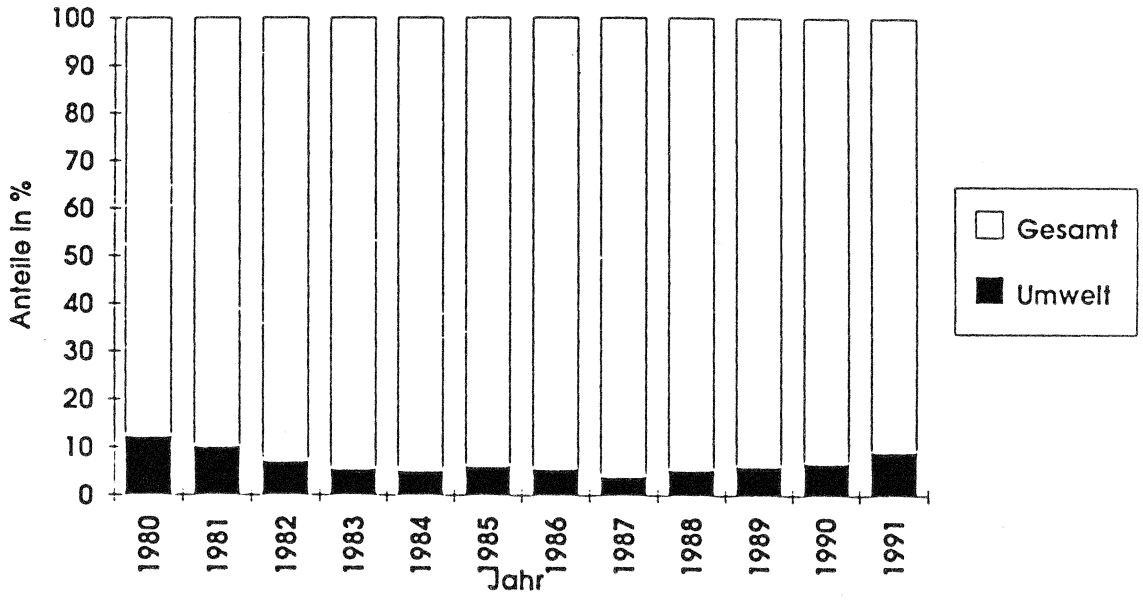
Die Patentanmeldungen **aller Länder** am Europäischen Patentamt in der Biotechnologie sind von 1980 bis zum Jahr 1989 um mehr als das Vierfache gestiegen (Abb. 4.15). Seit 1990 ist allerdings eine gewisse Stagnation zu beobachten. Hierbei ist zu beachten, daß die Anmelderzahlen für das Jahr 1991 hochgerechnet wurden, da aufgrund der 18-monatigen Offenlegungsfrist und der Bearbeitungszeit der Datenbanken die endgültigen Zahlen für dieses Jahr noch nicht zugänglich sind. Allerdings ist nicht damit zu rechnen, daß sich eine erhebliche Änderung des Wertes für das Jahr 1991 ergibt. Die abfallende Tendenz ist somit ein realer Effekt. Patentanmeldungen im Teilbereich Umweltbiotechnik haben sich bis etwa Mitte der 80er Jahre auf einem konstanten Niveau bewegt. Seit 1985 ist jedoch ein deutlicher Anstieg der Patentanmeldungen in diesem Bereich zu verzeichnen. Insbesondere ist in der Umweltbiotechnik im Gegensatz zur Biotechnologie insgesamt keine Stagnation der Patentaktivitäten in den Jahren 1990 und 1991 zu erkennen.

Abbildung 4.15: Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt in der gesamten Biotechnologie und im Teilbereich Umweltbiotechnik für alle Länder



Der Anteil der Patente zur Umweltbiotechnik an der Gesamtheit der Patente zur Biotechnologie lag zu Beginn der 80er Jahre bei ca. 10 %. Aufgrund der starken Zunahme von Patentanmeldungen für die gesamte Biotechnologie bei gleichzeitig geringerer Dynamik im Teilbereich Umweltbiotechnik fiel der Anteil der Umweltbiotechnik bis zum Jahr 1987 auf ca. 4 % (Abb. 4.16). Von 1987 bis 1991 stieg der Anteil der Umweltbiotechnikpatente wieder deutlich an, was sowohl an einer Zunahme der Absolutzahlen für diesen Teilbereich als auch an der Stagnation der Patentanmeldungen für den Gesamtbereich Biotechnologie liegt.

Abbildung 4.16: Anteil der Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt im Teilbereich Umweltbiotechnik an der gesamten Biotechnologie für alle Länder



Für die **Bundesrepublik** ergibt sich prinzipiell ein ähnliches Bild wie für die Gesamtheit aller Anmelderländer (Abb. 4.17). Während der deutliche Anstieg der Patentanmeldungen in der gesamten Biotechnologie seit Beginn der 80er Jahre gegen Ende der 80er Jahre zum Stillstand kommt und eher eine fallende Tendenz zu erkennen ist, hat die Anzahl der Patentanmeldungen in der Umweltbiotechnik auch gegen Ende der 80er Jahre weiter zugenommen.

Die Anteile der Patentanmeldungen der Umweltbiotechnik an den Anmeldungen für die Biotechnologie insgesamt für die Bundesrepublik sind über den gesamten betrachteten Zeitraum größer als die entsprechenden Anteile für alle Anmelderländer (Abb. 4.18). Zwischen 1980 und 1982 betrug dieser Anteil über 20 %. Zwischen 1983 und 1987 ist ein deutlicher Rückgang des Anteils der Patente zur Umweltbiotechnik zu erkennen. Die Hauptursache hierfür ist, daß bei praktisch gleichbleibenden Patentanmeldungen zur Umweltbiotechnik die Anmelderzahlen für die gesamte Biotechnologie in diesem Zeitraum deutlich zugenommen haben (vgl. Abb. 4.17). Von 1988 bis 1991 steigt der Anteil der Umweltbiotechnikpatente dagegen wieder erheblich und ist im Jahr 1991 wieder bei über 20 % angelangt. Auch bei diesem Anstieg spielen wieder-

um zwei gegenläufige Effekte eine Rolle. Während in der Umweltbiotechnik die Absolutzahlen zunehmen, ist in der gesamten Biotechnologie dagegen eine Stagnation schon seit 1988 zu verzeichnen.

Abbildung 4.17: Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt in der gesamten Biotechnologie und im Teilbereich Umweltbiotechnik für die Bundesrepublik

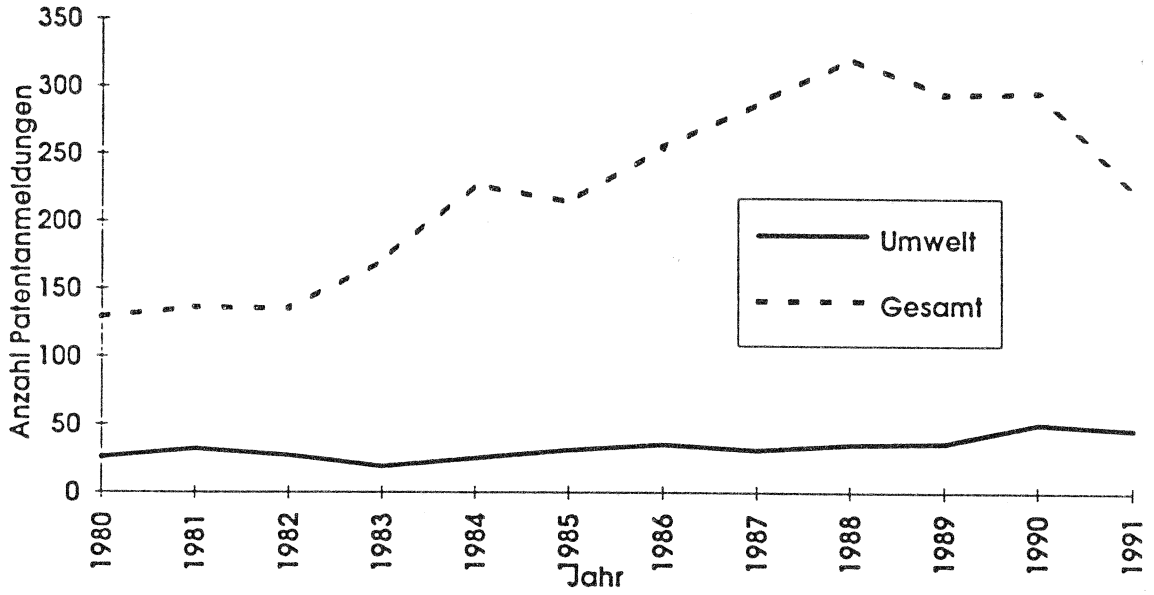
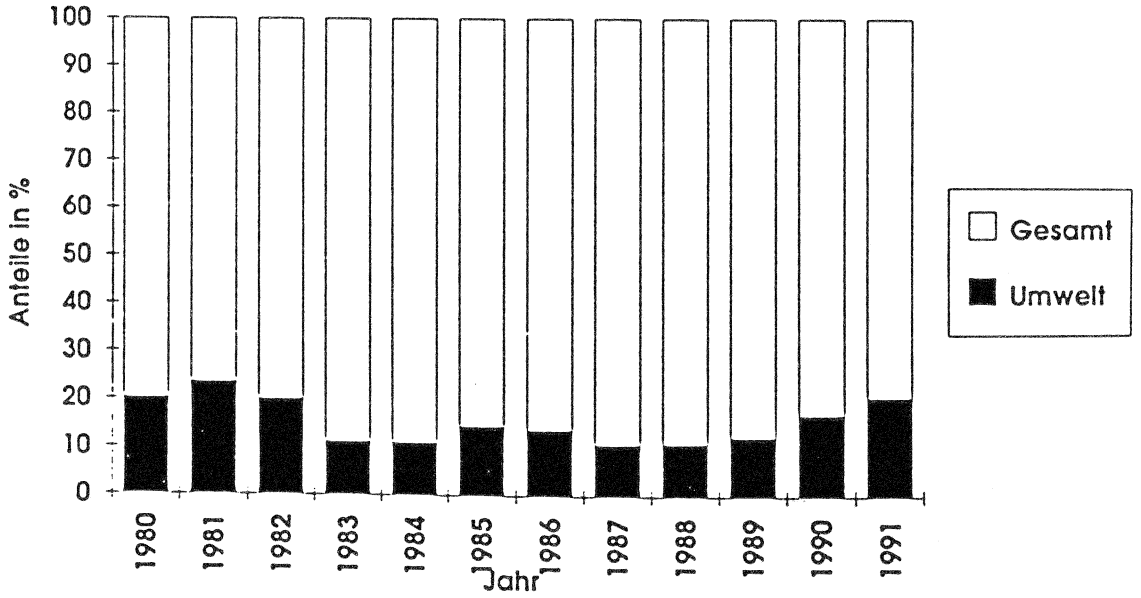


Abbildung 4.18: Anteil der Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt im Teilbereich Umweltbiotechnik an der gesamten Biotechnologie für die Bundesrepublik



Insgesamt zeigt dieser Vergleich der Patentanmeldungen für die gesamte Biotechnologie und die Umweltbiotechnik, daß die Bedeutung der Umweltbiotechnik innerhalb der Biotechnologie seit Mitte der 80er Jahre sowohl international als auch national wesentlich gestiegen ist. In der Bundesrepublik spielt die Umweltbiotechnik innerhalb der Biotechnologie bei Patentanmeldungen eine noch wesentlich größere Rolle als bei der Gesamtheit aller Anmelderländer. Die Anteile der Umweltbiotechnikpatente an der gesamten Biotechnologie sind für die Bundesrepublik über den gesamten betrachteten Zeitraum annähernd doppelt so groß wie im Durchschnitt aller Länder. Im Rahmen anderer Untersuchungen des ISI wurden die Zeitverläufe von Patentanmeldungen in weiteren wichtigen Anwendungsfeldern der Biotechnologie analysiert. Ohne in die Details zu gehen, bestätigen auch diese Untersuchungen die Einschätzung einer zunehmenden Bedeutung der Umweltbiotechnik. Die Umweltbiotechnik ist praktisch der einzige größere Anwendungsbereich innerhalb der gesamten Biotechnologie, in dem keine Stagnation der Patentanmeldungen beim Übergang von den 80er zu den 90er Jahren zu verzeichnen ist.

4.6 Spezialisierungsmuster der Bundesrepublik in der Umwelttechnik

Wie in den Kapiteln 4.1 bis 4.3 gezeigt wurde, nimmt die Bundesrepublik insgesamt international eine starke Position in der Umwelttechnik ein. In diesem Kapitel wird nun untersucht, wo die spezifischen Stärken und Schwächen der Bundesrepublik in den betrachteten Teilbereichen der Umwelttechnik liegen. Als Datenbasis werden hierzu Patentanmeldungen verwendet. Eine entsprechende Analyse für wissenschaftliche Publikationen wäre nur mit großen Einschränkungen interpretierbar, da aufgrund der USA-Lastigkeit der verwendeten Datenbank die Anzahl der Publikationen für die Bundesrepublik in den einzelnen Teiltechnikbereichen nur gering ist. Daher wird auf die Literaturspezialisierungsanalyse verzichtet.

Zur Verdeutlichung der Spezialisierung wird der Patentspezialisierungsindikator RPA (Grupp und Schmoch 1992) verwendet. Der RPA-Wert zeigt an, ob sich ein Land in einem bestimmten technischen Gebiet im Vergleich zu seinen sonstigen Patentieraktivitäten über- oder unterdurchschnittlich engagiert. Somit werden landesspezifische technologische Stärken und Schwächen deutlich. Bei der Berechnung des RPA-Wertes wird der Anteil der Patentanmeldungen des betrachteten Landes in einem speziellen Teilgebiet einer Technik ins Verhältnis zum Patentanteil dieses Landes im gesamten Technikbereich gesetzt. Durch Logarithmierung wird der Wert symmetrisiert. Zusätzlich erfolgt eine Normierung auf die Indexwerte ±0. Der Wert 0 zeigt demnach ein durchschnittliches Patentierverhalten des betrachteten Landes im analysierten Teilbereich der Technik an. Positive Werte zeigen an, daß das untersuchte Land einen wesentlich größeren Patentanteil auf einem bestimmten technischen Teilgebiet plaziert hat als das betrachtete geographische Referenzsystem. Entsprechend zeigen negative Indikatorwerte stark unterdurchschnittliche Aktivität an. Eine verschieden hohe Patentierneigung

zwischen den betrachteten Ländern spielt keine Rolle mehr, da nur die länderspezifischen Abweichungen vom Gesamttrend in Erscheinung treten.

Bei der Interpretation der RPA-Werte ist zu berücksichtigen, daß vor allem aufgrund der geringen Anzahl von Patentanmeldungen in manchen Teilbereichen die Fehler der berechneten Werte relativ groß sind. Daher sind Aussagen über Stärken und Schwächen nur dann belastbar, wenn die Fehlerbalken jeweils eindeutig in den negativen oder positiven Feldern der Graphiken liegen.

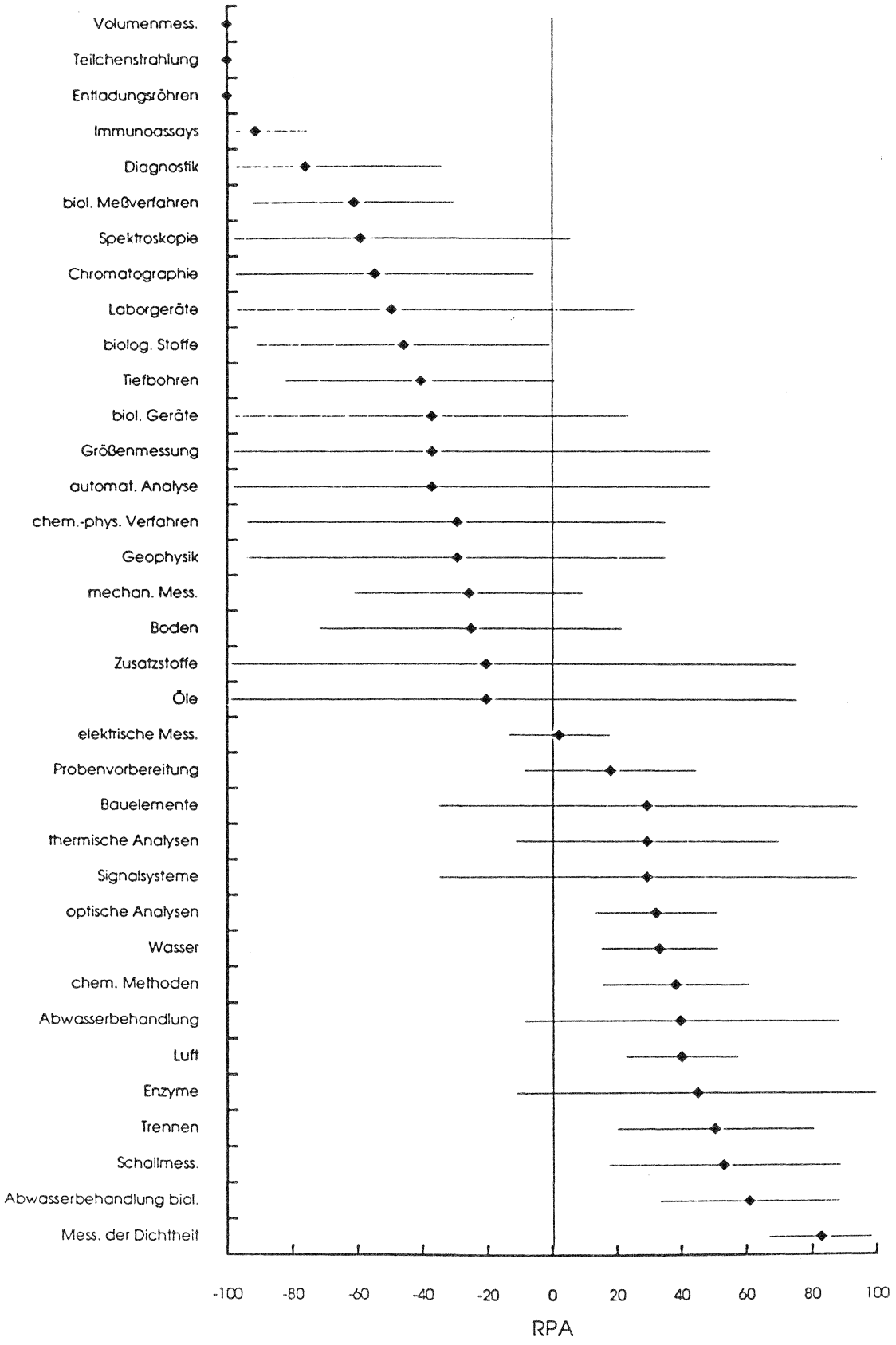
4.6.1 Umweltanalytik

Die Spezialisierungsanalysen im Bereich der Umweltanalytik konnten nur für den Gesamtzeitraum durchgeführt werden, da die Gesamtzahl der Patentanmeldungen in diesem Bereich relativ gering ist (vgl. Kap. 4.1).

Die Stärken der Bundesrepublik liegen bei Analyseverfahren, die sich auf die Umwelten Wasser/Abwasser und Luft konzentrieren (Abb. 4.19). Dies sind auch die Medien, denen in der Umweltanalytik die größte Bedeutung zukommt (vgl. Kap. 4.1).

Bei den wichtigsten Methoden in der Umweltanalytik ist das Patentierverhalten der Bundesrepublik im Falle der elektrischen inklusive elektrochemischen und magnetischen Meßverfahren durchschnittlich. Eine überdurchschnittliche Spezialisierung ist dagegen bei den optischen Analyseverfahren zu erkennen. Die biologischen Analyseverfahren, die sich unter den wichtigsten Methoden in der Umweltanalytik etabliert haben, zählen dagegen eher zu den technologischen Schwächen der Bundesrepublik. Hierzu gehören insbesondere Immuntests, die generellen biologischen Meßverfahren sowie mit Abstrichen auch die biologischen Geräte (Abb. 4.19).

Abbildung 4.19: Spezialisierung der Bundesrepublik in der Umweltanalytik



4.6.2 Abbau von Umweltbelastungen

Bei den meisten Einzeltechniken, die den Bereich Abbau von Umweltbelastungen bilden, zeigt die Bundesrepublik Mitte der 80er Jahre weder besondere Stärken noch besondere Schwächen (Abb. 4.20). Hierzu gehören auch die verschiedenen biologischen Abwasserreinigungsverfahren, die in diesem Zeitraum zu den wichtigsten Anwendungsfeldern beim Abbau von Umweltbelastungen zählen. Ebenso durchschnittlich ist die Spezialisierung der Bundesrepublik für den Bereich Mikrobiologie, der, wie in Kapitel 4.2 gezeigt, enge Beziehungen zu den biologischen Abwasserreinigungsverfahren aufweist. Eine tendenziell stärkere Spezialisierung ist unter den Abwasserreinigungsverfahren bei den biologisch anaeroben Ansätzen zu beobachten.

Die Stärken der Bundesrepublik liegen Mitte der 80er Jahre bei den verschiedenen Verfahren zur Abgasreinigung und bei der Rauchgasbehandlung. Hierzu zählen auch die in diesem Zeitraum besonders wichtigen Verfahren zur Entfernung von Schwefel- und Stickstoffverbindungen aus Abgasen. Wie in Kapitel 4.2 erwähnt, spielen unter den verschiedenen Abgasreinigungsmethoden Katalysatoren eine wesentliche Rolle. Dieser Themenbereich, zu dem im einzelnen Träger für Katalysatoren, Katalysatoren mit anorganischen Verbindungen und Auspuffvorrichtungen mit Katalysatoren zählen, ist eine weitere Stärke der Bundesrepublik (Abb. 4.20). Unter den Bereichen, die zu den technologischen Schwächen der Bundesrepublik zählen, sind vor allem die Membrantrennverfahren bemerkenswert, da diese sowohl Mitte als auch Ende der 80er Jahre zu den wichtigsten Methoden beim Abbau bzw. bei der Behandlung von Umweltbelastungen zählen. Eine weitere erwähnenswerte Schwachstelle der Bundesrepublik Mitte der 80er Jahre sind Mikroorganismen und Enzyme, die vor allem im Zusammenhang mit Abwasserreinigungsverfahren bedeutsam sind (vgl. Kap. 4.2).

Zu Beginn der 90er Jahre hat sich die Spezialisierung der Bundesrepublik im Bereich Abbau von Umweltbelastungen geändert (Abb. 4.21). Als neuer Schwerpunkt kristallisiert sich der Komplex Müll- bzw. Abfallbehandlung heraus. Hierzu gehören Patentanmeldungen in den Bereichen Industrieabfallverbrennung, Abfalldeponie, Trennen von Flüssigkeiten sowie auch die Schlammbehandlung. Damit weist Deutschland besondere Stärken in einem derjenigen Bereiche auf, der zu Beginn der 90er Jahre international an Bedeutung gewinnt (vgl. Kap. 4.2). Die Abluftbehandlung gehört dagegen nicht mehr zu den ausgesprochenen Stärken der Bundesrepublik. Zwar ist immer noch eine starke Spezialisierung auf Abgasreinigungsverfahren für Halogene zu erkennen, jedoch haben vor allem die Abgasreinigung für Gemische sowie katalytische Abgasreinigungsverfahren, wozu auch Auspuffvorrichtungen mit Katalysatoren zählen, an Bedeutung eingebüßt. Diese Tendenz ist vor dem Hintergrund der internationalen Entwicklung zu sehen, wo auch zu Beginn der 90er Jahre die katalytischen Verfahren und die Membrantrennverfahren noch zu den wichtigsten Ansätzen bei der Abgasreinigung zählen (vgl. Kap. 4.2).

Abbildung 4.20: Spezialisierung der Bundesrepublik im Bereich Abbau von Umweltbelastung im Zeitraum 1984 - 1986

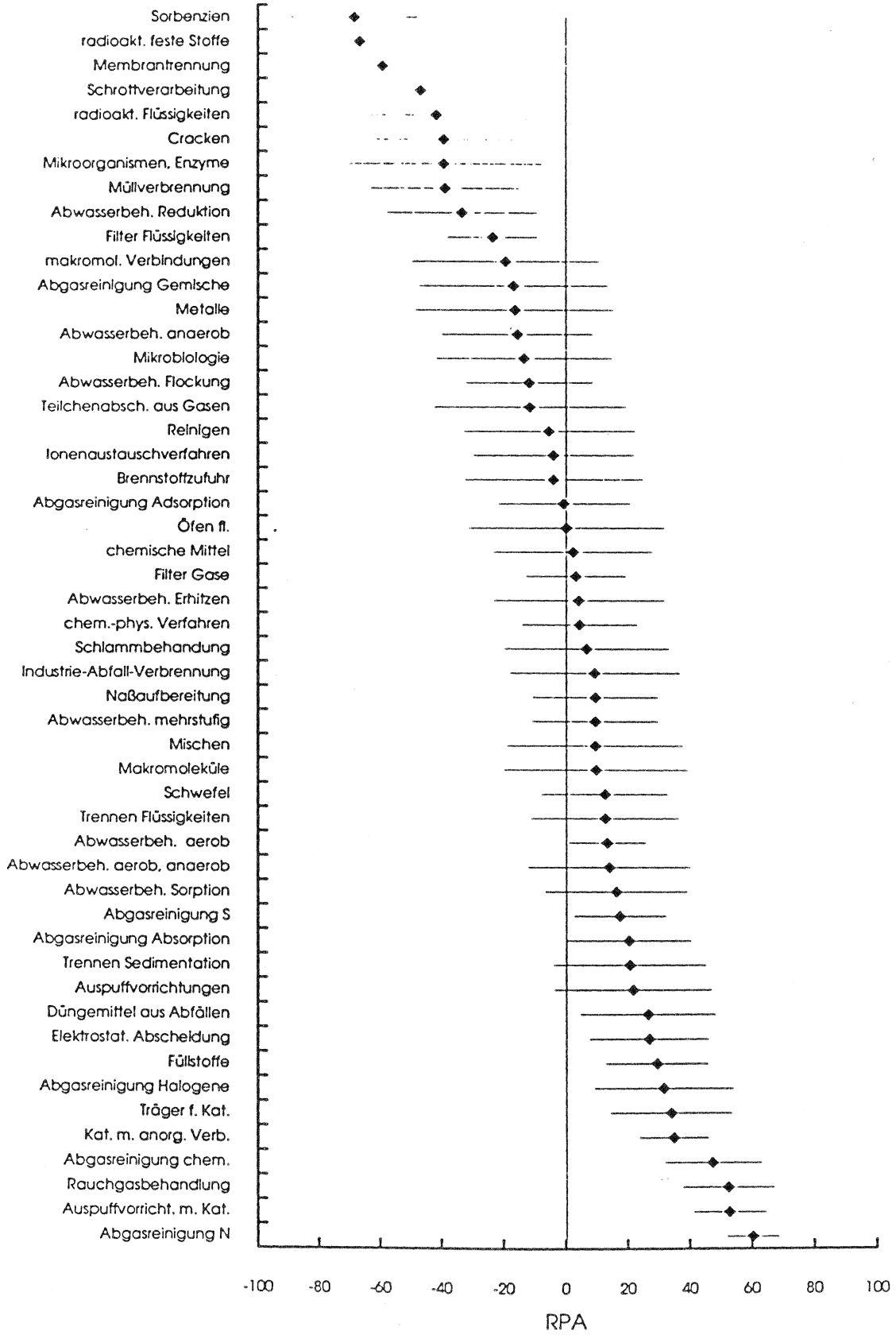
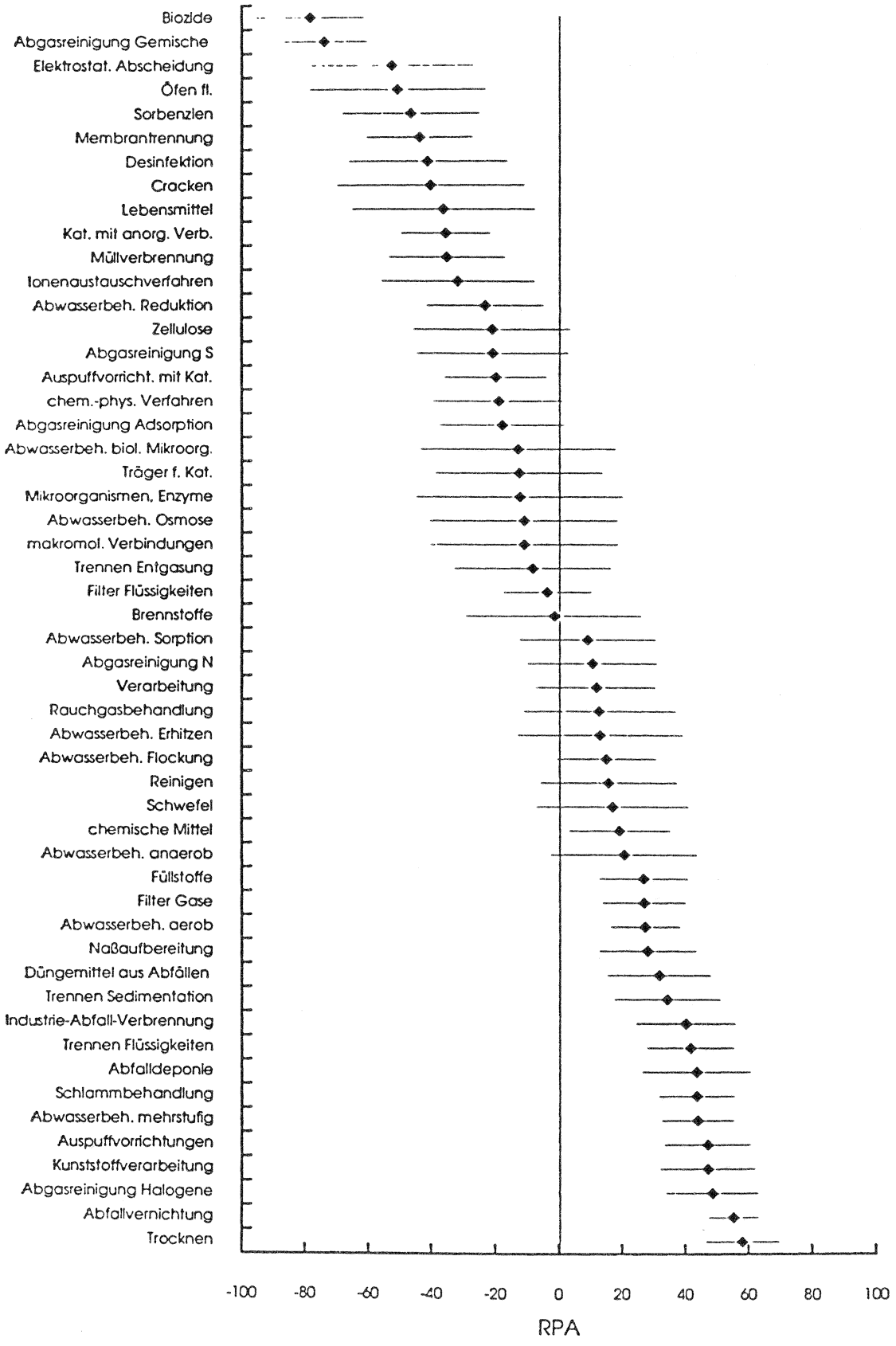


Abbildung 4.21: Spezialisierung der Bundesrepublik im Bereich Abbau von Umweltbelastung im Zeitraum 1989 -1991



Bei den verschiedenen Abwasserbehandlungsverfahren lassen sich keine besonderen Stärken oder Schwächen der Bundesrepublik erkennen. Lediglich im Falle der mehrstufigen Abwasserbehandlungsverfahren, die auch international an Bedeutung gewonnen haben, ist eine deutlich zunehmende Spezialisierung der Bundesrepublik zu erkennen (vgl. Abb. 4.21 und 4.20). Bei den biologischen Ansätzen zur Abwasserbehandlung deutet sich eine leichte Tendenz zur zunehmenden Spezialisierung an.

Insgesamt ergibt sich aus der Spezialisierungsanalyse der Bundesrepublik im Bereich Abbau von Umweltbelastungen ein differenziertes Bild. Beim Themenkomplex Müll- bzw. Abfallbehandlung, der auch international wichtiger wird, scheint die Bundesrepublik zu Beginn der 90er Jahre eine günstige technologische Position einzunehmen. Dagegen deuten sich in wesentlichen Teilbereichen des Komplexes Abgasreinigung (insbesondere Katalysatoren) zu Beginn der 90er Jahre technologische Schwächen an.

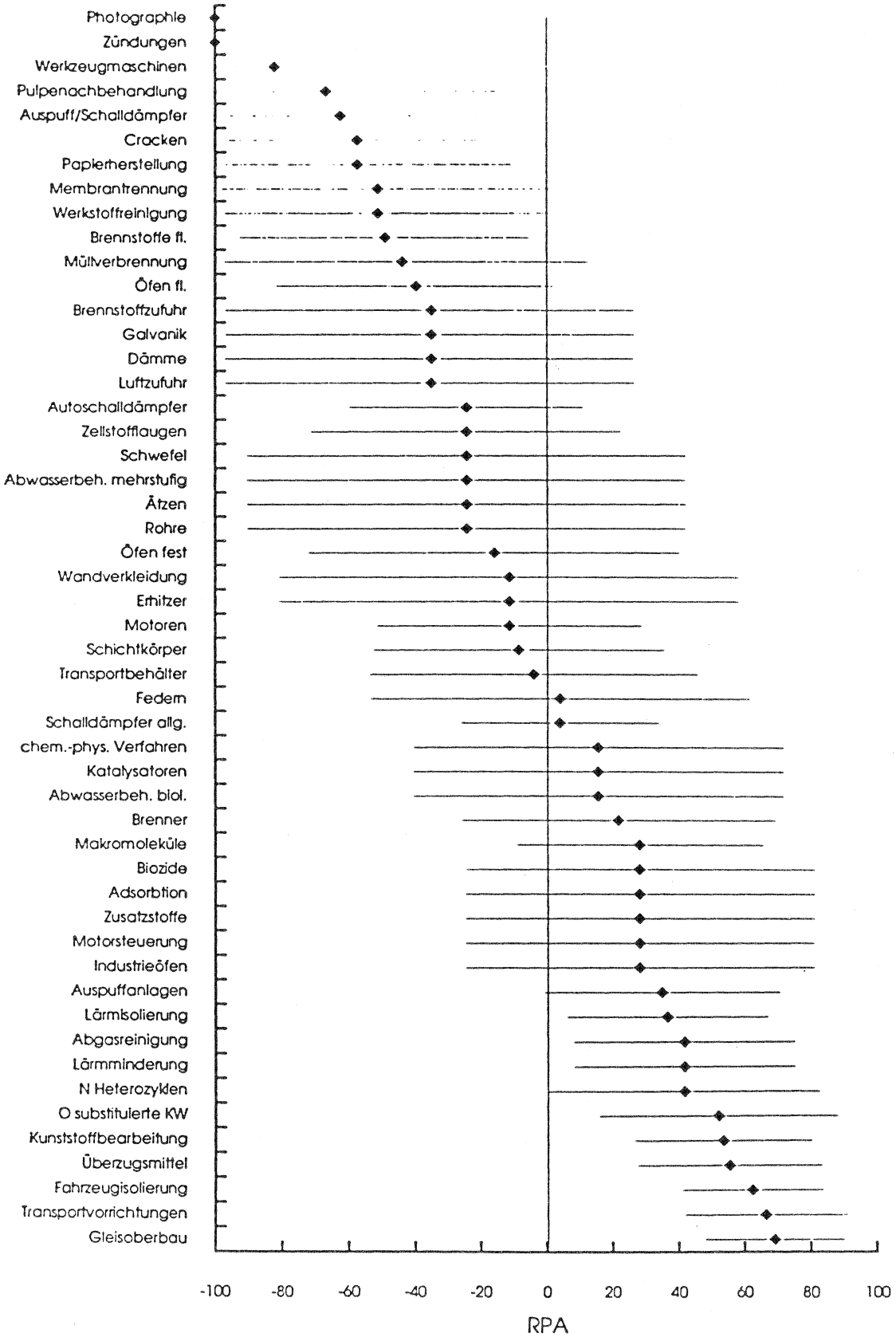
4.6.3 Vermeidung von Umweltbelastungen

Insgesamt sind die Fehlerbandbreiten der RPAs für den Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen nicht zuletzt aufgrund der großen Heterogenität des Themas relativ groß. Der Interpretation der Spezialisierungsindikatoren in diesem Bereich sind daher Grenzen gesetzt. Dennoch lassen sich gewisse Trends erkennen.

Bei den wichtigsten Themen im Bereich der technischen Entwicklungen zur Vermeidung von Umweltbelastungen, den Abgasreinigungsverfahren und den Strategien zur Lärmvermeidung, ist die Bundesrepublik durchschnittlich bis überdurchschnittlich spezialisiert. Deutliche Schwächen sind dagegen beim dritten wichtigen Themenkreis, der Vermeidung von Umweltbelastungen im Zusammenhang mit der Papierindustrie, zu erkennen. Im einzelnen gehören hierzu die Teilbereiche Pulpennachbehandlung, Papierherstellung und Zellstofflaugung (Abb. 4.22). Zu den stärkeren Bereichen dagegen gehören einige Teilklassen, die sich insgesamt als neue Materialien zusammenfassen lassen. Dies sind beispielsweise Makromoleküle, substituierte Kohlenwasserstoffe, Stickstoff-Heterozyklen sowie die Kunststoffbearbeitung. Wie in Kapitel 4.3 beschrieben, kommt dem Bereich neue Materialien beim Übergang zu den 90er Jahren zunehmende Bedeutung zu. Die technologischen Voraussetzungen für diese Entwicklung waren in der Bundesrepublik offensichtlich Mitte der 80er Jahre relativ günstig.

Zu Beginn der 90er Jahre ist der Themenbereich Abgasemissionsminderung noch wichtiger geworden (vgl. Kap. 4.3). Die Position der Bundesrepublik in diesem Technikbereich ist insgesamt durchschnittlich bis überdurchschnittlich (Abb. 4.23). Dies gilt auch für die neuen techni-

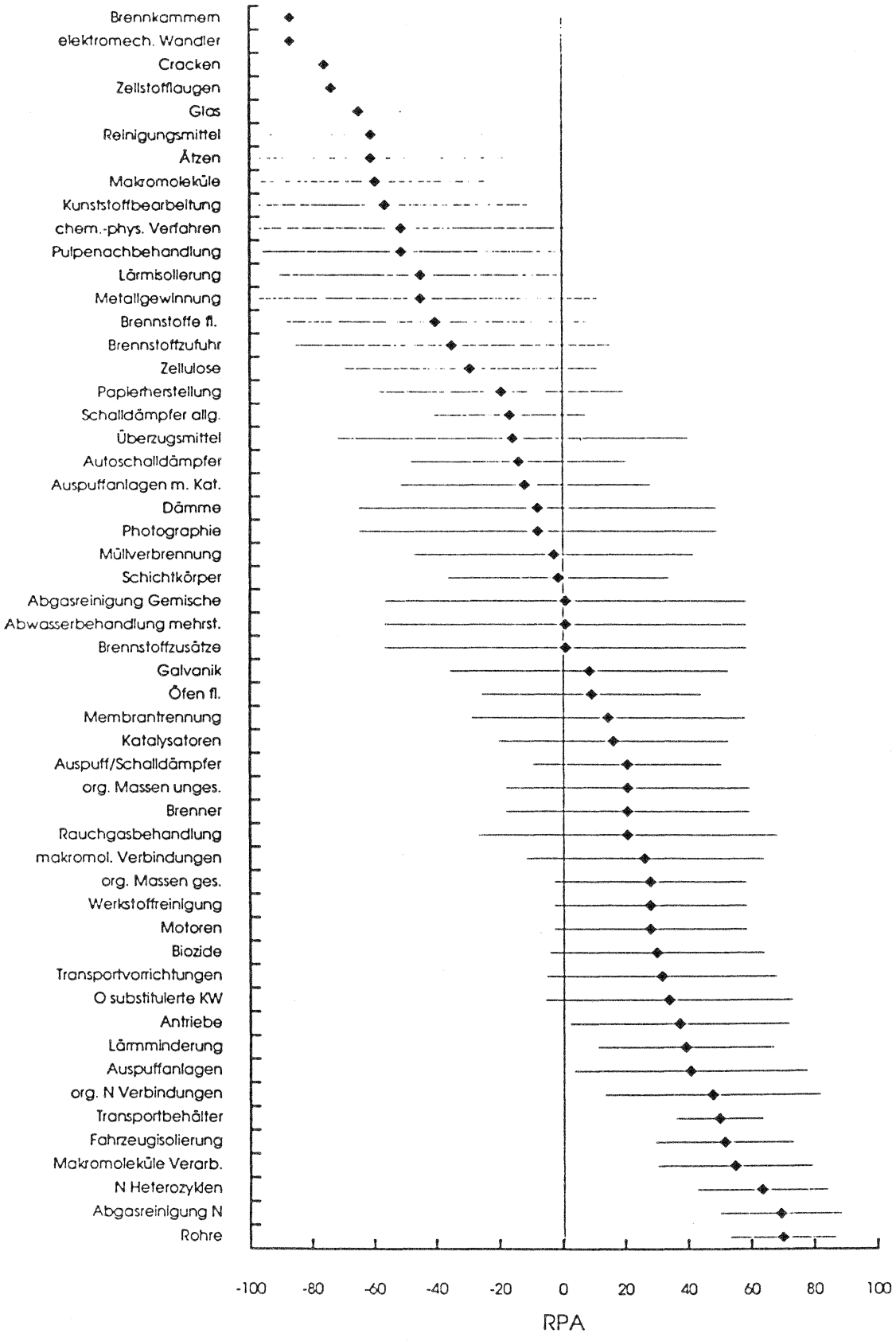
Abbildung 4.22: Spezialisierung der Bundesrepublik im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen im Zeitraum 1984 - 1986



schen Entwicklungen in diesem Bereich, zu denen Auspuffvorrichtungen mit Katalysatoren, die Abgasreinigung für Gemische, Katalysatoren generell, die Rauchgasbehandlung und insbesondere die Abgasreinigung für Stickstoffverbindungen zählen. Die sich schon Mitte der 80er Jahre andeutende gute Position der Bundesrepublik bei neuen Materialien stabilisiert sich auch beim Übergang zu den 90er Jahren. Beispielsweise zählen die makromolekularen Verbindungen, die organischen Massen, die substituierten Kohlenwasserstoffe, die organischen Stickstoffverbindungen, die Stickstoffheterozyklen sowie die Verarbeitung von Makromolekülen zu den Teilbereichen, in denen die Bundesrepublik leicht bis stark überdurchschnittlich spezialisiert ist. Dagegen bleibt die schwache Position der Bundesrepublik bei technischen Entwicklungen zur Vermeidung von Umweltbelastungen im Zusammenhang mit der Papierindustrie auch Anfang der 90er Jahre bestehen. Im einzelnen wird dies an der unterdurchschnittlichen Spezialisierung bei Themen wie Zellstofflaugung, Papierherstellung und Zellulose deutlich (Abb. 4.23).

Insgesamt zeigt die Spezialisierungsanalyse im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen, daß die Bundesrepublik für die wichtigsten, neu aufkommenden Themen im Bereich der Abgasemissionsminderung und der neuen Materialien gute technologische Voraussetzungen mitbringt.

Abbildung 4.23: Spezialisierung der Bundesrepublik im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen im Zeitraum 1989 - 1991



5. Marktpotentiale und Außenhandel

Eine ökonomische Analyse der Umweltbiotechnik stößt auf vielfältige Probleme, die bereits in Kapitel 3.2 näher behandelt wurden.

Das folgende Kapitel widmet sich zunächst der Analyse der Marktstruktur in der Biotechnologie und der Umweltschutztechnik (Kap. 5.1) - jeweils getrennt nach Angebots- und Nachfrageseite. Insbesondere wird darin auch auf die sich abzeichnenden Entwicklungen im FuE-Management eingegangen. Daran anschließend versucht eine grobe Marktabschätzung, das weltweite Volumen des heutigen und zukünftigen Marktes für Umweltschutztechnik und den biotechnologischen Anteil daran zu berechnen - soweit dafür Zahlen zur Verfügung stehen (Kap. 5.2). Im folgenden Abschnitt stellen wir anhand eigener Berechnungen das Produktionsvolumen und - soweit möglich - die Entwicklung der umweltbiotechnologischen Güter für Deutschland dar (Kap. 5.3). Der abschließende Teil beschäftigt sich mit der derzeitigen Spezialisierung der wichtigsten OECD-Länder im Außenhandel mit Umweltschutzgütern (Kap. 5.4). Die Analysen dienen dem Zweck, anhand einfacher Indikatoren einen Überblick über derzeitige Stärken und Schwächen einzelner Länder bei bestimmten umweltschutzrelevanten Gütergruppen zu geben. Bei vorsichtiger Interpretation der Ergebnisse lassen die verwendeten Indikatoren darüber hinaus Rückschlüsse auf in Zukunft zu erwartende Veränderungen der Spezialisierungsstruktur zu.

5.1 Die Entstehung eines Marktes für Umweltbiotechnik

Die Technikbereiche der Biotechnologie und der Umweltschutztechnik befinden sich noch in einer frühen Phase ihres jeweiligen Technikiebenszyklus, in der die Weiterentwicklung des Standes der Technik noch lange nicht abgeschlossen ist und sich die potentiellen Anwendungsgebiete beider Bereiche erst langsam konkreter abzeichnen. Diesem frühen Entwicklungsstadium entsprechend, hat sich innerhalb der Wirtschaftsstruktur der führenden Industriestaaten bisher weder ein Sektor für die Herstellung und den Vertrieb biotechnologischer Produkte (OECD 1989) noch ein entsprechendes Pendant im Bereich der Umwelttechnik herausgebildet.

5.1.1 Die Angebotsseite

Solange sich ein möglichst einheitlicher Sektor mit Unternehmen der Bio- und der Umweltschutztechnik noch nicht entwickelt hat, kann sich eine ökonomische Analyse nur an einzelnen Unternehmen und Betrieben oder deren Produkten orientieren. Betrachtet man zunächst die Unternehmen in der Biotechnologie, so ergibt sich folgendes Bild:

In einer gemeinsam von der Prognos AG, Basel, und der OECD durchgeführten Befragung von Biotechnologie-Anbietern (OECD 1989) aus Europa, Nordamerika und Japan zeigt sich, daß die **Unternehmen** aus verschiedenen Sektoren der Wirtschaft kommen und sich derzeit in der Biotechnologie auf Neuland begeben. Ihre traditionellen Tätigkeitsfelder liegen in der pharmazeutischen, der chemischen, der Lebensmittelindustrie und der Landwirtschaft. Bemerkenswert ist dabei, daß nur ein sehr geringer Anteil der in der Biotechnologie engagierten Unternehmen aus dem Bereich der Umweltschutztechnik stammt, von diesen Umweltschutztechnik-Anbietern sich jedoch der überwiegende Teil zukünftig stärker in der Biotechnologie engagieren möchte. Zu ähnlichen Ergebnissen für den Bereich der Bundesrepublik kam eine kürzlich abgeschlossene Erhebung des ISI (Reiß und Hüsing 1992).

Betrachtet man neben der Herkunft der Unternehmen aus den traditionellen Sektoren noch deren Größe, um sich ein Bild von der Marktstruktur der Anbieter innerhalb des Bereichs der Biotechnologie zu machen, zeigt sich eine deutliche Zweiteilung. Nach den Ergebnissen der oben zitierten Befragungen sind die **kleinen und mittelständischen Unternehmen** zahlenmäßig weitaus stärker vertreten. Ihr Tätigkeitsfeld beschränkt sich dabei häufig auf die nationalen Märkte. Liegt der Schwerpunkt ihrer Geschäftstätigkeit dabei in anderen Wirtschaftszweigen und stellt die Biotechnologie lediglich eine strategische Diversifikation für eine zukünftige Erweiterung der angestammten Produktpalette dar, sind die aufgewendeten Mittel für FuE in der Regel beschränkt. Ganz im Gegensatz dazu investieren viele der noch kleinen Unterneh-

mensneugründungen, die sich ausschließlich auf dem Gebiet der Biotechnologie engagieren, fast ihr gesamtes Startkapital in FuE.

Die größeren Unternehmen unter den Anbietern in der Biotechnologie sind häufig **multinational operierende Konzerne**, die in ihren traditionellen Geschäftsfeldern Marktanteile in mehreren Ländern besitzen und die Biotechnologie als passendes Instrument für eine strategische Diversifikation im FuE-Bereich benutzen. Wie bei ihrer Größe nicht anders zu erwarten, engagieren sie sich mit - im Vergleich zu den kleinen und mittelständischen Unternehmen - größeren FuE-Budgets. Ihre Vorgehensweise läßt sich nach den OECD-Umfrageergebnissen (OECD 1989) wie folgt beschreiben: Einerseits gründen viele Konzerne eigene Tochterunternehmen nur für den Zweck biotechnologischer Forschung und Vermarktung der Produkte. Sie statten diese Neugründungen dann gewöhnlich vollständig mit eigenem Kapital aus. Diese Art des Engagements in der Biotechnologie findet sich vor allem bei den Unternehmen, die bereits auf verwandten Produktfeldern aktiv sind und über einen Grundstock an biotechnologiespezifischem Wissen verfügen. Zum anderen neigen größere Konzerne häufig dazu, kleinere, finanzschwache, aber hochgradig spezialisierte Unternehmen aus dem Bereich der Biotechnologie aufzukaufen. Ist entsprechendes Know-how im eigenen Konzern nicht vorhanden, stellt der Unternehmenskauf - oder zunächst eine Kooperation - eine geeignete Möglichkeit dar, den Mangel an eigenem Wissen auf dem neuen Gebiet auszugleichen.

Nicht zuletzt durch diese wechselnden Unternehmenszugehörigkeiten, aber auch wegen des schnellen technologischen Wandels, der vorhandenes Know-how entwertet, wird sich die Marktstruktur im Bereich der Biotechnologie nachhaltig verändern. Bevor sich in Zukunft eventuell ein einheitlicher biotechnologischer Sektor herausbilden wird, ist bis dahin von einer fortwährenden Umstrukturierung und Schwerpunktverlagerung auszugehen.

Aus dem Spektrum der in der Biotechnologie engagierten Industrien läßt sich bereits das breit gefächerte Anwendungspotential ablesen. Während die Anwendung von Biotechnologie in der Lebensmitteltechnik, den Verfahren zur Herstellung von Pharmazeutika und Chemikalien und der Landwirtschaft schon heute ökonomisch interessant und ihre Verbreitung dementsprechend weit fortgeschritten ist, fristete die Anwendung von moderner Biotechnologie im Umweltschutz bis vor kurzem eher noch ein Schattendasein. Im Hinblick auf die Struktur der in der Umwelttechnik anbietenden Unternehmen zeigen sich mit der Angebotssituation in der Biotechnologie vergleichbare Ergebnisse. In einer Studie zur Umweltwirtschaft in Niedersachsen konnte gezeigt werden, daß mehr als die Hälfte der Hersteller von Umweltschutzgütern Betriebe mit weniger als 50 Beschäftigten sind (Gehrke et al. 1992a). In der Gruppe der Dienstleistungsunternehmen, die die Planung, den Bau und die Inbetriebnahme der Anlagen zum Umweltschutz mit ihrem Know-how begleiten, sind es sogar weniger als 10 Beschäftigte. Selbst wenn man in Rechnung stellt, daß die zitierte Studie die Untersuchung auf das Land

Niedersachsen beschränkte, wird die Aussage über die dominierende Stellung der klein- und mittelständischen Betriebe auch in anderen Regionen oder Ländern Geltung haben.

Interessant ist dabei, daß auch in der Umwelttechnik die kleinen Betriebe häufig Ableger größerer Unternehmen sind oder zumindest in Kooperation mit solchen größeren Partnern stehen. 60 % der im Umweltschutz tätigen Unternehmen wurden eigens für dieses neue Geschäftsfeld gegründet, in 40 % der Fälle versuchten Unternehmen direkt, ohne den Umweg über eine organisatorische und rechtliche Ausgliederung einer Neugründung in der neuen Sparte aktiv zu werden.

5.1.2 FuE-Strategien der Unternehmen

Wie nicht anders zu erwarten, hat in einem so jungen Technikfeld wie der Umweltbiotechnik die jeweilige FuE-Strategie der Unternehmen einen entscheidenden Einfluß auf die Ausgestaltung der Marktstruktur. Die Entscheidung darüber, ob ein Unternehmen sich auf einem neuen forschungs- und wissenschaftsintensiven Gebiet engagiert, hängt dabei nicht nur von der Erwartung des zukünftigen Marktpotentials und der Gewinnchancen ab, sondern zu einem großen Teil auch von dem im eigenen Unternehmen vorhandenen Know-how in verwandten Technologiegebieten, den eigenen finanziellen Ressourcen und der Konkurrenzsituation (OECD 1989). **Neue Technologiemärkte** entstehen in der Regel durch junge Unternehmen, die von Wissenschaftlern aus der unmittelbaren Umgebung von Universitäten oder anderen Forschungseinrichtungen gegründet werden. Auch im Fall der Biotechnologie insgesamt aber auch der Umweltbiotechnik dienten die ersten Unternehmensgründungen ausschließlich dem Zweck der schnellen Vermarktung wissenschaftlicher Ideen. Diese hochspezialisierten Unternehmen verfügen dagegen nicht über das für die Planung und Inbetriebnahme ganzer umwelttechnischer Anlagen notwendige Wissen. Zudem veraltet das eigene technologische Wissen infolge der stürmischen Weiterentwicklung rasch. Die kleinen und häufig auch die mittelständischen Unternehmen sind aus diesen Gründen auf eine regelmäßige Zusammenarbeit mit Betrieben aus benachbarten Sparten angewiesen. Diese Zusammenarbeit beschränkt sich dabei nicht nur auf den interdisziplinären Austausch von Know-how, sondern führt häufig zu einer finanziellen und rechtlichen Verflechtung der Kooperationspartner.

An diesem Punkt stellt sich für größere Unternehmen die Frage, auf welchem Wege sie sich im neuen Technologiegebiet engagieren sollen, nachdem die grundsätzliche Entscheidung für eine Diversifizierung gefallen ist. Ist im eigenen Unternehmen genügend Know-how in benachbarten Bereichen vorhanden und bestehen Möglichkeiten zur Fortbildung für Mitarbeiter des Unternehmens, bietet sich eine Unternehmensgründung innerhalb des eigenen Unternehmensverbandes an, die sich ausschließlich auf dem Gebiet der Umweltbiotechnik engagiert, aber auf das

Wissen und die Finanzkraft des Mutterunternehmens zurückgreifen kann. Ist dagegen kaum ein entsprechendes Know-how im eigenen Unternehmen vorhanden und will man dennoch die Geschäftstätigkeit in den Bereich der Umweltbiotechnik diversifizieren, bietet sich die Möglichkeit an, in eine Kooperation mit einem bislang selbständigen, im Bereich der Umweltbiotechnik hochspezialisierten, aber finanzschwachen Klein-Unternehmen einzutreten (OECD 1993, 1989).

Während die Anwendungen der modernen Biotechnologie in den Bereichen Pharmazeutika, Chemikalien, Lebensmittel, Landwirtschaft und Umwelt zu großen Teilen auf eine neue originäre Technologie zurückgreifen können, baut die allgemeine Umwelttechnik auf schon bekannten und etablierten Technologien auf, die sie dann auf intelligente Weise in häufig interdisziplinärer Arbeit für die Lösung der neuen Problemstellung kombiniert (Gehrke u. a. 1992b). Die Biotechnologie besitzt deshalb im Bereich der Umwelttechnik kein für sie reserviertes Anwendungsgebiet; sie dient als einer unter mehreren Bausteinen zur Lösung von Umweltproblemen und muß sich folglich immer in Konkurrenz oder als Ergänzung zu herkömmlichen, d. h. vor allem mechanischen, thermischen oder chemischen Verfahren behaupten.

5.1.3 Die Nachfrageseite

Der Umweltbiotechnik fehlte nicht nur ein originäres, etabliertes Technologiegebiet, auf das sie aufbauen konnte, sie hatte es auch schwer, sich im Bereich der Wissenschaft neben den Anwendungen der Biotechnologie in der Medizin und der Landwirtschaft als eigenständiges Gebiet zu entwickeln und das Interesse der Forscher auf sich zu lenken. Gegenüber den für die Lösung der dringenden Menschheitsprobleme wichtiger erscheinenden biotechnologischen Produkten und Verfahren in der Medizin und Landwirtschaft fristete die Umweltbiotechnik eher ein Schattendasein. Es ist ihr bislang versagt geblieben, vom 'science-push', der die übrigen Gebiete der Biotechnologie beflügelt, entscheidende Impulse für ihren wirtschaftlichen Erfolg zu erhalten. Dieser "relative wissenschaftliche Nachteil" (OECD 1993) konnte aber seit Beginn der 80er Jahre kompensiert werden. Seit dieser Zeit nahm der Umfang der Gesetzgebung zum Umweltschutz in fast allen Industrieländern rapide zu. Diese Entwicklung sorgt seitdem für eine zunehmende wirtschaftliche Bedeutung der biotechnologischen Anwendungen in der Umwelttechnik. Im Unterschied zur übrigen Biotechnologie trägt die erst in letzter Zeit geschaffene Nachfrage die technisch-wissenschaftliche Weiterentwicklung der Umweltbiotechnik. Man kann in diesem Fall von einem 'demand-pull' (OECD 1993) sprechen.

Die Struktur der Nachfrage nach Umweltschutzgütern weist einige Besonderheiten auf, auf die im folgenden kurz eingegangen werden soll.

Der **Markt für Umwelttechnik** ist auf vielfältige Weise mit dem **Handeln des Staates** verknüpft. Diese Einschätzung gilt nicht nur für die Bundesrepublik, sondern für alle Industrieländer (siehe dazu OECD 1989, OTA 1991).

Wie oben erwähnt, entstand der Markt für Umweltschutz nicht von selbst. Der Gesetzgeber schuf ihn in den vergangenen Jahren durch verschärfte **Vorschriften zum Schutz der Umwelt**. Der Staat griff aber auch durch **Steuererleichterungen** oder **Subventionen** aktiv in die Gestaltung - sowohl der Angebots- als auch der Nachfrageseite - ein. Häufig schafft der Staat die Nachfrage nach Umweltschutzgütern nicht nur seitens der Industrie, sondern tritt auch selbst auf der Ebene der **Kommunen als Nachfrager** von Umwelttechnik auf - besonders im Bereich der Abwasserreinigung und -in geringerem Maße - bei der Bodensanierung.

Zum zweiten befindet sich noch ein Großteil der Gesetzgebungsbefugnis zum Umweltschutz auf nationaler Ebene. Folglich weichen die speziellen nationalen Verordnungen und Ausführungsbestimmungen voneinander ab und erschweren damit die Ausbildung eines länderübergreifenden einheitlichen (Anbieter- und Nachfrager-)Marktes. Für die Ausbildung eines derartigen z. B. europäischen Marktes für Umwelttechnik kommt hinzu, daß für die Vergabe öffentlicher Lieferaufträge durch Regionen und Kommunen offene, also EG-weite Ausschreibungsverfahren erst für Auftragswerte über 200.000 ECU vorgeschrieben sind (Wackerbauer 1992).

Ähnlich wie die Angebotsstruktur der Unternehmen, befindet sich auch die Struktur der Nachfrage in einem ständigen **Wandlungsprozeß**. Insbesondere ist die Vorstellung von einem in allen Industrieländern vergleichbaren, staatlich geschaffenen Nachfragepotential irreführend. Die Unterschiede zwischen den Ländern einerseits, dem Stand ihrer Gesetzgebung und deren Umsetzung in die Praxis sowie zwischen den einzelnen Teilbereichen der Umweltbiotechnik sind nach wie vor groß. Von einer allmählichen Standardisierung von Verfahren und Geräten und einer Festigung des staatlichen und privaten Ausrüstungsbedarfs kann allenfalls in den Ländern gesprochen werden, die in der Ausgestaltung der Umweltschutzgesetzgebung weit fortgeschritten sind (z. B. USA, Deutschland, Niederlande). Auf den verschiedenen Stufen des Entwicklungsprozesses bilden die einzelnen Nationen, je nach Art ihrer Gesetzgebung und der vorhandenen Angebotsstruktur, unterschiedliche Stärken und Schwächen in den einzelnen Teilbereichen der Umweltbiotechnik aus (OECD 1993).

5.2 Marktpotentialabschätzungen

Auf die grundsätzlichen und methodischen Probleme, das Marktpotential eines sich gerade entwickelnden, jungen Technikgebietes abzuschätzen, wurde bereits in Kapitel 3.2 hingewie-

sen. Je nach Abgrenzung des untersuchten Technikbereichs kommen die Analysen zu völlig unterschiedlichen Marktabschätzungen.

Sinnvoll erscheint für eine Marktanalyse die von der OECD als Basis gewählte gesamte Umwelttechnik (OECD 1992b). Untersucht wurden in der Studie die Nachfragepotentiale der zum Umweltschutzgütersektor zählenden Industriebetriebe der OECD-Mitgliedsstaaten (Tab. 5.1). Das gesamte **Nachfragepotential für den Umweltschutz** wurde für das Jahr 1990 mit 200 Mrd. US$ angegeben. Dabei entfiel der Löwenanteil mit 152 Mrd. US$ auf die Ausrüstungen und den Gerätemarkt, der die Behandlung von Wasser, die Luftreinigung, Abfallbehandlung und andere Gebiete, wie die Bodensanierung oder den Lärmschutz, umfaßt. Die Dienstleistungen machen immerhin 25 % des gesamten Umweltmarktes aus. In der Prognose für das Jahr 2000 wächst der betrachtete Markt nach der OECD-Schätzung auf 300 Mrd. US$. Es fällt wiederum ins Auge, daß für die Dienstleistungen mit 7,4 % die höchste jährliche Wachstumsrate prognostiziert wird. Bemerkenswert ist darüber hinaus eine Verschiebung der Gewichte innerhalb der Nachfrage für Umweltschutzgüter und -verfahren. Die im Jahr 1990 anteilig kleineren Bereiche wie Abfallbeseitigung, Bodensanierung und Lärmschutz werden zu Lasten der eher klassischen Gebiete der Umweltschutztechnik, wie etwa der Wasserbehandlung, an Bedeutung zunehmen.

Tabelle 5.1: Der Markt für Umweltschutz innerhalb der OECD in Mrd. US$ (OECD 1992b)

	1990	2000	Wachstumsrate (in %)
1. Wasserbehandlung	60	83	4
2. Abfall	40	63	6,4
3. Luft	30	42	4,4
4. Sonstiges (Bodensanierung, Lärmschutz)	22	32	5,1
5. Ausrüstungen (1.+2.+3.+4.)	152	220	5
6. Dienstleistungen	48	80	7,4
7. Gesamt (5.+6.)	200	300	5,5

Ausgehend von diesen Schätzungen für den gesamten Umweltsektor müssen im folgenden die Anteile der biotechnologischen Geräte und Verfahren am Gesamtmarkt geschätzt werden.

Im Zusammenhang mit den Ausführungen weiter oben ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, daß das Marktpotential für Umweltbiotechnik nicht alleine schon durch die Ausweitung der Gesetzgebung entsteht. Mit der verschärften Umweltgesetzgebung schuf man einen Bedarf für Investitionen von staatlichen und privaten Stellen im Bereich der Umwelttechnik allgemein - nicht aber ein originär biotechnologisches Nachfragepotential. Die biotechnologischen Verfahren müssen sich dabei gegenüber den traditionellen Techniken durchsetzen. Konkurrenten der Biotechnologie sind dabei vor allem mechanische, thermische, aber auch chemische Verfahren, die man besser beherrscht, die wissenschaftlich in der Regel besser durchleuchtet sind, die in vielen praktischen Anwendungen ihre Tauglichkeit unter Beweis gestellt haben und die nicht zuletzt von den jeweiligen nationalen Behörden anerkannt sind. Die biotechnologischen Verfahren können nicht nur wegen des mit ihrem Einsatz verbundenen, schwer abschätzbaren Erfolgsrisikos kostspieliger sein, sondern es können auch im regulärem Prozeßablauf höhere variable Kosten als bei herkömmlichen Verfahren entstehen (OECD 1993).

Soll dennoch Biotechnologie die üblichen Verfahren ersetzen, müssen die neuen Produkte und Verfahren in besonderem Maße ausgereift sein oder in ihrer Funktion als Umweltschutzgut weit überlegen sein. Der Anteil der Biotechnologie an den einzelnen Produkten und Verfahren schwankt daher je nach Entwicklungsstand des Umweltschutzes und der Erfahrung mit biotechnologischen Produkten in dem jeweiligen Bereich.

Nach Schätzungen der OECD (1993) liegt der **Anteil der Biotechnologie am gesamten Umweltschutzmarkt** zwischen 15 % und 25 %. Besonders weit fortgeschritten ist der Einsatz biotechnologischer Verfahren in der Abwasserreinigung, wo zwischen 50 % und 80 % aller gereinigten Abwässer in Industrieländern biologisch gereinigt werden. Im Bereich des Abbaus von Schadstoffen in der Luft, im Abfall und im Boden liegt der Anteil biotechnologischer Verfahren bedeutend niedriger zwischen 1 % und 10 %. Geräte der Meß- und Regeltechnik enthalten dagegen bisher nur in ganz seltenen Fällen biotechnologische Komponenten. In diesem Bereich könnte aber in Zukunft die Biotechnologie in größerem Umfang Fuß fassen (IFO 1992).

Legt man die beiden von der OECD veröffentlichten Schätzungen zum Volumen des gesamten Umweltschutzmarktes und dem Anteil der Biotechnologie daran zugrunde, errechnet sich für die **Umweltbiotechnik** ein **Marktvolumen** von 30 bis 50 Mrd. US$ weltweit im Jahr 1990 und unter der (konservativen) Annahme gleichbleibender Biotechnologieanteile von 45 bis 75 Mrd. US$ im Jahr 2000.

Die Frage nach einer weitergehenden **Aufgliederung** dieser Zahlen auf einzelne **Regionen** läßt sich nur grob schätzen, da der biotechnologische Anteil am Umweltschutzmarkt von Land zu Land schwankt.

Betrachtet man auch hier wiederum von der OECD vorgelegte Zahlen zur regionalen Verteilung der Produktion von Umweltschutzgütern (Tab. 5.2), so zeigt sich, daß über 60 % der jährlichen Gesamtproduktion von Umweltschutzgütern auf Europa entfallen. Japan stellt ein gutes Viertel der Produktion her; der kleine Rest von 15 % verteilt sich auf die USA und Kanada - ein für die Größe der nordamerikanischen Volkswirtschaften erstaunlich kleiner Wert. Innerhalb Europas entfällt fast die Hälfte der Produktion auf Deutschland, das damit zusammen mit Japan zu den größten Produzenten von Umweltschutztechnik weltweit zählt.

Tabelle 5.2: Die Verteilung der Produktion von Umweltschutzgütern auf die OECD-Staaten (OECD 1990)[1]

	Produktion (in Mrd. US-$)	Anteil an der Gesamtproduktion (in %)
USA	8	7,14
Kanada	6	5,36
Europa	68	60,71
Deutschland	27	24,11
Frankreich	12	10,71
Großbritannien	9	8,04
Italien	5	4,46
Sonstige	15	13,39
Japan	30	26,79
Gesamt	112	

Das Nachfragepotential einzelner Länder läßt sich aus den Produktionszahlen nur dann berechnen, wenn die Export- und Importquoten für das jeweilige Land bekannt sind. Im Fall von Deutschland wird etwa 40 % der Produktion exportiert (OECD 1990); dies entspricht in etwa

[1] Die Abweichung zwischen den in Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2 genannten absoluten Summen ist auf die getrennte Schätzung der Nachfrage und der Produktion zurückzuführen. Produktion und Nachfrage müssen nicht immer übereinstimmen, bei der Bestimmung des Produktionswertes werden bspw. die Dienstleistungen nicht mitgerechnet.

11 Mrd. US$. Die Importwerte sind jedoch nicht bekannt, so daß eine weitergehende Abschätzung des deutschen Marktes nicht möglich ist.

Nach Einschätzung des IFO-Instituts (IFO 1992) zum Markt für Biotechnologie verteilt sich der Weltmarkt für biotechnologische Produkte (die Nachfrage) zur Hälfte auf die USA und Kanada, die andere Hälfte teilen sich die übrigen Länder. Stimmen die weiter oben angeführten Schätzungen der OECD zum Nachfragepotential und der Produktion in den einzelnen Ländern auch nur in der Tendenz mit der Realität überein, folgt daraus, daß bereits heute ein reger internationaler Handel mit Umweltschutzgütern besteht, da Produktion und Nachfrage für viele Länder auseinanderfallen (z. B. für die USA). Für den US-Markt liegt - ebenfalls für den Bereich der Biotechnologie - eine Marktabschätzung des Business Communications Co. vor (Auszüge daraus in BFE 1992). Nach dieser Studie belief sich das Volumen des gesamten Biotechnologiemarkts in den USA im Jahr 1990 auf 8,67 Mrd. US$. Davon entfiel ein Anteil von lediglich 15 % auf Umweltbiotechnik. In der Prognose für das Jahr 2000 kommt die Studie auf ein gesamtes Marktpotential von 37,88 Mrd. US$. Dies entspricht einer über alle Teilbereiche gemittelten Wachstumsrate von 15,9 %. Der Bereich der Umweltbiotechnik wird nach diesen Ergebnissen allerdings unterdurchschnittlich mit einer Rate von "nur" 14 % im Jahr wachsen und würde damit auch künftig nur eine untergeordnete Rolle in der gesamten Biotechnologie einnehmen.

Ein abschließender Vergleich der betrachteten Zahlen ist wegen der unterschiedlichen Zielsetzungen der einzelnen Studien nicht möglich. Während die OECD-Studien den gesamten Umweltmarkt, getrennt nach Nachfragepotential und Produktion, berechnen und daran den Anteil biotechnologischer Produkte schätzen, beziehen sich die Angaben der Business Communications Co.-Studie auf die Biotechnologie und geben den umweltrelevanten Anteil an. Im groben Vergleich prognostizieren die Studien der OECD ein deutlich höheres Marktpotential für die Umweltbiotechnik. Die eher globalen Schätzungen der Business Communications Co. erscheinen vor dem Hintergrund der detaillierten Analysen der OECD als zu pessimistisch.

5.3 Die Entwicklung der Produktion von Gütern mit Relevanz für die Umweltbiotechnik in Deutschland

Als Fortführung des von der OECD gewählten Ansatzes zur Ermittlung des weltweiten Produktionspotentials für biotechnologische Umweltschutzgüter und als Grundlage für die sich anschließende Analyse der Spezialisierungsmuster im Außenhandel haben wir für die Jahre 1990, 1991 und 1992 die **deutsche Produktion von Umweltschutzgütern** analysiert, die schon heute biologische Komponenten enthalten, bei denen in Zukunft eine Substitution der herkömmlichen Technologie durch die Biotechnologie zu erwarten ist oder die beim Einsatz

biotechnologischer Verfahren in größerem Umfang verwendet werden. Zu der letztgenannten Produktgruppe gehören vor allem Pumpen, Meß- und Regelgeräte.

Das Verfahren der Abgrenzung der biotechnologisch relevanten Umweltschutzgüter aus der nationalen Produktionsstatistik und die damit verbundenen Probleme sind in Kapitel 3.2 erläutert. Die Daten der Produktionswerte wurden der Fachserie 4, Reihe 3.1 des Statistischen Bundesamtes (1992) entnommen. In Tabelle 5.3 sind die Produktionswerte für die Bereiche Abfall/Böden, Wasser/Abwasser, Pumpen, Luft, Analytik und Regeln dargestellt. Die Bereiche Abfall/Böden, Wasser/Abwasser und Luft sind in der Gruppe "Abbau" nochmals zusammengefaßt ausgewiesen. Die Bereiche Regeln und Analytik werden zusammen als "MSR" (Messen, Steuern, Regeln) dargestellt. Die Summe aus den Bereichen "Abbau" und "MSR" ergibt die "Umweltbiotechnik", in der die Pumpen wegen ihres großen Gesamtwertes nicht enthalten sind.

Tabelle 5.3: Produktionswerte für Güter der Umweltbiotechnik für Deutschland in Tsd. DM

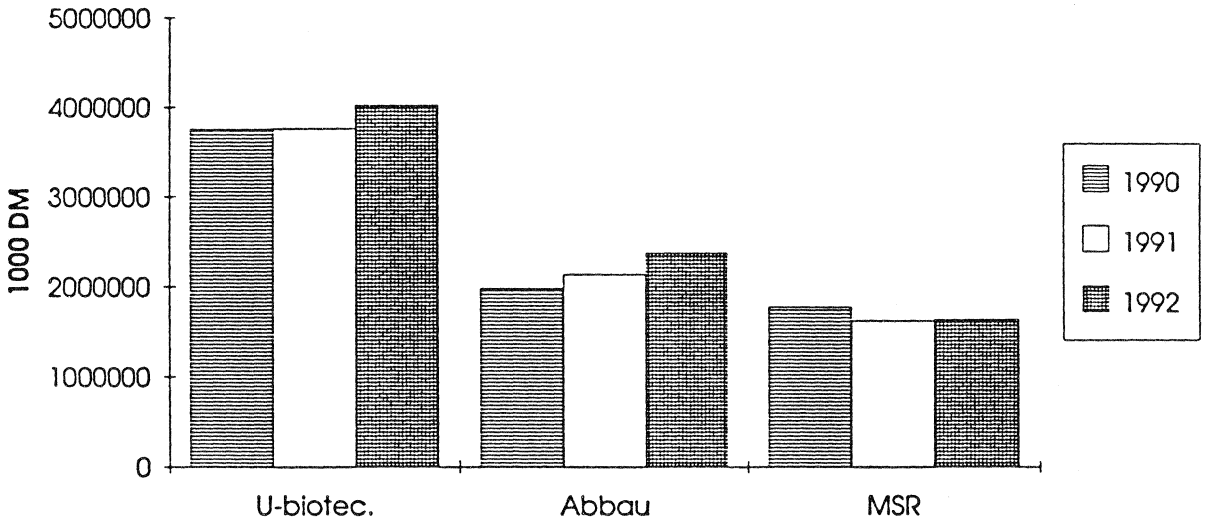
	1990	1991	1992
1. Abfall/Böden	156505	130838	115097
2. Wasser/Abwasser	1643171	1803662	1999812
3. Pumpen	2518480	2685884	2713270
4. Luft	179975	198230	259515
5. Analytik	1204291	1094412	1093643
6. Regeln	571248	529495	550608
7. Abbau (1.+2.+4.)	1979651	2132730	2374424
8. MSR (5.+6.)	1775539	1623907	1644251
Umweltbiotechnik (7.+8.)	3755190	3756637	4018675

Wegen der Umstellung der nationalen Produktionsstatistik zur Erfassung der gesamtdeutschen Produktion können in einigen der Warengruppen "Sprünge" zwischen den Jahreswerten für 1990 und 1991 auftreten, die ihren Grund vorwiegend in der Ausweitung des Berichtsraumes

auf die neuen Bundesländer haben. Wegen dieser "Sprünge" ist ein Vergleich der Jahreswerte und die Interpretation von Trends nur bedingt und in Ausnahmefällen möglich.

Abbildung 5.1 verdeutlicht die in Tabelle 5.3 angegebenen absoluten Werte in grafischer Darstellung. Für den **Gesamtbereich der Umweltbiotechnik** liegt der Wert der jährlichen Produktion im Mittel der drei ausgewählten Jahre bei etwa 3,75 Mrd. DM. Diese Summe enthält nicht die Produktionswerte für Pumpen, die im Bereich der Wasserbehandlung den Einsatz biotechnologischer Verfahren ergänzen. Ihr Produktionswert beläuft sich alleine auf ca. 2,7 Mrd. DM, wobei nicht näher feststellbar ist, welcher Anteil davon für den Einsatz in Kläranlagen geeignet ist.

Abbildung 5.1: Produktionswerte für die Bereiche der Umweltbiotechnik für Deutschland in Tsd. DM



Im **Bereich "Abbau"** stieg der Produktionswert im Betrachtungszeitraum von knapp 2 Mrd. DM auf 2,37 Mrd. DM im Jahr 1992 an, ein Anstieg von fast 20 % pro Jahr, wobei dieses Wachstum auch zum Teil durch die oben schon erwähnte Umstellung des statistischen Erhebungsverfahrens zustandekommt. Die Produktionswerte im **Bereich "MSR"** zeigen im zeitlichen Verlauf dagegen ein uneinheitliches Bild. Sie schwanken zwischen 1,62 Mrd. DM und 1,77 Mrd. DM. Die Schwankungen stammen vornehmlich aus einer uneinheitlichen Entwicklung des Teilbereichs "Regeln", der den Teilbereich "Analytik" im Wert um fast das Fünffache übersteigt. Die "Analytik" weist dabei einen leicht fallenden Trend auf.

Im Bereich "Abbau" verzeichnen die Teilbereiche "Luft" und "Wasser/Abwasser" eine deutliche Zunahme der Produktion, während der Teilbereich des Schadstoffabbaus beim Abfall und im Boden niedrigere Produktionswerte aufweist. Hervorzuheben ist der starke Anstieg im Teil-

bereich "Luft", der umso erstaunlicher ist, als die Gütergruppen der Rauchgasreinigungsanlagen nicht in der Statistik enthalten sind. Für diese Rauchgasreinigungsanlagen liegen keine gesondert ausgewiesenen Produktionszahlen vor (siehe zu dieser Problematik Kapitel 3.2). Der starke Anstieg im Teilbereich "Luft" ist vor allem auf die wertmäßige Verdopplung des Produktionswertes für Reinraumanlagen zurückzuführen, die im indudstriellen oder Laborbereich Verwendung finden.

Bei vorsichtiger Interpretation der gewonnenen Ergebnisse zeigt sich eine Zunahme der Produktion im Bereich Luft- und Wasserbehandlung, während die Herstellung von Labor-, Meß- und Regelgeräten stagniert oder leicht zurückgeht. Der Anstieg im Teilbereich "Wasser/Abwasser" geht vermutlich auf den erhöhten Investitionsbedarf bei Kläranlagen in den alten und vor allem den neuen Bundesländern zurück. Hier ist auch von einem deutlichen Anstieg der biotechnologischen Komponenten auszugehen, da die Neuprojektierung von Kläranlagen immer auch biologische Klärstufen einschließt.

In den übrigen Bereichen ist der Anteil der Produktion, der heute schon auf die biotechnologischen Verfahren und Produkte entfällt, schlecht abschätzbar. Sicher ist nur, daß die Produktion biologischer Filter von dem deutlichen Anstieg in der Produktion von Reinraumanlagen profitiert hat.

Sollten sich die Trends in den wertmäßig wichtigen Teilbereichen der Umwelttechnik fortsetzen, gingen davon sicherlich auch positive Impulse für den verstärkten Einsatz biotechnologischer Komponenten aus.

5.4 Spezialisierung im Außenhandel

Nach den in Kapitel 3.2 erläuterten inhaltlichen und methodischen Zielsetzungen und in Fortführung des weiter oben begonnenen Untersuchungsschemas werden wir im folgenden anhand einiger Indikatoren die Spezialisierung und den Erfolg einzelner OECD-Länder im Außenhandel mit umweltbiotechnischen Waren analysieren.

Es sei an dieser Stelle nochmals betont, daß die gemessenen RCA-Werte keine Aussage zur allgemeinen Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft eines Landes zulassen. Die Wettbewerbsfähigkeit oder der Erfolg eines Landes im Außenhandel ist zum einen nicht mit dauernden und hohen Exportüberschüssen in der Leistungsbilanz gleichzusetzen. Zum anderen hängt die Wettbewerbsfähigkeit einer Volkswirtschaft von sehr vielen einzelnen Faktoren ab, die schwer zu identifizieren und kaum meßbar sind. Auf Basis des von Dosi, Pavitt und Soete (1990) ermittelten Zusammenhangs zwischen technologischer Stärke und Außenhandelserfolgen (siehe

Kap. 3.2) gehen wir in der vorliegenden Analyse davon aus, daß die Innovationsaktivität in jungen Technologiegebieten sich in einer deutlichen Spezialisierung des betreffenden Landes im Außenhandel niederschlägt. Deutlich positive Werte des **Spezialisierungsindikators RCA** können dann sowohl als Indiz für eine erhöhte Wettbewerbsfähigkeit des Landes in der betrachteten Produktgruppe gewertet werden, als auch im Umkehrschluß auf eine starke technologische Position hindeuten.

Bevor wir jedoch die Ergebnisse der Spezialisierungsanalyse im einzelnen analysieren werden, ist es notwendig, auf einige Merkmale und Besonderheiten des Weltmarkts und des Außenhandels einiger Länder einzugehen:

Seit dem Ende des 2. Weltkriegs wuchs das Volumen des Welthandels stärker als das Inlandsprodukt der Nationen. Die **Außenhandelsverflechtung** stieg daher zwangsläufig an. Besonders stürmisch verlief die Wachstumsentwicklung der OECD-Industriestaaten. Obwohl sich die Expansion des wert- und volumenmäßigen Außenhandels vor allem im Bereich des Handels mit Waren abspielte, nahmen auch der internationale Dienstleistungs- und Kapitalverkehr stark zu. Die Verteilung der Außenhandelsströme wird in jüngster Zeit durch die Bildung von drei großen **Handelsblöcken** geprägt: Dies sind die Europäische Union, Nordamerika und der ostasiatisch-pazifische Raum. Die USA, Deutschland und Japan sind - innerhalb dieser Blöcke, aber auch weltweit - die größten **Exportnationen** der Welt. Jede von ihnen exportiert jährlich verarbeitete Waren im Wert von ca. 300 Mrd. US$. Die Bundesrepublik erwirtschaftet mit diesen Ausfuhren mehr als 30 % ihres jährlichen Bruttoinlandsprodukts, die USA immerhin noch mehr als 10 %. Innerhalb der Europäischen Union folgen nach dem Wert der Exporte Frankreich, Großbritannien und Italien; letzteres exportiert schon weniger als die Hälfte des deutschen Ausfuhrvolumens. Die Niederlande zählen, obwohl sie zu den deutlich kleineren Volkswirtschaften in der EU gehören, zu den großen Exportnationen mit einem Exportvolumen von gut 110 Mrd. US$ jährlich. Die dänischen Ausfuhren erreichen dagegen mit ca. 28 Mrd. US$ nur gut ein Viertel der niederländischen und weniger als ein Zehntel des deutschen Volumens. Diese Größenunterschiede muß man sich bei der Interpretation der Spezialisierungswerte stets vergegenwärtigen, da diese dimensionslos sind und vom absoluten Niveau des Außenhandels abstrahieren. Hinter gleichen RCA-Werten können sich deshalb völlig unterschiedliche Warenströme verbergen.

Zum Abschluß dieses einleitenden Abschnitts sollte zusätzlich noch erwähnt werden, daß die USA, Frankreich und Großbritannien im Betrachtungszeitraum im Mittel passive Leistungsbilanzsalden aufwiesen, sie also mehr Waren im- als exportierten. Dagegen wiesen Japan, Deutschland und die Niederlande im gleichen Zeitraum hohe positive Leistungsbilanzsalden aus. Da der RCA als Indikator gerade auf das relative Verhältnis von absoluten Werten der Ex-

und Importe abstellt, können stark positive oder negative Leistungsbilanzsalden die Tendenz der Aussage gerade von kleinen absoluten RCA-Werten verzerren (siehe Kap. 3.2).

Tabelle 5.4 zeigt die **Export-Import-Salden** der einzelnen Länder für die von uns gebildeten Bereiche der Umweltbiotechnik, "Abbau" und "MSR" (vgl. Kap. 3.2). Für den **Bereich "Abbau"** zeigt sich unter den großen Exportnationen das gleiche Bild wie beim verarbeitenden Gewerbe insgesamt. Deutschland erwirtschaftete dort im Jahr 1991 einen Überschuß von gut 1,06 Mrd. US$, gefolgt von den USA mit gut 900 Mio. US$ und Japan mit gut 750 Mio. US$. Auffallend ist der deutlich negative Saldo der Niederlande, ein Wert, der sich nicht nur in seiner Tendenz, sondern auch in der Höhe in besonderem Maße negativ von den sonstigen Positionen der niederländischen Handelsbilanz abhebt. Erwähnenswert ist ferner der niedrige Saldo Frankreichs und der hohe positive Wert Großbritanniens, die sich damit beide deutlich vom übrigen Trend in den jeweiligen Leistungsbilanzen unterscheiden. Generell läßt sich aber sagen, daß, mit Ausnahme der Niederlande, die Gruppe der für diese Untersuchung ausgewählten Länder zu den Nettoexporteuren auf diesem Gebiet zählt.

Tabelle 5.4: Export-Import-Salden einzelner Länder in den Bereichen "Abbau" und "MSR" (in Tausend US$) (eigene Berechnungen)

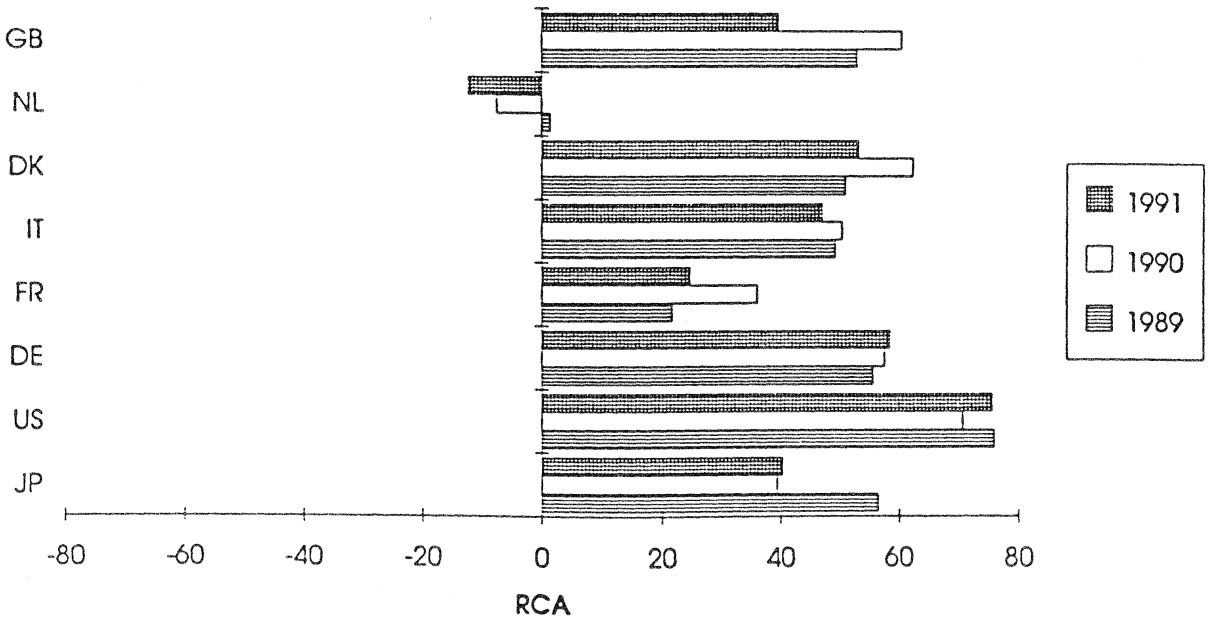
Abbau	1989	1990	1991
JP	629323	531350	755165
US	379073	585363	913070
DE	751475	1118628	1068340
FR	51633	166042	134528
IT	21034	58737	81136
DK	45791	98883	85007
NL	-101852	-109466	-156883
GB	103695	265003	164243

MSR	1989	1990	1991
JP	197644	133289	197693
US	169502	356369	453871
DE	708530	770578	644000
FR	-152893	-161797	-177366
IT	-93338	-112734	-91539
DK	6811	14261	2646
NL	7583	7777	17265
GB	221010	252893	246914

Die Verteilung von positiven und negativen Salden fällt dagegen im **Bereich "MSR"** deutlicher aus. Während Deutschland, die USA und Japan wieder hohe positive Salden verbuchen konnten, weisen die Salden Frankreichs und Italiens negative Werte auf. Ebenso sind die Ausfuhrüberschüsse der Niederlande sehr gering. Ausgesprochen hoch fällt dagegen der Exportüberschuß Großbritanniens aus. Nach Deutschland und den USA erzielt es mit annähernd 250 Mio. US$ den dritthöchsten positiven Saldo. Um die Größe der beiden Bereiche im Verhältnis einschätzen zu können, kann man die addierten Exportwerte der betrachteten Länder im Jahr 1991 vergleichen. Der Bereich "Abbau" ist mit Gesamtexporten von knapp 7 Mrd. US$ etwa 1,5-mal so groß wie der Bereich "MSR" mit Exporten im Wert von gut 4,45 Mrd. US$.

Die Analyse der **Außenhandelsspezialisierungen** bestätigt mit kleineren Abweichungen das aus der Untersuchung der Export-Import-Salden gewonnene Bild. Abbildung 5.2 zeigt die Verteilung der RCA-Werte über die Länder im **Bereich "Abbau"**. Auffällig ist wiederum die relative Stärke der ausgewählten Länder mit Ausnahme der Niederlande, deren Position zudem einen deutlichen Abwärtstrend aufzeigt. Bei dem hohen Überschuß im gesamten Handel führen die negativen Salden in diesem Bereich zu einer deutlich unterdurchschnittlichen Spezialisierung. Hervorzuheben ist ferner die deutliche Ausprägung der Spezialisierung der USA, Dänemarks und Großbritanniens. Deutschland ist ebenfalls stark auf den Bereich "Abbau" spezialisiert. Weniger eindeutig ist die Ausprägung - gemessen an den Werten der übrigen Länder - für Italien, Frankreich und Japan. Die absolut betrachtet zwar immer noch hohen Werte für Japan sind vor dem Hintergrund der allgemein bekannten und in fast allen Bereichen der Wirtschaft vorherrschenden Außenhandelsüberschüsse Japans zu sehen. Obwohl Japan der drittgrößte

Abbildung 5.2: RCA-Jahreswerte im Bereich "Abbau"



Nettoexporteur im Bereich "Abbau" weltweit ist, fällt dieser Überschuß gegenüber den in anderen Spitzenbereichen üblichen Überschüssen etwas geringer aus. Aber auch Japan muß noch als deutlich auf diese Warengruppe spezialisiert gelten.

Abbildung 5.3: RCA-Jahreswerte im Teilbereich "Wasser/Abwasser"

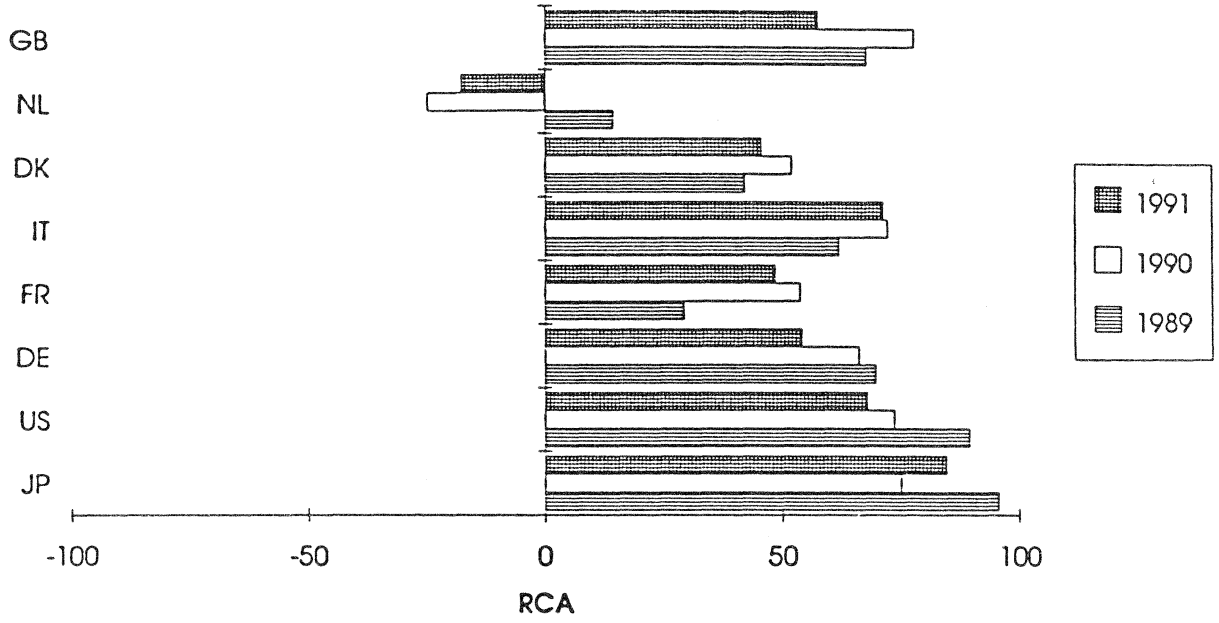
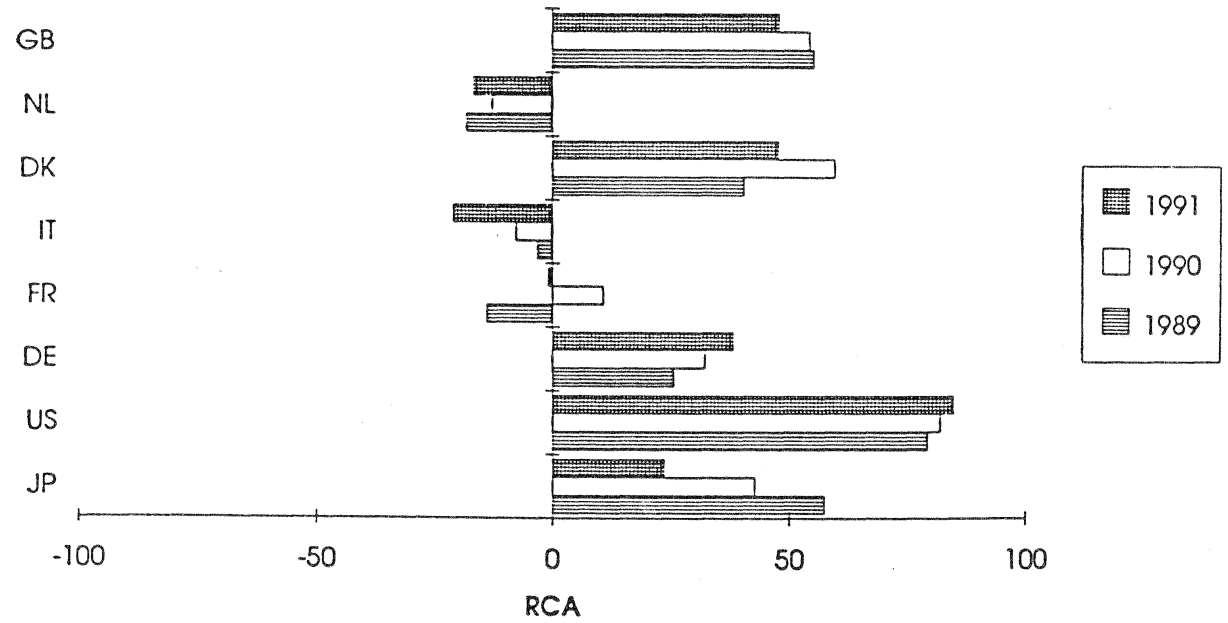


Abbildung 5.4: RCA-Jahreswerte im Teilbereich "Luft"

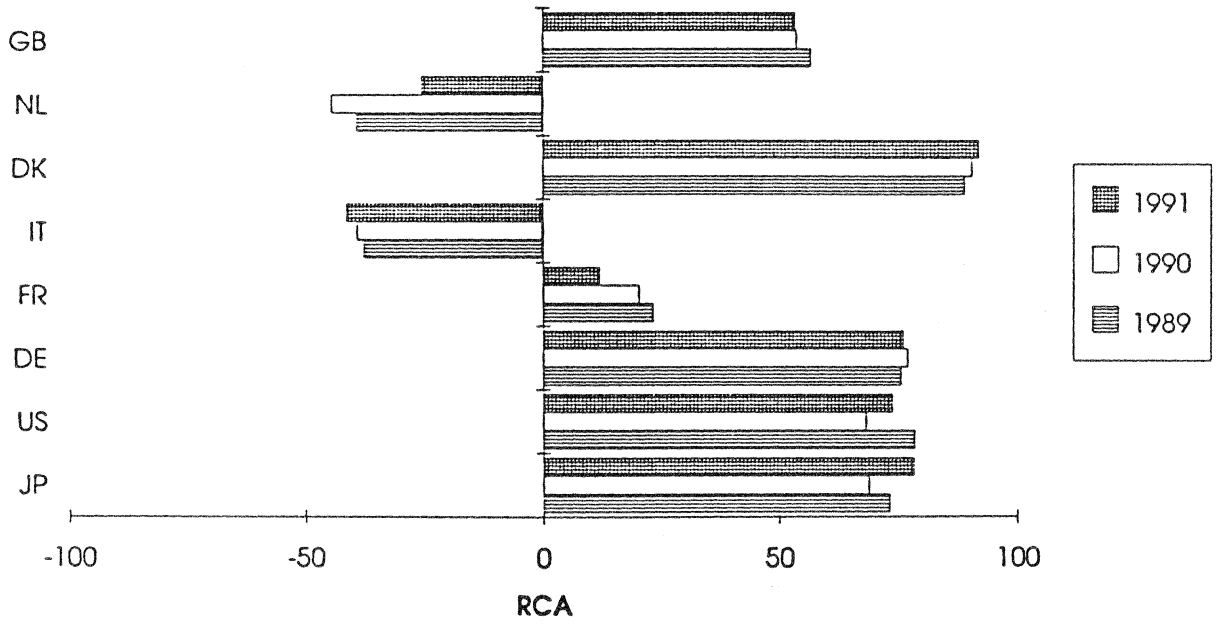


Sieht man sich die beiden wesentlichen Teilbereiche an, aus denen sich der Bereich "Abbau" zusammensetzt, ist im **Teilbereich "Wasser/Abwasser"** (Abb. 5.3) das gleiche Muster wie beim "Abbau" insgesamt erkennbar.[2]

Im **Teilbereich "Luft"** ist das Spezialisierungsmuster dagegen deutlicher ausgeprägt (Abb. 5.4). Auffallend sind dabei die hohen Werte für die USA und Großbritannien. Japan, Deutschland und Dänemark fallen gegenüber dem Wert für den Gesamtbereich ab. Die Niederlande, Italien und auch Frankreich zeigen (jahrweise) negative Werte.

Als wichtigste, für den Betrieb biotechnologischer Umweltschutzanlagen relevante Produktgruppe sei noch das Spezialisierungsmuster für **Pumpen** erwähnt (Abb. 5.5), das in der Tendenz gleiche Werte wie der Gesamtbereich ausweist und damit den engen Zusammenhang mit den übrigen Teilbereichen (besonders den Anlagen im Teilbereich Wasser/Abwasser) bestätigt.

Abbildung 5.5: RCA-Jahreswerte für "Pumpen"



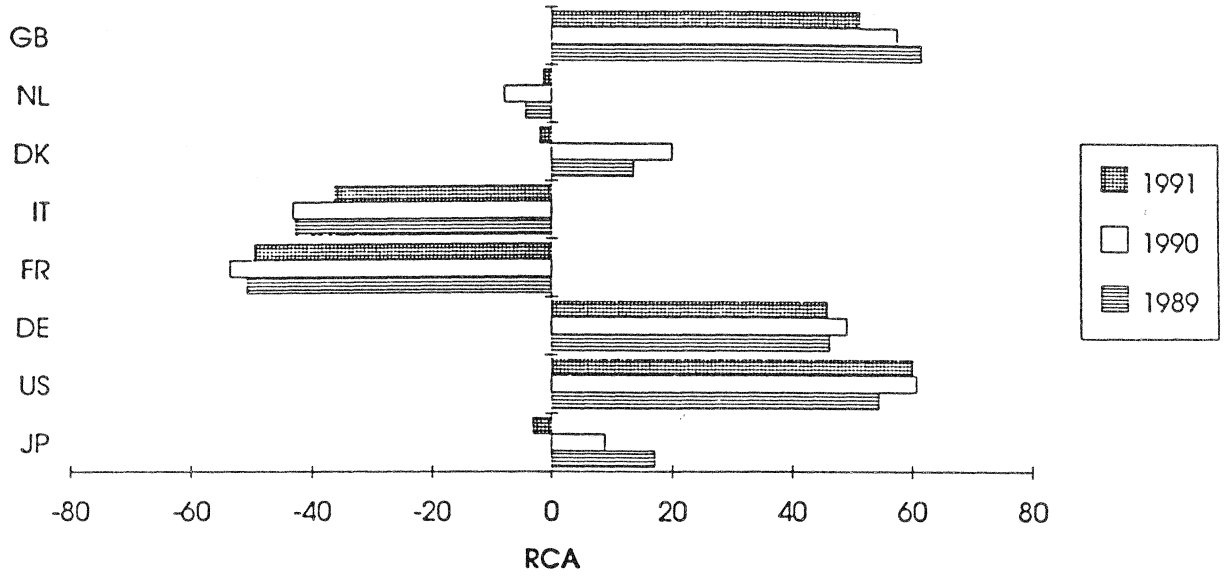
Der **Bereich "MSR"** weist wiederum eine klare Aufteilung in Länder mit positiver und negativer Spezialisierung auf. Abbildung 5.6 zeigt ausgeprägte positive Spezialisierungen für Großbritannien, die USA und Deutschland. Dänemark und Japan sind dagegen nicht eindeutig positiv oder negativ spezialisiert. Italien und Frankreich können als auf diesen Bereich nicht spezialisiert gelten. Die Niederlande weisen auch hier leicht negative Werte auf. Die Abweichung

---

[2] Der Teilbereich "Abfall" enthält wegen der groben Außenhandelsklassifikation nur noch die Warengruppe der Autoklaven. Diese Gruppe ist für den Teilbereich zu eng und kann daher nicht als Einzelergebnis stellvertretend für diesen interpretiert werden (siehe Kap. 3.2)

nach unten kann aber im Vergleich zu Italien und Frankreich nicht als deutliche Despezialisierung gewertet werden.

Abbildung 5.6: RCA-Jahreswerte für den Bereich "MSR"



Ein Blick auf die Details der Teilbereiche "Analytik" und "Regeln" (Abb. 5.7 bzw. Abb. 5.8) läßt erkennen, daß sich der Bereich "MSR" aus zwei heterogenen Teilbereichen zusammensetzt. Während im **Teilbereich "Regeln"** nur Frankreich und Italien durch einen negativen Wert auffallen, sind im **Teilbereich "Analytik"** zusätzlich die Niederlande, Dänemark und auch Japan mit unterdurchschnittlichen RCA-Werten vertreten. In der "Analytik" sind lediglich die USA, Großbritannien und Deutschland stark spezialisiert.

Abbildung 5.7: RCA-Jahreswerte für den Teilbereich "Regeln"

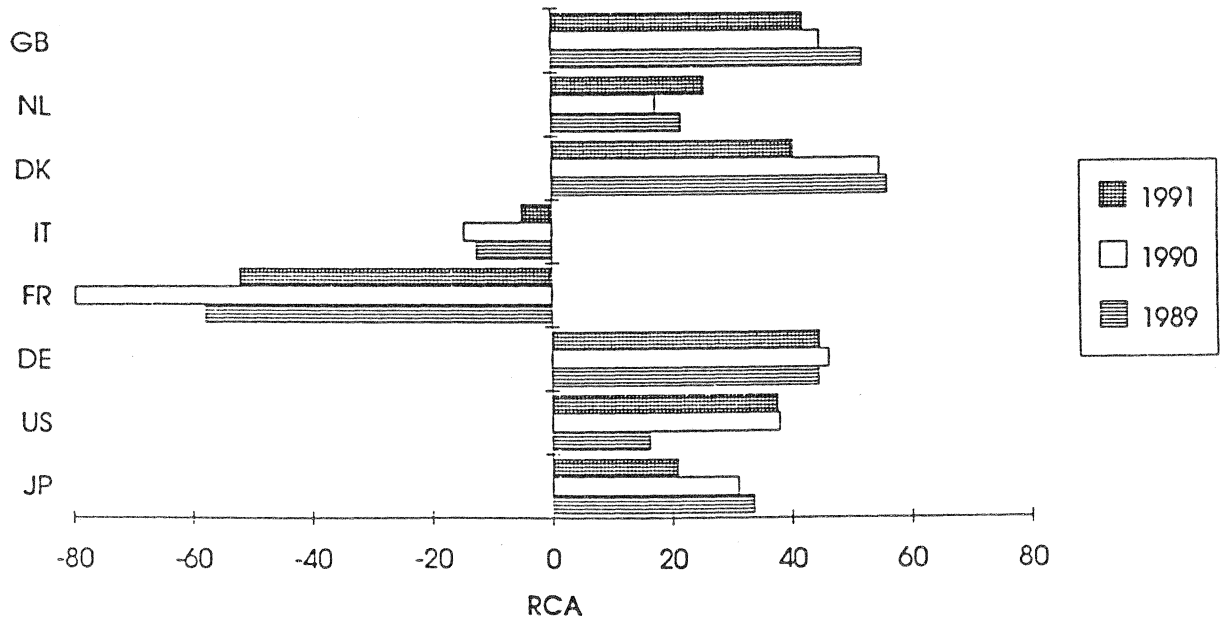
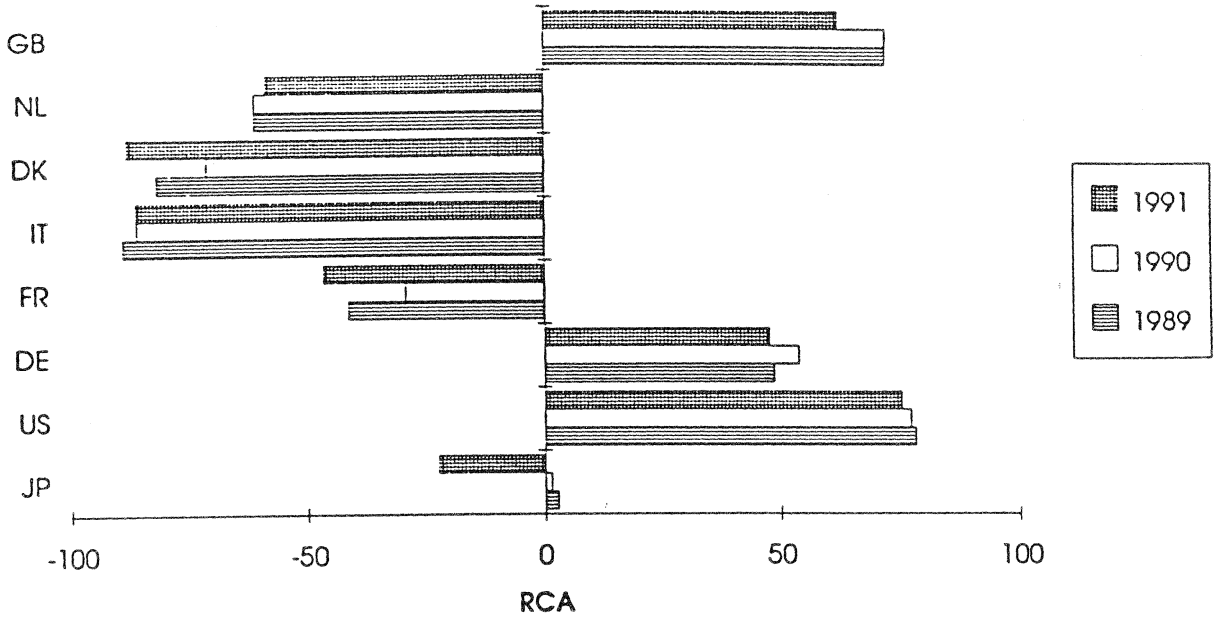


Abbildung 5.8: RCA-Jahreswerte für den Teilbereich "Analytik"



Zusammenfassend kann man sagen, daß die ausgewählten Länder mit Ausnahme der Niederlande im Außenhandel auf Umweltschutzprodukte, für die sich ein biotechnologisches Anwendungspotential bietet, spezialisiert sind. Zu der Gruppe der Länder, die auf beide betrachteten Bereiche der Umweltbiotechnik stark spezialisiert sind, gehören die USA, Großbritannien und Deutschland. Im Falle Japans ist keine eindeutige Ausprägung festzustellen. Italien und Frankreich sind eher auf den Bereich "Abbau" ausgerichtet, im Bereich "MSR" sind sie deutlich schwächer vertreten. Dänemark weist eine in beiden Bereichen überdurchschnittliche Spezialisierung auf, die allerdings im Bereich "MSR" schwächer ausfällt. Als durchweg nicht auf Umweltbiotechnik spezialisiert können dagegen die Niederlande gelten.

Wir sind in der Methodik dem Weg von Gehrke et al. (1992a, b) gefolgt. Der Vergleich unserer Ergebnisse mit den Resultaten für die gesamte Umwelttechnik (Gehrke et al. 1992a, b) zeigt in weiten Teilen ähnliche Tendenzen auf. Die negative Spezialisierung der Niederlande wird für den enger gefaßten Bereich der Umweltbiotechnik bestätigt, ebenso die starke Position Deutschlands. Abweichungen zeigen sich dagegen für Frankreich. Unsere Werte liegen besonders im Teilbereich "Luft" bedeutend niedriger. Im gleichen Teilbereich weisen Gehrke et al. (1992b) auch für Italien höhere Werte aus, ebenso für Japan. Für die gesamte Umwelttechnik fallen im Bereich "MSR" die RCA-Werte für Dänemark deutlich höher aus. Erwähnenswert ist ferner, daß unsere Ergebnisse im Teilbereich "Abfall" für kein Land mit denen von Gehrke et al. (1992b) übereinstimmen. Dies ist offenbar auf die wegen Datenmangels notwendige Beschränkung unsererseits auf die Produktgruppe der Autoklaven zurückzuführen. Die Resultate von Gehrke et al. sind in diesem Teilbereich verläßlicher.

5.5 Fazit der ökonomischen Analysen

Bemerkenswert ist die starke **Position Deutschlands**, das nicht nur innerhalb der Europäischen Union, sondern auch im Vergleich mit den USA und Japan über eine ausgesprochen starke Wettbewerbsposition in dem Bereich der Umweltbiotechnik - wie auch der Umwelttechnik allgemein - verfügt. Die breite Basis, auf der diese Position aufbaut, bestätigen darüber hinaus auch die Ergebnisse in den Gruppen verwandter Produkte, wie etwa den Pumpen, wo die Bundesrepublik ebenfalls stark spezialisiert ist.

Ein ähnlich breites, wenn auch nicht so ausgeprägtes Spezialisierungsmuster zeigen die USA und Großbritannien. Kleinere Länder wie Dänemark scheinen auch im Umweltbereich mit einer Beschränkung auf Kerngebiete Erfolg zu haben. Die Hintergründe für die schwache Position der Niederlande können auf der Basis dieser Untersuchung nicht eindeutig geklärt werden. Festzuhalten bleibt, daß sich die betrachteten Länder in der Spezialisierung auf einzelne Teilbereiche deutlich voneinander unterscheiden. Die Herausarbeitung der Verteilung ausgeprägter Stärken und Schwächen über Länder hinweg ist damit eines der zentralen Ergebnisse der RCA-Analyse. Während der Markt für Umweltschutztechnik bislang aus den verschiedensten Gründen (siehe oben) ein Inlandsmarkt war, scheinen neuere Studien eine Entwicklung in Richtung auf eine Internationalisierung oder wenigstens Europäisierung anzudeuten.[3]

Wichtigste Handelspartner und Konkurrenten sind dabei die europäischen Nachbarländer, mit denen auch im übrigen die engste außenwirtschaftliche Verflechtung besteht. Die unaufhaltsame Entwicklung zu einem vollständig integrierten Binnenmarkt wird die Umweltschutztechnik dabei nicht ausnehmen. Folglich müssen sich die Hersteller schon heute auf die zukünftige Konkurrenz im Binnenmarkt einstellen. Deutsche Unternehmen scheinen sich schon in erheblichem Umfang auf den Außenhandel eingestellt zu haben. Man darf allerdings nicht vergessen, daß in der sich noch sehr rasch entwickelnden Umweltschutztechnik und in der Biotechnologie neue Technologien, als auch veränderte Marktstrukturen durch internationale Unternehmenszusammenschlüsse zu völlig neuen Wettbewerbspositionen führen können. Nach der vollständigen Liberalisierung der Märkte für Waren, Dienstleistungen und Kapital zum 1.1.1993 wird auch der bislang durch eine nationale Gesetzgebung und die Dominanz der staatlichen Nachfrage geprägt Umweltschutzmarkt europäisiert. Neue Technologien werden daher viel rascher als früher auf allen nationalen Märkten eingesetzt. Starke nationale Wettbewerbspositionen können dann durch technischen Wandel gefährdet werden.

Eingehendere Untersuchungen von Marktpotentialen der Biotechnologie im Umweltschutz, die nationale und internationale Vorleistungsverflechtung, die genauere Analyse bilateraler Han-

---

[3] Siehe hierzu etwa Wackerbauer (1992), der niedersächsische und berliner Anbieter von Umweltschutzgütern nach ihren wichtigsten Konkurrenten befragte.

delsströme im Bereich der Umweltbiotechnik sowie die Quantifizierung des Anteils von Beratungsleistungen könnten hier weiteren Aufschluß über technologische Veränderungen und deren Auswirkungen auf die Wirtschaft geben und sollten Inhalt zukünftiger Studien auf diesem Gebiet sein.

6. Internationale Analyse der forschungs- und technologiepolitischen Programme zur Umweltbiotechnik

Für die Bewertung der in Kapitel 4 ermittelten Entwicklungstrends in der Umweltbiotechnik sollen nicht nur ökonomische Aspekte (s. Kap. 5) herangezogen, sondern auch die forschungs- und technologiepolitischen staatlichen Programme, die gegenwärtig international zur Förderung der Umweltbiotechnik durchgeführt werden, analysiert werden. In diesem Kapitel werden daher für die in Kapitel 4 untersuchten Länder Europäische Union (EU), Großbritannien, Niederlande, Frankreich, Deutschland, USA und Japan die wichtigsten forschungs- und technologiepolitischen Programme mit Bezug zur Umweltbiotechnik vorgestellt, wie sie sich aus schriftlichen Quellen erschließen lassen (Kap. 6.2-6.8). Gemeinsamkeiten, Unterschiede und Besonderheiten der länderspezifischen Programme werden in Kapitel 6.9 herausgearbeitet und das bundesdeutsche Förderprogramm vor diesem internationalen Hintergrund bewertet (Kap. 6.10). Auf methodische Schwierigkeiten und sich daraus ergebende Grenzen der Analyse der internationalen FuE-Programme zur Umweltbiotechnik wird in Kapitel 6.1 hingewiesen.

6.1 Zielsetzung, Vorgehensweise und Grenzen der Darstellung

Ziel dieses Kapitels ist die Analyse der staatlichen FuE-Programme zur Umweltbiotechnik in der EU, Großbritannien, den Niederlanden, Frankreich, Deutschland, den USA und Japan. Folgende Aspekte sollen dabei berücksichtigt werden:

- Werden FuE-Aktivitäten zur Umweltbiotechnik staatlich gefördert? Welchen Stellenwert haben diese Fördermaßnahmen?
- In welchem Rahmen erfolgt die Förderung? Gibt es speziell auf die Umweltbiotechnik abzielende Förderprogramme?
- Welche inhaltliche Ausrichtung haben die Fördermaßnahmen zur Umweltbiotechnik? Werden die Bereiche Analytik, Behandlung und Vermeidung und die Umweltkompartimente Wasser, Luft und Boden sowie Abfälle abgedeckt?
- Welche Schwerpunkte, Prioritäten und Besonderheiten weist die Umweltbiotechnikförderung in den betrachteten Ländern auf?
- Welche Trends lassen sich ablesen?

Die Informationen über die staatlichen FuE-Maßnahmen zur Umweltbiotechnik wurden Broschüren über die entsprechenden Förderprogramme, einschlägigen Studien, Zeitschriften und Periodika entnommen, da im Rahmen der vorliegenden Untersuchung Primärerhebungen und Expertenbefragungen in den ausgewählten Ländern nicht vorgesehen waren. Aus der Konzipierung als Literaturstudie ergeben sich sich jedoch grundsätzliche methodische Schwierigkeiten und damit Grenzen der Aussagekraft, die im folgenden aufgeführt werden:

- *Definition und Abgrenzung der Biotechnologie und Umweltbiotechnik.* Es gibt keine international einheitliche Definition und Abgrenzung der Umweltbiotechnik. Selbst innerhalb eines Landes können verschiedene Ministerien bzw. Institutionen ein unterschiedliches Verständnis davon haben, was zur Umweltbiotechnik zu zählen ist. Während biotechnische Verfahren zur Behandlung fester Abfallstoffe und von Belastungen in Wasser, Boden und Luft sowie biotechnische Analyse- und Überwachungsverfahren von den betrachteten Ländern in der Regel zur Umweltbiotechnik gezählt werden, bestehen erhebliche Unterschiede im Hinblick auf die Zuordnung von FuE zur Vermeidung von Umweltbelastungen, von FuE zu nachwachsenden Rohstoffen, der Sicherheitsforschung zur Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen, der ökologischen Forschung, von FuE zur Biodiversität und von landwirtschaftlicher FuE. Aus diesem Grund wird in den Länderkapiteln bewußt auf eine strenge Systematik und ein einheitliches Schema verzichtet. Vielmehr orientieren sich die Kapitel an den von den Ländern selbst gewählten Darstellungen und Definitionen. Dabei wird zwar versucht, alle relevanten staatlichen Fördermaßnahmen für die in Kapitel 2 vorgenommene Definition und Abgrenzung der Umweltbiotechnik für die jeweiligen Länder zu ermitteln. Für die oben genannten Teilbereiche, die außerhalb dieser Kerndefinition liegen und der Umweltbiotechnik nicht einheitlich zugeordnet werden, wurde eine systematische Erhebung und Vollständigkeit je-

doch nicht angestrebt. Dies bedeutet, daß aus dem Fehlen entsprechender Fördermaßnahmen in einem Länderkapitel nicht geschlossen werden kann, daß FuE in diesen Teilbereichen in dem betreffenden Land staatlich nicht gefördert werden.

- *Präzisierungs- und Detaillierungsgrad der Quellen.* Generell können Literaturstudien nur so präzise und detailliert sein wie die Informationen, die aus den ausgewerteten Quellen zugänglich sind. In der vorliegenden Studie standen für die einzelnen Länder Quellen mit sehr unterschiedlichem, häufig nicht befriedigendem Detaillierungsgrad zur Verfügung, der von Informationen über einzelne Projekte bis hin zu allgemeinen Programminformationen reichte, so daß eine Vereinheitlichung und Gewichtung oft nicht möglich war. Problematisch ist dies insbesondere dann, wenn die Länder nicht über spezielle Umweltbiotechnikprogramme verfügen, sondern entsprechende Maßnahmen in den allgemeinen Biotechnologie- und Umweltprogrammen enthalten sind. Die Informationen zu diesen Programmen sind aber oft so hoch aggregiert, daß die Identifizierung umweltbiotechnischer FuE-Aktivitäten nicht eindeutig möglich ist und oft nur vermutet werden kann, daß auch entsprechende umweltbiotechnische FuE-Arbeiten im Rahmen dieser Programme gefördert werden.
- *Umsetzung der Programmkonzepte.* Die Erhebung von Informationen zu staatlichen Fördermaßnahmen in der Umweltbiotechnik beschränkt sich auf die Analyse der Konzepte, die den Maßnahmen zugrunde liegen. Ob und inwiefern diese "Absichtserklärungen" tatsächlich umgesetzt werden, wurde nicht ermittelt.
- *Fehlen von FuE-Statistiken im Bereich Biotechnologie und Umweltbiotechnik.* Als Maß, das Auskunft über die Bedeutung der Umweltbiotechnik innerhalb der Biotechnologie und innerhalb der Umwelttechnik in den betrachteten Ländern geben könnte, könnte man prinzipiell die entsprechenden FuE-Aufwendungen heranziehen. Gegenwärtig existieren jedoch in den betrachteten Ländern nicht einmal auf nationaler Ebene vollständige Statistiken über entsprechende FuE-Aufwendungen in der Biotechnologie und Umweltbiotechnik. Dies liegt darin begründet, daß es sich um vergleichsweise junge Technologien handelt, die in den entsprechenden Statistiksystematiken nicht separat erhoben und ausgewiesen werden, daß diese Technologien ausgesprochenen Querschnittscharakter haben, daß es Probleme bei der Definition und Abgrenzung gibt und daß eine Vielzahl von Ministerien, Behörden und Institutionen auf nationaler und regionaler Ebene an der öffentlichen Förderung beteiligt sind. Hieraus wird verständlich, daß selbst bei (punktueller) Verfügbarkeit entsprechender Daten in einem Land eine internationale Vergleichbarkeit nicht gegeben ist. Diese Situation ist unbefriedigend, im Rahmen der vorliegenden Studie aber nicht lösbar. Daher wird im folgenden auf die Angabe von FuE-Aufwendungen verzichtet, so daß sich die Länderkapitel auf qualitative Darstellungen beschränken.

6.2 Europäische Union

Gegenwärtig werden EU-Aktivitäten im Bereich der Forschung und der technologischen Entwicklung (FTE) innerhalb des 3. Rahmenprogramms durchgeführt, das 1990 für eine Dauer von fünf Jahren beschlossen wurde. Das 3. Rahmenprogramm umfaßt insgesamt 15 spezifische FTE-Programme, von denen insbesondere die Programme "BIOTECH" und "Umwelt" für die Förderung umweltbiotechnischer Projekte relevant sein können. Ein speziell auf die Umweltbiotechnik ausgerichtetes Programm bzw. Unterprogramm gibt es jedoch nicht.

Das BIOTECH-Programm stellt eine Ausweitung des laufenden Biotechnologieprogramms BRIDGE dar. Ziel des BIOTECH-Programms ist "die Vertiefung des biologischen Grundlagenwissens als allgemeine und integrierte Basis für Landwirtschaft, Industrie, im Gesundheitswesen und auf dem Gebiet des Umweltschutzes" (Kommission der Europäischen Gemeinschaften 1992). Obwohl der Umweltschutz explizit genannt wird, sind im Arbeitsprogramm 1992-1994 keine Forschungsaufgaben aufgelistet, die für die Umweltbiotechnik-Teilbereiche Analytik/Überwachung, Abbau oder Vermeidung von Belastungen, wie sie in Kapitel 2 beschrieben und eingegrenzt wurden, eindeutig relevant wären. Schwache Bezüge lassen sich lediglich für einige Forschungsaufgaben, die für das Gebiet "Ökologie und Populationsbiologie" (Gebiet 3 des FTE-Programms "Biotechnologie") genannt werden, herstellen. Dabei handelt es sich um

- genetische Untersuchungen der Plasmidökologie, -erhaltung und -übertragung, hauptsächlich im Zusammenhang mit Genen, die die Widerstandfähigkeit gegenüber Schwermetallen und die Fähigkeit zum Abbau organischer Schadstoffe kodieren,
- Untersuchungen der mit der Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen (Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen) möglicherweise verbundenen ökologischen Risiken, und
- die Entwicklung beschleunigter molekulargenetischer Screening-Verfahren zur Abschätzung und Evaluierung genetischer Diversität und von Potentialen bei Individuen, Genbanken und Populationen.

Projekte zur Sicherheitsforschung an gentechnisch veränderten Organismen werden ebenfalls im Rahmen des BIOTECH-Vorläuferprogramms "BRIDGE" (1990-1994), das ebenfalls keine weiteren umweltbiotechnologierelevanten Projekte umfaßt, gefördert.

Auch im vierten Rahmenprogramm sollen innerhalb des FTE-Bereichs Biotechnologie die Schwerpunkte wie bisher auf der

- Biotechnologie (Zellfabriken, Genomanalyse, Pflanzenmolekularbiologie, Zellkommunikation in Neurowissenschaften, Tierphysiologie, Immunologie, strukturelle Biologie, pränormative Forschung, biologische Vielfalt und soziale Akzeptanz, Infrastruktur),
- der biomedizinischen und Gesundheitsforschung (AIDS, Tuberkulose und andere Infektionskrankheiten, Krebsforschung, Pharmazeutische Forschung, Prävalidierung von schnellen, korrelierenden Testmodellen, Neurowissenschaften und Hirnforschung,Prävention, Gesund-

heit am Arbeitsplatz, Risikofaktoren und Public-Health-Forschung, Epidemiologie von Erkrankungen von hoher sozioökonomischer Relevanz, Analyse des menschlichen Genoms, Gesundheitssystemforschung, Biomedizinische Technik, Biomedizinische Ethik),

- der Anwendung der Biowissenschaften in Landwirtschaft und Fischerei einschließlich Agrarindustrie, Lebensmitteltechnologien, Forstwirtschaft und ländliche Entwicklung (Integrierte Produktions- und Verarbeitungsketten, Scaling-up und Verarbeitung, Generische Wissenschaft und fortgeschrittene Technologien für hochwertige Lebensmittel, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, ländliche Entwicklung und Fischerei,

liegen (Gasterstädt 1993). Somit ergeben sich keine Hinweise darauf, daß der Umweltbiotechnik innerhalb des FTE-Bereichs Biotechnologie im 4. Rahmenprogramm ein signifikant größerer Stellenwert als innerhalb des derzeitigen 3. Rahmenprogramms zugemessen wird.

Das "FuE-Programm im Bereich der Umwelt" (1991-1994) stellt eine Ausweitung der laufenden Programme STEP und EPOCH dar. Ziel dieses Programms ist es, die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen für die Umsetzung der Umweltpolitik der EU zu liefern. Im Arbeitsprogramm 1991-1994 werden für folgende Forschungsaufgaben in den Bereichen Analytik/Überwachung bzw. Abbau explizit biotechnische Ansätze genannt (Kommission der Europäischen Gemeinschaften 1991):

- Entwicklung hochempfindlicher und stark selektiver Biosensoren für bestimmte Chemikalien sowie von Biosensoren, die in bezug auf Empfindlichkeit, Selektivität, Reaktionszeit und Kosten eindeutige Vorteile bieten,
- Entwicklung biotechnologischer (z. B. molekulargenetischer) verbesserter Methoden für die Früherkennung genetischer Risiken von Umweltchemikalien,
- bei der Minderung von Emissionen in die Atmosphäre die Verbesserung von Emissionsminderungsverfahren wie Filtration und Biofiltration einschließlich geeigneter Filterregenerierungstechniken,
- Optimierung der Fließmuster für die integrierte Stickstoff- und Phosphorentfernung und die BSB-Reduzierung in der Abwasserreinigung,
- Sichere Lagerung von Abfällen, die nicht für die Wiederverwertung geeignet sind, durch Entgiftung von Industrieabfällen, einschließlich biologischer Behandlung mit natürlichen und gezüchteten Organismen.

Darüber hinaus wird innerhalb des Teilprogramms "Biogeochemische Zyklen und Dynamik der Ökosysteme" die Untersuchung der Auswirkungen abiotischer Veränderungen auf die Artenvielfalt und die genetische Vielfalt sowie die Stabilität der Ökosysteme als Forschungsaufgabe genannt, wobei biotechnische bzw. molekulargenetische Analyse- und Monitoringmethoden möglicherweise zum Einsatz kommen könnten.

Im 4. Rahmenprogramm sollen sich die Anstrengungen der gemeinschaftlichen, umweltrelevanten FuE auf drei Themen konzentrieren:

- Natürliche Umwelt, Umweltqualität und globale Umweltveränderungen,
- Umwelttechnologien, und
- Beobachtungen der Erde und Anwendung von Raumfahrttechnologien (Gasterstädt 1993).

Für die Umweltbiotechnik relevante Forschungsarbeiten werden innerhalb des Themenkomplexes Umwelttechnologien durchgeführt: Im Bereich "Instrumentelle Technologien" ist die Entwicklung von Biosensoren für Forschungs- und Monitoringzwecke geplant. Gegenstand des Bereichs "Technologien zur Sanierung" sollen neuartige und wirkungsvolle Technologien zur Behandlung von Emissionen in die Umwelt (Abwasser, Abgase, industrielle Abfälle) sein, wobei die Biotechnologie möglicherweise eine Rolle spielen könnte. Im Bereich "Technologien im Zusammenhang mit der Sanierung der Umwelt und mit den natürlichen Risiken" kann die Biotechnologie einen Beitrag zu dem Ziel leisten, wirkungsvolle Technologien zur Sanierung der Umweltkompartimente (Boden, Sedimente usw.) zu entwickeln, bei denen entweder chronische oder unfallbedingte Verunreinigungen mit gefährliche Produkten oder Substanzen vorliegen. Der Aspekt der Vermeidung wird für das spezifische Programm zur Umwelt im 4. Rahmenprogramm nicht explizit genannt. Jedoch ist die Entwicklung von sauberen Technologien im Rahmen der spezifischen Programme "Industrielle Technologien" und "Nicht-nukleare Energien" vorgesehen (Gasterstädt 1993).

6.3 Großbritannien

In Großbritannien gibt es mehrere staatliche FuE-Programme mit Bezug zur Umweltbiotechnik.

Das wichtigste Programm zur Förderung des Technologietransfers zwischen Wissenschaft und Industrie ist das LINK-Programm, das unter der Federführung des 1992 mit einem Leiter im Kabinettsrang neu geschaffenen Büros für Wissenschaft und Technologie (Office of Science and Technology, OST) durchgeführt wird. Im Rahmen des LINK-Programms werden ausschließlich Verbundforschungsprojekte, zu denen der Industriepartner mindestens 50 % der Kosten beizutragen hat, durchgeführt. Gegenwärtig umfaßt das LINK-Programm 32 Teilprogramme aller Disziplinen, von denen 9 Teilprogramme die Biotechnologie betreffen. Eines dieser 9 Teilprogramme ist speziell auf den Schadstoffabbau in Wasser und Boden (Programm "Water and Soil Bioremediation") ausgerichtet und wurde im April 1993 aufgenommen (OECD 1993). Die biotechnologische Behandlung von Luft ist dabei nicht vorgesehen. Darüber hinaus werden auch im Rahmen der LINK-Biotechnologie-Teilprogramme "Bioconversions" und "Biochemical Engineering" seit 1991/1992 insgesamt 4 Umweltbiotechnikprojekte mit Laufzeiten von 3-4 Jahren gefördert, die ebenfalls der Kategorie "Schadstoffabbau in Wasser und Boden" zuzuordnen sind. Hingegen ist keines der im LINK-Biotechnologie-Teilprogramm "Biosensors and Bioelectronics" enthaltenen acht Projek-

te speziell auf die Analytik im Umweltbereich ausgerichtet (Science and Engineering Research Council ohne Jahr).

Das Ministerium für Handel und Industrie (Department of Trade and Industry, DTI) unterstützt im Rahmen seines Programms DEMOS die Errichtung und den Betrieb von Demonstrationsanlagen mit dem Ziel, auf diese Weise die Anwendung dieser Umwelttechniken in der Industrie zu fördern. Von den Mitte 1992 bewilligten 9 Vorhaben sind ein bis zwei Projekte der Umweltbiotechnik zuzurechnen (OECD 1993). Bei dem Programm ETIS handelt es sich um ein vom DTI und dem Umweltministerium (Department of Environment, DoE) gemeinsam initiiertes Programm zur Förderung der angewandten Industrieforschung im Umweltbereich; ein speziell auf die Umweltbiotechnik ausgerichtetes Unterprogramm ist in ETIS jedoch nicht enthalten (van Schijndel und Soczó 1993). Darüber hinaus unterstützt das DTI mehrere "Klubs", die dem informellen Informationsaustausch zwischen Wissenschaft und Industrie dienen sollen. Im Rahmen dieser Aktivitäten wurde auch ein Klub initiiert, der die Kooperation bei FuE zur biologischen Behandlung von (Industrie-)Abwasser und Boden erleichtern soll (OECD 1993).

Während mit den oben genannten Programmen FuE-Arbeiten gefördert werden, deren Ergebnisse innerhalb eines Zeithorizonts von 5 bis 10 Jahren zu Anwendungen in der Praxis führen sollten, ist die Perspektive des "Clean-Technology"-Programms (CT-Programm) mit 10 bis 20 Jahren deutlich langfristiger. Dieses Programm wurde 1990 gemeinsam vom Science and Engineering Council (SERC) und dem Agricultural and Food Research Council (AFRC) initiiert. Der AFRC und das Biotechnologiedirektorat des SERC werden ab April 1994 zu einem neuen Biotechnology and Biological Sciences Research Council (BBSRC) zusammengefaßt (Yarrow 1993). Das CT-Programm ist auf die Förderung anwendungsorientierter Grundlagenforschung ausgerichtet mit dem Ziel, für die britische Industrie und Landwirtschaft Produktionssysteme der nächsten Generation zu entwickeln, die durch Abfallminimierung, rationelle Energienutzung und Nachhaltigkeit gekennzeichnet sind. Innerhalb des CT-Programms gibt es drei Schwerpunkte, für die die Entwicklung bzw. der Einsatz biotechnologischer Methoden und Verfahren ausdrücklich vorgesehen ist (van Schijndel und Soczó 1993):

- *Saubere Synthese von Wirkstoffen* (Clean Synthesis of Effect Chemicals). Hierbei geht es (letztendlich) um die industrielle Produktion von Wirkstoffen auf Naturstoffbasis (Feinchemikalien, Pharmazeutika, Pestizide usw.), deren Herstellung selbst bzw. deren Einsatz umweltentlastend ist. Dabei sollen die Einsatzmöglichkeiten von Biokatalysatoren bei der Synthese durch Optimierung der Reaktionsbedingungen und Auffinden neuer Biokatalysatoren erweitert und auch umweltschonende Aufarbeitungsverfahren entwickelt werden.
- *Nutzung der Photosynthese* (Harnessing Photosynthesis). Die Fähigkeit phototropher Organismen, Lichtenergie in chemische Energie umzuwandeln, soll für umweltfreundliche Prozesse, wie beispielsweise die Produktion von Wertstoffen oder die Bioakkumulation von

Schwermetallen, nutzbar gemacht werden. Forschungsaufgaben umfassen die genetische Optimierung des Photosystems zur Effizienzsteigerung der Zielprozesse, die Optimierung nachwachsender Rohstoffe wie Öle, Fette und Stärke für ihre industrielle Nutzung und den Einsatz von Purpurbakterien für die Synthese von hochwertigen, vorzugsweise chiralen Chemikalien.

- *Umweltverträgliche Gestaltung der Landwirtschaft* (Farming as an Engineering Process). Zu den Forschungsaufgaben innerhalb dieses Schwerpunktes zählen das Ausloten des Potentials gentechnisch veränderter Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen für ihren Einsatz in der Landwirtschaft, die Entwicklung enzymatischer Prozesse für die Verarbeitung von Agrarprodukten (wie z. B. Leder, Fleisch, Wolle, Holz) und der Einsatz biotechnischer Wachstumsregulatoren und Pestizide im Pflanzenbau.

Somit hat der Aspekt der Vermeidung von Umweltbelastung im CT-Programm oberste Priorität. In einigen Fällen geht es aber auch um die Behandlung von Abfallströmen, meist mit dem Ziel des Recyclings (van Schijndel und Soczó 1993).

6.4 Niederlande

Bereits 1985 wurde in den Niederlanden ein speziell auf die Umweltbiotechnik ausgerichtetes Unterprogramm innerhalb des "innovationsorientierten Forschungsprogramms Biotechnologie" initiiert. Gegenwärtig gibt es etwa sieben staatliche FuE-Programme, in deren Rahmen die Entwicklung von Umwelttechniken gefördert wird. In diesen Programmen können u. a. auch umweltbiotechnische Projekte gefördert werden, die i. d. R. aber nur einen kleinen Anteil am jeweiligen Gesamtprogramm ausmachen (van Schijndel und Soczó 1993). Zwei dieser zur Zeit laufenden sieben FuE-Programme sind bzw. waren speziell auf die Umweltbiotechnik ausgerichtet und werden im folgenden näher vorgestellt.

Das seit 1990 laufende "innovationsorientierte Forschungsprogramm Umwelttechnologie" (IOP-MT-Programm), das gemeinsam vom Wirtschafts- und Umweltministerium getragen wird, richtet sich ausschließlich an Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Es weist drei Unterprogramme auf, und zwar Recycling, Vermeidung und Umweltbiotechnik. Eine Förderung umweltbiotechnischer Projekte innerhalb der beiden Unterprogramme Recycling und Vermeidung ist prinzipiell zwar möglich, erfolgt gegenwärtig in der Praxis jedoch kaum (Schijndel und Soczó 1993). Ziel des für zunächst vier Jahre laufenden Unterprogramms Umweltbiotechnik (IOP-MBT-Programm) ist die Förderung anwendungsorientierter Grundlagenforschung, um die Kenntnisse über die Prinzipien, die den umweltbiotechnischen Prozessen zugrundeliegen, zu erweitern und zu vertiefen. Dabei werden gegenwärtig ausschließlich Projekte gefördert, die sich mit der Behandlung von Abwasser, Boden, Abluft und festen Abfallstoffen befassen; auf die Vermeidung von Umweltbelastungen abzielende Projekte sind nicht

enthalten. FuE-Schwerpunkte sind Prozeß- und Reaktoroptimierung, Einsatz spezieller Mikroorganismen, Wechselwirkungen zwischen Mikroorganismen und festen Substraten, Bioverfügbarkeit. 1992 wurde empfohlen, weitere FuE-Themen aufzugreifen, und zwar die Ergebnisse von Laborversuchen zum biologischen Abbau schwer abbaubarer organischer Verbindungen ins Freiland zu übertragen sowie verschiedene biologische Verfahrensschritte bzw. biologische und physikalisch-chemische Verfahrensschritte miteinander zu kombinieren (van Schijndel und Soczó 1993).

Während das IOP-MT-Programm ausschließlich an Hochschulen und Forschungseinrichtungen gerichtet ist, steht das seit 1989 laufende StirMT-Programm auch privaten Unternehmen offen. Der Schwerpunkt liegt auf der Förderung angewandter Forschungsprojekte zur Entwicklung von Umweltschutztechnologien. Von 1989 bis 1992 wies das StirMT-Programm ein speziell auf die Umweltbiotechnik ausgerichtetes Unterprogramm aus, in dessen Rahmen sowohl biotechnologische Verfahren zur Behandlung von Abwasser, Boden, Abluft und festen Abfallstoffen als auch Projekte zur Vermeidung von Umweltbelastungen gefördert wurden. FuE-Schwerpunkte waren die Immobilisierung von Mikroorganismen, Verfahren zur Rückhaltung der Biomasse, biotechnische Verfahren zur Prozeßüberwachung, Sicherheitsforschung zur Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt. Projekte, die der Vermeidung von Umweltbelastungen zuzurechnen sind, betrafen die Substitution chemischer Produktionsprozesse durch biotechnische Produktionsprozesse und den Pflanzenschutz mit biotechnischen Mitteln. Das umweltbiotechnologiespezifische Unterprogramm wurde nach einer Programmevaluierung 1992 zusammen mit weiteren StirMT-Unterprogrammen, die Gefahrstoffe und Lärmminderung betrafen, eingestellt. Dennoch ist auch weiterhin eine Förderung umweltbiotechnischer Projekte im Rahmen des StirMT-Programms möglich, wenn sich die betreffenden Projekte in die derzeit aktuellen Unterprogramme Boden, Luftverschmutzung, Abwasser, Chemieabfälle und Umweltbelastungen in bestimmten Zielsektoren (z. B. Industrie, Verkehr, Landwirtschaft) einordnen lassen (van Schijndel und Soczó 1993).

6.5 Frankreich

Für Frankreich liegen keine Informationen vor, aus denen ablesbar wäre, daß ein speziell auf die Umweltbiotechnik ausgerichtetes staatliches Förderprogramm existiert. Es gibt jedoch staatliche Fördermaßnahmen zur Biotechnologie und zur Umweltforschung, wobei zu vermuten ist, daß diese auch Projekte zur Umweltbiotechnik umfassen. Die Informationen über diese staatlichen Fördermaßnahmen sind jedoch in dem ausgewerteten französischen Forschungsbericht (Loi de Finances 1992) so hochaggregiert, daß nur in wenigen Fällen die Umweltbiotechnik eindeutig identifiziert werden kann. Entsprechende Fördermaßnahmen mit möglicher Relevanz zur Umweltbiotechnik werden im folgenden vorgestellt.

Im Rahmen der "Grands Programmes", die auf die industrielle FuE ausgerichtet sind, wird seit Ende 1991 das Projekt "Wasserqualität und -reinigung" (Qualité et épuration des eaux, Q.E.E) gemeinsam vom Forschungs- und Raumfahrtministerium (Ministère de la Recherche et de l'Espace, MRE), vom Umweltministerium (Ministère de l'Environnement, ME) und vom Ministerium für Industrie und Außenhandel (Ministère de l'Industrie et du Commerce Extérieur, MICE) gefördert. Hierbei geht es zum einen allgemein um das Vorkommen und die Bewertung von Schadstoffen ober- und unterhalb von Kläranlagen, zum anderen ganz konkret um die Errichtung von Behandlungsanlagen für bestimmte industrielle, mit verschiedenen Schadstoffen belastete Abwässer.

Das MRE hat gegenwärtig elf thematische Programme ausgewiesen, in deren Rahmen Grundlagenforschung auf Gebieten gefördert wird, die mittel- bis langfristig ein hohes industrielles Anwendungspotential aufweisen. Darunter sind die Programme "Tier- und Pflanzenproduktion, Ernährung", "Biotechnologie" und "Biologie, Medizin und Gesundheit" von hoher Relevanz für die Biotechnologie, das Programm "Erde, Raum, Ozean, Umwelt" von hoher Relevanz für die Umweltforschung. Umweltbiotechnische Themen werden jedoch in keinem der Programme explizit genannt.

Das Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) ist eine zentrale staatliche Forschungseinrichtung, die im deutschen FuE-System keine Entsprechung hat. Am CNRS werden gegenwärtig acht interdisziplinäre Forschungsprogramme (programmes interdisciplinaires de recherche, PIR), und zwar IMABIO, COGNISCIENCES, ULTIMATECH, PIRMAT, ENVIRONNEMENT, PIRSEM, PIRTTEM und VILLES durchgeführt. Innerhalb des Energie- und Rohstoffprogramms PIRSEM (Programme interdisciplinaire de recherche sur les sciences pour l'énergie et les matières prémières) zielt je ein neues Forschungsprojekt auf den Abbau von Herbiziden, die die Umwelt belasten, und auf die nachgeschaltete Wiedergewinnung von Schwermetallen durch Mikroorganismen ab. Innerhalb des Materialforschungsprogramms PIRMAT (programme interdisciplinaire de recherche sur les matériaux) ist für 1993 ist geplant, Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Biomaterialien aufzunehmen. Das Umweltforschungsprogramm ENVIRONNEMENT umfaßt die sechs Unterprogramme "Biogeochemische Kreisläufe in der Atmosphäre", "Terrestrische Ökosysteme und 'Global Change'", "Rolle der Biosphäre im Wasserkreislauf", "Ländliche Systeme", "Umwelt, Gesellschaft und Entwicklung" und "Methoden, Modelle und Theorien für die Umweltforschung". Inwiefern hierbei auch biotechnologische Ansätze verfolgt werden, ist dem französischen Forschungsbericht nicht zu entnehmen.

Am Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), das landwirtschaftliche Forschung betreibt, wird ein Programm zur "Anwendung der Mikrobiologie auf industrielle Stoffumwandlungen und für die Umwelt" durchgeführt. In diesem Rahmen werden Arbeiten zur

Produktion industrieller Enzyme und zur mikrobiologischen Reinigung organisch belasteter bzw. stickstoffhaltiger Abwässer gefördert. Innerhalb des Programms "Reinigung und Schutz der Wasserressourcen" wird die Ökodynamik von umweltbelastenden Substanzen, wie beispielsweise Pestiziden, Schwermetallen, Nitrat, Dünger in Lebewesen, Wasser und Boden erforscht. Im Rahmen des Programms "Nutzung von Agrarprodukten für den Nicht-Nahrungsmittelbereich" werden Forschungsarbeiten zu Biomaterialien gefördert. Der Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung von bioabbaubaren Verpackungsmaterialien auf Basis pflanzlicher Proteine, Stärke und Milchserum.

Am Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), das auf Agrarforschung für tropische und subtropische Regionen spezialisiert ist, werden in Kooperation mit der getreideverarbeitenden Industrie Forschungsarbeiten zur Biogasproduktion und zur Kompostierung von Nebenprodukten und organischen Abfällen durchgeführt.

Das Umweltministerium hat sechs thematische Programme ausgewiesen: Im Programm PROGEE (Programme thématique de recherche-observation-gestion-environnement-eaux) wird insbesondere die industrielle Forschung zu verschiedenen Wasserreinigungsverfahren mit dem Ziel, die Kläranlage des Jahrs 2000 zu entwickeln, gefördert. FuE-Schwerpunkte liegen auf der Eutrophierung mit Nährstoffen, auf der Sedimentproblematik sowie auf Detergenzien und ihren Ersatzstoffen. Im Mittelpunkt des Bodenprogramms (Programme sol) stehen Studien zu Stoffflüssen und toxischen Substanzen im Boden, zu Transportprozessen sowie zu Bodensanierungsverfahren. Es ist wahrscheinlich, daß in diesen beiden Programmen auch die Umweltbiotechnik eine nennenswerte Rolle spielen wird. Von geringerer, aber dennoch erkennbarer Relevanz für die Analytik/Überwachung innerhalb der Umweltbiotechnik dürften das Programm "Biologische Vielfalt und nachhaltige Entwicklung", das sich vorrangig auf Waldökosysteme gemäßigter und tropischer Klimate, Gezeitenzonen und landwirtschaftliche Nutzflächen bezieht, sowie das Programm IPHE (programme impacts des pollutions sur l'homme et l'environnement) sein, bei der es um Wirkungen von Umweltbelastungen auf die menschliche Gesundheit geht. Es ist unwahrscheinlich, daß die Umweltbiotechnik nennenswerte Beiträge zum Programm ECLAT (évolution du climat et de l'atmosphère; Schwerpunkt auf der Erforschung der Wirkung von Treibhausgasen und des globalen Klimas) und zum Programm "Umwelt, Normen und Gesellschaft", bei dem es u. a. um die Themen "Stadtökologie" und "Umweltrecht" geht, leisten soll.

1992 hat eine Umwelt- und Energieagentur (L'agence de l'environnement et da la maîtrise de l'énergie, ADEME) ihre Arbeit aufgenommen, die eine öffentliche, staatliche Einrichtung mit industriellem und kommerziellen Charakter ist und den für die Bereiche Forschung, Umwelt und Energie zuständigen Ministerien untersteht. Mit dem Ziel, Umweltbelastungen in Wasser,

Boden und Luft sowie durch Lärm, Abfälle und Energienutzung zu vermeiden und zu beseitigen, zählen zu den Aufgaben von ADEME die Initiierung und Orientierung von FuE, die Entwicklung, Demonstration und Diffusion anwendungsreifer Techniken, die Sammlung von Daten und die Beratung von Privatpersonen und Institutionen. Aufgaben der Agentur, bei denen die Biotechnologie möglicherweise eine Rolle spielen könnte, sind die Wiederverwertung von Abfällen, die Bodensanierung, die Entwicklung sauberer Technologien für bestimmte Industriebranchen (z. B. Chemie, Gießereien, Papier, Metall) und die verstärkte Nutzung von Biomasse als Energieträger und CO_2-Senke.

6.6 Deutschland

Umweltbiotechnikrelevante Forschung und Entwicklung wird vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) insbesondere im Rahmen der Programme "Umweltforschung und Umwelttechnologie" (BMFT 1991) und "Biotechnologie 2000" (BMFT 1992) gefördert.

Schwerpunkte des Programms "Umweltforschung und Umwelttechnologie" sind
- Umweltschutz durch ökologisch begründete Technik,
- Ökologische Forschung,
- Klima- und Atmosphärenforschung,
- Umwelt und Gesundheit,
- Technikfolgenabschätzung,
- Umweltschutztechnologieentwicklung (BMFT 1991).

Da diese Schwerpunkte nicht technikorientiert sind, gibt es innerhalb des Programms "Umweltforschung und Umwelttechnologie" kein speziell auf die Umweltbiotechnik ausgerichtetes Teilprogramm. Umweltbiotechnikbezogene Projekte werden insbesondere in den Schwerpunkten "Ökologische Forschung" und "Umweltschutztechnologieentwicklung" gefördert.

Innerhalb des Programms "Biotechnologie 2000" wurde Anfang 1992 das Förderkonzept "Umweltbiotechnik" veröffentlicht, in dessen Rahmen die Entwicklung der methodischen und biologischen Grundlagen von biologischen Verfahren zur Entsorgung, zur Sanierung und zur Umweltentlastung gefördert wird. Fördergebiete sind
- *biologische Verfahren zur Abfallvermeidung und -verwertung.* Hierzu zählen insbesondere die Entwicklung biologisch abbaubarer Biopolymere, die Verbesserung der Prozeßführung bei der Müllkompostierung sowie die Entwicklung präventiver Entsorgungstechniken, bei denen definierte, die Umwelt belastende Nebenprodukte von Produktionsprozessen zu nutzbaren Stoffen (z. B. Biogas) umgesetzt werden, ehe sie überhaupt in die Umwelt gelangen.

- *biologische Verfahren zur Reinigung von Abwasser, Abluft und Boden sowie zur Altlastensanierung.* Hierbei geht es insbesondere darum, das Verständnis für die den Abbauprozessen zugrunde liegenden biologischen Vorgänge zu erweitern und die neuen Erkenntnisse in die Erweiterung des mikrobiellen Leistungspotentials und in die Optimierung der technischen Prozesse umzusetzen.
- *biologische Verfahren zur Umweltanalytik und -überwachung.* Hierbei geht es um die Entwicklung von Methoden und Verfahren, mit denen Umweltbelastungen nachgewiesen, ihr Abbau verfolgt und die Effizienz biologischer Verfahren, beispielsweise durch die Überwachung spezieller Mikroorganismen bzw. ihrer Stoffwechselleistungen, überwacht und beurteilt werden kann. Darüber hinaus ergeben sich auch Querbezüge zur mikrobiellen Ökologie. Forschungsaufgaben werden insbesondere bei der Entwicklung von Biosensoren und von Verfahren, die auf molekularbiologischen und mikrobiologischen Methoden aufbauen (z. B. Einsatz von Gensonden, standardisierte mikrobiologische Testverfahren), gesehen (BMFT 1992).

6.7 USA

In den USA wird der Biotechnologie ein hoher Stellenwert mit dem Ziel, die Lebensqualität der US-Bürger und das Wachstum der US-Wirtschaft zu verbessern, zugemessen. Innerhalb der staatlichen Biotechnologieförderung hat die Umweltbiotechnik nur einen geringen Anteil (1992 ca. 3 % der Fördermittel), kann jedoch überproportionale Steigerungsraten verzeichnen, was als Indiz für das wachsende Interesse und die wachsende Bedeutung dieses Teilbereichs der Biotechnologie gewertet werden kann (Hüsing et al. 1992).

Biotechnologische Ansätze zur Behandlung von Umweltbelastungen, zur Minimierung von Abfall und zur Vermeidung von Verschmutzungen werden als ökonomisch attraktive und umweltverträgliche Techniken angesehen, die bis zum nächsten Jahrhundert entwickelt und angewendet werden können. Inhaltliche Schwerpunkte für die umweltbiotechnische Forschung werden in folgenden Bereichen gesetzt (FCCSET Committee on Life Sciences and Health 1992):

- *Umweltanalyse/natürliche Ressourcen.* Ziel der Forschungsarbeiten ist der Nachweis von Umweltbelastungen sowie die Umweltüberwachung. Hierzu zählen die Entwicklung von Biosensoren, der Einsatz von Bioindikatoren, die Entwicklung biotechnologischer Methoden zur Charakterisierung und Untersuchung von Organismen und Ökosystemen sowie die Anpassung molekularer Techniken zur Analyse der biologischen Vielfalt, und zwar sowohl auf Organismen- als auch auf Ökosystemebene.
- *Reaktorsysteme für die Behandlung von Umweltbelastungen.* Ziel der Forschungsarbeiten ist die Entwicklung von Bioprozessen in Reaktorsystemen, in denen belastete Medien bzw. Ab-

fallströme behandelt werden können. Entsprechende Forschungsarbeiten umfassen die Identifizierung und Charakterisierung natürlicher Prozesse in Wasser, Boden und belasteten Standorten, die Ausnutzung der diesen Prozessen zugrunde liegenden Prinzipien für die Entwicklung entsprechender Bioreaktoren für flüssige und feste Abfälle sowie die Optimierung der Bioreaktoren mit dem Ziel der Effizienzsteigerung der Abfallbehandlung. Darüber hinaus soll das Verständnis für den Verbleib der in den biologischen Behandlungsanlagen eingesetzen Organismen und für ihren Einfluß auf die Umwelt erweitert werden, um möglichen unerwünschten Auswirkungen vorbeugen zu können.

- *Schadstoffabbau.* Unter Schadstoffabbau wird die biologische Stoffumwandlung von Verunreinigungen, toxischen Substanzen und Metallen *in situ* verstanden. Vorrangig geht es um die Isolierung, Identifizierung und biochemische Charakterisierung derjenigen Mikroorganismen, die die gewünschten Stoffumwandlungen durchführen, aber auch um die Optimierung der betreffenden *in situ*-Systeme.
- *Wiederherstellung gestörter Ökosysteme (Biorestauration).* Ziel der Forschungsarbeiten ist es, biotechnologische Methoden und Techniken zu entwickeln, mit denen bedrohte Arten oder Ökosysteme stabilisiert und erhalten bzw. wiederhergestellt werden können. Hierzu zählen die Entwicklung von Methoden zur Reproduktionsbiologie, mit denen Genpools sowie vom Aussterben bedrohte Arten erhalten werden können, die züchterische Veränderung ausgewählter Arten im Hinblick auf eine verbesserte Toleranz gegenüber Umwelteinflüssen und die Entwicklung von Methoden zum Erhalt der Zusammensetzung komplexer Ökosysteme.
- *Sicherheitsforschung und Risikoabschätzung.* Ziel der Forschungsarbeiten ist es, die möglichen Auswirkungen biotechnischer Produkte (z. B. genetisch veränderter Organismen) auf die Umwelt vor ihrem Einsatz bewerten zu können. Im Vordergrund steht daher die Entwicklung geeigneter Tests und Untersuchungsverfahren sowie die Identifizierung der umweltrelevanten Eigenschaften, deren Überprüfung für die Bewertung wissenschaftlich erforderlich ist.

Der Schwerpunkt der US-Aktivitäten bei Forschung und Entwicklung in der Umweltbiotechnik liegt auf dem Schadstoffabbau und der Entwicklung von Reaktorsystemen für die Behandlung von Umweltbelastungen. In diese beiden FuE-Schwerpunkte flossen 1992 knapp zwei Drittel der staatlichen Fördermittel, die insgesamt für die Umweltbiotechnik aufgewendet wurden. Eine Verstärkung der Aktivitäten in den Bereichen Schadstoffabbau und Anwendung molekularer Techniken für die Analyse und Überwachung der Umwelt und von Ökosystemen ist beabsichtigt (FCCSET Committee on Life Sciences and Health 1992). Aus den im Rahmen dieses Projektes ausgewerteten Quellen ist nicht ersichtlich, welchen Stellenwert die US-Regierung dem Einsatz der Biotechnologie zur Vermeidung von Umweltbelastungen zumißt.

An der Förderung von Forschung und Entwicklung in der Umweltbiotechnik sind gegenwärtig neun verschiedene Bundesbehörden beteiligt. Diese Aufteilung wird als nicht zweckdienlich empfunden und eine stärkere Koordinierung der Umweltforschung gefordert. Ob die Schaffung einer neuen Behörde mit Koordinierungsfunktion eine geeignete Lösung für dieses Problem ist, wird zur Zeit kontrovers diskutiert (Macilwain 1993).

6.8 Japan

In Japan zählt die Biotechnologie zu den sieben grundlegenden, zukunftsweisenden Wissenschafts- und Technikfeldern, die gemäß der vom Kabinett 1986 beschlossenen "Allgemeinen Richtlinie für Wissenschafts- und Technologiepolitik" aufgrund ihrer großen Bedeutung für die zukünftige Konkurrenzfähigkeit Japans besonders gefördert werden. Von den Lebenswissenschaften und insbesondere der Biotechnologie wird erwartet, daß sie nicht nur für die Prophylaxe und Therapie von Krankheiten, für die Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft sowie für die chemische Industrie, sondern auch für den Umweltschutz wesentliche Lösungsbeiträge liefern wird. Während zu Beginn der 80er Jahre die Etablierung des grundlegenden Instrumentariums der modernen Biotechnologie im Zentrum der staatlichen Biotechnologieförderung stand, hat in den letzten Jahren eine teilweise Neuorientierung der Biotechnologieförderung hin zur verstärkten Anwendung dieser Methoden stattgefunden (Hüsing et al. 1992). Hauptakteur bei der Förderung der Anwendung der Biotechnologie im Umweltbereich ist zur Zeit das Außenhandels- und Industrieministerium (Ministry of International Trade and Industry, MITI). Die Aktivitäten des MITI sind in den Gesamtzusammenhang des 1990 von Japan vorgestellten, internationalen Aktionsplan für das 21. Jahrhundert, "The New Earth 21" einzuordnen.

Dieser Aktionsplan "The New Earth 21", der vor dem Hintergrund globaler Umweltprobleme formuliert wurde und auf die nächsten 100 Jahre ausgelegt ist, sieht fünf umfassende, langfristige und in internationaler Kooperation durchzuführende Maßnahmenpakete vor, um die Erdatmosphäre wieder in den Zustand vor Beginn der industriellen Revolution zu versetzen. Diese Maßnahmenpakete umfassen

1. die weltweite Förderung der Energieeinsparung,
2. die Einführung sauberer Energiequellen im großen Maßstab (Kernenergie, erneuerbare Energiequellen),
3. die Entwicklung innovativer, umweltfreundlicher Technologien,
4. die Verstärkung von CO_2-Senken (Aufforstung, Begrünung von Wüsten, verstärkte Nutzung von Ozeanen als CO_2-Senken), sowie
5. die Entwicklung zukunftsorientierter Energietechnologien (Kernfusion, Solarkraftwerke im Weltraum).

Während die Technologien für die beiden erstgenannten Maßnahmenpakete bereits vorhanden sind, müssen sie für die drei letztgenannten Schritte erst noch entwickelt werden (Anonym 1993a). Dabei kann die Biotechnologie nach japanischer Einschätzung insbesondere Beiträge zu den Schritten 3 (Entwicklung innovativer, umweltfreundlicher Technologien) und 4 (Verstärkung von CO_2-Senken) leisten (Anonym 1991).

Als konkrete Maßnahme zur Entwicklung innovativer, umweltfreundlicher Technologien (Schritt 3) wurde im Juli 1990 die Forschungsorganisation RITE (Research Institute of Innovative Technology for the Earth, Forschungsinstitut für innovative Technologie für die Erde) gegründet. Sie handelt im Auftrag des MITI-Projektträgers NEDO und wird überwiegend durch das MITI, aber auch aus Kapitalerträgen finanziert. Kapitalgeber sind private Unternehmen sowie die Regierung der Region Kansai, in der im November 1993 ein neues RITE-Forschungsinstitut eröffnet wurde. Die Aufgaben des RITE bestehen

- in der Durchführung von Forschungsprojekten,
- in der Erzeugung neuer Ideen, z. B. durch internationale Ausschreibung der Forschungsprogramme, sowie
- im Informationsaustausch (Organisation internationaler Symposien, internationaler Austausch von Wissenschaftlern, Aufbau einer online-Datenbank, Öffentlichkeitsarbeit).

Zur Zeit führt RITE acht Forschungsprojekte mit Laufzeiten zwischen vier und zehn Jahren in den beteiligten Industrieunternehmen und in MITI-Forschungsinstituten durch (Anonym 1993a). Vier der acht Projekte haben keine Relevanz für die Umweltbiotechnik, da die Schwerpunkte auf der CO_2-Fixierung mit Hilfe chemischer Prozesse, auf der Entwicklung von FCKW-Ersatzstoffen, auf umweltfreundlichen Technologien zur Wiedergewinnung und Wiederverwertung von Metallen und auf umweltfreundliche Technologien für neue Katalysatoren liegen (Anonym 1993a, b).

Eins der vier biotechnologisch orientierten Projekte ist auf die Behandlung von Abgasströmen (end-of-pipe) ausgerichtet: Bei der CO_2-Fixierung mit Hilfe biotechnologischer Prozesse soll CO_2 aus Abgasen durch noch aufzufindende Organismen effizient fixiert und als Substrat für die Biosynthese von Wertstoffen genutzt werden. Bei den anderen drei Projekten wird die Vermeidung von Umweltbelastungen angestrebt, und zwar durch

- die mögliche Substitution chemisch synthetisierter Kunststoffe durch die Entwicklung biologisch abbaubarer Kunststoffe,
- die mögliche Substitution chemischer Syntheseprozesse durch die Entwicklung von Hochleistungsbioreaktoren für die Produktion von Biochemikalien, sowie
- die mögliche Substitution fossiler Energieträger durch biotechnologische Gewinnung des Energieträgers Wasserstoff (Anonym 1993a).

Die Entwicklung biotechnischer Verfahren zur Abwasserbehandlung war Gegenstand des 1990 ausgelaufenen MITI-Förderprogramms "Aqua Renaissance 90" (Reiß 1990; van Schijndel und Soczó 1993) sowie des ebenfalls 1990 abgeschlossenen, vom Bauministerium (Ministry of Construction, MOC) initiierten Programms "Biofocus" (Reiß 1990). 1992 wurde ein MITI-Projekt mit dreijähriger Laufzeit begonnen, das sich mit der biologischen Abbaubarkeit schwer abbaubarer Aromaten befaßt (Anonym 1992). Darüber hinaus wurde für die Umweltbehörde (Environment Agency) ein Bericht mit dem Titel "Biotechnologie und ihre Visionen zur Bewahrung der Umwelt" (Biotechnology and its Environmental Preservation Vision) erstellt, der sich mit der biotechnischen Behandlung von Wasser, Boden und Luft, die mit anderen Stoffen als CO_2 belastet ist, mit der Umweltanalytik und -überwachung mit Hilfe biotechnologischer Methoden sowie mit der Vermeidung von Umweltbelastungen befaßt (Anonym 1992). Es sind jedoch keine Informationen darüber verfügbar, ob dieser Bericht zur Implementierung entsprechender Forschungsförderungsprogramme geführt hat.

6.9 Vergleichende Analyse der forschungs- und technologiepolitischen Programme zur Umweltbiotechnik

Alle in diesem Kapitel betrachteten Länder, die EU, Großbritannien, die Niederlande, Frankreich, Deutschland, die USA und Japan, fördern FuE-Aktivitäten zur Umweltbiotechnik mit öffentlichen Mitteln. Speziell auf die Umweltbiotechnik ausgerichtete, **spezifische Programme** oder Teilprogramme existieren in Großbritannien, den Niederlanden, Deutschland, den USA und Japan und damit in den Ländern, die von der Umweltbiotechnik ausdrücklich Lösungsbeiträge zu Umweltproblemen erwarten. Die über Frankreich zur Verfügung stehenden Informationen wiesen einen so hohen Aggregationsgrad auf, daß nicht ablesbar war, ob spezielle Umweltbiotechnikprogramme oder -teilprogramme existieren. Das Biotechnologie-FTE-Programm BIOTECH der EU nennt zwar den Umweltschutz als Ziel des Programms, enthält jedoch keine Forschungsaufgaben, die der Kerndefinition der Umweltbiotechnik (vgl. Kap. 2) zuzurechnen sind. Auch im Umwelt-FTE-Programm der EU wird die Umweltbiotechnik nicht explizit erwähnt. Es enthält jedoch Forschungsaufgaben im Bereich der Umweltanalytik und -überwachung und beim Schadstoffabbau, die eindeutig der Umweltbiotechnik zuzuordnen sind.

Selbst in den Ländern, in denen spezifische Umweltbiotechnikprogramme oder -teilprogramme existieren, werden nicht alle umweltbiotechnologierelevanten Fördermaßnahmen in diesen Umweltbiotechnikprogrammen bzw. -teilprogrammen gebündelt. Vielmehr erfolgt die Förderung auch bzw. meist im Rahmen umfassenderer Umwelt- und/oder Biotechnologieförderprogramme. Dies erscheint zum einen angesichts des Querschnittscharakters der Biotechnologie sinnvoll. Zum anderen resultiert dies aus einem problem- und nicht technikorientierten Ansatz, bei dem die zu lösenden Umweltprobleme den Ausgangspunkt darstellen und die Biotechnolo-

gie als einer von mehreren möglichen, zu überprüfenden Lösungswegen aufgefaßt wird. Gleichzeitig erschwert die breite Streuung der Fördermaßnahmen über mehrere Förderprogramme und beteiligte öffentliche (supranationale, nationale, regionale und lokale) Akteure aber auch den Überblick über die Maßnahmen und birgt die Gefahr mangelnder Koordinierung in sich. So sind beispielsweise in den USA allein auf Bundesebene neun verschiedene Bundesbehörden an der Förderung von FuE in der Umweltbiotechnik beteiligt, und es wird gegenwärtig kontrovers diskutiert, mit welchen Maßnahmen eine bessere Koordinierung erreicht werden kann.

Die Analyse der umweltbiotechnologierelevanten Fördermaßnahmen bestätigt, daß international keine einheitliche **Definition und Abgrenzung der Umweltbiotechnik** verwendet wird. Zwar werden von den betrachteten Ländern in der Regel biotechnische Verfahren zur Behandlung fester Abfallstoffe und von Belastungen in Wasser, Boden und Luft sowie biotechnische Analyse- und Überwachungsverfahren zur Umweltbiotechnik gezählt. Es bestehen aber erhebliche Unterschiede im Hinblick auf die Zuordnung von FuE zur Vermeidung, von FuE zu nachwachsenden Rohstoffen, der Sicherheitsforschung zur Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen, von ökologischer Forschung, von FuE zur Biodiversität und von landwirtschaftlicher FuE. So werden beispielsweise in den USA und im niederländischen StirMT-Programm die Sicherheitsforschung, bei der der Einfluß gentechnisch veränderter Organismen auf die Umwelt untersucht wird, zur Umweltbiotechnik gezählt. Entsprechende Forschungsaufgaben finden sich auch im BIOTECH-Programm der EU. Beim Einsatz biotechnischer Analyse- und Überwachungsverfahren ergeben sich interessante Querbezüge zur ökologischen Forschung und zu Untersuchungen der Biodiversität, die jedoch nicht in die Kerndefinition der Umweltbiotechnik (vgl. Kap. 2) fallen. Die USA zählen diese Forschungsaufgaben jedoch zur Umweltbiotechnik, und auch im BIOTECH-Programm der EU sind sie enthalten. Nur in Großbritannien werden die im Rahmen des CT-Programms geförderten grundlegende Forschungsarbeiten zur Photosynthese, die inhaltlich etwa dem bundesdeutschen Förderkonzept "Photosynthetische Stoffproduktion" entsprechen dürften, sowie FuE zur umweltverträglichen Gestaltung landwirtschaftlicher Produktionsprozesse zur Umweltbiotechnik gezählt. Nur die USA schließen Forschungsarbeiten zur Wiederherstellung gestörter Ökosysteme (Biorestauration) in die Umweltbiotechnik ein.

Diese Beispiele zeigen, daß aufgrund des international nicht einheitlichen Verständnisses dessen, was Umweltbiotechnik ist, eine unmittelbare Vergleichbarkeit der Fördermaßnahmen nicht gegeben ist und diese Vergleichbarkeit im Rahmen dieser Literaturstudie auch nur in begrenztem Umfang herstellbar ist. Lösen läßt sich dieses Problem nur durch Primärerhebungen in den zu untersuchenden Ländern selbst. Eine derartige Erhebung müßte auf der Ebene einzelner Projekte ansetzen, da die Beschränkung auf die Programm- bzw. Unterprogrammebene auf-

grund der unterschiedlichen Zielsetzung und des unterschiedlichen Zuschnitts der einzelnen Förderschwerpunkte keine ausreichende Vergleichbarkeit gewährleisten würde.

Durch das Fehlen umfassender und konsistenter Daten über (öffentliche) **FuE-Aufwendungen** in der Umwelttechnik, in der Biotechnologie und der Umweltbiotechnik ist es nicht möglich, über die FuE-Aufwendungen den Anteil der Umweltbiotechnik an der Umwelttechnik bzw. der Biotechnologie korrekt und international vergleichbar abzuschätzen. Ersten, groben Abschätzungen zufolge dürfte der Biotechnologie-Anteil an den gesamten staatlichen zivilen FuE-Aufwendungen in der Größenordnung von 1-2 % liegen (Hüsing et al. 1992), und der Anteil der Umweltbiotechnik an den Biotechnologieaufwendungen wird je nach Land und Definition und Abgrenzung der Umweltbiotechnik auf etwa 2-10 % geschätzt (OECD 1993). In den USA mit ihrer sehr breiten, umfassenden Definition der Umweltbiotechnik lag der Anteil der Umweltbiotechnik- an den Biotechnologieaufwendungen 1992 bei 3 %. Über den Anteil der Umweltbiotechnik-FuE-Aufwendungen an den Umwelttechnikaufwendungen liegen keine Daten vor. Obwohl somit der Anteil der Umweltbiotechnik an den gesamten staatlichen FuE-Aufwendungen im Promillebereich liegen dürfte, sind in diesem Bereich in den untersuchten Ländern in den letzten Jahren überproportionale Zuwachsraten und die Planung bzw. Aufnahme zahlreicher neuer Aktivitäten zu verzeichnen, was die wachsende Bedeutung von Umweltfragen und auch von umweltbiotechnischer FuE widerspiegeln dürfte.

Im folgenden wird die **inhaltliche Ausrichtung der Fördermaßnahmen** für die Teilbereiche der Umweltbiotechnik Analytik/Überwachung, Schadstoffabbau und Vermeidung betrachtet. Die Förderung **biotechnischer Analyse- und Überwachungsverfahren für die Umwelt** wird ausdrücklich von den USA, dem Umwelt-FTE-Programm der EU und dem bundesdeutschen Förderkonzept "Umweltbiotechnik" angestrebt, während entsprechende Förderaktivitäten in Großbritannien, Frankreich, den Niederlanden und Japan in den uns zugänglichen Informationen über umweltbiotechnische Fördermaßnahmen nicht ausgewiesen werden. Die EU beschränkt die Förderung biotechnischer Analyseverfahren innerhalb ihres Umwelt-FTE-Programms auf Biosensoren, während im deutschen Förderkonzept darüber hinaus ausdrücklich Immuntests, mikrobiologische Testverfahren und molekulargenetische Techniken für die Umweltanalytik und -überwachung in die Förderung miteinbezogen werden sollen. Darauf, daß in den USA wesentliche Anwendungsbereiche dieser Techniken in der ökologischen Forschung und in Studien zur Biodiversität gesehen und ebenfalls zur Umweltbiotechnik gerechnet werden, wurde bereits oben hingewiesen.

In allen betrachteten Ländern, ggf. mit Ausnahme von Japan, sind die intensivsten Förderaktivitäten gegenwärtig im Bereich des **Schadstoffabbaus** zu verzeichnen, hier liegt der Schwerpunkt der Förderaktivitäten. Schlüsselt man nach den belasteten Umweltkompartimenten auf, so zeigt sich, daß Schadstoffabbau im Boden und im Wasser sowie die Behandlung

fester Abfälle in allen betrachteten Ländern, mit Ausnahme von Japan, Gegenstand der staatlichen Förderung ist. Die Behandlung von Abluft ist in den britischen Programmen zur Umweltbiotechnik nicht vorgesehen, für Frankreich kann keine Aussage zur Abluftbehandlung getroffen werden, da hierzu keine hinreichend detaillierten Informationen vorliegen. Somit werden in Deutschland, den Niederlanden, den USA (und ggf. in Frankreich) alle Umweltkompartimente hinsichtlich des Schadstoffabbaus abgedeckt, während in Großbritannien die Abluftbehandlung nicht, in Japan ausschließlich vorgesehen ist.

Betrachtet man die Schadstoffe, die abgebaut werden sollen, so nimmt auch hier das japanische RITE-Programm eine Sonderstellung ein, da die Abluftbehandlung auf die Emissionsminderung des Treibhausgases CO_2 abzielt. In allen anderen Ländern mit Fördermaßnahmen zur biologischen Abluftbehandlung steht hingegen die Minderung organischer Belastungen im Mittelpunkt. Anorganische Bestandteile wie CO_2, NO_x oder SO_x sind von keiner bzw. nur untergeordneter Bedeutung. Bei der biologischen Boden- und Abwasserbehandlung konzentrieren sich die Fördermaßnahmen in den betreffenden Ländern auf den Abbau persistenter organischer Verbindungen sowie auf Kontaminationen mit Schwermetallen, bei der Abwasserbehandlung auch auf die Eliminierung von Stickstoff- und Phosphorverbindungen.

Der Aspekt der **Vermeidung von Umweltbelastungen** stellt in Großbritannien, den Niederlanden, Deutschland und Japan einen integralen Bestandteil zumindest eines Teils der umweltbiotechnologierelevanten FuE-Programme bzw. Unterprogramme dar, während dieser Aspekt bei den Aktivitäten der USA, der EU und Frankreichs nicht hervorgehoben wird. Entsprechende Förderaktivitäten sind noch vergleichsweise jung; sie wurden nicht vor 1990 initiiert. Insgesamt kristallisieren sich sechs Themenkomplexe heraus, zu denen in den einzelnen Ländern Projekte unter dem Aspekt der Vermeidung gefördert werden:

- *Biomaterialien.* In Deutschland, Japan und auch am französischen INRA werden biologisch abbaubare Kunststoffe entwickelt, die als Verpackungsmaterialien eingesetzt werden und die Umwelt von persistenten Kunststoffabfällen entlasten sowie fossile Rohstoffe einsparen sollen.
- *Substitution chemischer Produktionsprozesse durch biotechnische Prozesse.* Forschungsarbeiten, in denen chemische durch biotechnische Produktionsprozesse ersetzt werden sollen, werden in Großbritannien, Japan und den Niederlanden im Rahmen ihrer Umweltbiotechnikprogramme gefördert. Hierbei geht es vorrangig um den Einsatz von Enzymen für Stoffumwandlungen sowie die Entwicklung der entsprechenden Verfahrens- und Aufarbeitungstechnik.
- *Wirkstoffe auf Naturstoffbasis.* Eng mit der Substitution chemischer durch biotechnische Produktionsprozesse verknüpft ist die Suche nach Wirkstoffen auf Naturstoffbasis, deren möglicherweise bessere Umweltverträglichkeit durch ihre biotechnische Produktion oder ihre im Vergleich zu Chemikalien verbesserte Abbaubarkeit bedingt sein kann. Entsprechende An-

sätze werden in den Niederlanden im Hinblick auf biotechnische Verfahren zum Pflanzenschutz sowie in Großbritannien im Rahmen des Clean-Technology-Programms gefördert. Entsprechende Ansätze werden auch in Deutschland verfolgt, jedoch nicht innerhalb des Umweltbiotechnik-Förderkonzeptes, sondern innerhalb des Förderkonzeptes "Naturstofforschung".

- *Biologische Wasserstoffproduktion.* Mit dem Ziel der Vermeidung von CO_2-Emissionen und der Schonung fossiler Energiequellen fördert Japan FuE zur biologischen Wasserstoffproduktion. Dasselbe Thema wird auch in Deutschland im Rahmen des Förderkonzeptes "Biologische Wasserstoffgewinnung" mit etwas stärker grundlagenorientierter Ausrichtung als in Japan bearbeitet.
- *Photosynthetische Stoffproduktion.* Die Ausnutzung der Fähigkeit phototropher Organismen, Sonnenenergie in chemische Energie umzuwandeln, für biotechnische Prozesse wird in Großbritannien im Rahmen des Clean-Technology-Programms gefördert. Entsprechende Ansätze werden auch in Deutschland im Rahmen des Förderkonzeptes "Photosynthetische Stoffproduktion" verfolgt.
- *Umweltverträgliche Gestaltung der Landwirtschaft.* Entsprechende Ansätze werden in Großbritannien im Rahmen des Clean-Technology-Programms gefördert. Der Teilaspekt des Einsatzes biotechnischer Verfahren zum Pflanzenschutz war auch Gegenstand des niederländischen StirMT-Programms.

Insbesondere die drei letztgenannten Förderschwerpunkte sind durch eine ausgesprochene Langfristperspektive gekennzeichnet. Die Forschungsarbeiten sind im Bereich der zielgerichteten Grundlagenforschung anzusiedeln, so daß eine Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis erst in einem Zeithorizont von 10-20 Jahren erwartet werden kann.

Schließlich stellt sich die Frage, ob sich aus der internationalen vergleichenden Analyse der staatlichen Umweltbiotechnikförderung **allgemeine Trends** ablesen lassen, die den wachsenden Kenntnisstand über Umweltbelastungen und deren Bewertung, die technologische Entwicklung und den Wandel in relevanten Rahmenbedingungen widerspiegeln. In der vorliegenden Untersuchung lassen sich zusammenfassend die folgenden Trends in der umweltbiotechnikrelevanten Förderpolitik beobachten:

- *Zunehmende Bedeutung.* Belastungen der Umwelt werden zunehmend wahrgenommen, das Umweltbewußtsein in der Bevölkerung wächst, Maßnahmen zur Sanierung und zum Schutz der Umwelt werden als dringlich bewertet. Damit gewinnen auch Fragen des Umweltschutzes an politischem Gewicht. Im Bereich der Forschung und Entwicklung spiegelt sich diese Entwicklung in allen untersuchten Ländern in einer Zunahme der staatlichen Förderaktivitäten wider. Diese Zunahme betrifft die Zahl der initiierten Programme bzw. geförderten Projekte, die Zahl der fördernden Institutionen auf internationaler, nationaler, regionaler und ggf. lokaler Ebene, die überdurchschnittlichen Zuwachsraten der staatlichen FuE-Aufwendungen für die Umwelt(bio)technologie sowie die inhaltliche Erweiterung der Fördermaßnahmen

(beispielsweise um Förderschwerpunkte mit Langfristperspektive, Befassung mit globalen Umweltproblemen, Stärkung der wissenschaftlichen Basis empirisch entwickelter Verfahren, s. u.). Trotz der erkennbaren Dynamik erfolgt die öffentliche Förderung der Umweltbiotechnik gegenwärtig absolut noch auf niedrigem Niveau; ihr Anteil an den gesamten staatlichen zivilen FuE-Aufwendungen dürfte im Promillebereich liegen.

- *Aufgreifen der Vermeidung von Umweltbelastungen.* Gegenwärtig liegt der Schwerpunkt der Förderprogramme zur Umweltbiotechnik in allen analysierten Ländern (ggf. mit Ausnahme Japans) auf der Behandlung belasteter Medien. In Großbritannien, den Niederlanden, Deutschland und Japan werden darüber hinaus seit wenigen Jahren solche Ansätze ausdrücklich gefördert, die Umweltbelastungen gar nicht erst entstehen lassen. Hingegen wird in den Fördermaßnahmen der EU und der USA das Aufgreifen des Vermeidungsaspekt noch nicht deutlich. Berücksichtigt man ausschließlich das hier analysierte RITE-Programm, so kann der Eindruck entstehen, daß Japan bei der Vermeidung von Umweltbelastungen eine Vorreiterrolle einnimmt. Dieser Eindruck relativiert sich jedoch, wenn man die in Japan regelmäßig durchgeführten Delphi-Erhebungen zur Vorausschau auf die künftige Technikentwicklung einbezieht. Es zeigt sich, daß der den Fragen zum Thema Ökologie und Umweltschutz zugrunde liegende japanische Ansatz zumindest aus Sicht deutscher Experten als zu technophil empfunden wird, zu sehr auf das Kurieren an Symptomen ausgerichtet ist und zu wenig auf die Ursachen der Umweltbelastungen und die globalen Zusammenhänge abzielt (BMFT 1993).
- *Berücksichtigung der relevanten Rahmenbedingungen bei der Technikentwicklung.* Es wird zunehmend die Notwendigkeit gesehen, bei den FuE-Arbeiten das Augenmerk nicht nur auf die wissenschaftlich-technologischen Aspekte zu richten, sondern die relevanten Rahmenbedingungen mit einzubeziehen. Hierzu zählen beispielsweise die Kosten der zu entwickelnden Verfahren, technische Alternativen, relevante gesetzliche und untergesetzliche Regelungen, die Berücksichtigung der gesamten Produktionskette zur Entwicklung integrierter Gesamtkonzepte, Ökobilanzen und Produktlinienanalysen, Technikfolgenabschätzungen, Sicherheitsforschung.
- *Aufgreifen von FuE-Schwerpunkten mit Langfristperspektive.* Mit dem Schwerpunkt auf FuE-Projekten zur Behandlung von belasteten Medien ist das Überwiegen von FuE-Arbeiten mit Kurzfristperspektive eng korreliert. Gegenwärtig überwiegen international eher anwendungsorientierte Forschungsarbeiten, deren Ergebnisse innerhalb einer Dekade in die Praxis umsetzbar sein sollten, jedoch beginnen einige Länder, Programme mit ausgesprochener Langfristperspektive zu implementieren: In Großbritannien ist 1990 das Clean-Technology-Programm initiiert worden, von denen anwendbare Ergebnisse erst innerhalb der kommenden 10-20 Jahre erwartet werden. Entsprechende umweltrelevante Förderkonzepte mit Langfristperspektive gibt es auch in Deutschland, ohne daß sie ausdrücklich der Umweltbiotechnik zugeordnet werden. Der von Japan vorgestellte internationale Aktionsplan für das

21. Jahrhundert geht sogar von einem Zeithorizont von 100 Jahren aus, wobei dies aus westlicher Sicht aber eher als ein Leitbild, weniger als realistische Zielvorstellung zu werten ist.

- *Aufgreifen globaler Umweltprobleme.* Bisher ist Japan das einzige unter den im Rahmen dieser Studie analysierten Länder, das globale Umweltprobleme (Klimaproblematik und Treibhauseffekt, Nutzung fossiler Energieträger) ausdrücklich zum Ausgangspunkt der Fördermaßnahmen in der Umweltbiotechnik macht. Daraus resultiert auch, daß nur in Japan die Entwicklung biotechnischer und chemischer Verfahren zur Minderung der CO_2-Emissionen gefördert werden. In allen anderen Ländern spielen globale Probleme in denjenigen (Teil-)Programmen, in denen umweltbiotechnische FuE-Arbeiten gefördert werden, keine Rolle; sie sind auf lokale bzw. regionale Umweltprobleme ausgerichtet. Dementsprechend zählen in diesen Ländern Treibhausgase wie CO_2 nicht zu denjenigen Schadstoffen, auf die die Fördermaßnahmen abzielen.
- *Erweiterung der wissenschaftlichen Grundlage umweltbiotechnischer Verfahren.* Die meisten heute genutzten umweltbiotechnischen Verfahren zum Schadstoffabbau sind empirisch entwickelt und optimiert worden, während das Verständnis für die diesen Prozessen zugrunde liegenden biologischen Vorgänge als zu gering empfunden wird, um eine weitergehende, gezielte und rationale Optimierung vornehmen und weitere Einsatzbereiche für diese Verfahren erschließen zu können. Diese Zielsetzung wird beispielsweise in den Niederlanden, Deutschland und den USA ausdrücklich verfolgt.

6.10 Bewertung des deutschen forschungs- und technologiepolitischen Programms zur Umweltbiotechnik im internationalen Vergleich

In Deutschland gibt es seit 1992 innerhalb des Programms "Biotechnologie 2000" das Förderkonzept "Umweltbiotechnik". Damit gehört Deutschland zusammen mit Großbritannien, den Niederlanden, Japan und den USA zu denjenigen Ländern, die ein speziell auf die Umweltbiotechnik ausgerichtetes Förderprogramm bzw. -teilprogramm eingerichtet haben, ohne daß sämtliche umweltbiotechnologierelevanten Fördermaßnahmen innerhalb dieses spezifischen Programms gebündelt wären.

Dem deutschen Förderkonzept liegt die in Kapitel 2 dargestellte Definition und Abgrenzung der Umweltbiotechnik zugrunde. Damit wird eine engere Abgrenzung als in anderen Ländern vorgenommen, die teilweise unter diesen Begriff auch ökologische Forschung, Studien zur Biodiversität, Sicherheitsforschung zum Einfluß gentechnisch veränderten Organismen auf die Umwelt, landwirtschaftliche Forschung und FuE zur Wiederherstellung gestörter Ökosysteme (Biorestauration) fassen. Derartige Forschungsarbeiten werden in der Bundesrepublik ebenfalls, allerdings in anderen Schwerpunkten des Programms "Biotechnologie 2000", teilweise im Programm "Umweltweltforschung und Umwelttechnologie" gefördert.

Die Förderung biotechnischer Verfahren zur Umweltanalytik und -überwachung in ihrer methodischen Breite (Biosensoren, molekulargenetische Techniken, Immuntests) ist nur in den USA und in der Bundesrepublik ausdrückliches Förderziel. Im Umweltprogramm der EU ist sie auf Biosensoren begrenzt, in den Niederlanden, Großbritannien und Japan im Rahmen der hier analysierten Umweltbiotechnikprogramme gar nicht vorgesehen.

Wie in den anderen analysierten Ländern liegt auch in Deutschland der Schwerpunkt der Fördermaßnahmen auf der Behandlung von Umweltbelastungen. In Deutschland werden durch die Fördermaßnahmen alle Umweltkompartimente, also Boden, Wasser, Luft und feste Abfälle abgedeckt. Dies ist ebenfalls in den Niederlanden, den USA und ggf. in Frankreich der Fall, nicht jedoch in Großbritannien und Japan. Nur in Japan werden Projekte, die auf die Minderung der CO_2-Konzentrationen in Abgasströmen durch Fixierung des CO_2 durch phototrophe Organismen abzielen, gefördert. Dabei handelt es sich aber eindeutig um eine add-on-end-of-pipe-Technologie, bei der es einer kritischen Prüfung bedarf, ob auf Vermeidung ausgerichtete Ansätze nicht sinnvoller wären.

Deutschland gehört zusammen mit den Niederlanden, Großbritannien und Japan zu denjenigen Ländern, bei denen der Aspekt der Vermeidung einen integralen Bestandteil der umweltbiotechnologiespezifischen Förderprogramme darstellt. Jedoch ist in Deutschland der Vermeidungsaspekt innerhalb des Förderkonzeptes "Umweltbiotechnik" auf die Entwicklung biologisch abbaubarer Biopolymere begrenzt, während in anderen Ländern mit dieser Zielsetzung auch die photosynthetische Stoffproduktion, die biologische Wasserstoffproduktion, die Substitution chemischer durch biotechnische Produktionsprozesse, Wirkstoffe auf Naturstoffbasis einschließlich biologischem Pflanzenschutz sowie die umweltverträgliche Gestaltung der Landwirtschaft gefördert werden. Diese Themenkomplexe werden im Rahmen des Programms "Biotechnologie 2000" in Deutschland innerhalb der Programmschwerpunkte "Methoden- und Verfahrensentwicklung", "Photosynthetische Stoffproduktion", "Biologische Wasserstoffgewinnung", "Pflanzenzüchtung, Phytomedizin und Pflanzenschutz" und "Nachwachsende Rohstoffe" bearbeitet, wenn auch nicht mit ausdrücklichem Umweltbezug.

Darüber hinaus werden Themenkomplexe mit ausgesprochener Langfristperspektive in Deutschland im Gegensatz zu anderen Ländern nicht innerhalb des Förderkonzeptes "Umweltbiotechnik" bearbeitet; sie sind Gegenstand der oben genannten Programmschwerpunkte bzw. Förderkonzepte "Biologische Wasserstoffgewinnung", "Photosynthetische Stoffproduktion" und "Methoden- und Verfahrensentwicklung".

Bisher ist Japan das einzige unter den in dieser Studie analysierten Länder, das globale Umweltprobleme ausdrücklich zum Ausgangspunkt der Fördermaßnahmen in der Umweltbiotechnik macht, während diese Thematik von allen anderen Ländern in der Umweltbiotechnik

bisher nicht aufgegriffen wurde. Jedoch wurde auch das bundesdeutsche Förderkonzept "Biologische Wasserstoffgewinnung" vorrangig unter dem Aspekt der Vorsorgeforschung angesichts der globalen Umwelt- und Klimaproblematik initiiert, und zwar noch vor der japanischen Aktivität.

Ansätze, die relevanten Rahmenbedingungen bei der Technikentwicklung zu berücksichtigen, werden in Deutschland ebenfalls gefördert. Hierzu zählen beispielsweise die vorliegende Studie, die programmbegleitend zum Förderkonzept "Umweltbiotechnik" durchgeführt wird, die forschungsbegleitende Technikfolgenabschätzung zum Förderkonzept "Biologische Wasserstoffgewinnung" und die Aufgabe der neugegründeten Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe, auf nachwachsenden Rohstoffen basierende Produktlinien von der Erzeugung bis zur Verwendung einschließlich Entsorgung zu prüfen, zu konzipieren, zu begleiten und bis zur Anwendungsreife zu unterstützen.

Insgesamt werden somit innerhalb des BMFT-Programms "Biotechnologie 2000" alle auch international aufgegriffenen Themen zur Umweltbiotechnik behandelt. Allerdings sind die Gesamtaktivitäten nicht ausschließlich im Schwerpunkt zur Umweltbiotechnik gebündelt, sondern über das Gesamtprogramm "Biotechnologie 2000" verteilt. Eine ausschließliche Betrachtung des BMFT-Umweltbiotechnikprogramms würde somit ein unzureichendes Bild der deutschen Förderaktivitäten auf diesem Sektor vermitteln.

7. Zusammenfassende Bewertung des Techniksystems Biotechnologie/Umwelttechnik

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Analysestränge der Untersuchung zusammengeführt. Dies sind

1. die Analysen von Strukturen und Trends des Techniksystems Umweltbiotechnik/Umwelttechnik im Bereich der Wissenschaft und im Bereich der technischen Entwicklung (Kap. 4),
2. die in Kapitel 5 dargestellten ökonomischen Analysen sowie
3. die in Kapitel 6 durchgeführte Darstellung und Bewertung internationaler forschungspolitischer Ansätze zur Umweltbiotechnik.

Die Ergebnisse werden auf einem relativ hohen Aggregationsniveau zusammengefaßt. Die wesentlichen Detailentwicklungen in den drei Teilbereichen der Umwelttechnik - Analytik/Überwachung, Abbau von Umweltbelastungen, Vermeidung von Umweltbelastungen - wurden bereits am Ende der Kapitel 4.1 bis 4.3 in Kästen zusammengefaßt.

1. Welche Bedeutung hat die Biotechnologie für die Umwelttechnik?

Die Anteile biotechnologierelevanter Dokumente an der wissenschaftlichen Literatur sowie an Patentanmeldungen in der Umwelttechnik liegen in der Größenordnung von 5 %. Die größte Bedeutung kommt biotechnischen Ansätzen in den Anwendungsfeldern Umweltanalytik und Abbau von Umweltbelastungen zu. Dies gilt sowohl im Bereich der Wissenschaft als auch im Bereich der technischen Entwicklung. Deutlich geringer ist die Bedeutung biotechnischer Ansätze dagegen im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen. Zur Abschätzung der ökonomischen Bedeutung der Biotechnologie im Bereich Umwelttechnik liegen bisher kaum verläßliche Daten vor. Insgesamt deutet jedoch das verfügbare Material darauf hin, daß die ökonomischen Effekte der Biotechnologie in diesem Bereich größer sind als aufgrund ihrer Bedeutung in den Bereichen Wissenschaft und Technik zu erwarten wäre. So geht beispielsweise die OECD davon aus, daß der Anteil der Biotechnologie am gesamten Umweltschutzmarkt zwischen 15 % und 25 % liegt. Wesentlichen Anteil hierbei hat die Abwasserreinigung, wo biologische Verfahren dominieren.

2. Welche Rolle spielt die Umweltbiotechnik innerhalb der Biotechnologie?

Gemessen an den Patentanmeldungen kommt der Umweltbiotechnik innerhalb der gesamten Biotechnologie weltweit Anfang der 90er Jahre ein Anteil von knapp 10 % zu. Für die Bundesrepublik liegt der entsprechende Anteil bei über 20 %. Seit Mitte der 80er Jahre ist sowohl national als auch international ein deutlicher Anstieg der Patentanteile der Umweltbiotechnik zu

beobachten. Insgesamt ist die Umweltbiotechnik praktisch der einzige größere Anwendungsbereich innerhalb der gesamten Biotechnologie, in dem keine Stagnation der Patentanmeldungen beim Übergang von den 80er zu den 90er Jahren zu verzeichnen ist. Die wissenschaftliche und technische Bedeutung der Umweltbiotechnik innerhalb der Biotechnologie korreliert zumindest in den Größenordnungen mit ihrer ökonomischen Bedeutung. So wird für die USA geschätzt, daß die Umweltbiotechnik im Jahr 1990 einen Anteil von ca. 16 % am gesamten Biotechnologiemarkt einnahm (vgl. Kap. 5.2). Bei diesem Vergleich muß allerdings einschränkend auf die methodischen Probleme von Marktabschätzungen in der Biotechnologie verwiesen werden (vgl. Kap. 3).

3. Welche Trends sind im System Biotechnologie/Umwelttechnik zu erkennen?

Im Bereich der Wissenschaft hat die Bedeutung der Biotechnologie in der Umwelttechnik in allen drei analysierten Teilbereichen - Analytik/Überwachung, Abbau, Vermeidung - beim Übergang vom Jahr 1985 zum Jahr 1990 zugenommen. Im einzelnen stieg der Biotechnologieanteil im Bereich Analytik von 5,5 % auf 5,9 % und im Bereich Abbau von 4,9 % auf 5,6 %. Die größte Steigerung war im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen zu beobachten, wo sich der Biotechnologieanteil in der wissenschaftlichen Literatur von 1,0 % auf 3,9 % nahezu vervierfachte. Parallel zu diesem Entwicklungstrend im Bereich der Wissenschaft hat auch die internationale Forschungspolitik das Thema Vermeidung von Umweltbelastungen mit Hilfe biotechnischer Ansätze im Verlauf der 80er Jahre verstärkt, z. T. erstmalig aufgegriffen (vgl. Kap. 6).

Im Bereich der Technikentwicklung zeichnet sich ein gegenläufiger Trend ab. Sowohl im Teilbereich Abbau von Umweltbelastungen als auch im Teilbereich Vermeidung von Umweltbelastungen hat der Anteil der Biotechnologiepatente deutlich abgenommen. Beim Abbau ging der entsprechende Anteil von 8,2 % Mitte der 80er Jahre auf 6,1 % Anfang der 90er Jahre und im Bereich Vermeidung von 1,5 % Mitte der 80er Jahre auf 1,0 % Anfang der 90er Jahre zurück. Dieser Trend ist umso bemerkenswerter, da die Gesamtzahl der Patentanmeldungen zur Umwelttechnik in diesem Zeitraum in beiden Bereichen deutlich anstieg. Diese Diskrepanz zwischen wissenschaftlicher und technischer Entwicklung deutet darauf hin, daß viele der neuen biotechnischen Ansätze bisher vor allem im Forschungsstadium weiterentwickelt werden und sich noch nicht in entsprechendem Umfang in technischen Entwicklungsaktivitäten niedergeschlagen haben.

Die ökonomischen Trends im Bereich der Umweltbiotechnik, soweit sie auf Basis von Produktionswerten für die Bundesrepublik erfaßbar sind (vgl. Kap. 5.3) zeigen ein uneinheitliches Bild. Während Anfang der 90er Jahre im Teilbereich Wasser/Abwasser ein Anstieg zu beobachten ist, der vermutlich auf den erhöhten Investitionsbedarf bei Kläranlagen in den alten und

vor allem den neuen Bundesländern zurückgeht, ist die Herstellung von Labor-, Meß- und Regelgeräten, die dem Teilbereich Umweltanalytik zuzuordnen sind, eher leicht rückläufig.

Bei der Analyse der internationalen umweltbiotechnikrelevanten Förderpolitik lassen sich folgende Trends erkennen: Gemessen an verschiedensten Indikatoren nimmt die Bedeutung umweltbiotechnischer Themen zu. Neu aufgegriffen wurde in den letzten Jahren der Aspekt der Vermeidung von Umweltbelastungen. In einigen Ländern ist zu erkennen, daß FuE-Schwerpunkte mit Langfristperspektive aufgegriffen werden. Globale Umweltprobleme werden dagegen bisher nur in Japan prominent im Zusammenhang mit Fördermaßnahmen in der Umweltbiotechnik thematisiert. Vielfach wurden Defizite bei den wissenschaftlichen Grundlagen umweltbiotechnischer Verfahren erkannt, die in entsprechenden eher grundlagenorientierten Fördermaßnahmen resultierten.

4. *Welches sind die High-lights im Bereich der wissenschaftlichen und technischen Entwicklung?*

In allen Teilbereichen der Umwelttechnik nimmt sowohl im Bereich der Wissenschaft als auch im Bereich der Technikentwicklung die Bedeutung des Luftkompartimentes zu. Dies beruht im wesentlichen auf einer stärkeren Beachtung partikulärer Luftverunreinigungen sowie von Analyse, Behandlungs- und Vermeidungsstrategien bezüglich der Abgasemissionen beim Betrieb von Verbrennungskraftmaschinen (z. B. Kraftfahrzeuge). Im Falle des Umweltmediums Wasser ist dagegen generell eine rückläufige Tendenz zu beobachten. Allerdings sind sowohl in der Wissenschaft als auch bei der Technikentwicklung neue methodische Ansätze zu erkennen, die auch biotechnische Komponenten, beispielsweise fortgeschrittene Bioreaktoren zur Abwasserbehandlung, einbeziehen. Der Boden als Umweltmedium wird bisher praktisch ausschließlich in der wissenschaftlichen Literatur thematisiert. Im Bereich der in der Patentliteratur dokumentierten technischen Entwicklung sind Strategien zur Analyse, Behandlung oder Vermeidung von Umweltbelastungen im Bodenkompartiment bisher kein Thema. Fortgeschrittene biotechnische Methoden haben sich im Bereich der Technikentwicklung bisher vor allem für umweltanalytische Fragestellungen etabliert. Hierzu zählen beispielsweise Immuntests. Ansonsten spielen neuere biotechnische Ansätze bisher überwiegend im Bereich der Wissenschaft eine Rolle. Generell zeichnet sich ab, daß die Kombination unterschiedlicher methodischer Ansätze unter Einbezug biotechnischer Komponenten an Bedeutung gewinnt.

5. *Welches sind die führenden Länder in der Umwelttechnik?*

In allen drei Teilbereichen der Umwelttechnik ergibt sich auf Basis der Analyse von Patentanmeldungen ein ähnliches Bild. Die Europäische Union nimmt innerhalb der Triade eine klar führende Position ein. An zweiter Stelle folgen die USA und wiederum mit deutlichem Abstand

Japan. Wichtigstes Land innerhalb der EU ist ebenfalls mit deutlichem Abstand die Bundesrepublik. Die übrigen analysierten europäischen Länder, Frankreich, Großbritannien und die Niederlande, bewegen sich in allen drei Teilbereichen über die gesamten 80er Jahre auf relativ niedrigem Niveau. Lediglich in Frankreich ist im Teilbereich Vermeidung von Umweltbelastungen seit etwa 1987 eine leichte Steigerung der Patentaktivitäten zu erkennen. Eine bemerkenswerte Entwicklung zeichnet sich auch in den USA ab. Gegen Ende der 80er Jahre ist ein erheblicher Zuwachs der Patentanmeldungen für den Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen zu beobachten, der insgesamt dazu geführt hat, daß die USA die Bundesrepublik überholt hat. Einziger erkennbarer Trend im Falle Japans ist eine Steigerung der Patentaktivitäten im Teilbereich Abbau von Umweltbelastungen Mitte der 80er Jahre.

Die ökonomische Spezialisierungsanalyse bestätigt für die Bundesrepublik die Ergebnisse der Patentanalyse. Die Bundesrepublik nimmt nicht nur innerhalb der Europäischen Union, sondern auch im Vergleich mit den USA und Japan eine ausgesprochen starke Wettbewerbsposition im Bereich der Umweltbiotechnik und in der gesamten Umwelttechnik ein. Eine ähnlich starke Spezialisierung zeigen auch die USA. Der sich aus der technologischen Analyse ergebende Rückstand Japans spiegelt sich auch in der ökonomischen Spezialisierungsanalyse wider.

6. Welches Spezialisierungsmuster ergibt sich für die Bundesrepublik in der Umwelttechnik?

In der Umweltanalytik liegen die Stärken der Bundesrepublik bei Analyseverfahren, die sich auf die Umweltmedien Wasser/Abwasser und Luft konzentrieren. Bei den Methoden zur Umweltanalytik ist eine überdurchschnittliche Spezialisierung bei den optischen Analyseverfahren zu erkennen, während biologische Analyseverfahren eher zu den technologischen Schwächen der Bundesrepublik zählen. Im Bereich Abbau von Umweltbelastungen ist zu Beginn der 90er Jahre eine deutliche Spezialisierung auf dem Komplex Müll- bzw. Abfallbehandlung zu erkennen. Dagegen deuten sich in wesentlichen Teilbereichen des Komplexes Abgasreinigung insbesondere unter Verwendung von Katalysatoren zu Beginn der 90er Jahre technologische Schwächen an. Im Bereich Vermeidung von Umweltbelastungen zählen die wichtigen neu aufkommenden Themen, wie Abgasemissionsminderungen und neue Materialien zu den technologischen Stärken der Bundesrepublik am Beginn der 90er Jahre.

7. Fazit

Insgesamt ergibt sich aus den verschiedenen Analysesträngen, daß sich die zweifellos vorhandenen Potentiale biotechnischer Ansätze bisher noch nicht in entsprechendem Ausmaß in technischen Entwicklungen niedergeschlagen haben. Dies gilt insbesondere für neuere biotechnische Verfahren. Die Gründe hierfür können vielfältiger Natur sein. Vielfach dürften biotechnische Ansätze derzeit überwiegend ein Gegenstand von Forschungsarbeiten sein. Technische

Realisierungen in Form von Prototypen, die letztlich die Voraussetzung zur breiten technischen Anwendung sind, sind bisher nur in wenigen Fällen bekannt. Hinzu kommt, daß die Umwelttechnik bisher eine Domäne von Ingenieuren ist, die biotechnologischen Ansätzen eher skeptisch gegenüberstehen. Interdisziplinäre Ansätze, wie sie aufgrund der vor allem im wissenschaftlichen Bereich festgestellten Verflechtungsbeziehungen eigentlich erforderlich sind, kommen unter diesen Voraussetzungen bisher nicht in ausreichendem Maße zum Tragen. Um die komplexen Probleme in der Umwelttechnik künftig besser lösen zu können, erscheint daher nicht nur eine technische Weiterentwicklung erforderlich zu sein, sondern auch ein Prozeß des Umdenkens in Richtung Interdisziplinarität.

8. Literaturverzeichnis

Anonym (1991): How can Biotechnology contribute to saving the Earth? Special Feature. Science & Technology in Japan 10 (38), 6-39

Anonym (1992): Biotechnology Development Trends and Activities in Japan. Special Feature. Science & Technology in Japan 11 (43), 5-18

Anonym (1993a): Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE). 1. Outline of the Institute. New Technology Japan 20 (11), 10-12

Anonym (1993b): Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE). 4. Contents of R&D Projects. New Technology Japan 21 (2), 8-11

Asche, W. (1991): Natürliche Kunststoffe in Forschung und Praxis. Bio Engineering 4/91, 7, 32-34

Balassa, B. (1965): Trade Liberalization and Trade in Manufactures among the Industrial Countries. American Economic Review 56, 466-473

BFE (1992): Biotechnology in the 1990's: Taking Stock. Biotech Forum Europe 9/3, 99-100

BMFT (1991): Umweltforschung und Umwelttechnologie. Programm 1989 bis 1994. 4. Auflage. Bonn: BMFT, Referat für Öffentlichkeitsarbeit

BMFT (1992): Biosensorik. Bonn

BMFT (1992): Biotechnologie 2000. Programm der Bundesregierung. 3. Auflage. Bonn: BMFT, Referat für Öffentlichkeitsarbeit

BMFT (Hrsg.) (1993): Deutscher Delphi-Bericht zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik. Bonn

Borg, L. (1981): Anwendungsorientierte Multidimensionale Skalierung. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag

Callon, M., Law, J., Rip, A.(1986): Qualitative Scientometrics. In: Callon, Law, Rip (eds.) Mapping the Dynamics of Science and Technology. The Macmillan Press Ltd., Houndsmill, Basingstone, Hamphire and London, 103-123

Debontride, X. (1993): Le brevet, une arme stratégique à découvrir. In: Usine Nouvelle, No 2414, 10 Juin

Dosi, G. (1982): Technological Paradigms and Technological Trajectories. Research Policy 11, 147-163

Dosi, G., Pavitt, K.. Soete, L. (1990): The Economics of Technical Change and International Trade-Harvester, Wheatsheaf, New York, London

Dragt, A. J., van Ham, J. (1992): Biotechniques for Air Pollution Abatement and Odour Control Policies. Elsevier, Amsterdam

Engelsmann, E. C., van Raan, A. F. J (1991): Mapping of Technology. Beleidsstudies Technologie Economie 15, Ministerie van Economische Zaken. Also to be published in Research Policy

FCCSET Committee on Life Sciences and Health (1992): Biotechnology for the 21st Century. Washington: U. S. Government Printing Office

Freitag, R. (1993): Applied Biosensors. Current Opinion in Biotechnology 4, 75-79

Gasterstädt, N. (Hrsg.) (1993): Viertes europäisches Rahmenprogramm für die gemeinschaftlichen Maßnahmen zur Forschung und technologischen Entwicklung, spezifische Programme, Teil II. Technologie-Nachrichten 556 vom 25.11.1993

Gehrke, B., Grupp, H., Legler, H., Schasse, U., Schmoch, U. (1992b): Materialien zur technologischen Position Deutschlands im Internationalen Wettbewerb. Bericht an den Bundesminister für Forschung und Technologie, Karlsruhe, Hannover

Gehrke, B., Legler, H., Schasse, U. (1992a): Bericht zur Umweltwirtschaft in Niedersachsen 1991/92. Gutachten im Auftrag des Niedersächsischen Ministers für Wirtschaft, Technologie und Verkehr, Hannover

Grupp, H. (1992): Dynamics of Science-Based Innovation. Springer-Verlag, Heidelberg

Grupp, H. (1993a): Technologie am Beginn des 21. Jahrhunderts. Physica-Verlag, Heidelberg

Grupp, H. (1993b): The measurement of technical performance I. Framework of R&D intensity technometric, and patent indicators. Erscheint in Kürze

Grupp, H., Schmoch, U. (1992): Wissenschaftsbindung der Technik. Physica-Verlag, Heidelberg

Grupp, H., Soete, L. (1993): Analysis of the dynamic relationship between technical and economic performances in information and telecommunication sectors. Bericht an die EG. FhG-ISI, Karlsruhe

Grupp, H.: (1990): Zur ergänzenden Funktion von Wissenschafts- und Technikindikatoren am Beispiel der Telekommunikationsforschung und -entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland. In: Wiss. Zeitschr. der Humboldt-Universität, Berlin, Reihe Gesellschaftswiss., 39, 835-855

Hinze, S. (1993): Bibliographical Cartography of an emerging interdisciplinary discipline: The case of bioelectronics. Zur Publikation eingereicht

Hodgson, J., Barlow, K. (1993): Does Biotechnology measure up? BioTechnology 11, 1003-1006

Hüsing, B., Chung, S., Grupp, H., Hinze, S., Jaeckel, G., Kuntze, U., Reiß, T. (1992): Dritter Technikreport: Finanzierung von Forschung und Technologie; Grundzüge der Forschungs- und Technologiepolitik; Staatliche Biotechnologieförderung im einzelnen; Vergleich ausgewählter Konkurrenzländer Deutschlands. Karlsruhe: ISI

IFO (1992): Forschungstätigkeit und Marktpotential in der Biotechnologie. München

Junghans, M., Dittrich, B. (1992): Biofilter zur Reinigung kontaminierter Abluft als Alternative zum Aktivkohlefilter. Bio Engineering 4/92, 44-46

Kruskal, J. B., Wish, M. (1989): Multidimensional Scaling, Series: Quantitative Applications in the Social Sciences, 11. Newbury, London, New Dehli, Sage University Paper, Fourteenth Printing

Kuhn, T. S. (1962): The Structure of Scientific Revolutions. Chicago University Press, Chicago

Legler, H. (1982): Internationale Wettbewerbsfähigkeit der westdeutschen Chemischen Industrie. Duncker & Humblot, Berlin

OECD (1989): Biotechnology - Economic and Wider Impacts. Paris

OECD (1992a): Biotechnology, Agriculture and Food. Paris

OECD (1992b): The OECD Environment Industry: Situations, Prospects and Government Policies. Paris

OECD (1993): Biotechnology for a clean environment. Unveröffentlichtes Arbeitspapier, Paris

Office of Technology Assessment (OTA) (1991): Biotechnology in a Global Economy. U. S. Government Printing Office, Washington

Reiß, T. (1990): Perspektiven der Biotechnologie. Verlag TÜV Rheinland, Köln

Reiß, T., Hüsing, B. (1992): Potentialanalyse für Auftragsforschung in der Biotechnologie. ISI, Karlsruhe

Rip, A. (1988): Mapping of Science: Possibilities and Limitations. In: A. F. J. van Raan (ed.): Handbook of Quantitative Studies of Science an Technology. Elsevier Science Publishers/North Holland, Amsterdam

Scheller, F., Schubert, F., Pfeiffer, D. (1992): Enzym- und Zellsensoren - Anwendungen, Trends und Perspektiven. Spektrum der Wissenschaft 9/92, 99-103

Schmoch, U. (1990): Wettbewerbsvorsprung durch Patentinformation: Handbuch für die Recherchenpraxis. Verlag TÜV Rheinland, Schriftenreihe Zukunft der Technik, Köln

Schmoch, U., Kirsch, N. (1993): Analysis of international patent flows. Bericht an die OECD. FhG-ISI, Karlsruhe

Science and Engineering Council (ohne Jahr): Current Grants 1992. Swindon: SERC, Biotechnology Directorate

Statistisches Bundesamt (1992): Produzierendes Gewerbe, Fachserie 4, Reihe 3.1, Produktion im Produzierenden Gewerbe. Stuttgart, Wiesbaden

Steinbüchel, A. (1992): Biodegradable plastics. Current Opinion in Biotechnology 3, 291-297

Trösch, W. (1993): Bereitstellung von Energie und Massenrohstoffen für eine den stationären, biogenen Stoffkreisläufen nachempfundene umweltkompatible Stoffwirtschaft. Eine neue Herausforderung für die Biotechnik? Bio Engineering 3/93, 20-28

van Emon, J. M., Mumma, R. O. (1990): Immunochemical Methods for Environmental Analysis. American Chemical Society, Washington

van Schijndel, M. W., Soczó, E. R. (1993): International developments in R&D programmes on environmental biotechnology. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene

Wackerbauer, J. (1992): Entwicklungsperspektiven regionaler Umweltschutzindustrien im Europäischen Binnenmarkt: Wettbewerbssituation und Anpassungsstrategien. IFO-Schnelldienst 17-18, 25-31

Yarrow, D. (1993): Time for a Change. bioBulletin 14(3), 1

Anhang

Liste der biotechnischen Produkte der Umwelttechnik

(nach dem Systematischen Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken (GP) von 1989)

Bereich	Beschreibung
I. Abfall/Böden	
32 51 28	Einzelapparate für die org. Chemie (z.B. Mineralölaufbereitung)
32 51 31	Autoklaven
II. Wasser/Abwasser	
31 55 15	Behälter aus Stahl für Wasserreinigungsanlagen
32 51 32	Filter und Filterpressen
32 51 91	Einzelapparate für Wasserbehandlung
32 51 96	
32 51 97	
32 52 92	
32 52 93	
verwandte Erzeugnisse (Pumpen):	
32 34 09	Zubehör für Flüssigkeitspumpen
32 34 19	Handpumpen
32 34 32	Verdrängerpumpen
32 34 36	
32 34 38	
32 34 39	
32 34 52	
32 34 57	
32 34 59	
32 34 61	Kreiselpumpen
32 34 63	
32 34 68	
32 34 69	
32 34 74	
32 34 75	
32 34 76	
32 34 77	
32 34 78	
III. Luft	
32 32 55	Reinraumanlagen, -geräte
32 32 67	
32 32 95	Anlagen zur Entstaubung und Abluftreinigung
32 51 80	Apparate zur Gaswaschung
32 52 80	

IV. Analytik

36 74 11	Spektralfotometer, Spektrometer
36 74 51	Gasanalysatoren
36 74 56	
37 19 30	Optische Meßgeräte (Refrakto-, Polarimeter)
37 54 33	Thermometer
37 54 49	andere Geräte für die Gasmessung
37 54 63	Viskosi-, Kalorimeter
37 54 69	feinmechanische Meßgeräte

V. Regeln

36 77 84	Regelgeräte für die Prozeßtechnik
37 54 31	Temperaturmeßumformer
37 54 43	Geräte zum Messen des Durchflusses
37 54 45	Geräte zur Überwachung der Füllhöhe