



Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Wissenschaftliche Berichte
FZKA 7519

**Roadmap Umwelttechnologien 2020 –
Endbericht**



Forschungszentrum Karlsruhe

in der Helmholtz-Gemeinschaft

Wissenschaftliche Berichte

FZKA 7519

Roadmap Umwelttechnologien 2020 – Endbericht

Förderkennzeichen: 01RI0718A

**Jens Schippl, Armin Grunwald, Nicola Hartlieb,
Juliane Jörissen, Ursula Mielicke, Oliver Parodi,
Volker Stelzer, Nora Weinberger, Christian Dieckhoff**

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse

Unter Mitwirkung des Fraunhofer Institut für Chemische
Technologie

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

2009

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft
Deutscher Forschungszentren (HGF)

ISSN 0947-8620

urn:nbn:de:0005-075197

Verantwortliche Autoren:

Klimaschutz	Jens Schippl
Luftreinhaltung	Ursula Mielicke und Jens Schippl
Wassermanagement	Nora Weinberger
Bodenschutz	Nora Weinberger
Erhalt von Biodiversität und Naturschutz	Oliver Parodi, Juliane Jörissen, Jens Schippl
Erhöhung der Rohstoffproduktivität	Juliane Jörissen und Nicola Hartlieb
Kreislaufwirtschaft	Juliane Jörissen und Nicola Hartlieb
Layout:	Julia Lehmann Karin Mielicke Nora Weinberger

Abstract:

There is broad consensus that tackling the increasing global environmental problems needs the support of technological innovations. In consequence, environmental technologies are regarded as being one of the fastest growing markets on global scale. Since there is a wide range of technologies that can contribute to progress in this field, there is a strong need for prospective research agendas which are setting priorities in a transparent way. Against this background, the project “Roadmap Environmental Technologies 2020”, funded by the German Ministry of Education and Research, aims at supporting the process of identifying strategic policy options for promoting developments and commercial applications in the field of environmental technologies. This has been done in relation to seven environmental fields of action: Climate protection, air pollution control, water management, soil protection, increase of resource productivity, waste management and preservation of nature and biodiversity. As a key-element of the project promising future technological developments are investigated with the help of an extensive survey and with the help of several topic-specific workshops. This is the final report of the project. It includes a documentation of the survey and the workshops. At the end of the report, most important results of the projects are summarised in so-called “priority fields” that offer promising approaches for future research strategies.

Zusammenfassung

Bevölkerungswachstum, Urbanisierung, Klimawandel und Ressourcenprobleme, werden in den nächsten Jahrzehnten den Handlungsdruck im Umweltbereich massiv erhöhen. Es ist daher davon auszugehen, dass die Nachfrage nach Umwelttechnologien global stark ansteigt. Ein gezielter Ausbau der entsprechenden Technologieentwicklung in Deutschland verspricht somit, zusätzlich zu den positiven Umweltfolgen, wirtschaftliche Gewinne und Entwicklungsperspektiven. Vor diesem Hintergrund untersuchte das Projekt „Roadmap Umwelttechnologien 2020“ im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), welche Beiträge Forschung und Technik für zukünftige Umweltinnovationen leisten können. Ziel des Projekts war es, politische Handlungsspielräume sowie strategische Optionen für die entsprechende Forschungsförderung und die Unterstützung des Transfers in die Praxis aufzuzeigen. Die dringendsten Umweltprobleme sowie entsprechende technische Lösungsoptionen wurden bezogen auf 7 Umwelthandlungsfelder aufgezeigt: Wassermanagement, Klimaschutz, Luftreinhaltung, Bodenschutz, Erhalt von Biodiversität und Naturschutz, Erhöhung der Rohstoffproduktivität und Kreislaufwirtschaft. Im Mittelpunkt der Untersuchung stand eine breit angelegte Expertenbefragung zu relevanten Entwicklungen und Innovationspotentialen im Bereich Umwelttechnologien, deren Ergebnisse in themenspezifischen Expertenworkshops validiert und angereichert wurden. Die zentralen Resultate aus der Befragung und den Expertenworkshops wurden abschließend in so genannten „Prioritätsfeldern“ fokussiert, welche sich für eine zukünftige Forschungsförderung besonders anbieten.

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IX
TABELLENVERZEICHNIS	XVI
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	XIX

TEIL I AUFGABEN, ZIELE UND METHODIK DES PROJEKTS

1	Hintergrund und Motivation.....	2
2	Projektziele und Randbedingungen	5
2.1	Ziele und Aufgaben.....	5
2.2	Randbedingungen	7
3	Gegenstandsbereich.....	8
3.1	Der Begriff „Umwelttechnologien“	8
3.2	Zum Begriff der Roadmap	11
3.3	Das politische Zielsystem für Umwelttechnologien	13
4	Methodik und Vorgehensweise	15

TEIL II DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE VON BEFRAGUNG UND WORKSHOPS

1	Allgemeine Fragen.....	20
2	Wassermanagement.....	25
2.1	Einführung	25
2.2	Technologiegruppe 1: Abwasserbehandlung.....	26
2.2.1	Ergebnisse des Experten-Befragung	27
2.2.2	Ergebnisse des Experten-Workshops.....	35
2.3	Technologiegruppe 2: Wasseraufbereitung	37
2.3.1	Ergebnisse der Expertenbefragung	38
2.3.2	Ergebnisse des Experten-Workshops.....	46
2.4	Technologiegruppe 3: Reduzierung des Wasserverbrauchs	48
2.4.1	Ergebnisse der Expertenbefragung	50
2.4.2	Ergebnisse des Experten-Workshops.....	58
2.5	Technologiegruppenunabhängige Ergebnisse aus dem Workshop	60
3	Klimaschutz und Luftreinhaltung	62

3.1	Einführung	62
3.2	Technologiegruppe 1: CO ₂ -Behandlung und Klimafolgen	63
	3.2.1 Ergebnisse der Expertenbefragung	64
	3.2.2 Ergebnisse des Experten-Workshops.....	70
3.3	Technologiegruppe 2: Emissionsreduktion bei Gebäuden	71
	3.3.1 Ergebnisse der Expertenbefragung	73
	3.3.2 Ergebnisse des Experten-Workshops.....	79
3.4	Technologiegruppe 3: Prozessspezifische Lösungen zur Emissionsreduktion in industriellen Prozessen	81
	3.4.1 Ergebnisse der Expertenbefragung	83
	3.4.2 Ergebnisse des Experten- Workshops.....	90
3.5	Technologiegruppe 4: Emissionsreduktion in industriellen Prozessen – Integrierte Ansätze mit Querschnittscharakter	93
	3.5.1 Ergebnisse der Expertenbefragung	95
	3.5.2 Ergebnisse des Experten-Workshops.....	101
3.6	Technologiegruppe 5: Emissionsreduktion in industriellen Prozessen – Additive Technologien mit Querschnittscharakter.....	104
	3.6.1 Ergebnisse der Expertenbefragung	106
	3.6.2 Ergebnisse des Experten-Workshops.....	111
3.7	Technologiegruppenübergreifende Ergebnisse des Workshops	113
4	Boden / Erhalt von Biodiversität und Naturschutz	115
4.1	Einführung	115
4.2	Technologiegruppe 1: Monitoring / Bodenanalytik.....	118
	4.2.1 Ergebnisse der Experten-Befragung.....	119
	4.2.2 Ergebnisse des Experten-Workshops.....	126
4.3	Technologiegruppe 2: Nachhaltige Bodenschutzkonzepte	126
	4.3.1 Ergebnisse der Experten-Befragung.....	127
	4.3.2 Ergebnisse des Experten-Workshops.....	134
4.4	Technologiegruppe 3: Naturschutz, indirekte Nutzenaspekte	138
	4.4.1 Ergebnisse der Expertenbefragung	139
	4.4.2 Ergebnisse des Experten-Workshops.....	147
4.5	Technologiegruppe 4: Kulturelle Biodiversität, direkte Nutzenaspekte.....	149
	4.5.1 Ergebnisse der Expertenbefragung	150
	4.5.2 Ergebnisse des Experten-Workshops.....	156
4.6	Technologiegruppenübergreifende Ergebnisse des Workshops	157
5	Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft.....	160
5.1	Einführung	160
5.2	Technologiegruppe 1: Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe	164
	5.2.1 Ergebnisse der Expertenumfrage	165
	5.2.2 Ergebnisse des Expertenworkshops.....	170
5.3	Technologiegruppe 2: Materialforschung und neue Werkstoffe	173

5.3.1	Ergebnisse der Expertenumfrage	174
5.3.2	Ergebnisse des Expertenworkshops.....	181
5.4	Technologiegruppe 3: Ressourcenschonende und abfallarme Produktionsverfahren	183
5.4.1	Ergebnisse der Expertenumfrage	184
5.4.2	Ergebnisse des Expertenworkshops.....	191
5.5	Technologiegruppe 4: Förderung der Kreislaufwirtschaft	194
5.5.1	Ergebnisse der Expertenumfrage	195
5.5.2	Ergebnisse des Expertenworkshops.....	201
5.6	Technologiegruppenübergreifende Ergebnisse des Workshops	204

TEIL III ZUSAMMENFASSENDE INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

1	Einführung	208
2	Wassermanagement.....	209
3	Klimaschutz und Luftreinhaltung	221
3.1	Technologiegruppe 1: CO ₂ -Behandlung und Klimafolgen	225
3.2	Technologiegruppe 2: Emissionsreduktion bei Gebäuden	226
3.3	Technologiegruppe 3: Prozessspezifische Lösung zu Emissionsreduktion	227
3.4	Technologiegruppe 4: Emissionsreduktion in industriellen Prozessen / Integrierte Ansätze mit Querschnittscharakter	229
3.5	Technologiegruppe 5: Emissionsreduktion in industriellen Prozessen / Additive Ansätze mit Querschnittscharakter	230
4	Bodenschutz / Erhalt von Biodiversität und Naturschutz	234
4.1	Technologiegruppen 1 und 2: Monitoring / Bodenanalytik und Nachhaltige Bodenschutzkonzepte	238
4.2	Technologiegruppe 3: Naturschutz, indirekte Nutzenaspekte	243
4.3	Technologiegruppe 4: Kulturelle Biodiversität, direkte Nutzenaspekte.....	245
5	Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft.....	251
5.1	Technologiegruppe 1: Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe	256
5.2	Technologiegruppe 2: Materialforschung und neue Werkstoffe	258
5.3	Technologiegruppe 3: Ressourcenschonende und abfallarme Produktionsprozesse	260
5.4	Technologiegruppe 4: Förderung der Kreislaufwirtschaft	261
6	Allgemeine Aussagen	266

7	Prioritätsfelder.....	273
	Prioritätsfeld 1: Technologien zur Adaptation an den Klimawandel.....	273
	Prioritätsfeld 2: Vergleichende Analyse von CCS und CO ₂ -Nutzung unter dem Aspekt eines integrierten CO ₂ -Management.....	274
	Prioritätsfeld 3: „Cleaner Buildings“: anwendungsorientierte und integrierte Forschung.....	275
	Prioritätsfeld 4: Abwärmenutzung in industriellen Prozessen.....	275
	Prioritätsfeld 5: Erhöhung der Effizienz elektrischer Antriebe in industriellen Prozessen.....	276
	Prioritätsfeld 6: Vermeidung / Verminderung klima- und luftschadstoffrelevanter Aerosolemissionen.....	276
	Prioritätsfeld 7: Ressortübergreifendes Gesamtkonzept zur gekoppelten stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse.....	277
	Prioritätsfeld 8: „Green Chemistry“.....	277
	Prioritätsfeld 9: Produktionsintegrierten Umweltschutz (PIUS).....	278
	Prioritätsfeld 10: Funktionalisierung von Oberflächen.....	278
	Prioritätsfeld 11: Materialforschung und neue Werkstoffe.....	279
	Prioritätsfeld 12: Substitution knapper Metalle.....	279
	Prioritätsfeld 13: Förderung der Kreislaufwirtschaft.....	280
	Prioritätsfeld 14: Entfernung von Mikroverunreinigungen aus Abwässern.....	280
	Prioritätsfeld 15: Integrierte Infrastruktursysteme für urbane Räume.....	281
	Prioritätsfeld 16: Ökoeffiziente Nutzung von Wässern unterschiedlicher Qualität...281	
	Prioritätsfeld 17: Meerwasserentsalzung mithilfe erneuerbarer Energien.....	282
	Prioritätsfeld 18: Bedarfsgerechte Bewässerungssysteme „Precision Irrigation“ ...	282
	Prioritätsfeld 19: Großflächiges Monitoring von Umweltveränderungen und Ökosystemen.....	282
	Prioritätsfeld 20: Standortangepasste landwirtschaftliche Bodenbearbeitungssysteme.....	283
	Prioritätsfeld 21: Sanierungs- und Rekultivierungstechnologien von komplex kontaminierten Standorten (Megasites).....	283
	Prioritätsfeld 22: Wasser, Boden, Biodiversität als Querschnittsthemen.....	284
	LITERATURVERZEICHNIS.....	XXIII
	ANHANG.....	XXVI

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Projektablauf mit Validierungsschleifen.....	15
Abb. 2:	Problemdruck global / national nach Handlungsfeldern.....	20
Abb. 3:	Bedarf an öffentlichen Förderprogrammen.....	21
Abb. 4:	Wie schätzen Sie den Problemdruck global / in Deutschland in den nächsten 10 bis 20 Jahren in den folgenden Umwelthandlungsfeldern ein? (Die beiden höchsten Wertbereiche sind aggregiert, in Prozent dargestellt und nach dem globalen Problemdruck gerankt.).....	21
Abb. 5:	In welchem Umfang sollen Umwelttechnologien in den folgenden Handlungsfeldern zukünftig durch öffentliche Förderprogramme in Deutschland unterstützt werden? (Die beiden höchsten Wertbereiche sind aggregiert und in Prozent dargestellt.).....	22
Abb. 6:	Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Wassermanagementproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	27
Abb. 7:	Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf und Bedarf an öffentlicher Förderung im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	30
Abb. 8:	Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	32
Abb. 9:	Geschätzte Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	34
Abb. 10:	Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Wassermanagementproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	39
Abb. 11:	Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	42
Abb. 12:	Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	43
Abb. 13:	Geschätzte Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	45

Abb. 14:	Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Wassermanagementproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	50
Abb. 15:	Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	53
Abb. 16:	Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	55
Abb. 17:	Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	57
Abb. 18:	Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Klimaschutz- und Luftqualitätsproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	65
Abb. 19:	Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	67
Abb. 20:	Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	68
Abb. 21:	Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	69
Abb. 22:	Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Klimaschutz- und Luftqualitätsproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	73
Abb. 23:	Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	75
Abb. 24:	Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	77
Abb. 25:	Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	78
Abb. 26:	Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Klimaschutz- und Luftqualitätsproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	83
Abb. 27:	Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	85

Abb. 28:	Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	87
Abb. 29:	Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	89
Abb. 30:	Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Klimaschutz- und Luftqualitätsproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	95
Abb. 31:	Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	97
Abb. 32:	Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	99
Abb. 33:	Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	101
Abb. 34:	Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Klimaschutz- und Luftqualitätsproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	106
Abb. 35:	Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	108
Abb. 36:	Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	109
Abb. 37:	Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	111
Abb. 38:	Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Bodenschutzproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	119
Abb. 39:	Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	121
Abb. 40:	Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	123
Abb. 41:	Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	125

Abb. 42:	Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Bodenschutzproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)	127
Abb. 43:	Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	130
Abb. 44:	Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)	131
Abb. 45:	Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	133
Abb. 46:	Einschätzung der zukünftigen Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Umweltproblemen im Bereich Biodiversität und Naturschutz (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben).	140
Abb. 47:	Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	143
Abb. 48:	Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)	144
Abb. 49:	Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	146
Abb. 50:	Einschätzung der zukünftigen Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Umweltproblemen im Bereich Biodiversität und Naturschutz (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben).....	150
Abb. 51:	Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	153
Abb. 52:	Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)	154
Abb. 53:	Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	156
Abb. 54:	Einschätzung der zukünftigen Bedeutung dieser Technologiebereiche zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	165
Abb. 55:	Einschätzung des Forschungsbedarfs (FoBe) und des Bedarf an öffentliche Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	167

Abb. 56:	Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	168
Abb. 57:	Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	170
Abb. 58:	Einschätzung der zukünftigen Bedeutung dieser Technologiebereiche zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	175
Abb. 59:	Einschätzung des Forschungsbedarfs (FoBe) und des Bedarf an öffentliche Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	177
Abb. 60:	Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	179
Abb. 61:	Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	181
Abb. 62:	Einschätzung der zukünftigen Bedeutung dieser Technologiebereiche zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	185
Abb. 63:	Einschätzung des Forschungsbedarfs (FoBe) und des Bedarf an öffentliche Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	187
Abb. 64:	Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	189
Abb. 65:	Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	191
Abb. 66:	Einschätzung der zukünftigen Bedeutung dieser Technologiebereiche zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	195
Abb. 67:	Einschätzung des Forschungsbedarfs (FoBe) und des Bedarf an öffentliche Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	197
Abb. 68:	Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.).....	199
Abb. 69:	Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.).....	201
Abb. 70:	Ranking der Technologien im Cluster Wassermanagement nach „Bedeutung“ (Nennungen in Prozent, die Kategorien „äußerst wichtig“ und „wichtig“ sind aggregiert dargestellt).....	209

Abb. 71:	Geschätzte Marktpotenziale für das Cluster Wassermanagement	210
Abb. 72:	Hemmnisse im Handlungsfeld Wasser (Durchschnitt der relativen Nennungen über alle Technologiebereiche im Cluster Wassermanagement).....	211
Abb. 73:	Wassermanagement: Position Deutschlands im internationalen Vergleich gerankt nach der industriellen Forschung (die höchsten beiden Kategorien sind aggregiert und in Prozent dargestellt)	212
Abb. 74:	Einschätzung von Entwicklungsstand und Bedeutung der ausgewählten Wassertechnologiebereiche für die Lösung von Umweltproblemen (die Einschätzung erfolgte auf Basis des Zwischenberichts, der Befragung und des Workshops)	215
Abb. 75:	Ranking der Technologien im Cluster Klimaschutz/Luftreinhaltung nach „Bedeutung“ (Nennungen in Prozent, die Kategorien „äußerst wichtig“ und „wichtig“ sind aggregiert dargestellt)	222
Abb. 76:	Geschätzte Marktpotenziale für das Cluster Klimaschutz / Luftreinhaltung	223
Abb. 77:	Hemmnisse im Handlungsfeld Klimaschutz / Luftreinhaltung (Durchschnitt der relativen Nennungen über alle Technologiebereiche im Cluster Klimaschutz / Luftreinhaltung)...	224
Abb. 78:	Klimaschutz / Luftreinhaltung: Position Deutschlands im internationalen Vergleich (gerankt nach der industriellen Forschung; die höchsten beiden Kategorien sind aggregiert und in Prozent dargestellt).....	224
Abb. 79:	Klimaschutz: Einschätzung von Entwicklungsstand und Bedeutung für die Lösung von Umweltproblemen (die Einschätzung erfolgte auf Basis des Zwischenberichts, der Befragung und des Workshops)	232
Abb. 80:	Luftreinhaltung: Einschätzung von Entwicklungsstand und Bedeutung für die Lösung von Umweltproblemen (die Einschätzung erfolgte auf Basis des Zwischenberichts, der Befragung und des Workshops).....	233
Abb. 81:	Ranking der Technologien im Cluster Bodenschutz / Erhalt der Biodiversität / Naturschutz nach „Bedeutung“ (Nennungen in Prozent, die Kategorien „äußerst wichtig“ und „wichtig“ sind aggregiert dargestellt)	234
Abb. 82:	Bodenschutz und Erhalt der Biodiversität / Naturschutz: Geschätzte Marktpotenziale...	236
Abb. 83:	Hemmnisse im Cluster Bodenschutz / Erhalt von Biodiversität und Naturschutz (Durchschnitt der relativen Nennungen über alle Technologiebereiche im Cluster Bodenschutz / Erhalt von Biodiversität und Naturschutz.....	236
Abb. 84:	Bodenschutz und Erhalt von Biodiversität / Naturschutz: Position Deutschlands im internationalen Vergleich gerankt nach der industriellen Forschung (die höchsten beiden Kategorien sind aggregiert und in Prozent dargestellt).....	237
Abb. 85:	Bodenschutz: Einschätzung von Entwicklungsstand und Bedeutung für die Lösung von Umweltproblemen (die Einschätzung erfolgte auf Basis des Zwischenberichts, der Befragung und des Workshops).....	240
Abb. 86:	Erhalt von Biodiversität und Naturschutz: Einschätzung von Entwicklungsstand und Bedeutung für die Lösung von Umweltproblemen (die Einschätzung erfolgte auf Basis des Zwischenberichts, der Befragung und des Workshops).....	250

Abb. 87:	Ranking der Technologien im Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft nach „Bedeutung“ (Nennungen in Prozent, die Kategorien „äußerst wichtig“ und „wichtig“ sind aggregiert dargestellt)	252
Abb. 88:	Hemmnisse im Cluster Rohstoffproduktivität und Kreislaufwirtschaft Durchschnitt der relativen Nennungen über alle Technologiebereiche im Cluster Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft	253
Abb. 89:	Rohstoffproduktivität und Kreislaufwirtschaft: Geschätzte Marktpotenziale	254
Abb. 90:	Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft: Position Deutschlands im internationalen Vergleich gerant nach der industriellen Forschung (die höchsten beiden Kategorien sind aggregiert und in Prozent dargestellt)	255
Abb. 91:	Materialforschung und neue Werkstoffe: Entwicklungsstand und Bedeutung für die Lösung der Rohstoffproblematik (Einschätzung auf Basis des Zwischenberichts, der Befragung und der Workshops	265
Abb. 92:	Einschätzung des Marktpotenzials gerant nach den beiden höchsten Bewertungen (gewichtetes Mittel) für Industrieländer, Schwellenländer und Entwicklungsländer.	268
Abb. 93:	Position Deutschlands im internationalen Vergleich (Top 10 gerant nach industrieller Forschung; Aggregation der besten zwei Kategorien)	270
Abb. 94:	Position Deutschlands im internationalen Vergleich (Top 10 gerant nach öffentlicher Forschung; Aggregation der besten zwei Kategorien)	270
Abb. 95:	Hemmnisse insgesamt (Durchschnitt der relativen Nennungen über alle Technologiebereiche über alle Cluster)	272
Abb. 96:	Hemmnisse insgesamt: Durchschnitt der relativen Nennungen über alle Technologiebereiche und über alle Cluster (Blau= Wassermanagement, Gelb= Klimaschutz / Luftreinhaltung, Grün= Bodenschutz / Erhalt der Biodiversität und Naturschutz, Rosa= Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft)	272

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Anzahl der Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ – in Prozent (absolute Nennungen / Gesamtexpertenanzahl).....	31
Tab. 2:	Überblick über die Bewertung der Hemmnisse am Standort Deutschland. (Die Zahlen entsprechen den Nennungen der Experten, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rot = höchste Anzahl, dunkelgelb = zweithöchste Anzahl und hellgelb = dritthöchste Anzahl.)	33
Tab. 3:	Anzahl der Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ – in Prozent (absolute Nennungen / Gesamtexpertenanzahl).....	42
Tab. 4:	Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)	44
Tab. 5:	Anzahl der Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ – in Prozent (absolute Nennungen / Gesamtexpertenanzahl).....	54
Tab. 6:	Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)	56
Tab. 7:	Nennungen in der Kategorie "kein Bedarf" - in Prozent (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten).....	66
Tab. 8:	Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl, dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl, hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)	69
Tab. 9:	Nennungen in der Kategorie "kein Bedarf" - in Prozent (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten).....	76
Tab. 10:	Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)	77
Tab. 11:	Anzahl der Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ – in Prozent (absolute Nennungen / Gesamtexpertenanzahl).....	86
Tab. 12:	Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)	88
Tab. 13:	Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ – in Prozent (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten).....	98

Tab. 14:	Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)99
Tab. 15:	Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl) 110
Tab. 16:	Anzahl der Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ – in Prozent (absolute Nennungen / Gesamtexpertenanzahl)..... 122
Tab. 17:	Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl) 124
Tab. 18:	Anzahl der Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ – in Prozent (absolute Nennungen / Gesamtexpertenanzahl)..... 130
Tab. 19:	Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl) 132
Tab. 20:	Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ – in Prozent (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten)..... 142
Tab. 21:	Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl) 145
Tab. 22:	Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ – in Prozent (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten)..... 152
Tab. 23:	Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl..... 155
Tab. 24:	Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ – in Prozent (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten)..... 167
Tab. 25:	Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl) 169
Tab. 26:	Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ – in Prozent (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten)..... 178
Tab. 27:	Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder: = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl) 180
Tab. 28:	Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ – in Prozent (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten)..... 188

Tab. 29:	Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl) 190
Tab. 30:	Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ in Prozent (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten) 198
Tab. 31:	Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)200

Abkürzungsverzeichnis

a	anno / anni (lat.); Jahr (e)
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
CH ₄	Methan
CCS	Carbon Capture and Storage (CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung)
CITES	Convention on International Trade in Endangered Species of wild Fauna and Flora
CMS	Übereinkommen zum Schutz wandernder wildlebender Tierarten
COP	Conference of the Parties (UN-Naturschutzkonferenz)
CO	Kohlenmonoxid, Kohlenstoffmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid, Kohlenstoffdioxid
CO ₂ e	CO ₂ - Äquivalente
Demo	Demonstration
\$	Dollar (Währung der Vereinigten Staaten von Amerika)
EBS	Ersatz-Brennstoffe
EL	Entwicklungsländer
EuP	energy using products
€	Euro (Währung der europäischen Währungsunion)
FoBe	Forschungsbedarf
FöBe	Förderbedarf
FuE	Forschung und Entwicklung
IF	Industrielle Forschung
IL	Industrieländer

JUMP	Ja zur Umweltgerechten Produktgestaltung (Konzept der Effizienzagentur Nordrhein-Westfalen)
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
km ²	Quadratkilometer
lm	Lumen
Mio.	Million (10 ⁶)
MSR	Mess-, Steuer- und Regelungstechnik
Mt	Mega (10 ⁶) Tonnen (metrisch);
NaWaRo	Nachwachsende Rohstoffe
NMVOG	flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (non-methan volatile organic compounds)
NO ₂	Stickstoffdioxid
N ₂ O	Distickstoffmonoxid, Lachgas
ÖF	Öffentliche Forschung
ORC	Organic Rankine Cycle
PIUS	Produktionsintegrierter Umweltschutz
PM ₁₀	Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser ≤ 10µm
PM _{2,5}	Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser ≤ 2,5µm
PVC	Polyvinylchloride
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien)
REFINA	Forschung für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und ein nachhaltiges Flächenmanagement
RFID	Radio Frequency Identification
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (Aachen)
SPSS	Statistik- und Analysesoftware der gleichnamigen Firma SPSS (Statistical Packages for Social Sciences)
TA	Technikfolgenabschätzung
TAB	Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag
THG	Treibhausgase

TSP	Gesamtstaubbelastung (Total Suspended Particles)
UBA	Umweltbundesamt
UV	Ultraviolette Strahlung
VOC	flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds)
WBGU	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen

TEIL I

Aufgaben, Ziele und Methodik des Projekts

1 Hintergrund und Motivation

Seit Beginn der „ökologischen Krise“ in den 1970er Jahren wird der wissenschaftlich-technische Fortschritt auch dafür eingesetzt, negative Folgen der menschlichen Wirtschaftsweise für die natürliche Umwelt zu vermindern. Es geht vielfach darum, durch eine Erhöhung der Ressourcenproduktivität und Kreislaufführung von Materialien den Verbrauch natürlicher Ressourcen zu verringern, durch Substitution nicht erneuerbarer durch erneuerbare Ressourcen den Bestand an nicht erneuerbaren Ressourcen zu schonen und Emissionen des Metabolismus der Industriegesellschaft in die natürliche Umwelt zu reduzieren (Coenen et al. 1996). Technologien spielen hierbei eine entscheidende Rolle. Stichworte wie „Effizienzrevolution“ oder „Faktor 4“ (Weizsäcker et al. 1995) verdeutlichen dies.

Umweltkrisen sind kein neues Phänomen. Der Mensch als kulturschaffendes Wesen hat die natürliche Umwelt seit Jahrhunderten gestalterisch geprägt und seinen Bedürfnissen angepasst. Dies hat im Verlauf der Geschichte immer wieder zu unbeabsichtigten Umweltveränderungen (Verkarstung, Bodenerosion, Artenverlust) geführt und sich negativ auf die Lebensbedingungen der betroffenen Bevölkerung ausgewirkt. In der Vergangenheit handelte es sich jedoch meist um regional begrenzte Krisen, die der Mensch durch ein entsprechend angepasstes Verhalten bewältigen konnte. Das Neuartige im Verhältnis Mensch-Natur, das mit dem Begriff des „globalen Wandels“ bezeichnet wird (Kopfmüller 2003), liegt darin, dass sich menschliches Handeln erstmals auf die Erde als Gesamtsystem auswirkt. Bevölkerungswachstum, Industrialisierung, Urbanisierung und steigender Wohlstand als gesellschaftliche Treiber des globalen Wandels haben zu globalen Umweltveränderungen wie Klimawandel, Bodendegradation, Abnahme der biologischen Vielfalt, Verknappung des Süßwasserdargebots, Übernutzung und Verschmutzung der Weltmeere, Zunahme anthropogener Naturkatastrophen sowie einem steigenden Verbrauch natürlicher Rohstoffe geführt (WBGU 1999). Die ökologischen Kernprobleme des globalen Wandels sind in allen Regionen dieser Welt evident, allerdings in unterschiedlichem Ausmaß, was wachsende Verteilungskonflikte bereits heute zur Folge hat und in Zukunft verstärkt haben wird. Von der Verschlechterung der Lebensbedingungen, so z.B. durch die Folgen des Klimawandels, sind die armen Länder des Südens am stärksten betroffen, in denen Armut, Dürre, Trinkwassermangel, Krankheiten und kriegerische Auseinandersetzungen Millionen von Menschen zur Flucht treiben werden (NMU 2007, 6). Gleichzeitig haben diese Länder aufgrund ihrer ökonomischen Situation kaum Möglichkeiten, mit dieser Situation adäquat umzugehen.

Technik spielt in all diesen Veränderungen eine große, allerdings auch ambivalente Rolle. Obwohl ein Großteil der heutigen Umweltprobleme direkt oder indirekt durch Technik verursacht wird, beinhalten moderne Technologien gleichzeitig das Potenzial zu ihrer Bewältigung. In den vergangenen Jahrzehnten sind bereits große Fortschrit-

te erzielt worden, etwa auf dem Gebiet der Luftreinhaltung, der Abwasserbehandlung und der Abfallbeseitigung. Die klassische Umwelttechnik gerät jedoch angesichts des Industrialisierungsschubs in den Schwellenländern, der rasant steigenden Nachfrage nach Energie und Rohstoffen sowie wachsender Konsumbedürfnisse an ihre Grenzen. Es geht nicht mehr nur um die Vermeidung unmittelbarer Belastungen (Luftverunreinigung, Bodenversauerung, Eutrophierung etc.), sondern um einen grundsätzlichen Wandel der Perspektive. Erforderlich ist eine Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Umweltverbrauch durch die Abkehr von der Wegwerfgesellschaft und die Hinwendung zu einer Kreislaufwirtschaft. Der Verbrauch natürlicher Rohstoffe soll durch eine Erhöhung der Material- und Energieeffizienz verringert, der Bestand an knappen nicht erneuerbaren Ressourcen durch die verstärkte Nutzung erneuerbarer Ressourcen geschont und die Rückstände des industriellen Metabolismus sollen reduziert oder möglichst ganz vermieden werden. Dieses Ziel ist nur mithilfe weitreichender technologischer Entwicklungen sowie produktbezogener, verfahrensbezogener und organisatorischer Innovationen zu erreichen.¹

Die Notwendigkeit einer Trendumkehr ist inzwischen allgemein akzeptiert. Auch viele Schwellenländer haben erkannt, dass eine weitere Subventionierung ihres raschen Wirtschaftswachstums über die Umwelt nicht länger möglich ist (Töpfer 2007). Weltweit lässt sich daher ein wachsender Bedarf an ressourceneffizienten, umweltfreundlichen Produkten und Produktionsverfahren konstatieren. Wie die Bundesregierung in ihrer „Hightech-Strategie“ für Deutschland betont, lassen sich weder die Millenniumsziele der Vereinten Nationen noch die Ziele der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie ohne den Einsatz effizienter „sauberer“ Technik realisieren (Bundesregierung 2006). Umwelttechnologien stellen ohne Zweifel einen wichtigen Wachstumsmarkt der Zukunft dar.

Verschiedene aktuelle Studien belegen die wirtschaftliche Bedeutung der Umweltschutzwirtschaft (BMU 2007; UBA/BMU 2007; BMU/UBA 2007; NIW/ZEW/ISI 2007). Nach Angaben der Europäischen Kommission ist der Markt für Umwelttechnologien zwischen 1999 und 2004 in Europa jährlich um 7% gewachsen (BMU 2007, 13). Deutschland hat in vielen Segmenten dieses Marktes bereits heute eine hervorragende Stellung und nimmt auf einigen Gebieten sogar eine weltweite Führungsrolle ein. Die deutsche Industrie hat im Jahr 2004 potenzielle Umweltschutzgüter im Wert von 42 Mrd. Euro ausgeführt; dies entspricht 6,2% des gesamten Industriewarenexports. Insgesamt war Deutschland im Jahre 2004 mit einem Welthandelsanteil von 16,4% größter Exporteur von potenziellen Umweltschutzgütern, vor den USA (16,1%) und Japan (10,8%) (NIW/ZEW/ISI 2007, 109). Wie die Entwicklung seit den 1970er

¹ Vgl. hierzu den Zwischenbericht zu diesem Projekt (Schippl et al. 2008), in dem der gegenwärtige Stand im Spektrum von Umwelttechnologien und entsprechenden Dienstleistungen entlang verschiedener Handlungsfelder beschrieben wurde.

Jahren zeigt, verdankt die deutsche Umweltschutzindustrie ihre international anerkannte Stellung nicht zuletzt den regulativen Rahmenbedingungen in Deutschland. Das ausgeprägte Umweltbewusstsein der Bürger in Verbindung mit politischen Weichenstellungen und einer konsequenten Umweltgesetzgebung haben dazu geführt, dass sich Umwelttechnologien schon frühzeitig auf einem anspruchsvollen Binnenmarkt bewähren mussten. Dank dieser Konstellation können deutsche Unternehmen heute in einigen Sparten internationale Maßstäbe setzen, dazu gehören z.B. die Bereiche erneuerbare Energien (Windkraft-, Solar- und Biogasanlagen), Luftreinhaltung, Lärmschutz und Recycling (Bundesregierung 2006).

Angesichts globaler Herausforderungen (Klimawandel, zunehmende Wasser- und Rohstoffknappheit) geht es jedoch nicht nur um nationale Regulierungen, sondern vor allem auch um die Entwicklung internationaler Normen. Wie die Geschichte der europäischen Umweltschutzgesetzgebung zeigt, sind oftmals Regulierungen, die in einem Land zuerst angewandt wurden, später von anderen Ländern übernommen worden und haben dadurch den Unternehmen des „Vorreiterlandes“ Exportvorteile verschafft. Ein Beispiel ist das Anfang der 1990er Jahre durch den deutschen Gesetzgeber verhängte Verbot der Ozonschicht schädigenden Fluorchlorkohlenwasserstoffe, das international als Vorbild diente. Umweltregulierung kann dadurch einen Leitmarkt für Umweltinnovation stimulieren (NIW/ZEW/ISI 2007, 85). Eine solche Leitmarktfunktion vermag ein Land vor allem dann zu übernehmen, wenn es der nationalen Gesetzgebung gelingt, globale Trends frühzeitig zu erkennen und Umweltregulierungen so auszugestalten, dass sie für die Übernahme durch andere Länder geeignet sind.

Dies ist Verpflichtung wie Chance zugleich. Global gesehen ist der Beitrag Deutschlands an der Verursachung der großen Umweltprobleme in vielen Feldern eher gering. Neben der geographischen und demographischen Situation liegt das nicht zuletzt daran, dass in den letzten Jahrzehnten in vielen Bereichen eine deutliche Reduzierung der Umweltbelastungen erreicht werden konnte. Aufgrund der globalen Umweltsituation gewinnt jedoch die Herausforderung, Umwelttechnologien gerade für den Export zu entwickeln, an Bedeutung. Dies ist vor dem Hintergrund der Verantwortung Deutschlands für nachhaltige Entwicklung geboten (Töpfer 2007), bringt aber auch positive Aussichten in Bezug auf internationale Märkte und Wertschöpfung mit sich.

Damit verändert sich jedoch auch das Anforderungsprofil. Viele Hightech-Produkte, die für den europäischen Markt entwickelt wurden, sind für Entwicklungs- und Schwellenländer kaum bezahlbar und zudem unter den dort gegebenen institutionellen und organisatorischen Rahmenbedingungen häufig auch nicht sinnvoll einsetzbar. Es geht also darum, angepasste Technologien für den außereuropäischen Markt zu entwickeln. Der massive Energie- und Stoffdurchsatz der heutigen Industrieländer kann kein Leitmodell für eine nachhaltige Weltwirtschaft sein. Besonderes Gewicht

sollte deshalb auf die Möglichkeiten des „ökologischen Leapfrogging“ gelegt, also eine Entwicklung angeschoben werden, welche nicht nachhaltige Produktionstechnologien der Industrieländer überspringt (WBGU 2005, 208). Da diese Situation jedoch auch zunehmend von anderen Industrieländern erkannt wird, entsteht ein internationaler Wettbewerb um die sich bildenden Märkte, in denen Umwelttechnologien und darauf aufbauende Dienstleistungen gehandelt werden.

Das komplexe Problem, Umwelttechnologien zur Vermeidung von, aber auch als Antworten auf Umweltprobleme zu entwickeln, sie simultan als Medium der Entstehung neuer Märkte zu sehen und dabei auf die deutsche Position in einem internationalen Wettbewerb zu achten und schließlich Umwelttechnologien (zumindest auch) auf einen Einsatz in Entwicklungs- und Schwellenländern hin anzupassen, markiert die Herausforderung, vor der eine langfristig angelegte und strategisch orientierte Förderpolitik im Bereich „Umwelttechnologien“ steht. Die Unterstützung dieser Ausrichtung war zentrale Aufgabe des Projekts „Roadmap Umwelttechnologien 2020“.

2 Projektziele und Randbedingungen

2.1 Ziele und Aufgaben

Das Projekt „Roadmap Umwelttechnologien 2020“ diente der Erforschung von mittel- bis langfristigen Entwicklungspfaden in relevanten Feldern der Umwelttechnologie, unter dem Hauptziel, strategische Optionen für die Forschungsförderung des BMBF und für die Unterstützung des Transfers in die Umsetzung zu erarbeiten. Generell ging es darum, zu untersuchen, welche wesentlichen Beiträge Forschung und Technik für zukünftige Umweltinnovationen leisten können, und was das BMBF tun kann, um diese Prozesse zu unterstützen. Durch die von Beginn an enthaltene Dualität von *Forschungsförderung* einerseits (Wo besteht Wissens- und Entwicklungsbedarf zu Umwelttechnologien?) und *Umsetzung in die Praxis* andererseits (Wo liegen die kritischen Bedingungen, unter denen vorhandenes Wissen und bestehende Technik Eingang in die Praxis und Markterfolg haben?) zielte das Projekt sowohl auf ein thematisches Foresight zur Orientierung der Förderpolitik des BMBF als auch auf die Analyse der praktischen Prozesse der Umsetzung.

Die Untersuchungen im Rahmen dieses Projekts erfolgten vor dem Hintergrund der Hightech-Strategie der Bundesregierung und des „Masterplans Umwelttechnologien“, für die bereits während der Laufzeit des Projekts Anregungen gegeben wurden. Konkret waren folgende Ziele vereinbart:

Erarbeitung eines „State-of-the-Art“-Reports: Es sollte der aktuell erreichte Stand im Bereich der Umwelttechnologien dargestellt werden, sowohl im Hinblick auf den wissenschaftlich-technischen Forschungsstand als auch in Bezug zur Umsetzung in der industriellen Praxis und in Märkten und Anwendungen. Dieses Ziel wurde im Rahmen der Zwischenberichterstattung an das BMBF und der entsprechenden Publikation erreicht (Schippl et al. 2008).

Diagnose und Bewertung des „State-of-the-Art“-Reports: Die Auswertung der Bestandsaufnahme sollte auf Hinweise in Bezug auf zukünftige Handlungsmöglichkeiten erfolgen. Typische relevante und handlungsleitende Fragen waren: Wo liegen zurzeit die kritischen Entwicklungen in Wissenschaft und Forschung zu Umwelttechnologien, wo stehen Entwicklungen vor einem Durchbruch, welche hemmenden oder fördernden Faktoren spielen im weiteren Fortschritt eine entscheidende Rolle, welche inhaltlichen oder strukturellen Probleme stellen sich in der Umsetzung von FuE-Ergebnissen in die Praxis, wo gibt es Entwicklungen, in denen das BMBF durch gezielte Unterstützung den Transfer beschleunigen kann?

Erstellung einer „Roadmap“ (vgl. Kap. 3.2, S. 11, zum Verständnis dieses Begriffs) für Umwelttechnologien: In dieser zentralen Zielrichtung ging es darum, zu analysieren, welche mittel- und langfristigen Entwicklungen in den Umwelttechnologien heute absehbar sind bzw. unter Aspekten langfristiger Vorsorgeforschung aus heutiger Sicht als wünschenswert erscheinen. Dies erfordert eine Kombination *problemorientierter* Vorgehensweise (Wo besteht vor dem Hintergrund der großen Umweltprobleme dringender Handlungsbedarf und welche Technologien werden benötigt?) und *technikinduzierter* Vorgehensweise (Welche Angebote und Möglichkeiten ergeben sich aus dem wissenschaftlich-technischen Fortschritt?).

Strategische Analyse: Ableitung von Optionen und Empfehlungen zu Fördermaßnahmen und -strategien des BMBF in Bezug auf mögliche Forschungsprogramme, Vernetzungsaktivitäten, Allianzen etc. Insbesondere sollten begründete Hinweise zur Prioritätensetzung gegeben werden. Vielversprechende umwelttechnische Entwicklungen, sowohl im Hinblick auf die Umweltentlastungen als auch in Bezug auf die deutsche Wirtschaft, sollten identifiziert werden.

Vor dem Hintergrund dieser Ziele sind die Projektergebnisse unmittelbar in der politischen Debatte und damit indirekt auch in der wirtschaftlichen Diskussion relevant. Der Staat ist aus Vorsorgeüberlegungen heraus in der Pflicht, durch Forschungsförderung und strategische Maßnahmen die notwendigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten und die Umsetzung der Ergebnisse zu unterstützen und anzutreiben. Dies erfordert ein Operieren auf mehreren zeitlichen Ebenen: Während Umsetzungsaktivitäten zumeist *kurzfristig* erfolgen müssen, sind Strukturen für den effizienten und erfolgreichen Transfer des Wissens in die Umsetzung *mittelfristig* zu planen. Vorsorgeforschung schließlich ist einerseits *langfristig strategisch* zu orientieren und

zu fördern, und andererseits sind, vor allem in der anwendungsnahen Forschung, auch kurz- und mittelfristige Zeithorizonte von Bedeutung. Auf diesen Zeitskalen liefert das Projekt „Roadmap Umwelttechnologien 2020“ verschiedene Anknüpfungspunkte, die letztendlich die Abstimmung der kurz- und mittelfristigen Ziele auf das langfristige „Erwünschte“ unterstützen bzw. erst ermöglichen.

Über die Beratung des BMBF in forschungspolitischen Fragen hinaus, dient das Projekt auch der Erzeugung von Orientierungswissen für die wissenschaftliche und öffentliche Diskussion über Umwelttechnologien. Damit können Meinungsbildungs- und Entscheidungsprozesse sowie Prioritätensetzungen transparenter begründet werden.

2.2 Randbedingungen

Projekte dieses Typs stehen in einem in der Technikfolgenabschätzung wohlvertrauten Spannungsverhältnis: Da ist zum einen der Wunsch nach einer möglichst umfassenden Aufarbeitung, denn vergleichende Aussagen und Prioritätenbestimmungen sind nur dann möglich, wenn man die Spannweite der Optionen in möglichst großer Breite untersucht. Auf der anderen Seite stehen jedoch die unvermeidlichen Randbedingungen, z.B. im Hinblick auf begrenzte Ressourcen oder in Bezug auf den zur Verfügung stehenden Zeitrahmen sowie die durch die spezifischen Anforderungen und Interessen des Auftraggebers hervorgerufene Ausrichtung. Letztere führte z.B. zu einem Ausschluss der Energiebereitstellungstechnologien aus der Studie.

Die Folge ist, dass eine Ausbalancierung zwischen der erforderlichen Breite und der in den Teilthemen möglichen Bearbeitungstiefe gefunden werden muss. Entscheidende Bedeutung kommt dabei den gewählten Strukturierungen zu. Das übergeordnete Ziel, wissensbasierte strategische Orientierung für das BMBF zu generieren, legte eine Strukturierung nach Handlungsfeldern nahe, welche in Abstimmung mit dem Auftraggeber vorgenommen wurde. Die dabei unvermeidbare Zerschneidung des Gegenstandsbereichs der Umwelttechnologien erlaubte auf der einen Seite, gezielt Experten in den identifizierten Feldern anzusprechen, führte auf der anderen Seite aber auch dazu, dass immer wieder die Frage nach Querschnittsbeziehungen zwischen den Feldern gestellt wurde. Letztlich ist das eine unvermeidbare Situation in einem so komplexen Feld wie den Umwelttechnologien. In den identifizierten Prioritätsfeldern, die das zentrale Ergebnis bilden, wurden sowohl das in den Handlungsfeldern verfügbare Wissen als auch das Wissen über Querschnittsbeziehungen einbezogen..

3 Gegenstandsbereich

Um die genannten Fragen zu beantworten und das gewünschte Orientierungswissen bereitzustellen, ist es zunächst erforderlich, den Gegenstandsbereich zu klären, sowohl in thematischer (Teil I, Kapitel 3.1) und zeitlicher Hinsicht (Teil I, Kapitel 3.2) als auch in Bezug auf den normativen Bezugsrahmen (Teil I, Kapitel 3.3).

3.1 Der Begriff „Umwelttechnologien“

Der Begriff der Umwelttechnologien ist nicht klar definiert. Jede Technologie hat Wechselwirkungen mit der Umwelt. Die mengenmäßig größten Umweltauswirkungen haben Technologien der Energiebereitstellung, des Bauens und der Mobilität – gerade diese werden jedoch in der Regel nicht als „Umwelttechnologien“ geführt.

Der Begriff der Umwelttechnologien hat seinen Ursprung in der Ausrichtung als *Umweltschutztechnologien*: „Unter dem Begriff ‚Umwelttechnik‘ kann man zunächst alle Techniken bzw. Güter fassen, die dem Umweltschutz dienen“ (Coenen et al. 1996, 29). Damit ist Umwelttechnologie nicht unmittelbar auf *Anwendungsfelder für Technik* (wie etwa Energiebereitstellung oder Abfallentsorgung) bezogen, sondern hat eine *Querschnittseigenschaft*: Sie beinhaltet die Intention, Umweltaspekte in den jeweiligen Technologien und Systemen der Anwendungsfelder besser zur Geltung zu bringen. In dieser Studie wird von einem weit gefassten Begriff der Umwelttechnik ausgegangen:

Gegenstand des Projekts sind Technologien, Güter und Dienstleistungen, die der Vermeidung, Verminderung und Beseitigung von Umweltbeeinträchtigungen sowie der Wiederherstellung bereits geschädigter Umweltfunktionen dienen und somit einen Beitrag zu einem nachhaltigen Umgang mit den natürlichen Ressourcen leisten.

Die Gründe für diese weite Begriffsdefinition sollen im Folgenden kurz erläutert werden. Umwelttechnologien lassen sich weder einem technologischen Kernbereich noch bestimmten Branchen (wie etwa Energiewandlung, Transport, Landwirtschaft) zuordnen, sondern betreffen das gesamte Spektrum von Produktion und Konsumtion. Jedes Produkt steht in Wechselwirkungen mit der Umwelt, von der Bereitstellung der zu seiner Herstellung benötigten Rohstoffe und Energie, über den eigentlichen Herstellungsprozess und die Nutzung bis hin zu seiner Entsorgung als Abfall. Auf jeder Stufe des Produktlebenszyklus kann Umwelttechnik zur Anwendung kommen. Umwelttechnologien haben somit Querschnittscharakter. Sie stellen bestimmte Eigenschaften oder Bestandteile von Technologien dar, durch deren gezielten Einsatz den Anforderungen an Schutz und Entlastung der natürlichen Umwelt entsprochen werden soll. Ein Großteil der Umweltschutzprodukte konzentriert sich auf forschungs- und wissensintensive Industrie- und Dienstleistungsbereiche, wie Maschinen- und

Fahrzeugbau, Mess-, Steuer- und Regeltechnik, Metallverarbeitung, Elektrotechnik, Chemie- und Kunststoffindustrie sowie hochwertige Forschungs-, Planungs- und Beratungsleistungen (NIW/ZEW/ISI 2007, 11).

In einem Bericht des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) wurde für Umwelttechnologien folgende Klassifizierung erarbeitet (Coenen et al. 1996):

- Techniken des *nachsorgenden* Umweltschutzes: z.B. Abwasserbehandlung, Abfallbehandlung, Sanierung
- Techniken des *kompensatorischen* Umweltschutzes: z.B. Erosionsschutz, Küstenschutz, Erhöhung der Belastbarkeit von Ökosystemen durch unterstützende Maßnahmen
- Techniken des *vorsorgenden* Umweltschutzes: z.B. additive Umwelttechnik wie Filter und Katalysatoren zur Emissionsminderung, integrierte Umwelttechnik, Erhöhung der Material- und Energieeffizienz
- Techniken der *Umweltbeobachtung*: Überwachung der Umweltmedien und ihrer zeitlichen Entwicklung

Während die Anfänge des Umweltschutzes vor allem im Bereich der Nachsorge lagen, haben sich in den letzten Jahren das politische Interesse und damit auch die Innovationstätigkeit zunehmend in Richtung auf die Technologien des produkt- und produktionsintegrierten Umweltschutzes verschoben. Dies beinhaltet eine Abwendung von einem primär emissions- bzw. rückstandsorientierten Ansatz (*end of pipe*) zu einem quellenorientierten Ansatz, bei dem der Material- und Energieinput optimiert und damit das Emissions- und Rückstandsaufkommen von vornherein verringert werden soll (Coenen et al. 1996). Ein wesentlicher Grund für diesen Paradigmenwechsel liegt in dem stark wachsenden Rohstoff- und Energiebedarf der Schwellenländer, der die Grenzen der Verfügbarkeit materieller und energetischer Einsatzstoffe sowie die Abhängigkeit der europäischen Volkswirtschaften von diesen in aller Schärfe hervortreten lässt (Glos 2006). Eine global nachhaltige Entwicklung, die auch künftigen Generationen die Grundlagen der Bedürfnisbefriedigung sichert, verlangt innovative Lösungen, die den Rohstoff- und Energieinput trotz steigender Wertschöpfung reduzieren und den Stoffwechsel zwischen industrieller Produktion und natürlicher Umwelt in einer globalen Balance halten.

Die Priorisierung des produkt- und produktionsintegrierten Umweltschutzes bedeutet jedoch keineswegs, dass künftig die technologische Weiterentwicklung additiver, nachsorgender und kompensatorischer Umweltschutzmaßnahmen keine Bedeutung mehr haben wird. Die ökologische Optimierung von Produktionsprozessen erfordert häufig den simultanen Einsatz additiver und integrierter Techniken. So kann z.B. bei

der Energiegewinnung aus fossilen Brennstoffen auch bei Kraftwerken, die nach dem neuesten Stand der Technik ausgelegt sind, auf additive Techniken (Rauchgasreinigung, CO₂-Abscheidung) nicht verzichtet werden. Außerdem werden additive Umwelttechniken im Hinblick auf die unmittelbare Abwehr von Gefahren für Umwelt und Gesundheit weiterhin unentbehrlich bleiben. Ebenso wenig kann auf den Einsatz nachsorgender Umweltschutzmaßnahmen verzichtet werden, um bereits eingetretene Schäden zu beseitigen und die Funktionsfähigkeit ökologischer Systeme so weit wie möglich wiederherzustellen.

Bezüglich der kompensatorischen Umweltschutztechnologien ist davon auszugehen, dass sie künftig sogar noch an Bedeutung gewinnen werden. Überall dort, wo es bisher nicht gelungen ist, die Ursachen von Umweltproblemen wirksam zu bekämpfen, sind kompensatorische Maßnahmen zum Schutz der menschlichen Gesundheit und anderer wichtiger Schutzgüter in der Regel der einzige Ausweg. So lassen sich z.B. die Folgeprobleme des Klimawandels selbst durch eine drastische weltweite Reduktion der Treibhausgasemissionen nicht kurzfristig beseitigen. Notwendig sind daher kompensatorische Maßnahmen etwa im Bereich des Hochwasserschutzes (Deichbau, Umsiedlungen) oder zur Sicherung der Welternährung (biotechnologische Anpassung von Kulturpflanzen an veränderte Umweltbedingungen, z.B. Stresstoleranz).

Gegenwärtig ist es daher sinnlos, einer bestimmten Klasse von Umwelttechnologien pauschal den Vorrang zuzusprechen, auch wenn vorsorgende Technologien aus konzeptioneller Sicht grundsätzlich zu bevorzugen wären. Vielmehr kommt es darauf an, für spezifische Probleme adäquate Lösungen zu finden, die vielfach auch in einem Mix verschiedener Technologien bestehen können.

Ein wichtiger Punkt betrifft den Stellenwert von konkreten Techniken im Rahmen von Umweltschutzstrategien. Technologische Entwicklungen und Innovationen alleine reichen in der Regel nicht aus, um den drängenden Umweltproblemen entgegenzuwirken und sich auf den entsprechenden Märkten durchzusetzen. Sie sind häufig eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung für Problemlösungen. Generell ist angesichts gesellschaftlicher Probleme nicht von Technik *als solcher* eine Lösung zu erwarten. Vielfach gilt es vielmehr, eine adäquate „Einbettung“ der betreffenden Technik in gesellschaftliche Zusammenhänge zu finden. Ökonomische und politische Rahmenbedingungen müssen „passen“, die Technik muss sozial akzeptabel, ethisch verantwortbar und kulturell passfähig sein. Insbesondere sind über die Bereitstellung von Technik hinaus organisatorisches Wissen und Know-how zu vermitteln. Wachsende Bedeutung kommt daher hochwertigen, wissensbasierten *Dienstleistungen* zu. Dazu gehören Verbraucher- und Umweltberatung, Wissenstransfer und Capacity-Building, Durchführung von Umweltverträglichkeits- und Nachhaltigkeitsprüfungen, Durchführung von betrieblichen Umweltprüfungen (Öko-Audit), Erstellung von Ökobi-

lanzen, Produktlinien- und Stoffstromanalysen, Entwicklung kommunaler Energie-, Abfall- und Flächenmanagementkonzepte u.Ä.

Obwohl also technische und nicht-technische Fragen in ihrer gesellschaftlichen Einbettung gemeinsam betrachtet werden müssen, werden wir, dem Auftrag folgend, in dieser Studie den Schwerpunkt auf die weitere Entwicklung der Technik legen, dabei gleichwohl anstreben, die nicht technischen Anteile adäquat zu berücksichtigen. Da dies aufgrund begrenzter Ressourcen nicht umfassend möglich ist, könnte dies die Aufgabe einer zukünftigen und zu unserem Projekt komplementären Aktivität sein. Forschungsbedarf und die Notwendigkeit der Unterstützung von Umsetzung können gleichermaßen im Feld der nicht technischen Aspekte der Umwelttechnik bestehen.

Bestimmte Anwendungsgebiete von Technik wie z.B. Landwirtschaft, Transport, Bauwesen und Konsumgüter sind hierbei zunächst nicht auszuschließen, da jede Technik Umwelteffekte erzeugt und durch Umwelttechnik daher umweltverträglicher gemacht werden kann. Die einzige Ausnahme in dieser Anwendungsoffenheit besteht darin, dass wir Technologien der *Energiebereitstellung* in diesem Projekt *nicht* berücksichtigen werden. Das Feld der Energiebereitstellung ist einerseits gut abgrenzbar und wird als eigenständiges Themenfeld betrachtet. Andererseits würde die Berücksichtigung den Rahmen dieses Projekts bei weitem sprengen.

In Bezug auf mögliche Einsatzgebiete von Umwelttechnologien wird ein globaler Rahmen angenommen. Die Potenziale zur Lösung von Umweltproblemen und für Marktchancen werden nicht nur für Deutschland, sondern auch für Entwicklungs- und Schwellenländer untersucht.

3.2 Zum Begriff der Roadmap

Entscheidungen in der Forschungsförderung im Hinblick auf Technologien und Infrastrukturen erfolgen im Hinblick auf die teils weit entfernte Zukunft. Auf der Basis von „Zukünften“, z.B. Erwartungen und Befürchtungen, Szenarien, Prognosen und Visionen werden Entscheidungen getroffen. Vorstellungen darüber, welche Beiträge spezifische Technologien (z.B. Membrantechniken, die CCS-Technologie oder biotechnologische Verfahren) in der näheren oder entfernteren Zukunft zu einer umweltverträglicheren Wirtschaftsweise leisten können, sollen heute schon Orientierung für Entscheidungen über Fördermaßnahmen und Technologietransfer geben. Bilder von Zukünften sind sogar *notwendig*, um rationale Entscheidungen treffen zu können. Diese Unterstützung gegenwärtig anstehender Entscheidungen durch Zukunftsüberlegungen stellt einen generellen Modus der Entscheidungsvorbereitung in modernen Gesellschaften dar (Luhmann 1997). Es ist eine der Hauptaufgaben wissenschaftlicher Politikberatung, derartige Zukunftsaussagen, z.B. in Form von Szenarien, Roadmaps oder Prognosen, wissenschaftlich und systematisch zu generieren.

Allerdings ist bekanntermaßen ein Grundproblem der „Zukünfte“ ihr zwangsläufig hohes Maß an involviertem Nichtwissen. Zukünfte sind unsicher, teils normativ geprägt und häufig umstritten. Vielfach werden Zukünfte instrumentalisiert, um spezifische Ziele zu erreichen und politische oder wirtschaftliche Interessen durchzusetzen. Konstruktionen von Zukunft scheinen damit der Ideologie oder der Beliebigkeit ausgesetzt zu sein. Vertreter gesellschaftlicher Positionen, substanzieller Werte und spezifischer Interessen scheinen einfach die ihnen passenden Zukunftsbilder zu produzieren, um diese dann in Auseinandersetzungen zur Durchsetzung ihrer partikularen Positionen zu nutzen (Brown et al. 2000). Zukünfte sind zentrale Austragungsfelder der Konflikte einer pluralistischen Gesellschaft. Wenn jedoch Zukünfte zur Orientierung von rational begründeten Entscheidungen *heute* – hier: zu Umwelttechnologien – beitragen sollen, dürfen sie nicht beliebig oder ideologisch sein.

Vor diesem generellen Hintergrund (vgl. z.B. Grunwald 2008) wurde entschieden, im Projekt „Roadmap Umwelttechnologien 2020“ auf das Konzept des Roadmapping (vgl. Fleischer et al. 2005) zu setzen, dieses jedoch auf die Anforderungen spezifisch zuzuschneiden. Dies bedeutet, und dies sei gesagt, bevor das Konzept erläutert wird, einen Verzicht sowohl auf Szenarien als auch auf Prognosen. Ein Charakter der Scheingenauigkeit, den Prognosen vermitteln, erscheint für ein Projekt, das in einer Situation hoher Unsicherheiten durchgeführt wird, völlig unangemessen. Die Erstellung aussagekräftiger Szenarien würde schon aufgrund der gegebenen inhaltlichen Breite einen erheblichen Aufwand verursachen und wäre praktisch ein eigenes Projekt bzw. mehrere Einzelprojekte, die den zur Verfügung stehenden Rahmen bei weitem sprengen würden. Zudem ist die beabsichtigte Orientierungsleistung für die zukünftige Ausgestaltung von Forschungsförderung und der Unterstützung des Transfers in die Praxis *nicht* auf ein umfassendes und nach allen Regeln der Kunst abgesichertes Szenarienwerk angewiesen, wie dies etwa der Fall wäre, wenn es um die Implementation von Strategien einer nachhaltigen Landnutzung ginge.

Zur Orientierung von Forschungsförderung kommt es vielmehr darauf an, kritische Phasen zukünftiger Entwicklungen zu identifizieren, Möglichkeiten von Durchbrüchen in der Umwelttechnik auf der Basis neuen Wissens oder von „enabling technologies“ zu eruieren, kritische Pfade und Hemmnisse der Umsetzung in die Praxis frühzeitig zu erkennen und Prioritäten der Förderung abzuleiten, um Orientierungen für den ziel führenden und effizienten Einsatz von Mitteln bereitzustellen. Zu diesem Zweck wurde entschieden, stark auf Aggregationen von Expertenwissen zu setzen und die mehrfachen Schleifen von Datenerhebung, Auswertung, Entwicklung von Hypothesen und Validierung in Form eines Roadmapping-Prozesses zu organisieren. Das Ziel ist nicht die Erzeugung kompletter Zukunftsentwürfe für Umwelttechnologien in Form von „Straßenkarten“, angeordnet auf der Zeitskala, mit Wegweisern und Kreuzungspunkten versehen, sondern die Herauspräparation eines auf Expertenwissen beruhenden und methodisch in mehrfachen Validierungsprozessen „objektivierten“

Bildes der weiteren Entwicklung der Umwelttechnologien, das Differenzierungen nach Handlungsfeldern, Technologiebereichen und nach umweltpolitischen Prioritäten erlaubt.

Die „Roadmap Umwelttechnologien“ wird in diesem Sinne aus einer strukturierten Reihe von Aussagen in bestimmten Handlungsfeldern über zukünftige umwelttechnologisch relevante Entwicklungen mit ihren Unsicherheiten bestehen. Sie zielt zunächst weder auf „die“ umfassende Roadmap für Umwelttechnologien generell, noch auf detaillierte Roadmaps zu Einzeltechnologien, sondern auf eine „mittlere Detaillierungsebene“, angepasst an die Anforderungen von Forschungsförderung und Unterstützung des Transfers in die Umsetzung. Sie beinhaltet Aussagen zu zeitlichen Reihenfolgen und Abhängigkeiten, zu umweltpolitischen Dringlichkeiten (Problemorientierung) und Möglichkeiten technologischer Durchbrüche, zu gegenseitigen Abhängigkeiten verschiedener Handlungsfelder und zu forschungspolitischen Prioritäten. Die Roadmaps „mittlerer Detaillierung“ umfassen einerseits die technologischen Entwicklungspfade, andererseits die entsprechenden Märkte. In der Aggregation der Vielfalt von Einzelinformationen und heterogenem Wissen wurden „Prioritätsfelder“ im Rahmen der Handlungsmöglichkeiten des BMBF bestimmt. Die Inhalte dieser Prioritätsfelder bilden die zentrale Orientierungsleistung für die weitere Förder- und Umsetzungspolitik des BMBF, so wie sie sich aus den Analysen im Rahmen dieses Projekts auf der Basis des gegenwärtigen Wissensstandes und seiner kritischen Bewertung ableiten lassen.

Der Zeitrahmen für das eigentliche Roadmapping wurde bis 2020 gewählt, um in den wesentlichen Aussagen nicht ins Spekulative abzugleiten. Eine perspektivische Erweiterung im Hinblick auf erforderliche Grundlagenforschung wurde bis ca. 2030 zugelassen. Das Roadmapping orientiert sich einerseits an den normativen Erwartungen an Umwelttechnologien (dazu Teil I, Kap. 3.3) und setzt von dieser Werte aus problem- und nachfrageorientiert an. Andererseits wird die „Angebotsseite“ des wissenschaftlichen Fortschritts bzw. die entsprechenden Expertenerwartungen in den Prozess integriert. Auf diese Weise wird im Roadmapping-Prozess eine Verschränkung von problemorientierter und technikgetriebener Sichtweise realisiert.

3.3 Das politische Zielsystem für Umwelttechnologien

Definierend für Umwelttechnologien ist, wie gesagt, ihr Beitrag zu einem nachhaltigen Umgang mit natürlichen Ressourcen (die Aufnahmekapazität der Umwelt für Emissionen sei der Einfachheit halber auch als eine Ressource verstanden). Damit bilden wissenschaftliche Diagnosen von Umweltproblemen und entsprechende Prioritätensetzungen, nationale politische Ziele hinsichtlich des Umgangs mit der natürlichen Umwelt sowie entsprechende europäische und internationale Verpflichtungen oder Absichtserklärungen den normativen Hintergrund für den wissenschaftlich-

technischen Fortschritt und entsprechende Programme zur Vorsorgeforschung in diesem Bereich. Daraus folgt direkt, dass in der Erarbeitung einer Roadmap für Umwelttechnologien diese normative Ebene national, europäisch und international einbezogen werden muss. Dieser Aspekt wird im State-of-the-Art-Report zu diesem Projekt adressiert (Schippl et al. 2008) und konnte gleichwohl im Rahmen des Projekts „Roadmap Umwelttechnologien 2020“ nur in beschränkter Detailtiefe bearbeitet werden. Für zukünftige Arbeiten könnte es geraten sein, diesem – für die Ableitung von Handlungsoptionen, Prioritätensetzungen und Empfehlungen zentralen – Aspekt eine eigenständige Bedeutung zu geben.

Ein weiteres Element im politischen Zielsystem sind Innovationsaspekte und die Förderung der deutschen Wirtschaft durch den Export von Umwelttechnologien. Vielfach wird von Synergien zwischen Ökologie und Ökonomie und von Win-win-Situationen gesprochen. Dieses Element ist selbstverständlich zu beachten und spielt eine wichtige Rolle in der politischen Debatte; es ist jedoch daran zu denken, dass es sich um einen eher *sekundären* Anteil des Zielsystems handelt, wenn es um Umwelttechnologien geht. Denn Innovations- und Wirtschaftswachstumsziele wären auch durch Investitionen in anderen Technologiefeldern zu erreichen.

Schließlich ist daran zu denken, dass die Reduzierung von Umweltbelastungen nicht nur umwelt- und wirtschaftspolitischen Zielen, sondern auch generell der Erhöhung der Lebensqualität dient, und dies gilt gerade in lokaler und regionaler Hinsicht (z.B. Qualität von Fließgewässern oder der Luft in Ballungsräumen).

Die Erstellung von Roadmaps bedarf generell einigermaßen klarer Zielvorgaben als Orientierung (Fleischer et al. 2005). Durch die genannten drei unterschiedlichen Arten von Zielen kommt es zu einer Komplizierung, da die unterschiedlichen Zielsetzungen, die mit der Erforschung und Entwicklung von Umwelttechnologien verbunden sind, nicht automatisch immer in dieselbe Richtung weisen müssen. Es kann zur Notwendigkeit der Gewichtung der Zieldimensionen untereinander oder auch zu Konflikten zwischen verschiedenen Zielen oder Teilzielen kommen, die im Einzelfall transparent darzustellen sind.

4 Methodik und Vorgehensweise

Das Projekt „Roadmap Umwelttechnologien 2020“ stellt methodisch gesehen einen komplexen Prozess der Erfassung, Aggregation und Auswertung von Expertenwissen unterschiedlicher Herkunft dar, wobei auf jeder Stufe Qualitätssicherungs- und Validierungsverfahren in Form von Rückkopplungsschleifen implementiert waren. Das Expertenwissen wurde vom Projektteam bezogen über

- Recherche publizierten Materials in Literatur und Internet
- eine Expertenumfrage und deren statistische Auswertung, sowie
- durch eine Reihe von Expertenworkshops.

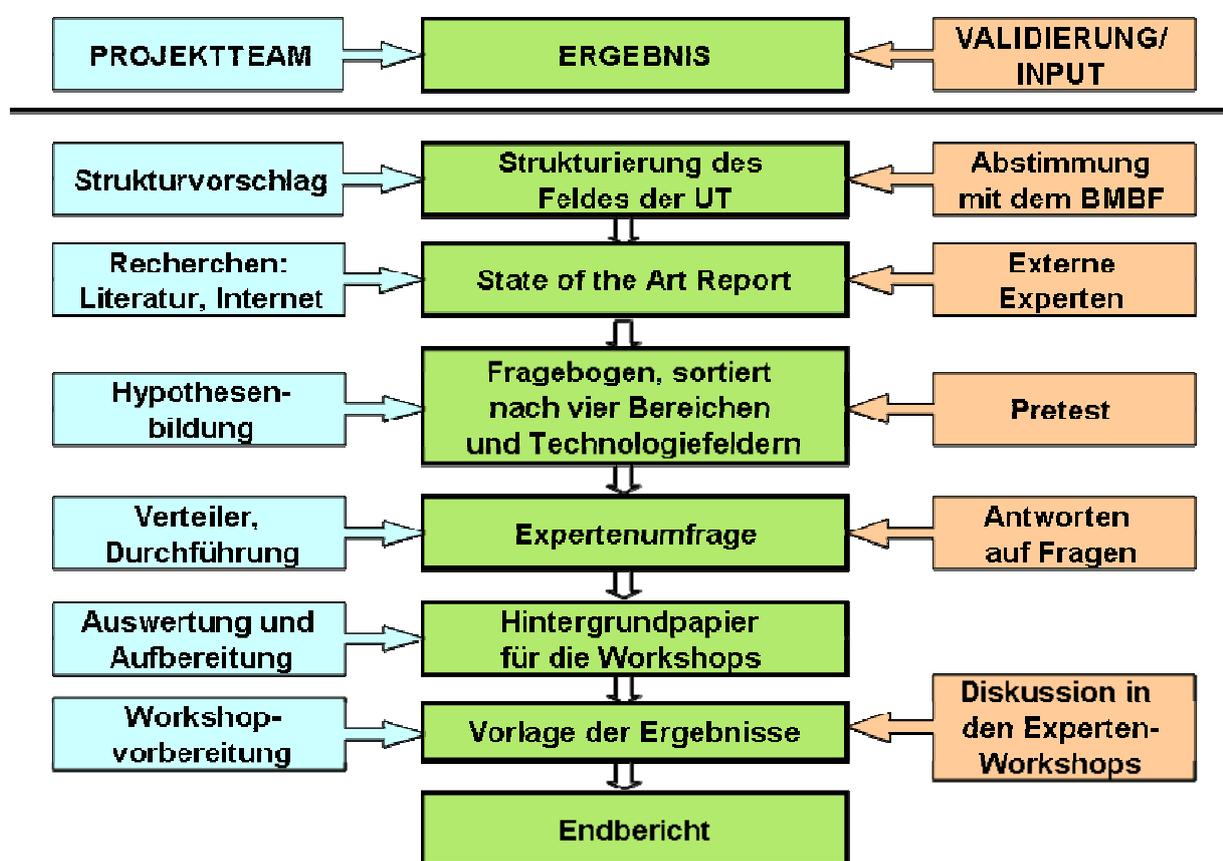


Abb. 1: Projektablauf mit Validierungsschleifen

Datenerhebung, Auswertung und Validierung wurden in folgenden Schritten durchgeführt (vgl. Abb. 1):

- (1) Als erste Aufgabe musste das unübersichtliche Feld der Umwelttechnologien für die Zwecke dieses Projekts strukturiert werden. Nach Literaturlage stehen hierfür unterschiedliche Schemata zur Verfügung:

- *Gliederung nach Problemfeldern der Umweltpolitik* (Klimaschutz, Luftreinhaltung, Gewässerschutz, Abfallbehandlung, Bodenschutz, Naturschutz, Erhalt der Biodiversität, Schutz von Materialien und Sicherung der Rohstoffverfügbarkeit) mit dem Vorteil der direkten Ankoppelbarkeit an umweltpolitische Maßnahmen;
- *Gliederung nach Belastungsarten* (wie Schadstoffarten, Mikroorganismen, Lärm, ionisierende Strahlung oder Abwärme) mit dem Vorteil der direkten Ankoppelbarkeit an Messverfahren, Regulierungen und Grenzwertdiskussionen;
- *Gliederung nach Anwendungsfeldern* (wie Landwirtschaft, Bausektor, Energiebereitstellung [in diesem Projekt nicht behandelt], industrielle Prozesse und Verfahren, Ressourcenentnahme und -aufbereitung, Transport) mit dem Vorteil der direkten Nähe zu den Akteuren (z.B. Verbände, Ministerien);
- *Gliederung nach den Funktionen der Umwelttechnik* (wie Umweltbeobachtung und Monitoring, Emissionskontrolle, Reduktion der Immissionsbelastung, Schadstoffvermeidung, Erhöhung der Ressourceneffizienz, Erhöhung der Energieeffizienz und Kompensation von Schäden).

Alle diese Klassifikationen haben ihre Vorteile und Nachteile, eine „richtige“ oder eine „an sich beste“ Klassifikation gibt es nicht. Die Entscheidung fiel für die Orientierung an Problemfeldern der Umweltpolitik aufgrund der dadurch ermöglichten Problemorientierung. Auf den weiteren Ebenen der Darstellung wurden fallweise auch die anderen Schemata verwendet.

- (2) In enger Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden für dieses Projekt folgende sieben Handlungsfelder der Umweltpolitik ausgewählt, denen in der aktuellen Debatte besondere Bedeutung beigemessen wird:
- Klimaschutz
 - Luftreinhaltung
 - Wasserschutz
 - Bodenschutz
 - Schonung endlicher Ressourcen
 - Abfallwirtschaft
 - Erhalt von Natur und Biodiversität

Dieses Raster diene zunächst als Strukturierung für den State-of-the-Art-Report über den aktuellen Stand in Entwicklung und Einsatz von Umwelttechnologien.

- (3) Die Erstellung des State-of-the-Art-Reports erfolgte durch umfangreiche Recherchen in verfügbarer Literatur und im Internet durch das Projektteam, in dem unterschiedliche disziplinäre und technologische Kompetenzen versammelt waren.

- (4) Die Zusammenstellung der Technologien im State-of-the-Art-Report und die Aussagen dazu wurden externen Experten zur Validierung vorgelegt, z.B. im Rahmen von Fachmessen.
- (5) Der im State-of-the-Art-Report (Schippel et al. 2008) dokumentierte Stand der Umwelttechnologien wurde im Projektteam ausgewertet und als Ausgangspunkt verwendet, um Hypothesen zur weiteren Entwicklung und zu kritischen Aspekten in den einzelnen Handlungsfeldern zu erarbeiten. Dabei erfolgte eine Fokussierung auf besonders interessant erscheinende Technologiebereiche.
- (6) Diese auf der Bestandsaufnahme aufbauenden Hypothesen bildeten das Material für eine groß angelegte Expertenbefragung. Für die Zwecke der Befragung wurden die im Projekt behandelten sieben Handlungsfelder zu vier Themenkomplexen zusammengefasst (die im Fragebogen durch unterschiedliche Farben gekennzeichnet waren):
 - Teil A: Wassermanagement
 - Teil B: Klimaschutz/Luftreinhaltung
 - Teil C: Bodenschutz und Erhalt der Biodiversität/Naturschutz
 - Teil D: Erhöhung der Rohstoffproduktivität/Kreislaufwirtschaft

Jeder dieser Themenkomplexe enthielt ca. 20 funktionale Beschreibungen (vgl. Addendum) von Technologien, Verfahren oder Konzepten, denen aus unserer Sicht zentrale Bedeutung zur Bewältigung der drängenden Umweltprobleme zukommt. Zu jedem Technologiebereich wurden sechs sich jeweils wiederholende Unterfragen, die sich auf die Bedeutung der betreffenden Technologie zur Lösung der Umweltprobleme, den Forschungs- und Förderbedarf, das Marktpotenzial, die Position Deutschlands im internationalen Vergleich sowie mögliche Hemmnisse für den erfolgreichen Einsatz der Technologie bezogen.

Neben den vier inhaltlichen Themenkomplexen gab es einen wiederum farblich abgesetzten allgemeinen Teil, der drei übergreifende Fragen enthielt. Diese betrafen den Problemdruck im Umweltbereich global und in Deutschland sowie den Bedarf an öffentlicher Förderung der Umwelttechnik in Deutschland. Der allgemeine Teil sollte von allen Befragten ausgefüllt werden, was im Wesentlichen auch geschehen ist, während sich das Ausfüllen der inhaltlichen Fragen auch auf Bereiche beschränken konnte und ggf. Bereichsbögen auch innerhalb der angesprochenen Organisation weitergegeben werden konnten.

- (7) Der Fragebogen wurde an ca. 1750 Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Verwaltung verschickt, von denen ca. 440 geantwortet haben. Die antwortenden Experten ordneten ihre Tätigkeit den folgenden Kategorien zu (Mehrfachnennungen möglich):

- öffentliche Forschung 44,2%
 - industrielle Forschung 20,0%
 - Technikentwicklung im Unternehmen 18,9%
 - öffentliche Verwaltung 13,6%
 - KMU 13,6%
 - Entwicklungszusammenarbeit 10,8%
 - Nichtregierungsorganisation 8,8%
 - Politik 6,9%
 - Marketing 5,8%
- (8) Die Ergebnisse der Umfrage wurden auf Grundlage von SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, Statistik- und Analysesoftware) statistisch erfasst und ausgewertet. Die Auswertung gestaltete sich stellenweise schwierig, insbesondere da die Grundgesamtheit, auf die die Expertenmeinungen bezogen wurden, nicht konstant war, weder zwischen den vier Bereichen noch zwischen den Technologien noch zwischen den jeweiligen Fragen dazu. Diesem Umstand musste durch besondere Sorgfalt im Umgang mit dem Datenmaterial und im Ziehen von Schlussfolgerungen begegnet werden.
- (9) Die vorläufigen Ergebnisse der Auswertung wurden als Basismaterial für Experten-Workshops in den genannten vier Bereichen genutzt. Diese Workshops in der Schlussphase des Projekts dienten einerseits zur Validierung der Umfrageergebnisse sowie als Forum für langfristig orientierte, eher visionäre Reflektionen über den Zeithorizont 2020 hinaus und bildeten damit den letzten Schritt der Datenerhebung und Validierung.

Die in diesem Bericht präsentierten Ergebnisse sind damit Resultat eines ausgesprochen komplexen Prozesses der Erfassung, Aggregation und Auswertung von Expertenwissen unterschiedlicher Art, versehen mit mehreren Validierungsschritten zur Sicherstellung von Objektivität und Transparenz (vgl. Abb. 1).

Teil II
Darstellung der Ergebnisse von
Befragung und Workshops

1 Allgemeine Fragen

Die drei übergreifenden Fragen des Allgemeinen Teils betrafen den Problemdruck in den einzelnen Umwelthandlungsfeldern global und in Deutschland sowie den Bedarf an öffentlicher Förderung der Umwelttechnik in Deutschland. Die Fragen lauteten:

- Wie schätzen Sie den *globalen* Problemdruck in den nächsten 10 bis 20 Jahren in den folgenden Umwelthandlungsfeldern ein?
- Wie schätzen Sie den Problemdruck *in Deutschland* in den nächsten 10 bis 20 Jahren in den folgenden Umwelthandlungsfeldern ein?
- In welchem Umfang sollten Umwelttechnologien in den folgenden Handlungsfeldern zukünftig durch *öffentliche Förderprogramme* in Deutschland unterstützt werden?

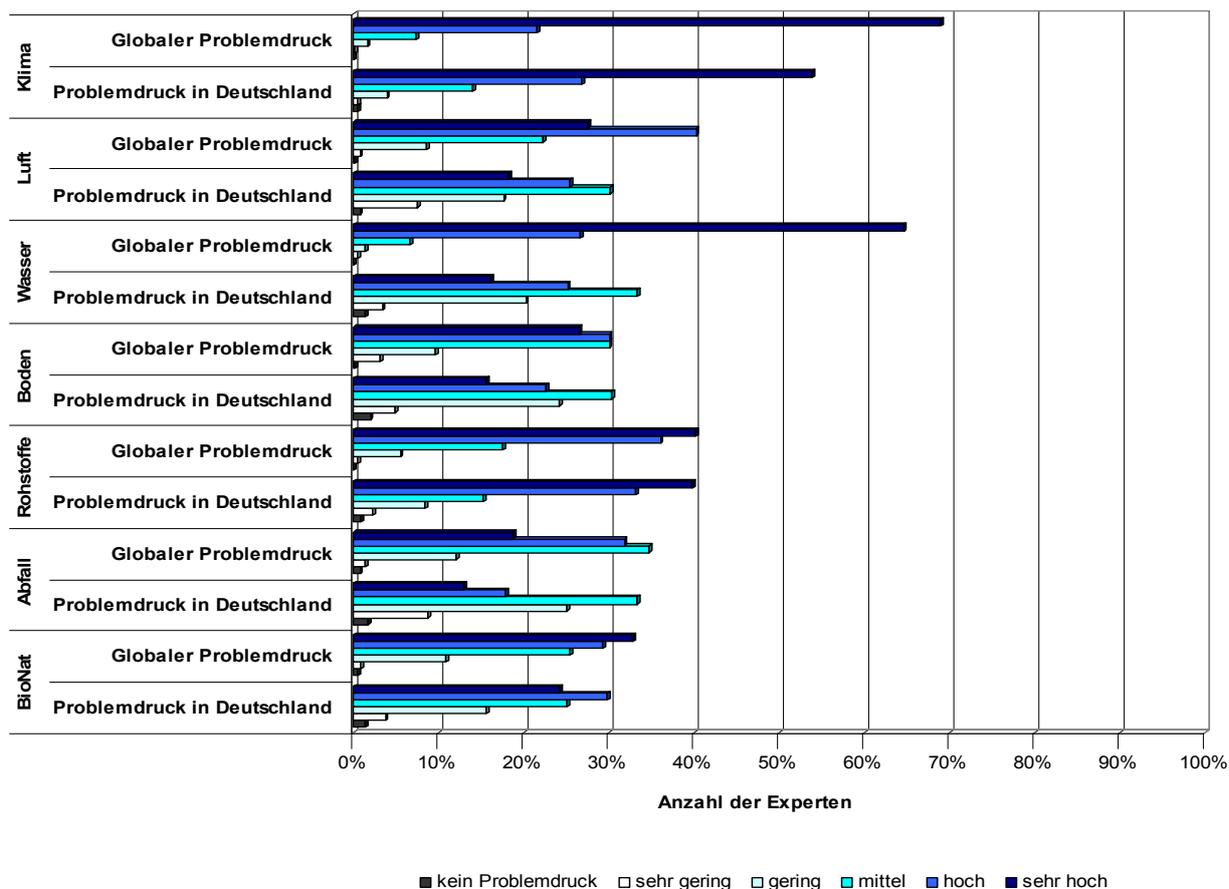


Abb. 2: Problemdruck global / national nach Handlungsfeldern

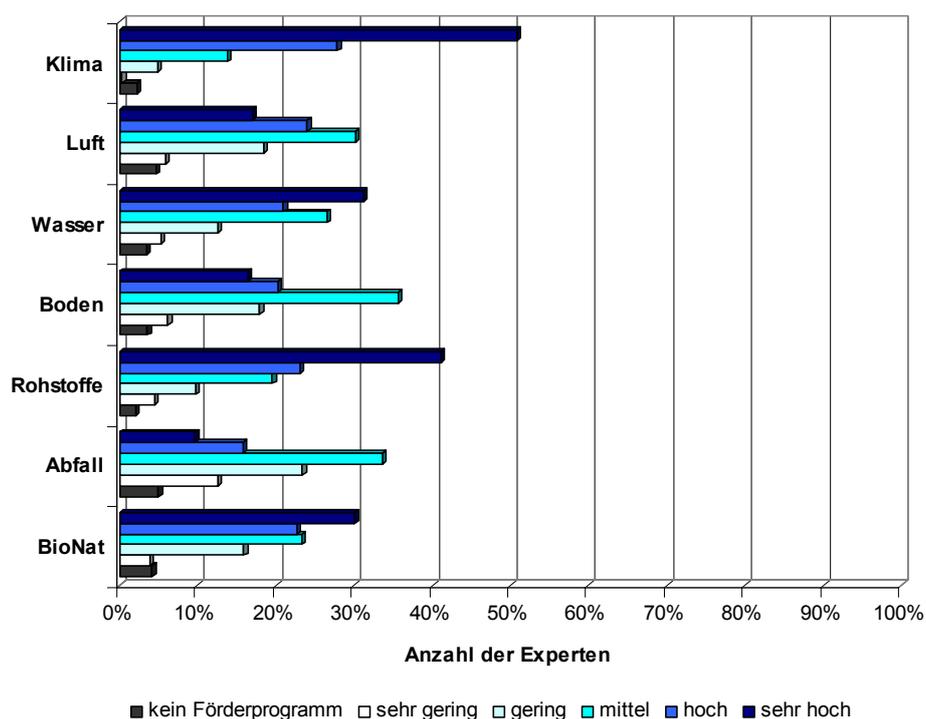


Abb. 3: Bedarf an öffentlichen Förderprogrammen

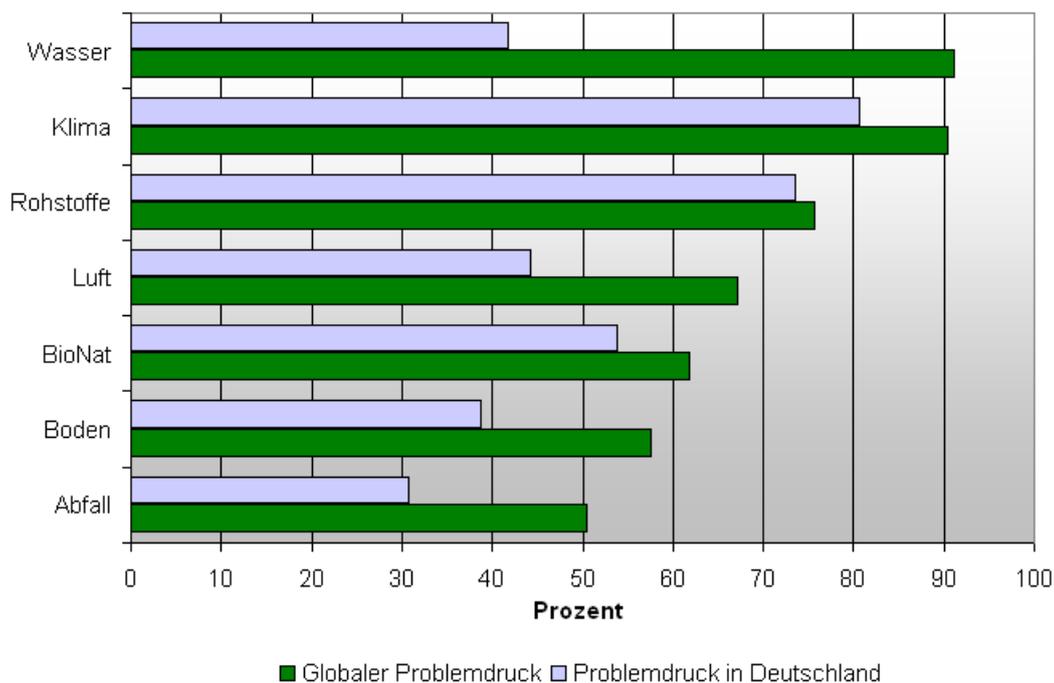


Abb. 4: Wie schätzen Sie den Problemdruck global/in Deutschland in den nächsten 10 bis 20 Jahren in den folgenden Umwelthandlungsfeldern ein? (Die beiden höchsten Wertebereiche sind aggregiert, in Prozent dargestellt und nach dem globalen Problemdruck gerankt.)

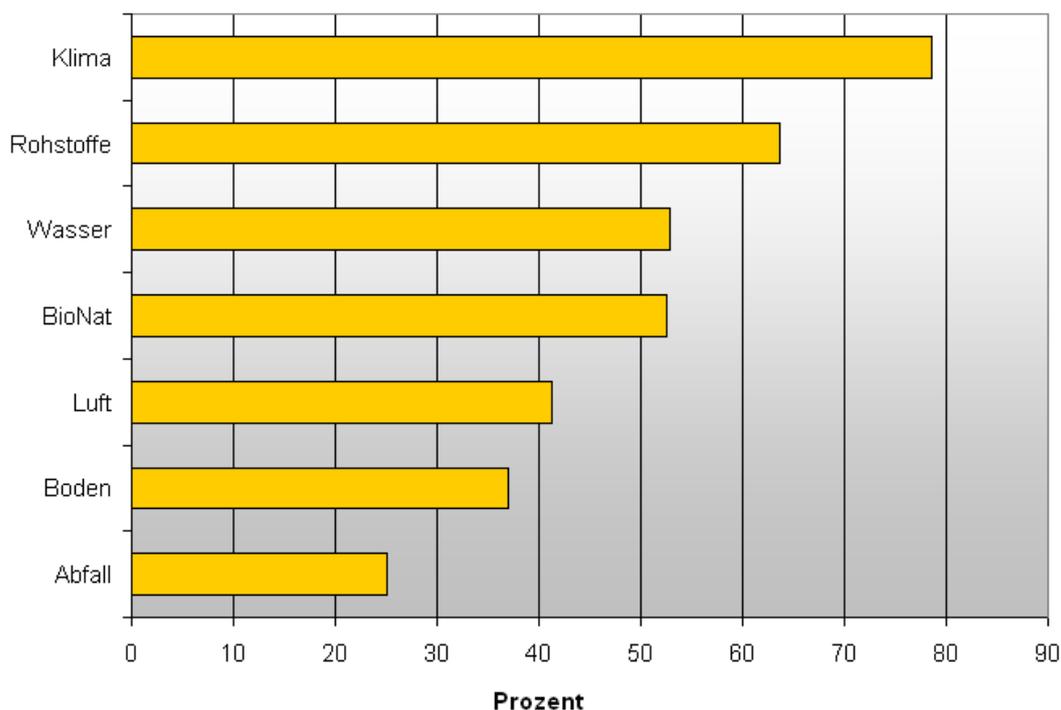


Abb. 5: In welchem Umfang sollen Umwelttechnologien in den folgenden Handlungsfeldern zukünftig durch öffentliche Förderprogramme in Deutschland unterstützt werden? (Die beiden höchsten Wertbereiche sind aggregiert und in Prozent dargestellt.)

Die in Abb. 2 dargestellte Verteilung zeigt ein sehr unterschiedliches Bild für die verschiedenen Handlungsfelder. Ein sehr hoher Problemdruck wird allgemein für das Handlungsfeld Klimaschutz sowie auf globaler Ebene für das Handlungsfeld Wasser gesehen. Aggregiert man die beiden Antwortkategorien „hoch“ und „sehr hoch“, wie in Abb. 4 geschehen, so wird deutlich, dass auch für den Bereich Rohstoffe sowohl auf globaler wie auch auf nationaler Ebene von über 70% der antwortenden Experten ein mindestens hoher Problemdruck gesehen wurde.

In Abb. 2 fällt weiter auf, dass die zweithöchste Kategorie „hoch“ am häufigsten für den globalen Problemdruck im Handlungsfeld Luft verwendet wurde. Der Problemdruck auf nationaler Ebene wird hier deutlich geringer eingeschätzt. Im Bereich Bodenschutz wurde allgemein die Kategorie „mittlerer Problemdruck“ mit am häufigsten gewählt, auf globaler Ebene entschieden sich dabei immer noch viele Experten für „hoch“ und „sehr hoch“, während auf nationaler Ebene die Kategorie „geringer Problemdruck“ häufig gewählt wurde.

Ein sehr ähnliches Verteilungsmuster zeigt der Bereich Abfallwirtschaft, mit deutlich geringerer Einschätzung des nationalen im Vergleich zum globalen Problemdruck. Auch im Handlungsfeld Biodiversität ist ein ähnlicher Abstand in der Einschätzung

zwischen lokaler und globaler Ebene erkennbar, wobei sich hier auf globaler Ebene über 30% der Experten für einen sehr hohen Problemdruck aussprachen.

In Abb. 4, in der die Antwortkategorien „hoch“ und „sehr hoch“ aggregiert wurden, zeigt sich kein wesentlich anderes Bild als in der Darstellung der oben gewählten vollständigen Darstellung der Verteilung (s. Abb. 2): Die Befragten sehen den größten Problemdruck auf globaler Ebene in den Handlungsfeldern Klima, Wasser und Rohstoffe. Der Klimaschutz steht auf nationaler Ebene an erster Stelle. Der Problemdruck im Handlungsfeld Luftreinhaltung wird global als eher hoch eingeschätzt, auf nationaler Ebene dagegen deutlich niedriger. Ein deutlicher Problemdruck mit relativ geringem Unterschied zwischen nationaler und globaler Ebene zeigt sich im Bereich Erhalt von Biodiversität und Naturschutz.

Der höchste Bedarf an öffentlicher Forschungsförderung in Deutschland (s. Abb. 3, Abb. 5) wird mit Abstand im Bereich des Klimaschutzes gesehen. Bereits an zweiter Stelle folgt jedoch der Förderbedarf zur Steigerung der Rohstoffproduktivität. Auch im Bereich des Erhalts von Biodiversität und Naturschutz wird ein hoher Förderbedarf gesehen, was einerseits daran liegen kann, dass dieses Handlungsfeld mehr einem öffentlichen als privaten Interessen zugeordnet wird. Andererseits sei darauf hingewiesen, dass das mediale Interesse an diesem Thema zur Zeit der Umfrage recht hoch war, sicherlich unterstützt durch die im Frühjahr 2008 in Bonn ausgetragene UNO-Konferenz zu Biodiversität.

Der Förderbedarf im Bereich Luftreinhaltung und Abfallwirtschaft wird wiederum als vergleichsweise geringer eingeschätzt. In allen Handlungsfeldern gibt es einen geringen Anteil an Experten, der keinen Forschungsbedarf sieht. Dieser Wert erreicht in einigen Handlungsfeldern um die 5%, besonders bei Abfallwirtschaft und Luftreinhaltung.

In den *Workshops* wurde das durch das Befragungsergebnis entstandene Bild in vielerlei Hinsicht argumentativ gestützt, in einigen Bereichen aber auch kritisiert. So entsprachen die Ergebnisse aus den Handlungsfeldern Klimaschutz und Rohstoffe der Wahrnehmung der entsprechenden Workshop-Teilnehmer. Demnach ist der Klimawandel das derzeit national und global vordringlich diskutierte Thema, dem ein entsprechend hoher Problemdruck zugewiesen wird. In den Diskussionen zu den einzelnen Technologiegruppen wurde dieser Eindruck immer wieder bestätigt. Eine breite Diskussion entstand aber im Hinblick auf die relativ geringe Bedeutung von Problemdruck und Forschungsbedarf für das Handlungsfeld Luftreinhaltung, der viele der Workshop-Teilnehmer nicht folgen konnten. Der Bereich Luftreinhaltung sei gerade im Vergleich zum heute allseits diskutierten Thema Klimawandel in seiner Bedeutung auch für Deutschland erheblich unterschätzt. Zugespitzt wurde dies in der Aussage, dass Luftbelastung kurz- bis mittelfristig mindestens ebenso große, wenn nicht gar größere Auswirkungen, besonders auf die Gesundheit, aber auch auf die

Umwelt habe, als der Klimawandel (z.B. Feinstaubproblematik, bodennahes Ozon, Zusammenhänge zwischen Luftbelastung und Krebsraten).

Der hohe Problemdruck und Forschungsbedarf, der in der Befragung dem Handlungsfeld Rohstoffe zugewiesen wurde, wurde durch den Workshop ebenfalls bestätigt.

Verschiedene Teilnehmer des Workshops äußerten allerdings Verwunderung über die geringe Bedeutung, die dem Bereich der Abfallwirtschaft in der Umfrage zugemessen wurde; sie steht im Ranking der befragten Experten sowohl aus nationaler wie aus globaler Perspektive an letzter Stelle (s. Abb. 4). Diese Positionierung wird nach Ansicht der Workshop-Teilnehmer dem weltweiten Problemdruck im Abfallbereich nicht gerecht. Im Hinblick auf die Behandlung / Verbrennung / Verwertung von Abfällen, die unter dem Aspekt der CO₂- und CH₄-Emissionen auch sehr klimarelevant sei, bestehe auf globaler Ebene erheblicher Nachholbedarf. Für die deutsche Abfalltechnik, die weltweit anerkannt sei, ergäben sich dadurch gute Vermarktungschancen. Dabei müsse insbesondere auch der Lowtech-Bereich berücksichtigt werden, der in Schwellen- und Entwicklungsländern ein großes Marktpotenzial habe. In Deutschland seien zwar im internationalen Vergleich bereits viele Probleme gelöst, dennoch ließen sich durch eine Intensivierung der Forschungstätigkeit im Bereich Stoffstrommanagement und Kreislaufschließung noch große Fortschritte erzielen.

Der hohe globale Problemdruck im Bereich Wasser wurde von den Workshop-Teilnehmern bestätigt. Allerdings wurde die relativ niedrige Einschätzung des Problemdrucks auf nationaler Ebene von den Teilnehmern des Workshops nicht geteilt. Einhellige Meinung der Workshop-Teilnehmer war, dass Deutschland sich auf nationaler Ebene noch nicht zurücklehnen könne und dass auch in den Industrieländern noch viele Probleme zu lösen seien, lediglich die relevanten Themen seien anders geartet. Ein wichtiges Themengebiet sei die Nahrungsmittelsicherheit bei zunehmender Weltbevölkerung, und damit die verstärkte Bewirtschaftung von landwirtschaftlich genutzten Flächen und Erhöhung des Wasserverbrauchs durch die Landwirtschaft. Zu beachten sei hierbei, dass dies kein Thema außerhalb der Grenzen Deutschlands sei, sondern auch in Deutschland die Bewässerungslandwirtschaft stark zunehmen werde. In diesem Kontext seien intelligente Bewässerungssysteme, Technologien zur Nährstoffrückgewinnung, Nutzungsoptimierungen aber auch innovative Bewirtschaftungssysteme interessant. Daneben sollte ein Schwerpunkt die zukünftige Entwicklung von urbanen Räumen sein.

Im Bereich Erhalt von Biodiversität und Naturschutz bestätigten die Workshop-Teilnehmer weitgehend die Ergebnisse der Befragung; im Bereich Bodenschutz wurde teilweise argumentiert, dass das Thema unterschätzt würde.

2 Wassermanagement

2.1 Einführung

Zu den zentralen Herausforderungen der Menschheit gehören die nachhaltige Versorgung der Weltbevölkerung mit Trink- und Brauchwasser, die Reduktion der Gewässerverschmutzung und die Sicherung der Wasserkreisläufe. Neben politischen, ökonomischen und institutionellen Lösungsansätzen spielen insbesondere technologische Innovationen eine wichtige Rolle zur Erreichung dieser Ziele. Es lassen sich drei Strategien formulieren, die zum einen unterschiedliche technologische Ansätze erfordern und zum anderen an unterschiedlichen Stellen der Wertschöpfungskette ansetzen: (1) die Minimierung des Wasserverbrauchs und die Maximierung der Verfügbarkeit, (2) die Technologien zur Wasseraufbereitung sowie (3) die Technologien zur Wassergewinnung. Auf Basis dieser Strategien haben wir aus dem breiten Spektrum der Technologien des State-of-the-Art-Reports zu diesem Projekt und in diesem Kontext durchgeführten Evaluierungsinterviews diejenigen ausgewählt, denen aus unserer Sicht zentrale Bedeutung zur Lösung der Probleme im Bereich des Wassermanagements zukommt. Die 16 ausgewählten Technologien weisen einen sehr unterschiedlichen Detaillierungsgrad auf: Teilweise handelt es sich um ganz spezifische Verfahren, teilweise um Technologiegruppen oder eher Paradigmen. Zur besseren Übersicht und Darstellung der Ergebnisse der Expertenbefragung haben wir die ausgewählten Technologiebereiche in drei Technologiegruppen zusammengefasst, die aber nicht konsequent den drei oben genannten Strategien folgen:

- *Gruppe 1* beschäftigt sich mit den Technologien zur Abwasserbehandlung.
- *Gruppe 2* umfasst Technologien, die vornehmlich der Wasseraufbereitung zuzuordnen sind.
- *Gruppe 3* ist auf Technologien fokussiert, die primär der Reduktion des Wasserverbrauchs dienen.

Die aufbereiteten Ergebnisse der Expertenbefragung wurden analog zu den anderen Clustern „Klimaschutz / Luftreinhaltung“, „Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft“ und „Bodenschutz / Biodiversität“ in einem eintägigen Workshop Experten aus Wissenschaft, Politik und Industrie vorgestellt und kritisch diskutiert. Das Konzept und die Ziele von Befragung und Workshop sind in Teil I beschrieben.

Wie die Auswertung des Allgemeinen Teils der Expertenbefragung (s. Abb. 4, S. 21) zeigt, sehen die Befragten den größten Problemdruck in den nächsten 10 bis 20 Jahren auf nationaler Ebene in den Bereichen Klima und Rohstoffe. Der Problemdruck im Bereich Wasser wird deutlich geringer eingeschätzt und liegt noch hinter dem Er-

halt von Biodiversität/Naturschutz und dem Problemdruck im Bereich der Luftreinhaltung.

Im globalen Kontext steht ganz im Gegensatz dazu nach Meinung der schriftlich befragten Experten der Wasserschutz an erster Stelle.

Diese Schere zwischen niedrigem Problemdruck auf nationaler Ebene und hohem Problemdruck im internationalen Kontext wurde von den Teilnehmern des Workshops nicht geteilt und sogar stark infrage gestellt. Ihrer Ansicht nach ist das bisher in Deutschland im Wasserschutz Erreichte nicht hinreichend. Einhellige Meinung der Workshop-Teilnehmer war, dass Deutschland sich auf nationaler Ebene noch nicht zurücklehnen könne und dass auch in den Industrieländern noch viele Probleme zu lösen seien, lediglich die relevanten Themen seien anders geartet. In Entwicklungsländern seien z.B. weniger Spurenstoffe als vielmehr Krankheitserreger, Geruchs- und Geschmacksprobleme ein Thema.

Im Folgenden werden für alle Technologiegruppen die Ergebnisse der Expertenbefragung, die auch als schriftliche Hintergrundinformationen vorab den Teilnehmern des Workshops zur Verfügung standen sowie die Ergebnisse des Experten-Workshops vorgestellt.

2.2 Technologiegruppe 1: Abwasserbehandlung

Auswahl der Technologiebereiche

Neuartige Konzepte einer ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltigen Abwasserwirtschaft beruhen auf einer ganzheitlichen Betrachtung der gekoppelten Stoffströme. Die neuen Vorstellungen betrachten Abwasser als Rohstoff. Sie zielen somit auf die systematische Schließung lokaler Stoffkreisläufe und ermöglichen letztlich Kreislaufwirtschaftssysteme, wie sie im Bereich der festen Abfälle bereits weit verbreitet sind. Im Idealfall ermöglichen derartige Systeme eine nahezu vollständige Rückgewinnung aller in häuslichen, gewerblichen und industriellen Abwässern enthaltenen Nährstoffe, organischen Stoffe und Spurenelemente sowie deren Nutzbarmachung z.B. in der Landwirtschaft oder direkt im Produktionsprozess. Dies wird im Haushalt und Gewerbe bspw. durch getrennte Sammlung und Behandlung von Grauwasser, Gelb- / Braunwasser bzw. Schwarzwasser realisiert. In industriellen Prozessen gibt es verschiedenste Möglichkeiten für produktionsintegrierte Maßnahmen zur Reduzierung des Wasserverbrauchs, zum Recycling von Prozesswässern und zur Kreislaufführung, vor allem von Wasch- und Spülwässern. Hinsichtlich des Schutzes der Wasserqualität sind insbesondere Techniken aussichtsreich, die Mikroverunreinigungen, wie Arzneimittelrückstände oder hormonaktive Substanzen eliminieren können. Auch die Wärmerückgewinnung von Abwässern oder Kühlwässern kann

lokal eine deutliche Entlastung von Gewässerökosystemen bedeuten, die klimabedingt zunehmend unter Stress stehen.

Aus der Fülle innovativer Technologien in diesem Bereich (vgl. State-of-the-Art-Report) wurden die folgenden sechs in den Fragebogen einbezogen:

A01	Technologien zur Nährstoffrückgewinnung
A02	Technologien zur Wärmerückgewinnung aus kommunalen Abwässern
A03	Neue biotechnische Verfahren zur Anwendung anaerober Technologien bei der kommunalen Abwasserbehandlung
A04	Technologien zur Eliminierung von Mikroverunreinigungen aus Abwässern (z.B. Arzneimittelrückstände und hormonell wirkende Substanzen)
A05	Technologien und Verfahren zum Rückhalt und zur Entfernung von Nanopartikeln aus Abwässern bei Fertigungsprozessen in der Nanotechnologie
A06	Neue technologische Ansätze zur Kreislaufführung von Prozesswässern

.2.1 Ergebnisse der Expertenbefragung

Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Wassermanagementproblemen

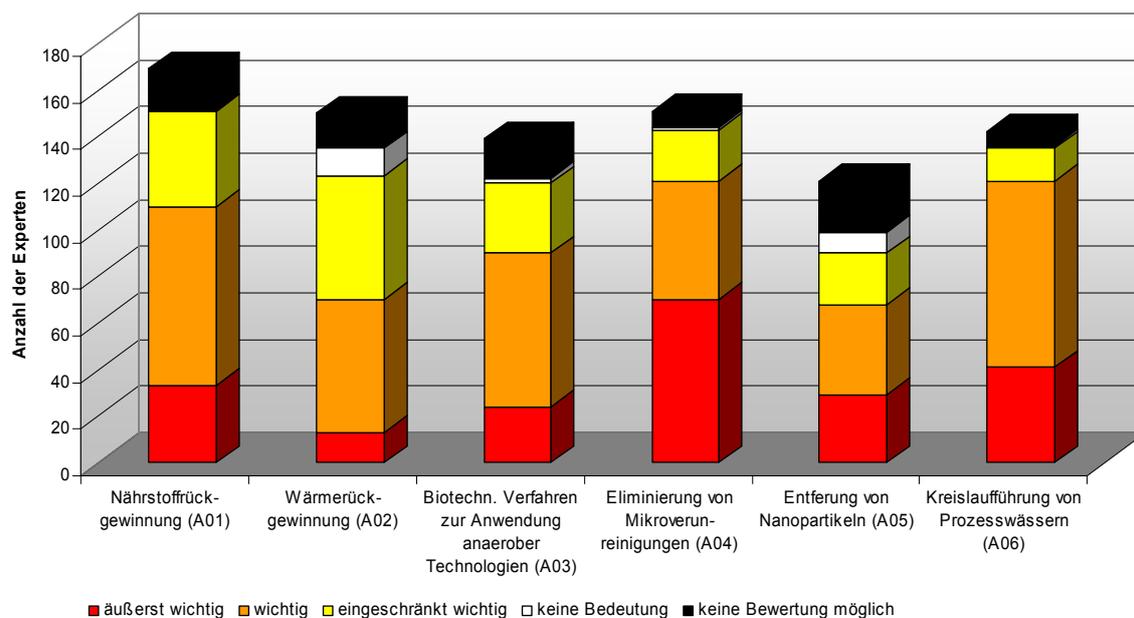


Abb. 6: Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Wassermanagementproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Wie Abb. 6 zeigt, hält die Mehrzahl der Befragten die ausgewählten Technologien für wichtig (orange) oder sogar für äußerst wichtig (rot). Der Anteil derjenigen, die ihnen keine Bedeutung zumessen, ist sehr gering. Am höchsten ist er bei den Technologien zur Wärmerückgewinnung aus kommunalen Abwässern (A02). Fast die Hälfte der Befragten (65 von 135 Experten) weisen diesem Technologiebereich nur eingeschränkte (gelb) oder gar keine Bedeutung (weiß) zu. Die Technologien zur Wärmerückgewinnung aus kommunalen Abwässern (A02) scheinen auch eher kontrovers betrachtet zu werden, da sich der Anteil der Experten, die dieser Technologie eine zukünftige Bedeutung zurechnen, und denen, die ihr eher keine Bedeutung zumessen, die Waage halten. Den Technologien zur Eliminierung von Mikroverunreinigungen aus Abwässern (A04) wird zukünftig die höchste Bedeutung (Kategorie „äußerst wichtig“) zugewiesen.

Positive und negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche

Bei den *Technologien zur Nährstoffrückgewinnung* (A01) werden als Vorteile die Reduzierung der Eutrophierung von Oberflächengewässern, die Verbesserung der Gewässerqualität, der Schutz der Trinkwasserressourcen und die Verringerung der N₂O-Emissionen und damit die Auswirkungen auf die Denitrifizierung bei der Abwasserbehandlung genannt. Positive Auswirkungen auf andere Umwelthandlungsfelder werden durch die Schonung der Georessourcen (z.B. Entlastung natürlicher Phosphor-Quellen), den geringeren Einsatz von Düngemitteln (Schutz des Bodens) und den Arten- und Biotopschutz in Oberflächengewässern (Erhalt von Biodiversität und Naturschutz) erwartet. Negative Auswirkungen werden im Hinblick auf einen höheren Energieverbrauch und eventuell durch höhere Kosten befürchtet. Besonders hingewiesen wurde generell auf die Notwendigkeit, ein nachhaltiges Stoffstrommanagement zu verfolgen.

Bei den *Technologien zur Wärmerückgewinnung aus kommunalen Abwässern* (A02) werden sehr viel weniger negative als positive Auswirkungen genannt. Als Vorteile werden bspw. die CO₂-Reduktion durch Einsparung fossiler Energieträger und damit die Energieeffizienz und Auswirkungen auf den Klimaschutz genannt. Die negativen Auswirkungen beziehen sich auf die schlechtere Kläranlagenleistung, die zu hohen Kosten und fehlende Kapazitäten.

Als Vorteile bei den *Neuen biotechnischen Verfahren zur Anwendung anaerober Technologien bei der kommunalen Abwasserbehandlung* (A03) werden generell die Schonung fossiler Primärenergie (Klimaschutz) und die Gewässerentlastung angeführt. Negative Auswirkungen werden im Hinblick auf evtl. entstehende Herstellungsemissionen und die Bildung von Metaboliten genannt.

Den *Technologien zur Eliminierung von Mikroverunreinigungen aus Abwässern (z.B. Arzneimittelrückstände und hormonell wirkende Substanzen) (A04)* werden bis auf einen möglichen höheren Energiebedarf und die hohen Kosten nur positive Auswirkungen zugeschrieben. Als Vorteile werden der Schutz der Gesundheit (z.B. Fertilität, Allergien), die Vermeidung der Akkumulation von persistenten Stoffen, der Arten- und Naturschutz, die Vermeidung bzw. Reduktion von Verunreinigungen anderer Umweltbereiche, die Erhöhung der Güte von Oberflächengewässern, der Grundwasserschutz und damit die Schonung von Trinkwasserreservoirs gesehen.

Positive Effekte von *Technologien und Verfahren zum Rückhalt und zur Entfernung von Nanopartikeln aus Abwässern bei Fertigungsprozessen in der Nanotechnologie (A05)* sind nach Meinung der befragten Experten der Arbeitsschutz, der generelle Schutz der Umweltmedien, die Gesundheit von Mensch, Tier und Pflanze sowie der Schutz der Gewässergüte und der Erhalt der Biodiversität. Nachteile werden nur in geringem Maße genannt. So werden ein höherer Energiebedarf und ökotoxikologische Effekte befürchtet.

Die *Neuen technologischen Ansätze zur Kreislaufführung von Prozesswässern (A06)* ermöglichen nach Ansicht der Experten ein geringeres Abfallaufkommen, weniger Abwässer, eine erhöhte Energieeffizienz, eine geringere Belastung von Gewässern, einen verringerten Wassereinsatz und damit weniger Stromverbrauch zur Frischwasserförderung. Dadurch haben sie auch einen positiven Effekt auf den Klimaschutz. Interessant ist, dass von den meisten Experten eine Verringerung des Abfallaufkommens und Energieverbrauchs erwartet werden, von einigen Experten aber auch eine Erhöhung. Hier scheint es eine kontroverse Einschätzung der technologischen Ansätze zu geben.

Forschungsbedarf / Förderbedarf

Wie Abb. 7 zeigt, besteht generell eine enge Korrelation zwischen Forschungs- und Förderbedarf, die entsprechenden Kurven verlaufen jeweils praktisch parallel und sehr dicht nebeneinander. Daraus kann man den Schluss ziehen, dass in Bereichen in denen hoher Forschungsbedarf besteht, auch ein hoher Bedarf an öffentlicher Förderung gesehen wird. Eine Ausnahme stellt der Bereich „Demonstration und Marketing“ dar, bei dem der Bedarf an Forschungsförderung als deutlich geringer eingeschätzt wird als der Forschungsbedarf.

Die Abbildung zeigt weiter, dass ein hoher Forschungsbedarf vor allem im Bereich der Technologieentwicklung (rote Kurve) gesehen wird. Der Forschungs- und Förderbedarf in den anderen Bereichen unterscheidet sich hingegen von Technologie zu Technologie. Bei Technologien und Verfahren zum Rückhalt und zur Entfernung von Nanopartikeln aus Abwässern bei Fertigungsprozessen in der Nanotechnologie

(A05) wird bspw. der Forschungsbedarf zur „Anpassung an die Anforderungen von Schwellen- und Entwicklungsländern“ (violette Kurve) als deutlich weniger vordringlich eingeschätzt als bei den Technologien zur Nährstoffrückgewinnung (A01) oder den Technologien zur Kreislaufführung von Prozesswässern (A06). Bedarf an Grundlagenforschung besteht insbesondere im Hinblick auf Technologien zur Eliminierung von Mikroverunreinigungen aus Abwässern (A04) sowie Technologien zur Entfernung von Nanopartikeln aus Abwässern (A05).

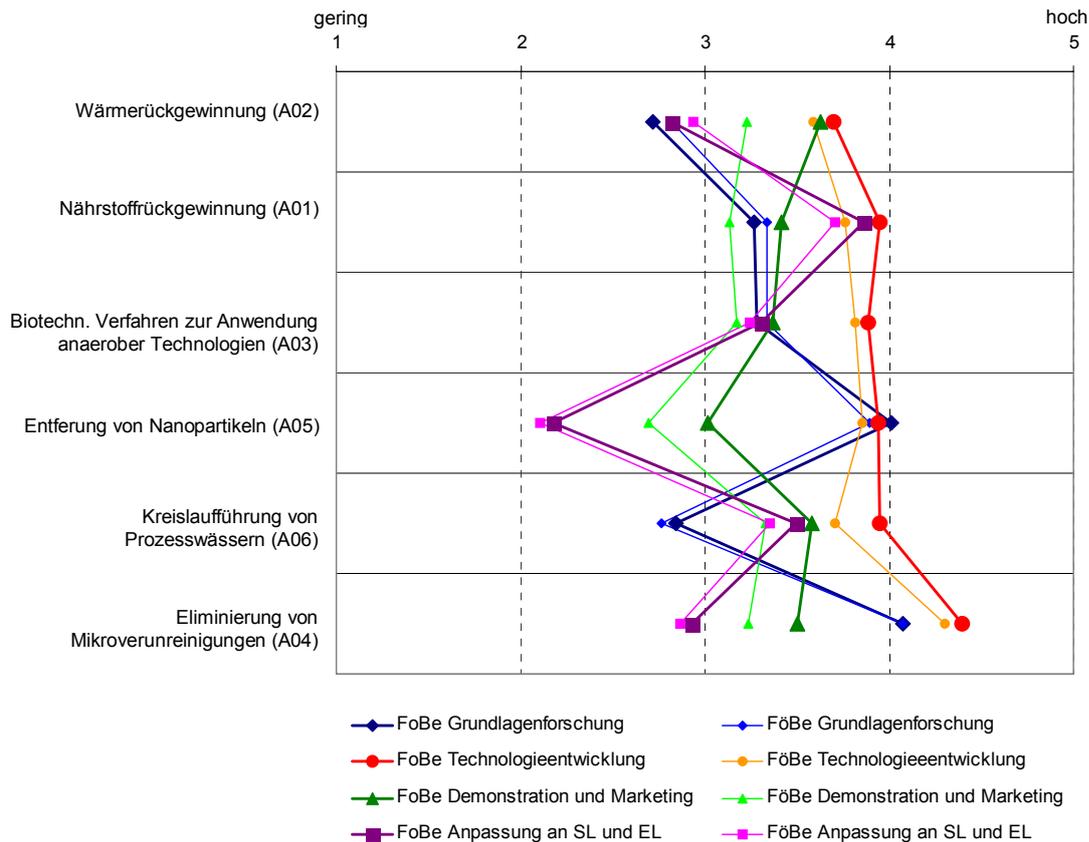


Abb. 7: Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Bei den Technologien zur Wärmerückgewinnung (A02) fällt die vergleichsweise hohe Zahl der Nennungen der Kategorie „kein Bedarf“ auf (s. Tab. 1). Diese liegen zwischen 9,9% für den Förderbedarf bei „Demonstration und Marketing“ und sogar 15,5% beim Förderbedarf für die Grundlagenforschung. Nur die Nennungen für den Forschungsbedarf bei der Technologieentwicklung fallen mit 2,4% der Experten bzw. 4,3% für „Demonstration und Marketing“ vergleichsweise gering aus.

Tab. 1: Anzahl der Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ (absolute Nennungen/Gesamtexpertenzahl)

		A01	A02	A03	A04	A05	A06
Förderbedarf	Grundlagenfor.	5,8% (8/137)	15,5% (18/116)	3,9% (4/102)	1,6% (2/127)	0% (0/86)	4,4% (5/113)
	Technologieentw.	2,2% (3/139)	10,3% (12/117)	3,9% (4/103)	1,6% (2/126)	2,4% (2/85)	0,9% (1/113)
	Demo u. Marketing	19,6% (14/132)	9,9% (11/111)	9,4% (9/96)	8,4% (10/119)	11,1% (9/81)	6,5% (7/107)
	Anpassung SL / EL	8,2% (11/134)	17,7% (20/113)	7,2% (7/97)	11,7% (14/120)	14,1% (11/78)	7,4% (8/108)
Forschungsbedarf	Grundlagenfor.	5,6% (8/143)	11,7% (14/120)	1,0% (1/105)	0,8% (1/132)	0% (0/88)	2,5% (3/118)
	Technologieentw.	1,4% (2/145)	2,4% (3/123)	0,9% (1/106)	0,8% (1/131)	1,2% (1/85)	0% (0/121)
	Demo u. Marketing	6,5% (9/139)	4,3% (5/117)	4,1% (4/98)	5,7% (7/122)	8,6% (7/81)	3,5% (4/114)
	Anpassung SL / EL	5,9% (8/136)	12,6% (15/119)	4,1% (4/98)	7,2% (9/125)	12,7% (10,79)	5,3% (6/113)

Generell wird für alle Technologiebereiche eher kein Förderbedarf für „Demonstration und Marketing“ gesehen, sodass die Nennungen der Kategorie „kein Bedarf“ zwischen 6,5% für die Neuen technologischen Ansätze zur Kreislaufführung von Prozesswässern (A06) und 19,6% für die Technologien zur Nährstoffrückgewinnung aus Abwässern (A01) liegen. Gleiches gilt für den Förderbedarf der „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“. Hier liegt die Anzahl der Nennungen bei „kein Bedarf“ zwischen 7,2% bei den neuen biotechnischen Verfahren zur Anwendung anaerober Technologien (A03) und 17,7% bei den Technologien zur Wärmerückgewinnung aus kommunalen Abwässern (A02). Darüber hinaus sehen die Experten mit einer Anzahl der Nennungen „kein Bedarf“ von 12,7% bei den Technologien und Verfahren zum Rückhalt von Nanopartikeln (A05) wenig Forschungsbedarf bezüglich der „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“.

Marktpotenziale

Bei allen Technologiebereichen dieser Gruppe zeigt sich ein typisches Muster, das sich auch für andere Themenkomplexe dieser Befragung herauskristallisiert hat (s. Abb. 8): Hohes Marktpotenzial in den Industrieländern (blaue Kurve), mittleres

Marktpotenzial in den Schwellenländern (rote Kurve) und eher niedriges Marktpotenzial in den Entwicklungsländern (grüne Kurve). Eine Ausnahme bilden die Technologien zur Nährstoffrückgewinnung (A01), bei denen das Marktpotenzial in Industrie- und Schwellenländern von den befragten Experten als gleich hoch eingeschätzt wird.

Vergleichsweise geringe Marktpotenziale in Entwicklungs- und Schwellenländern werden bei Technologien zur Wärmerückgewinnung aus kommunalen Abwässern (A02), bei den Technologien zur Eliminierung von Mikroverunreinigungen (A04) und bei Technologien zur Entfernung von Nanopartikeln aus Abwässern (A05) gesehen.

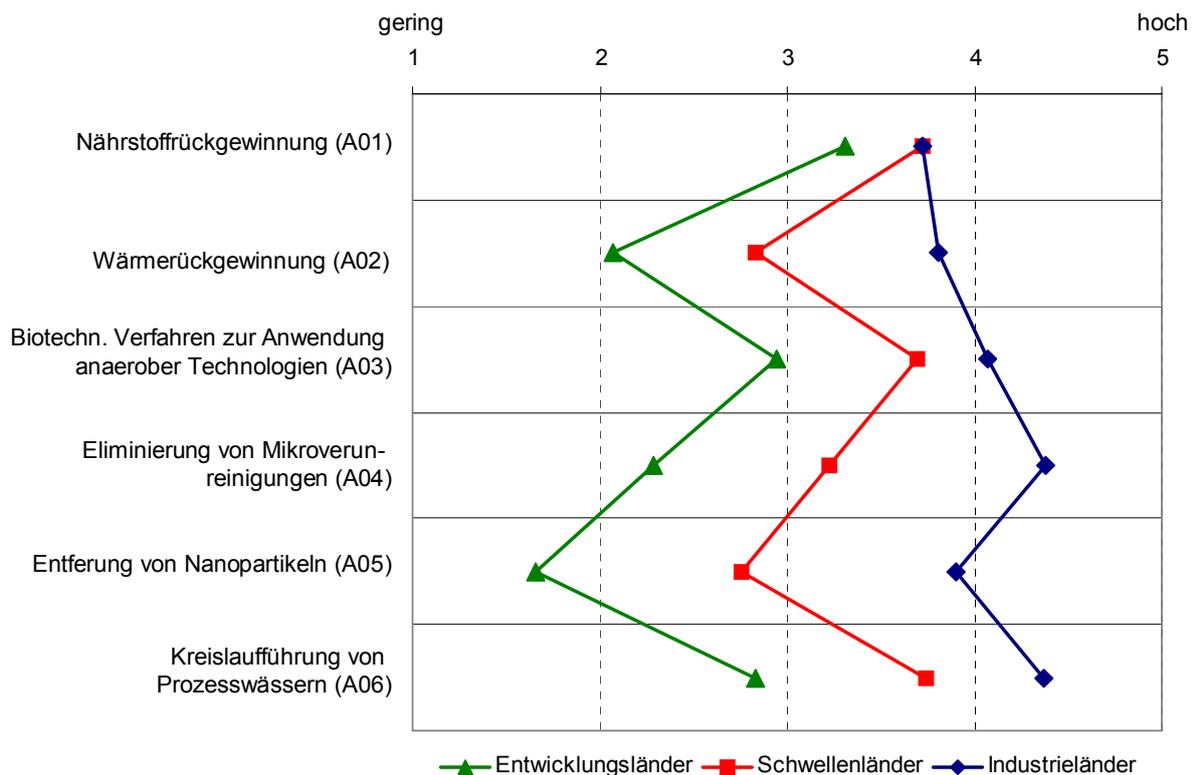


Abb. 8: Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Hemmnisse

In Tab. 2 sind die wesentlichsten Hemmnisse, die einem erfolgreichen Einsatz der untersuchten Technologien am Standort Deutschland entgegenstehen, angeführt.

Tab. 2: Überblick über die Bewertung der Hemmnisse am Standort Deutschland. (Die Zahlen entsprechen den Nennungen der Experten, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rot = höchste Anzahl, dunkelgelb = zweithöchste Anzahl und hellgelb = dritthöchste Anzahl.)

	Nährstoffrückgewinnung (A01)	Wärmerückgewinnung (A02)	Biotechn. Verfahren zur Anwendung anaerober Technologien (A03)	Eliminierung von Mikroverunreinigungen (A04)	Entfernung von Nanopartikeln (A05)	Kreislauf-führung von Prozesswässern (A06)
Kontraproduktive politische Regelungen	33	16	11	22	5	13
Fehlende gesellschaftliche Akzeptanz	38	13	9	18	8	8
Ungelöste technische Probleme	59	44	40	85	51	48
Fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU	48	35	42	52	39	63
Unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten	82	77	43	53	32	48
Unzureichende Vernetzung von Forschung und Unternehmen	32	25	20	34	16	26
Anzahl der Experten (die in dem jeweiligen Technologiebereich Hemmnisse sehen)	136	115	90	120	76	104

Als wesentlichste Hemmnisse werden die „bisher ungelösten technischen Probleme“ sowie die „unzureichenden ökonomischen Erfolgsaussichten“ für die Unternehmen gesehen. An dritter Stelle stehen die „fehlenden FuE-Kapazitäten bei kleineren und mittleren Unternehmen“. Lediglich bei Technologien zur Wärmerückgewinnung aus kommunalen Abwässern (A02) wird auch der „unzureichenden Vernetzung von Forschung und Unternehmen“ eine gewisse Bedeutung als Hemmnis zugesprochen. Andere potenzielle Behinderungen wie etwa „kontraproduktive politische Rahmenbedingungen“ oder „fehlende gesellschaftliche Akzeptanz“ spielen dagegen eine untergeordnete Rolle. Auffallend ist bei den Technologien zur Eliminierung von Mikroverunreinigungen aus Abwässern (A04) die hohe Zahl der Experten (85), die „ungelöste technische Probleme“ als Hemmnis bei der Technologieentwicklung sehen. Dieses Ergebnis deckt sich aber mit dem für diesen Technologiebereich konstatierten großen Forschungsbedarf (s. Abb. 7, S. 30).

Zusätzlich zu den in der Tabelle angeführten Faktoren werden in dieser Technologiegruppe noch die „unzureichende Innovationsbereitschaft“ und die „fehlende Motivation der Abwasserverbände“ als gravierende Hemmnisse genannt.

Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich

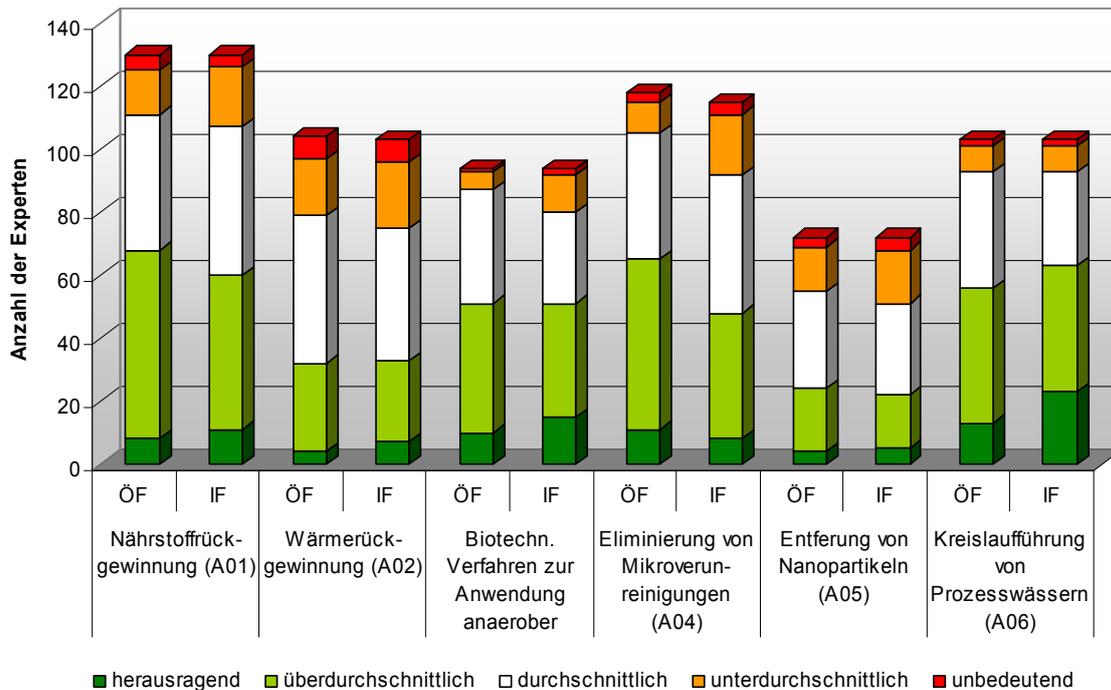


Abb. 9: Geschätzte Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Wie Abb. 9 zeigt, wird die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich relativ häufig im Mittelfeld (weiß) angesiedelt. Allerdings ist die Anzahl der Experten, die Deutschland in einer überdurchschnittlichen oder sogar herausragenden Position sehen (grün) bei den meisten Technologien deutlich größer als die Zahl derer, die Deutschland eine unterdurchschnittliche oder sogar unbedeutende Rolle (orange, rot) zuweisen. Die industrielle Forschung und das Unternehmens-Know-how (IF) und die öffentliche Forschung (ÖF) werden bei Technologien zur Wärmerückgewinnung aus kommunalen Abwässern (A02), biotechnischen Verfahren zur Anwendung anaerober Technologien bei der kommunalen Abwasserbehandlung (A03) und bei Technologien zur Entfernung von Nanopartikeln aus Abwässern bei Fertigungsprozessen in der Nanotechnologie (A05) als etwa gleichwertig eingeschätzt. Im Hinblick auf Technologien zur Nährstoffrückgewinnung aus Abwässern (A01) und Technologien zur Eliminierung von Mikroverunreinigungen aus Abwässern (A04) wird die öffentliche Forschung als leicht überlegen angesehen. Bei Neuen technologischen Ansätzen zur Kreislaufführung von Prozesswässern (A06) werden dagegen die industrielle

Forschung und das Unternehmens-Know-how leicht positiver bewertet als die öffentliche Forschung.

2.2.2 Ergebnisse des Experten-Workshops

Die Technologiebereiche der Technologiegruppe 1 „Abwasserbehandlung“ wurden im Rahmen des Workshops mit Ausnahme der Technologien zur Wärmerückgewinnung aus kommunalen Abwässern (A02) von den geladenen Experten nicht im Einzelnen diskutiert. Bei diesem speziellen Technologiebereich kam zu Beginn die Frage auf, warum es bei der Auswahl der Technologien eine Beschränkung auf kommunale Abwässer gebe. Die Nutzung von Wärme aus Kühlwässern wurde von einem Teil der mitwirkenden Experten als viel relevanter angesehen, da große Mengen Kühlwässer aus der Elektrizitätserzeugung entstünden. Dieses Potenzial von Energie- bzw. Wärmemengen würde bisher nicht genutzt, obwohl die Technologien bekannt und weitgehend einsatzbereit seien. Dies sei auf den nicht hinreichend großen Problemdruck durch hohe Energiepreise und damit den nicht vorhandenen oder nur geringen Bedarf an anderen Energiepotenzialen zurückzuführen. Als gut funktionierendes Beispiel eines Steuerungsinstruments wurde die Einführung der Grundwasserabgabe angeführt. Ein anderer Teil der Experten wies darauf hin, dass die Wärmerückgewinnung aus kommunalen Abwässern einen gewissen Charme habe, weil man die Wärme nah am Verbraucher nutzen könnte. Interessant seien eventuell auch Technologien, die Niedrigtemperaturenergien einsetzbar machen würden. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass Technologien zur Verbesserung der Abwärmenutzung aus industriellen Prozessen im Cluster Klimaschutz / Luftreinhaltung behandelt werden.

Darüber hinaus war die vorgenommene Abgrenzung der Technologien zur Nährstoffrückgewinnung (A01) von den Neuen technologischen Ansätzen zur Kreislaufführung von Prozesswässern (A06) nach Expertenaussagen nicht direkt nachvollziehbar. Beide Technologiebereiche seien eng miteinander verbunden und eine scharfe Trennung damit nicht möglich. Fraglich war bei dem Technologiebereich der Technologien zur Nährstoffrückgewinnung (A01) auch, ob sich diese nur auf End-of-pipe-Lösungen beschränke oder auch Kreislaufprozesse mit einbezogen seien.

Ein Diskussionsschwerpunkt waren die themenspezifischen Problemlagen in Schwellen- und Entwicklungsländern. Ausgangspunkt war der, von den schriftlich befragten Experten, als eher gering eingeschätzte Forschungsbedarf für die „Anpassung der Technologien an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“. In diesem Kontext wurde übereinstimmend die Meinung vertreten, dass die Technologien an sich nur eine sekundäre Rolle spielen. Der Erfolg der deutschen Unternehmen hänge von den Akteuren „außen herum“ ab. Ein einfaches „Hinstellen“ der Technologien reiche nicht aus. Das bedeute, dass die Einbettung von Technologien in ent-

sprechende Governance-Strukturen entscheidend sei. Nach Aussage der Workshop-Teilnehmer müssten Akteure auf allen Ebenen mitgenommen werden, womit Fragen transdisziplinären Charakters und keine Black-Box-Technologien oder -Projekte bedeutsam würden. Als unerlässlich stufen die eingeladenen Diskussionsteilnehmer Capacity-Building, optimale Strukturen vor Ort und Schulung der einheimischen Arbeiter, eine regelmäßige Prüfung der Anforderungen sowie als einfachstes Mittel Anleitungen in verschiedenen Landessprachen ein. Die Experten machten daneben deutlich, dass die Probleme und Hemmnisse in Entwicklungsländern grundsätzlich anders gelagert seien als in Industrieländern. In diesen Regionen kämen beispielsweise Akzeptanzprobleme z.B. bei der Nährstoffnutzung und beim Kreislaufsystem oder auch die Anpassung von Technologien an die Höhenlage von Städten z.B. in Südamerika hinzu. Der Einfluss verschiedener Klimate auf unterschiedliche Anlagen/Verfahren (z.B. Belebungsverfahren) wird zurzeit sogar bereits untersucht (Projekt Uni Bochum). Es wurde von den Experten ebenfalls darauf hingewiesen, dass auch Entwicklungsländer nach Hightech verlangten.

Im weiteren Verlauf konzentrierte sich die Diskussion auf das Thema „dezentrale / zentrale Abwassersysteme“. Die in diesem Zusammenhang von den Workshop-Teilnehmern angeführten Aspekte, folgten den aus der Literatur bekannten Argumenten. Es wurde angemerkt, dass dezentrale Anlagen sehr sinnvoll und neue innovative Systeme einfach zu etablieren seien. Darüber hinaus wurde darauf hingewiesen, dass dezentrale Anlagen eine schwierige Organisation v.a. in Megacities nach sich zögen und zudem die entsprechende Ausbildung von Fachkräften gewährleistet sein müsse. Neben der klassischen Planung und Bauüberwachung seien zunehmend Begleitmaßnahmen wie die Inbetriebnahme und (sogar) die Instandhaltung gewünscht. Außerdem wurde als bewusste Zuspitzung der Thematik die Frage in die Runde geworfen, wie beispielsweise in Slums lebende Menschen für die Trennung von Stoffwechselprodukten überhaupt sensibilisiert werden könnten. Reagiert wurde darauf mit der auch schon im Zwischenbericht angesprochenen Problematik der extremen Wasserknappheit einerseits, aber auch mit dem hohen Bedarf an Wasser in diesen Ländern durch die Landwirtschaft. Die Menschen in Entwicklungsländern seien von Wasser abhängig und somit bestünde eine hohe Motivation für die Trennung von Schwarz- und Grauwasser. Die Experten konstatierten, dass in diesem Kontext der Rückbau vorhandener Strukturen und die Veränderung der Infrastruktur von zentral zu dezentral ein interessantes Thema sei. In großen Städten seien meist bereits zentrale Systeme vorhanden, die aber den heutigen Zeiten explosionsartigen Wachstums nicht Schritt haltend angepasst werden könnten. Diese schnell wachsenden Räume müssten schnell versorgt werden. Semizentrale Systeme könnten den Ansprüchen gerecht werden und geeignet sein. Das semizentrale System müsste dann aber mit anderen Systemen wie z.B. Wasserzuführung, Nährstoffzufuhr, Stoffströme, Energieströme, Abwasser- und Abfallwirtschaft verzahnt werden. Eine Anpassung an örtliche Begebenheiten könne demnach auch bedeuten, das richtige

System im richtigen Kontext einzusetzen; es bedeute nicht unbedingt ein neues Verfahren. Hier würden nach Meinung der Workshop-Teilnehmer aber noch die richtigen Ansätze fehlen, was einen Bedarf an Forschung und Demonstrationsanlagen mit sich bringe.

Zum Stichwort Demonstration wurde angemerkt, dass besonders in Entwicklungsländern Leuchtturmprojekte als „Überzeugungsarbeit“ wichtig seien. Hierbei gelte es zu beachten, dass in der Regel Demo-Projekte im ländlichen Raum in großer Zahl vorhanden seien, sie aber im urbanen Raum eher fehlen würden.

Wichtige Themen, die bei der Auswahl der Technologien in Befragung und Workshop fehlen bzw. zu kurz kommen, sind nach Ansicht der Experten: Abwasser-ReUse, die Verknüpfung von Regenwasser- mit Abwassermanagement und Maßnahmen zur Veränderung des Verbraucherverhaltens.

2.3 Technologiegruppe 2: Wasseraufbereitung

Auswahl der Technologiebereiche

Die Technologien der Wasseraufbereitung dienen der Anpassung von Rohwasser an die Anforderungen der Trinkwasser- oder Nutzwassernutzung. Das Rohwasser aus Quell-, Grund-, Talsperren- oder Oberflächenwasser wird mittels mechanischer, physikalischer, chemischer und / oder biologischer Verfahrensweisen behandelt und so dem jeweiligen Verwendungszweck angepasst. Die Wasseraufbereitung umfasst im Wesentlichen zwei Gruppen der Behandlung:

Entfernung von Stoffen aus dem Wasser, z.B. Entfernung von Arsen durch Adsorptionsverfahren, Entfernung von Partikeln bspw. durch Sedimentation, Filtration oder Flockung/Fällung, Desinfektion durch z.B. UV-Bestrahlung, Elektrolyse, Ozonierung, mikrobiozide Kontaktdesinfektion oder Wasserdesinfektion, Enteisenung, Entmanganung, Entsäuerung mittels Belüftung, Verdüsung, Verrieselung usw., Enthärtung z.B. durch Ionenaustauscher, Umkehrosmose oder als chemische Lösung der Einsatz von Kalkmilch und Kalkwasser aus Branntkalk und Entsalzung, *Ergänzung von Stoffen sowie das Einstellen von Wasserparametern*, z.B. Einstellen von pH-Wert, gelösten Ionen und der Leitfähigkeit.

Ein anderes Themenfeld im Bereich der Wasseraufbereitung, das allerdings weniger im Zusammenhang der Nutzung von Rohwasser als Trinkwasser oder Nutzwasser steht, ist das Technologiefeld der Aquakulturen. Angesichts rückläufiger Fangerträge aus den Weltmeeren und Veränderungen in der qualitativen Zusammensetzung des Fanggutes erleben Aquakulturen derzeit einen regelrechten Boom. Allerdings stoßen herkömmliche Aquakulturen in offenen Käfigen („offshore farming“) vor den Küsten

oder in Becken bereits an ökologische Grenzen. Die Technologie wurde hier angefügt, um eine eigene Technologiegruppe zu vermeiden.

Weiterhin nimmt das Ablassen von Ballastwasser von Schiffen Einfluss auf die Qualität des Meerwassers sowie seiner Flora und Fauna, und es bedarf Technologien zur Aufbereitung dieser Wässer.

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass Technologien zur Meer- und Brackwasserentsalzung (A12) nicht in diese Technologiegruppe mit aufgenommen wurden, sondern in der Technologiegruppe 3 „Reduktion des Wasserverbrauchs“ verortet wurden. Bei den Technologien zur Meer- und Brackwasserentsalzung sollte es nicht primär um die Verfahren der Wasseraufbereitung gehen, sondern vielmehr um die Möglichkeit „andere“ Wasserquellen nutzen zu können und so eine weitere Lösung für das Problem der Wasserknappheit zur Verfügung zu haben.

Die folgenden fünf Technologien wurden als besonders relevant angesehen und daher in die Befragung aufgenommen:

A07	Chemikalienunabhängige Verfahren zur Aufbereitung von Wasser für die Trinkwassernutzung
A08	Entwicklung von Membranen, die dauerhaft gegen Biofilmbewuchs geschützt sind, mit längerer Lebensdauer und geringerer Anfälligkeit
A10	Technologien zur Aufbereitung und Nutzung unterschiedlich belasteter Niederschlagswässer
A13	Aquakulturen mit einfachen und robusten Kreislauftechnologien in modularen Produktionsanlagen
A14	Technologien zur chemikalienunabhängigen Aufbereitung von Ballastwässern aus Schiffen

2.3.1 Ergebnisse der Expertenbefragung

Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Wassermanagementproblemen

Wie Abb. 10 zeigt, wird den Technologien im Bereich „Wasseraufbereitung“ unterschiedlich hohe Relevanz zugeschrieben.

Chemikalienunabhängige Verfahren zur Aufbereitung von Wasser für die Trinkwassernutzung (A07) und die Entwicklung von Membranen, die dauerhaft gegen Biofilmbewuchs geschützt sind, mit längerer Lebensdauer und geringerer Anfälligkeit (A08) werden von den Experten mehrheitlich als „wichtig“ (orange) und „äußerst wichtig“ (rot) eingeschätzt, nur ein kleiner Prozentsatz schreibt diesen Technologien „keine

Bedeutung“ zu (weiß) oder enthält sich einer Bewertung (schwarz). Die Aquakulturen mit einfachen und robusten Kreislauftechnologien in modularen Produktionsanlagen (A13) und die Technologien zur chemikalienunabhängigen Aufbereitung von Ballastwässern aus Schiffen (A14) werden von deutlich weniger Experten bewertet. Darüber hinaus ist der Anteil derer, die eine Bewertung dieser Technologien nicht für möglich halten (schwarz), höher im Vergleich zu den anderen Technologien. Obwohl auch diese beiden Technologien von vielen als „wichtig“ beurteilt werden (orange), ist der Anteil der Befragten, die die Aufbereitung von Ballastwässern (A14) als „unbedeutend“ einschätzen (weiß), auffallend hoch. Die Technologie zur Aufbereitung und Nutzung unterschiedlich belasteter Niederschlagswässer (A10) nimmt eine mittlere Position ein, mit einer Mehrzahl von Befragten, die dieser Technologie eine „wichtige“ bis „eingeschränkt wichtige“ Relevanz zuschreiben.

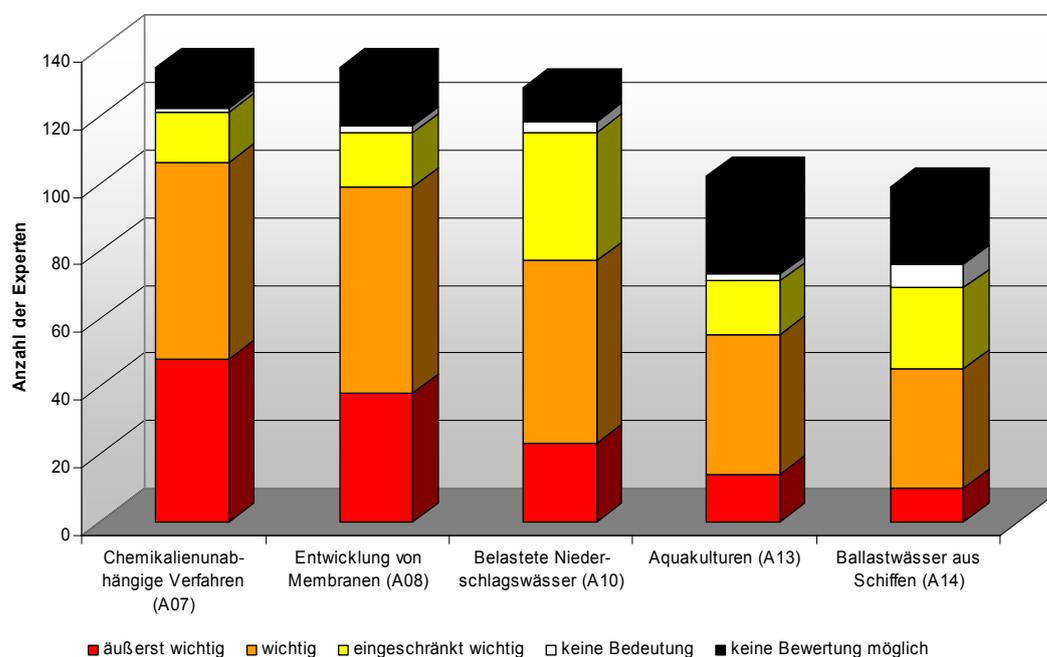


Abb. 10: Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Wassermanagementproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Positive und negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche

Alle in der Technologiegruppe „Wasseraufbereitung“ zusammengefassten Technologien haben gewisse positive Auswirkungen auf andere Umweltbereiche, so dienen sie dem Bodenschutz, leisten einen Beitrag für eine höhere und nachhaltige Wasser- oder Gewässerqualität und tragen zur Ressourcenschonung bei. Die zusätzlich genannten positiven und negativen Auswirkungen werden im Folgenden für jede Technologie separat diskutiert.

Chemikalienunabhängige Verfahren zur Aufbereitung von Wasser für die Trinkwassernutzung (A07) weisen viele positive Auswirkungen auf die Umwelt auf. Sie tragen zur Abfallminderung bei, leisten einen Beitrag zur Gesundheitsvorsorge und bringen durch die Einsparung von Chemikalien eine geringere Belastung des Abwassers mit chemischen Stoffen mit sich. Damit einher geht ebenfalls eine geringere Belastung der Ökosysteme und der Natur. Als weitere positive Auswirkungen wurden eine vereinfachte Nachbehandlung genannt, eine Reduzierung der Rückbelastung und der Schlammmenge und eine verbesserte Prozesswasseraufbereitung. Erfahrungen mit dieser Technologie sind übertragbar auf andere Bereiche. Als negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche werden ein höherer Energiebedarf und Herstellungsemissionen, sowie anfallende Reststoffe und ein mögliches Hygienierisiko befürchtet.

Die *Entwicklung von Membranen, die dauerhaft gegen Biofilmbewuchs geschützt sind, mit längerer Lebensdauer und geringerer Anfälligkeit (A08)*, ermöglicht, nach Angabe der Experten, eine Aufbereitung ohne Chemikalien und spart damit Chemikalien ein, sie liefert einen Beitrag zum Emissionsschutz, zur Effizienzsteigerung und Energieeinsparung. Die so entwickelten Membranen lassen sich für die Eliminierung von Mikroverunreinigungen und Rückständen nutzen, sorgen für eine bessere Ablaufqualität und erzielen geringere Herstellungskosten durch längere Lebensdauer. Die Ergebnisse lassen sich auf andere Bereiche übertragen, wie beispielsweise auf die Medizin-, Textil-, und Lebensmitteltechnik. Nachteile wurden nur in geringem Maße genannt. So befürchten die Experten einen möglichen Einsatz von Bioziden, einen höheren Energiebedarf und damit negative Klimaauswirkungen.

Bei den *Technologien zur Aufbereitung und Nutzung unterschiedlich belasteter Niederschlagswässer (A10)* werden als Vorteile die Ausschleusung von Schadstoffen genannt, damit einhergehend der Beitrag zur Pflanzengesundheit und zum Erhalt von Biodiversität, sowie die Einsparung von Energie und Wasser. Die Technologie erschließt neue Brauchwasserquellen, benötigt ein geringeres Ausmaß an Wasseraufbereitung und leistet einen Beitrag zum Hochwasserschutz. Als negativ werden ein möglicherweise höherer Energieverbrauch gesehen und der Anfall von Abwasser und Abfällen, hohe Investitionskosten, sowie die Gefahr der Verwendung unzulässig belasteten Wassers.

Aquakulturen mit einfachen und robusten Kreislauftechnologien in modularen Produktionsanlagen (A13) werden als komplex eingestuft. Sie bringen nach Meinung der von uns befragten Experten einen hohen politischen Handlungsbedarf mit sich und werden insgesamt sehr kontrovers diskutiert. Als positive Auswirkungen werden eine effiziente Lebensmittelproduktion und ein Beitrag zur Ernährungssicherheit genannt, die Erzeugung regenerativer Energieträger und die Reduktion von CO₂-Emissionen und Flächenverbrauch. Der Fangdruck in den Meeren wird vermindert und die Tech-

nologie trägt zum Küsten- und Binnengewässerschutz sowie zum Pflanzen- und Artenschutz bei. Weiterhin kann eine Verringerung des Wasserverbrauchs und der Produktion von Abwasser erzielt werden. Auf der anderen Seite wird eine Vielzahl an negativen Auswirkungen genannt. Es wird eine Gewässerverschmutzung und Abwasserverunreinigung durch Medikamentenrückstände aufgrund der Populationsdichte bei Aquakulturen befürchtet; es besteht das Risiko des Nährstoffaustrags und der Artenverschleppung und damit einhergehend der Verlust an Biodiversität. Die Meerwasserqualität kann in Mitleidenschaft gezogen werden.

Technologien zur chemikalienunabhängigen Aufbereitung von Ballastwässern (A14) werden praktisch nur als positiv eingeschätzt. Sie leisten einen Beitrag zum Schutz von Küstengewässern und sensiblen Ökosystemen. Durch die Verhinderung der Einschleppung fremder Arten (Bio-Invasion) trägt die Technologie zum Artenschutz und zum Erhalt von Biodiversität bei. Ganz allgemein werden als Vorteile dieser Technologie die positiven Wirkungen auf den Umwelt- und Meeresschutz, sowie die Meeresbiologie genannt. Außerdem werden Erfahrungen, die auf andere Bereiche übertragbar sind, erwartet.

Forschungsbedarf/Förderbedarf

Abb. 11 zeigt, dass bei den meisten Technologien hoher Forschungsbedarf im Bereich der Technologieentwicklung (rote Kurve) gesehen wird, dies trifft vor allem auf Membrantechnologien (A08) und Chemikalienunabhängige Verfahren (A07) zu, deren Forschungsbedarf an Technologieentwicklung am höchsten eingeschätzt wird (> 4). Im Allgemeinen besteht eine enge Korrelation zwischen Forschungsbedarf (FoBe) und Förderbedarf (FöBe).

Der Bedarf an Grundlagenforschung verhält sich bei den Chemikalienunabhängigen Verfahren (A08), den Membrantechnologien (A08) und den Technologien zur Behandlung von Niederschlagswässern (A10) jeweils gegenläufig zu dem Forschungsbedarf zur „Anpassung der Technologien an die Anforderungen von Schwellen- und Entwicklungsländern“: Wird der eine als wichtig eingeschätzt, nimmt der andere die letzte Position in der Skala ein. Bei den Technologien zur Behandlung von Ballastwässern (A14) und den Aquakulturen (A13) werden Grundlagenforschung und „Anpassungsforschung“ hingegen als ähnlich wichtig eingeschätzt, mal im vorderen Bereich der Skala, mal im hinteren Bereich der Skala.

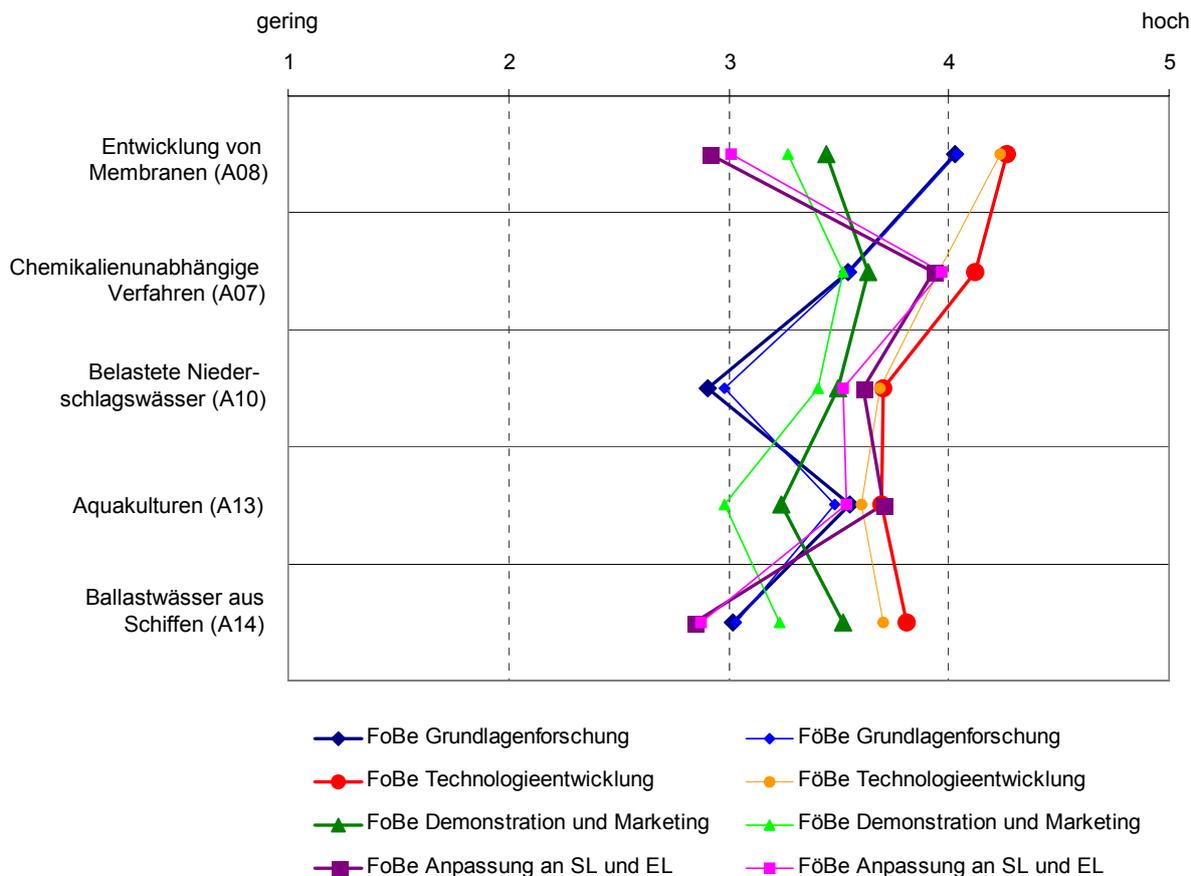


Abb. 11: Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Tab. 3: Anzahl der Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ (absolute Nennungen/Gesamtexpertenzahl)

		A07	A08	A10	A13	A14
Förderbedarf	Grundlagenfor.	3,7% (4/109)	2,9% (3/104)	9,2% (9/98)	5,9% (4/68)	8,2% (5/61)
	Technologieentw.	0,9% (1/112)	2,9% (3/103)	5,1% (5/98)	4,4 (3/68)	6,6% (4/61)
	Demo u. Marketing	8,4% (9/107)	10,2% (10/98)	11,6% (11/95)	12,3% (8/65)	11,9% (7,59)
	Anpassung SL/EL	6,4% (7,110)	12,5% (12/96)	8,4% (8/95)	9,4% (6/64)	18,6% (11/59)
Forschungsbedarf	Grundlagenfor.	0% (0/112)	1,9% (2/103)	5,9 (6/102)	4,5% (3/67)	6,7% (4/60)
	Technologieentw.	0% (0/112)	1,9% (2/103)	3,0% (3/101)	2,9% (2/68)	5,0% (3/60)
	Demo u. Marketing	4,7% (5/107)	5,1% (5/98)	10,2% (10/98)	9,2% (6/65)	8,8% (5/57)
	Anpassung SL/EL	3,7% (4/108)	8,2% (8/97)	7,0% (7/100)	4,7% (3/64)	20,7% (12/58)

Bei allen Technologien lässt sich erkennen, dass der Anteil der Experten, die keinen Förderbedarf im Bereich im Bereich „Demonstration und Marketing“ sowie im Bereich „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ sehen, relativ hoch ist (s. Tab. 3). Den höchsten Wert (18,6%) im Bereich Anpassung haben die Technologien zur chemikalienunabhängigen Aufbereitung von Ballastwässern aus Schiffen (A14); analog dazu ist auch der Anteil der Experten, die keinen Forschungsbedarf sehen, hier mit 20,7% am höchsten.

Marktpotenziale

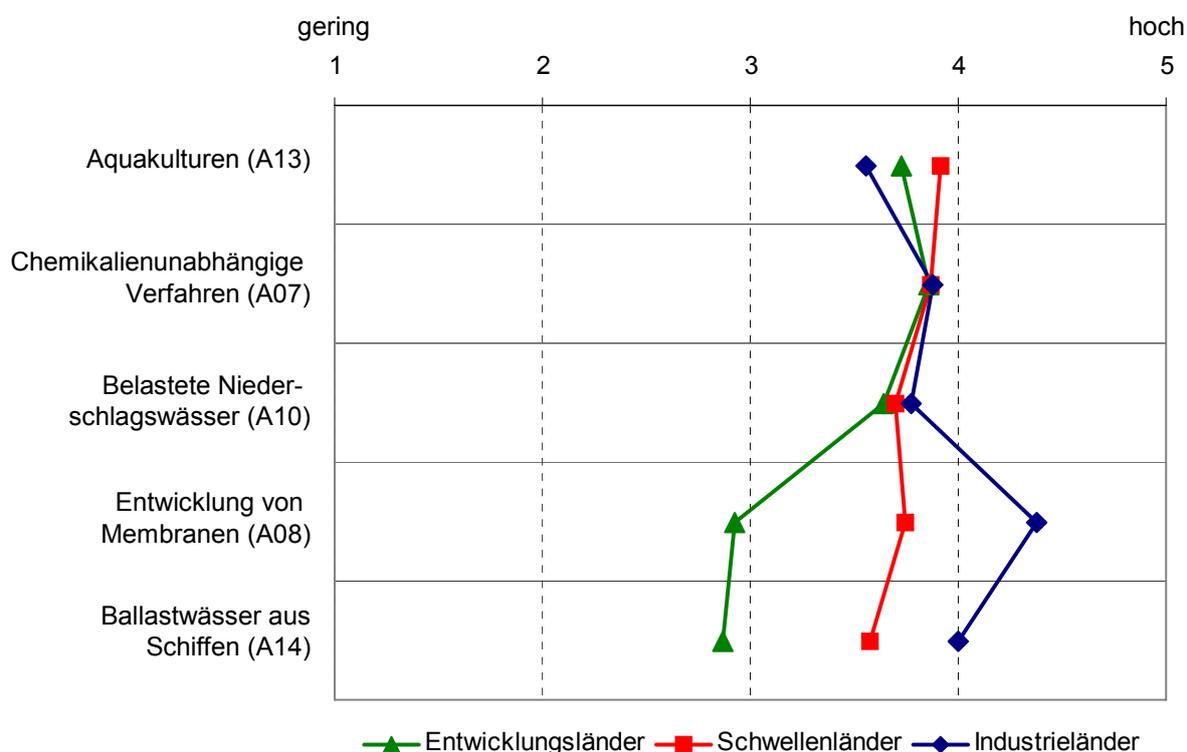


Abb. 12: Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Wie Abb. 12 zeigt, wird das Marktpotenzial dieser Technologien sehr unterschiedlich eingeschätzt: Bei den Chemikalienunabhängigen Verfahren zur Aufbereitung von Wasser für die Trinkwassernutzung (A07), den Technologien zur Aufbereitung und Nutzung unterschiedlich belasteter Niederschlagswässer (A10) und Aquakulturen mit einfachen und robusten Kreislauftechnologien in modularen Produktionsanlagen (A13) wird das Marktpotenzial interessanterweise sowohl der Industrieländer als auch der Entwicklungs- und Schwellenländer als ähnlich hoch angesehen. Die Linien nähern sich einander an und überlagern sich teilweise.

Bei der Entwicklung von Membranen, die dauerhaft gegen Biofilmbewuchs geschützt sind, mit längerer Lebensdauer und geringerer Anfälligkeit (A08) und Technologien

zur chemikalienunabhängigen Aufbereitung von Ballastwässern aus Schiffen (A14) überwiegt hingegen das Marktpotenzial in den Industrieländern (blaue Kurve) deutlich gegenüber dem der Schwellenländer (rote Kurve) und der Entwicklungsländer (grüne Kurve).

Hemmnisse

Tab. 4: Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)

	Chemikalien-unabhängige Verfahren (A07)	Entwicklung von Membranen (A08)	Belastete Niederschlagswässer (A10)	Aquakulturen (A13)	Ballastwässer aus Schiffen (A14)
Kontraproduktive politische Regelungen	12	5	28	8	14
fehlende gesellschaftliche Akzeptanz	23	4	34	12	8
Ungelöste technische Probleme	51	78	24	31	24
Fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU	37	39	22	25	15
Unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten	42	31	46	25	24
Unzureichende Vernetzung von Forschung und Unternehmen	23	18	18	15	13
Anzahl der Experten (die in dem jeweiligen Technologiebereich Hemmnisse sehen)	91	91	85	53	52

Die Ergebnisse der Umfrage zeigen (s. Tab. 4), dass als die wesentlichsten Hemmnisse, die einem erfolgreichen Einsatz dieser Technologien am Standort Deutschland entgegenstehen, in erster Linie die folgenden drei betrachtet werden: „bisher ungelöste technische Probleme“, „unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten“ und „fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU“. Mit Abstand werden hier die meisten Nennungen abgegeben. Andere potenzielle Hemmnisse, wie etwa „kontraproduktive politische Regulierungen“, „unzureichende Vernetzung der auf diesem Gebiet tätigen Forschungseinrichtungen und Unternehmen“ und „fehlende gesellschaftliche Akzeptanz“ werden weitaus seltener angeführt.

Auffallend ist die hohe Zahl von Nennungen (78), die bei der Entwicklung von Membranen, die dauerhaft gegen Biofilmbewuchs geschützt sind (A08), „ungelöste technische Probleme“ als größtes Hemmnis anführen. Für diese Technologien konstatier-

ten die Experten aber auch den höchsten Forschungs- und Förderbedarf (s. Abb. 11).

Eine Ausnahme bilden die Technologien zur Aufbereitung und Nutzung unterschiedlich belasteter Niederschlagswässer (A10). Es werden „unzureichenden Gewinnaussichten der Unternehmen“ als größtes Hemmnis genannt, gefolgt von „fehlender gesellschaftlicher Akzeptanz“ und „kontraproduktiven politischen Regelungen“.

Auch die Technologien zur chemikalienunabhängigen Aufbereitung von Ballastwässern aus Schiffen (A14) folgen einem etwas anderen Muster. Während „ungelöste technische Probleme“ und „unzureichende Gewinnaussichten der Unternehmen“ gleichrangig als wichtigste Hemmnisse genannt werden, werden „fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU“, „kontraproduktive politische Regelungen“ und „unzureichende Vernetzung von Forschung und Unternehmen“ mit jeweils 15, 14 und 13 Nennungen als Hemmnisse mittlerer Relevanz eingeschätzt.

Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich

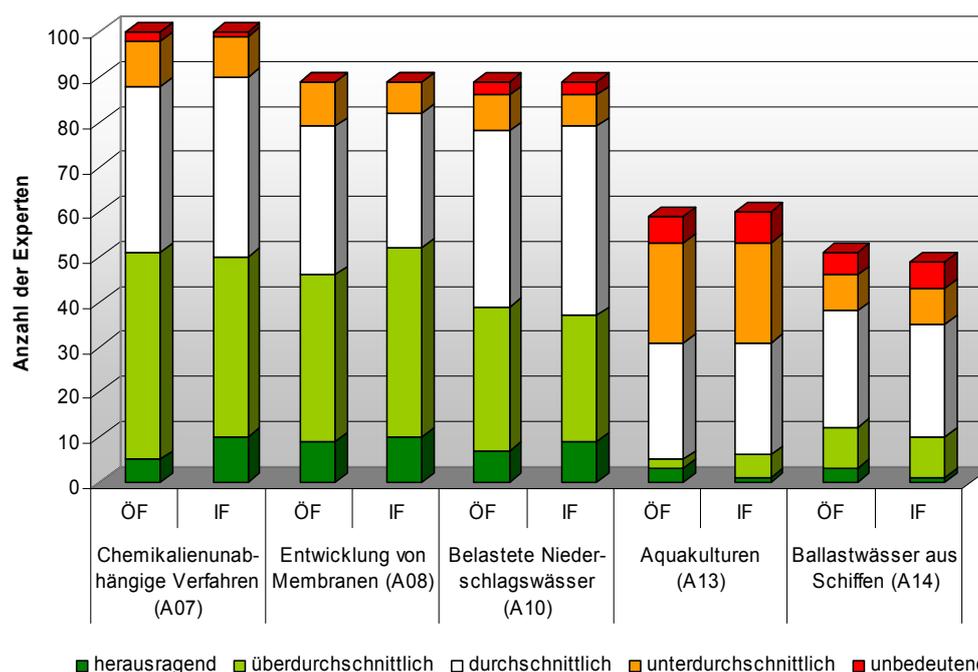


Abb. 13: Geschätzte Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Wie auch in Abb. 10 (s. S. 39) zeichnen sich hier in Abb. 13 zwei „Untergruppen“ ab, die sich in ihrem Muster unterscheiden: Zu den Chemikalienunabhängigen Verfahren (A07), den Membrantechnologien (A08) und den Technologien zur Behandlung von Niederschlagswässern (A10) gibt es zum einen wesentlich mehr Experteneinschätzungen als zu den Aquakulturen (A13) und den Technologien zur Behandlung von

Ballastwässern (A14) und zum anderen fällt die Einschätzung hinsichtlich der Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich deutlich positiver aus.

Im der ersten Untergruppe ist der Anteil der Experten, die Deutschland in einer überdurchschnittlichen oder sogar herausragenden Stellung (grün) sehen, weitaus größer als der Anteil derer, die Deutschland eine unterdurchschnittliche oder sogar unbedeutende Rolle (orange, rot) zuweisen. Bei Aquakulturen (A13) dagegen ist die Zahl derjenigen, die Deutschlands Stellung für unterdurchschnittlich oder unbedeutend halten, deutlich größer als die Zahl derer, die Deutschland in einer führenden Position sehen – hier ist Deutschland im internationalen Vergleich offensichtlich unterrepräsentiert. Für Technologien zur Aufbereitung von Ballastwässern (A14) nimmt Deutschland eine durchschnittliche Position im internationalen Vergleich ein (weiß).

Generell werden die öffentliche Forschung und die industrielle Forschung und das Unternehmerische Know-how als weitgehend gleichwertig eingestuft. Eine Ausnahme bildet lediglich die Entwicklung von Membranen, die dauerhaft gegen Biofilmbewuchs geschützt sind. In diesem Technologiebereich scheint die Industrie mehr „zu tun“ als die Wissenschaft.

2.3.2 Ergebnisse des Experten-Workshops

Zunächst wurde von den Teilnehmern des Workshops in der Diskussion zur Technologiegruppe 2 „Wasseraufbereitung“ die vom Projektteam getroffene Auswahl der Technologiebereiche im Großen und Ganzen unterstützt. Dennoch wurde die breite Palette und Inhomogenität bei der Wahl der Technologien auch kritisch diskutiert. Die Entwicklung von Membranen sei doch generell ein breites Thema, dass auf den sehr speziellen Aspekt „Biofilmbewuchs“ heruntergebrochen werde.

Als wichtig erachteten die eingeladenen Workshop-Teilnehmer, die (Weiter-)Entwicklung der Membrantechnologie, wobei aber letztendlich die großen Entwicklungen bereits vollzogen seien. Man stoße zum einen inzwischen an physikalische Grenzen und zum anderen seien in einigen Regionen klassische Technologien z.B. zur Grundwasseraufbereitung der Membrantechnologie überlegen. Daneben wurde die Ansicht geäußert, dass es Membranen, die dauerhaft gegen Biofilm geschützt sind, nie geben werde. Die ungelösten Probleme lägen eher in der Optimierung der Membranen z.B. bei der Oberflächenfiltration und der Senkung der hohen Energiekosten durch das Zusammenwirken von erneuerbaren Energien und Wasser. Hier sahen die Workshop-Teilnehmer großen Forschungsbedarf. Forschungsbedarf in Bezug auf eine Erhöhung der Energieeffizienz durch den Einsatz regenerativer Energien wurde auch bei den Technologien zur Meerwasserentsalzung (A12) gesehen. Als typisches Beispiel wurde angeführt, dass beim Einsatz von Windenergie Süßwasserspeicher geplant werden müssten, weil der Wasserbedarf recht gleichmäßig, die Windkraft

aber fluktuierend sei, bzw. Wasser im Gegensatz zu elektrischer Energie gut speicherbar wäre.

Am Technologiebereich zur Aufbereitung und Nutzung unterschiedlicher Niederschlagswässer (A10) wurde die rein technologieorientierte Betrachtungsweise kritisiert; es seien vielmehr unter dem Stichwort „Regenwassermanagement“ oder „rain water harvesting“ komplette Regenwasserbewirtschaftungssysteme zu entwickeln. Diese fehlten gerade in Entwicklungsländern, sodass ein erheblicher Entwicklungs- und Demonstrationsbedarf bestünde; besonders wegen der Sicherung der landwirtschaftlichen Nahrungsmittelproduktion in diesen Ländern. Die Teilnehmer des Workshops wiesen weiter darauf hin, dass bei der Nutzung von Regenwasser z.B. das Abfangen von Spitzenabflüssen durch Starkniederschläge zu berücksichtigen und das Regenwasser im Untergrund durch geschickte Infiltrationssysteme und nicht durch Talsperren zu speichern sei. Als Technologiebeispiel zur Aufbereitung von Niederschlagswässern wurden von den Workshop-Teilnehmern Zindachrinnen angeführt, in denen quantitative Grenzfilter enthalten sind. Mithilfe dieser Filter könne man z.B. Schwermetalle aus dem Niederschlagswasser in Dachrinnen entfernen.

Teilweise nicht nachvollziehen konnten die Workshop-Teilnehmer das Ergebnis der Expertenbefragung, dass als größtes Hemmnis für den erfolgreichen Einsatz dieser Technologien die „fehlende gesellschaftliche Akzeptanz“ angab. Die Meinung der Workshop-Teilnehmer wich signifikant davon ab. Als Gründe hierfür führten die Teilnehmer des Workshops erstens die ideologisch geführte Diskussion zwischen Wasserhygienikern und Wassernutzern an, die fast schon als Kampf zu bezeichnen wäre. Zweitens würde die Bevölkerung ungern bakterienbelastetes Niederschlagswasser nutzen. Die Experten machten dann in der Diskussion deutlich, dass für eine erfolgreiche Anwendung der Technologien zur Aufbereitung und Nutzung von unterschiedlich belasteten Niederschlagswässern (A10) ein „ins Boot holen“ der Verbraucher unerlässlich sei. Dazu seien über eine Zeit gut funktionierende Demonstrationsanlagen notwendig, wie es sie z.B. in den Niederlanden gäbe. Aber auch in Deutschland, genauer in Sindelfingen, gäbe es bereits ein Pilotprojekt. Darüber hinaus sei die Akzeptanz immer auch eine Frage des Standards im jeweiligen Land. In Schwellen- und Entwicklungsländern werde die Regenwassernutzung oft als Segen angesehen, weil diese Rohwässer eine bessere Wasserqualität hätten als die Grundwässer. In Deutschland und in Teilen von Europa hingegen sei das „was aus der Leitung kommt am Besten“, der Standard für Regenwässer sei deutlich niedriger. Dieses Dilemma entstünde aus der in Deutschland noch positiven Wasserbilanz, durch die der Drang nach einer Nutzung von Niederschlagswasser nicht sehr groß sei. Die Experten machten deutlich, dass es auch in Deutschland zukünftig zu Wasserknappheit kommen könne. So werde z.B. in Brandenburg das Grundwasser durch den Klimawandel in Zukunft viel knapper sein. Im Workshop wurde auch noch darauf hingewiesen,

dass die Regenwassernutzung bspw. bei großen Flächen wie bei Einkaufszentren durch eine Dachentwässerung interessant sein könnte.

Aber nicht nur die Nutzung unterschiedlich belasteter Niederschlagswässer (A10) sahen die Experten als relevantes Thema an, auch die Aquakulturen (A13) und die Aufbereitung von Ballastwässern aus Schiffen (A14) seien wesentliche Technologiebereiche. Die Workshop-Teilnehmer vertraten die Ansicht, dass Aquakulturen zwar kein Thema für Deutschland, sondern eher für andere Länder mit mehr Küstenlänge wie z.B. Norwegen sei. Trotzdem gäbe es durchaus gute Firmen in Deutschland. Zudem sahen die Teilnehmer aufgrund des zukünftigen Rückgangs der Fischbestände eine Intensivierung in diesem Bereich als notwendig an. Die Relevanz der Technologien zur chemikalienunabhängigen Aufbereitung von Ballastwässern aus Schiffen begründeten die Workshop-Teilnehmer mit der Verschärfung internationaler Abkommen. Eine mangelnde Aufbereitung der Ballastwässer beeinträchtigt den Küstenschutz und vermindere damit den Fischfang. Diese Einschätzung steht im starken Kontrast zu der von den schriftlich befragten Experten als gering beurteilten Bedeutung dieser Technologien. Kritisiert wurde in diesem Zusammenhang der Begriff „Chemikalienunabhängige“ Verfahren, es gäbe schließlich auch „gute“ Chemikalien.

Neben den vom Projektteam ausgewählten Technologiebereichen nannten die Workshop-Teilnehmer die Humantoxizität von Hormonen im Wasser und naturnahe Verfahren wie Pflanzenkläranlagen oder die Uferfiltration als noch zu beachtende Themen der „Wasseraufbereitung“. Zudem wurden Algenkulturen als CO₂-Speicherung oder Energiepflanzen als Energiequelle genannt. Hier gäbe es aber ein Zuordnungsproblem der Algen als Wasser- oder Energiethema.

Sehr deutlich forderten die Workshop-Teilnehmer für diese Technologiegruppe 2 „Wasseraufbereitung“, die Behandlungswürdigkeit von mit problematischen Stoffen belasteten Wässern und die Stoffe selbst in den Vordergrund zu stellen.

2.4 Technologiegruppe 3: Reduzierung des Wasserverbrauchs

Auswahl der Technologiebereiche

Der Bereich der Reduzierung des Verbrauchs von Grund- und Oberflächenwasser steht weltweit vor enormen Herausforderungen und technologischen Potenzialen:

Veraltete Infrastrukturen verursachen einen hohen Verlust von Wasserreserven durch Leckagen und sind anfällig für den Eintrag von Schadstoffen und Krankheitserregern. Da indirekt durch den schlechten Zustand der Wasserver- und Abwasserentsorgungsnetze rund 50% des gefassten Wassers verloren gehen, sind *Technologien*

zur *Detektion von Rohrschäden, zur Zustandsbewertung, Instandhaltung und Sanierung von Wassernetzen*, insbesondere in der Abwasserkanalisation und von Wasserreservoirs, wesentlich.

Weltweit gesehen sinkt die Verfügbarkeit von hochwertigen, leicht aufzubereitenden Wasserressourcen und es steigt der Bedarf an *Technologien zur Erschließung alternativer Trink-, Brauch- und Prozesswasserquellen* und somit zur Schonung wertvoller Süßwasserquellen (Frischwasser).

Konventionelle Verfahren zur Meerwasserentsalzung mit der weitesten Verbreitung sind die Destillation und die Umkehrosmose. Beide Verfahren sind aber energieintensiv, teuer und können aufgrund ihres hohen Energiebedarfs nicht in jedem Fall als nachhaltig bezeichnet werden. Deswegen bestehen künftig Herausforderungen in innovativen Lösungen zur Senkung des Energiebedarfs und der Nutzung erneuerbarer Energien. Eine Technologie zur Wassererschließung in meerfernen Trockenregionen ist die *Nutzung der Luftfeuchtigkeit der Atmosphäre als Trinkwasserressource* mittels Kondensation.

Der steigende Wasserbedarf im landwirtschaftlichen Sektor, der gegenwärtig weltweit für rund 70% des Wasserverbrauchs verantwortlich ist, verlangt nach *effizienten und innovativen Bewässerungstechnologien* und einer Ausschöpfung der Wasserspeicherkapazität der Böden.

Für die durch ihre Heterogenität gekennzeichnete Technologiegruppe 3 wurden folgende fünf Technologiebereiche aufgrund ihrer Relevanz für die Befragung ausgewählt:

A09	Technologien zur Systemüberwachung, Detektion von Rohrschäden, zur Zustandsbewertung und Sanierung von Wassernetzen
A11	Technologien zur Nutzung der Luftfeuchtigkeit der Atmosphäre
A12	Technologien zur Meer- und Brackwasserentsalzung mit regenerativen Energien
A15	Bedarfsgerechte Bewässerungstechnologien und deren intelligente Steuerung („precision irrigation“)
A16	Technologien zur Verbesserung der Wasserspeicherkapazität von Böden (z.B. Bodenhilfsstoffe)

2.4.1 Ergebnisse der Expertenbefragung

Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Wassermanagementproblemen

Wie Abb. 14 zeigt, wird vor allem Technologien zur Meer- und Brackwasserentsalzung mit regenerativen Energien (A12) sowie bedarfsgerechten Bewässerungstechnologien (A15) große Bedeutung zur Lösung der künftigen Wassermanagementprobleme zugeschrieben. Ein hoher Prozentsatz der Befragten hält diese Technologie für „wichtig“ (orange) oder sogar für „äußerst wichtig“ (rot). Nur ein sehr geringer Anteil der befragten Experten weist ihnen „eingeschränkte“ (gelb) oder „keine Bedeutung“ (weiß) zu. Auch Technologien zur Überwachung und Sanierung von Wassernetzen (A09) werden nach wie vor von der Mehrheit der Befragten als „wichtig“ oder „äußerst wichtig“ eingeschätzt. Deutlich geringere Relevanz wird dagegen Technologien zur Verbesserung der Wasserspeicherkapazität von Böden (A16) zugemessen. Nur gut die Hälfte der Befragten hält diese Technologien für „wichtig“ oder für „äußerst wichtig“, während ihnen die anderen „eingeschränkte“ oder „keine Bedeutung“ beimessen oder eine „Bewertung nicht für möglich“ halten (schwarz). Die geringste Zustimmung finden Technologien zur Nutzung der Luftfeuchtigkeit der Atmosphäre (A11). Die Mehrheit der Befragten weist ihnen „keine“ oder nur „eingeschränkte“ Bedeutung zu oder enthält sich einer Bewertung.

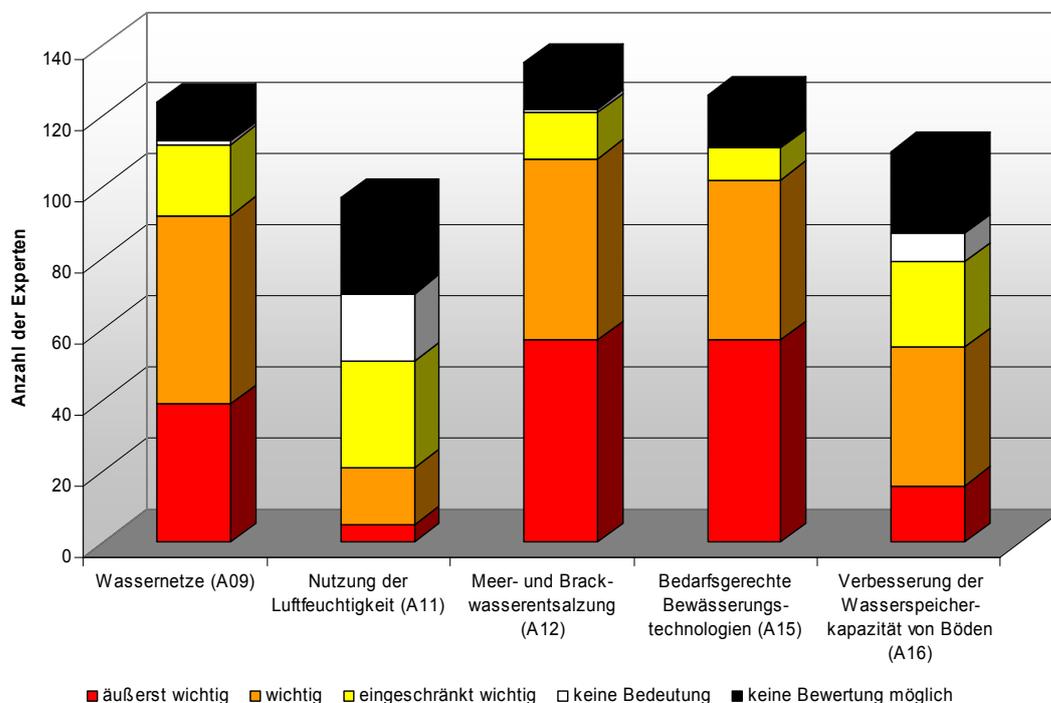


Abb. 14: Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Wassermanagementproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Positive und negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche

Alle in dieser Technologiegruppe zusammengefassten Technologien dienen der Reduktion des Bedarfs und damit des Verbrauchs an Frischwasser, weisen ansonsten aber so unterschiedliche Eigenschaften auf, dass ihre Vor- und Nachteile für andere Umweltbereiche jeweils separat diskutiert werden müssen.

Die wesentlichen Vorteile von *Technologien zur Überwachung und Sanierung von Wassernetzen (A09)* werden in der Verminderung von Wasserverlusten und damit in der Schonung der Grundwasserressourcen, in der Verringerung des notwendigen Energie- und Chemikalieneinsatzes bei der Wasseraufbereitung sowie in der Vermeidung von Schadstoffeinträgen in Böden und Gewässer gesehen. Als Nachteile werden die hohen Sanierungskosten und das begrenzte Budget der Kommunen angeführt. Weitere Hemmnisse, die einer erfolgreichen Anwendung dieser Technologien entgegenstehen, werden in den verkrusteten Strukturen der deutschen Wasserwirtschaft sowie in den Besonderheiten der öffentlichen Kostenrechnung gesehen, die dazu führt, dass Investitionen, trotz hoher laufender Kosten, verzögert werden.

Unbestritten ist, dass *Technologien zur Nutzung der Luftfeuchtigkeit der Atmosphäre (A11)* grundsätzlich nur für bestimmte aride Gebiete der Erde in Betracht kommen, die sich durch Niederschlagsarmut bei gleichzeitiger Nebelhäufigkeit auszeichnen (z.B. Peru, Chile, Teile von Namibia). Unter solchen klimatischen Voraussetzungen bietet die Technologie aber eine Möglichkeit der Wassergewinnung, ohne die meist beschränkten Grundwasservorräte in Anspruch nehmen zu müssen. Neben der begrenzten Einsetzbarkeit dieser Technologie wird der meist hohe Energieverbrauch als Nachteil angesehen. Bei einer großtechnischen Anwendung werden außerdem Ökosystemschäden infolge von Wassermangel sowie regional negative Klimawirkungen befürchtet. Allerdings sind die potenziellen Wirkungen bisher wenig untersucht.

Die positiven Effekte von *Technologien zur Meer- und Brackwasserentsalzung mit regenerativen Energien (A12)* werden insbesondere in der Schonung der Grundwasservorräte und der Einsparung fossiler Energieträger gesehen. Dieser Technologiebereich eröffnet zudem vielen Entwicklungsländern die Chance, Grundwasser eingeschränkter Qualität einer Nutzung zuzuführen. Als gravierende Probleme werden die Rückstandsentsorgung und die Gefahr einer Aufsalzung der küstennahen Gewässer (Schädigung der Meeresökologie) bzw. der Böden angeführt.

Als Vorteile *bedarfsgerechter Bewässerungstechnologien (A15)* werden generell die Einsparung von Wasser, das damit für andere Zwecke (Trinkwasserversorgung) zur Verfügung steht, die Steigerung der landwirtschaftlichen Erträge, die Vermeidung von Auswaschungen und Erosion sowie die im Vergleich zu anderen Bewässerungstechnologien geringere Versalzung der Böden angeführt. Im Hinblick auf die Gewährleistung der Ernährungssicherheit in Anbetracht des Bevölkerungswachstums in vie-

len Entwicklungsländern sollte der Weiterentwicklung dieser Technologien aus Sicht der Befragten hohe Priorität eingeräumt werden. Angesichts der Folgen des Klimawandels werden Bewässerungstechnologien auch in Deutschland an Bedeutung gewinnen und sind für den Mittelmeerraum überlebenswichtig. Als Nachteil werden vor allem die hohen Kosten angeführt. Ein weiteres Problem wird darin gesehen, dass diese Technologien zwar Wasser einsparen, auf der anderen Seite aber die Ausdehnung der Anbauflächen, auch in dafür wenig geeigneten Gebieten fördern. Die Folgen sind eine Absenkung des Grundwasserspiegels sowie negative Auswirkungen auf Ökosysteme und Biodiversität.

Als positive Auswirkungen von *Technologien zur Verbesserung der Wasserspeicherkapazität von Böden* (A16) werden die Zurückdrängung der Wüstenbildung, die Vermeidung von Erosion, die Reduktion von Hochwassergefahren, die Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und die Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität in ariden Gebieten betrachtet. Sie tragen außerdem zur Wassereinsparung und damit zur Schonung der Grundwasservorräte bei, können einer Überdüngung entgegenwirken und klimaausgleichende Folgen haben. Als Nachteile werden insbesondere beim Einsatz standortfremder Stoffe ökotoxische Risiken, Schadstoffeinträge durch Chemikalien (z.B. Formaldehyd) und mögliche negative Bodenveränderungen angeführt (Konflikte mit dem Boden- und Naturschutz). Als Alternative wird daher von manchen Experten eine „nachhaltige Bodenbewirtschaftung“ (Bodenbearbeitung, Bewässerungsmanagement, richtige Frucht Auswahl etc.) befürwortet, welche die natürliche Wasserspeicherkapazität der Böden erhält und auf synthetische Bodenhilfsstoffe verzichten kann.

Forschungsbedarf / Förderbedarf

Wie in dieser Technologiegruppe zu erwarten, wird der höchste Forschungsbedarf in den Bereichen „Anpassung an die Anforderungen der Entwicklungs- und Schwellenländer“ (Abb. 15, violette Kurve) sowie „Technologieentwicklung“ (rote Kurve) gesehen. Der Bedarf an Grundlagenforschung (blaue Kurve) wird mit Ausnahme der Technologien zur Nutzung der Luftfeuchtigkeit (A11) als weniger vordringlich beurteilt. Der Forschungsbedarf für „Demonstration und Marketing“ (grüne Kurve) wird mit Blick auf Technologien zur Nutzung der Luftfeuchtigkeit der Atmosphäre (A11) und Technologien zur Meer- und Brackwasserentsalzung (A12) am geringsten eingeschätzt und liegt bei diesen beiden Technologiebereichen noch unter dem Bedarf an Grundlagenforschung.

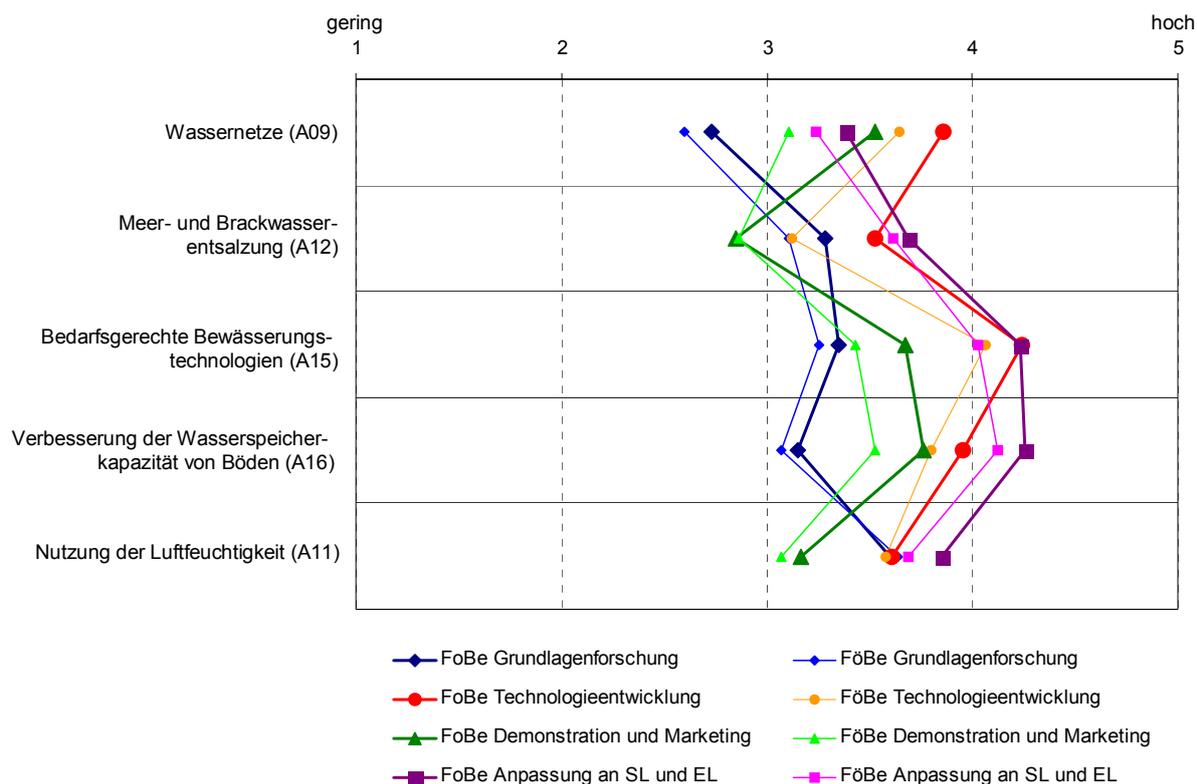


Abb. 15: Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Bei der Verbesserung der Wasserspeicherkapazität von Böden (A16) sowie den bedarfsgerechten Bewässerungstechnologien (A15) wird „Demonstration und Marketing“ dagegen für wichtiger gehalten als Grundlagenforschung, allerdings für weniger bedeutsam als die Technologieentwicklung und die „Anpassung an die Anforderungen der Entwicklungs- und Schwellenländer“. Im Hinblick auf Technologien zur Überwachung und Sanierung von Wassernetzen (A09) schließlich wird der Bedarf an „Demonstration und Marketing“ fast ebenso hoch eingeschätzt wie der Bedarf an Technologieentwicklung und liegt hier noch über dem „Anpassungsbedarf“.

Wie in anderen Clustern auch, besteht eine enge Korrelation zwischen Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe). Die Kurven verlaufen bei den meisten Technologiebereichen weitgehend parallel und relativ dicht nebeneinander, wobei der Förderbedarf überall geringfügig unter dem Forschungsbedarf liegt. Größere Abweichungen zeigen sich im Bereich „Demonstration und Marketing“. Vor allem mit Blick auf Technologien zur Überwachung und Sanierung von Wassernetzen (A09), Technologien zur Meer- und Brackwasserentsalzung (A12) sowie bedarfsgerechte Bewässerungstechnologien (A15) wird der Bedarf an öffentlicher Förderung deutlich geringer eingeschätzt als der Forschungsbedarf. Bei diesem Technologiebereich sehen die Experten eher Bedarf an Technologieentwicklung und För-

derung dieser durch die öffentliche Hand. Dies zeigt sich durch die geringe Nennung der Kategorie „kein Bedarf“ von 1,0% beim Förderbedarf und sogar keiner Nennung dieser Kategorie beim Forschungsbedarf (s. Tab. 5). Ähnliches gilt für die Technologieentwicklung bei Technologien zur Nutzung der Luftfeuchtigkeit aus der Atmosphäre (A11). Auch hier liegt der Bedarf an öffentlicher Förderung deutlich unter dem Forschungsbedarf, d.h. die Verantwortung für die Weiterentwicklung dieser Technologien wird der Industrie, nicht der öffentlichen Hand zugewiesen.

Tab. 5: Anzahl der Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ (absolute Nennungen / Gesamtexpertenanzahl)

		A09	A11	A12	A15	A16
Förderbedarf	Grundlagenfor.	8,0% (8/100)	16,4% (9/55)	4,8% (5/104)	2,2% (2/89)	10,8% (8/74)
	Technologieentw.	1,0% (1/103)	12,5% (7/56)	1,9% (2/105)	3,3% (3/92)	9,6% (7/73)
	Demo u. Marketing	7,1% (7/99)	18,9% (10/53)	5,1% (5/98)	6,6% (6/91)	13,0% (9/69)
	Anpassung SL/EL	10,3% (10/97)	14,0% (8/57)	0% (0/110)	2,2% (2/89)	9,9% (7/71)
Forschungsbedarf	Grundlagenfor.	5,8% (6/103)	10,9% (6/55)	2,9% (3/105)	2,2% (2/89)	10,5% (8/76)
	Technologieentw.	0% (0/105)	8,9% (5/56)	1,9% (2/107)	1,1% (1/90)	9,0% (7/78)
	Demo u. Marketing	3% (3/100)	13,2% (7/53)	2,0% (2/101)	2,3 (2/86)	9,5% (7/74)
	Anpassung SL/EL	6,1% (6/99)	12,1% (7/58)	1,9% (2/104)	1,1% (1/87)	9,3% (7/75)

Besonders auffällig sind die relativ häufigen Nennungen in den Kategorien kein Forschungs- bzw. kein Förderbedarf (s. Tab. 5) bei den Technologien zur Nutzung der Luftfeuchtigkeit der Atmosphäre (A11) und den Technologien zur Verbesserung der Wasserspeicherkapazität von Böden (A16), was sich mit der als eher gering wahrgenommenen Problemlösungskapazität dieser Technologiebereiche (s. Abb. 14) deckt.

Marktpotenziale

Wie zu erwarten, werden die Marktpotenziale für die Mehrzahl der in dieser Technologiegruppe zusammengefassten Technologien vorwiegend in den Entwicklungsländern (Abb. 16, grüne Kurve) gesehen, gefolgt von den Schwellenländern (rote Kurve) während die Marktpotenziale in den Industrieländern (blaue Kurve) als weniger bedeutsam eingeschätzt werden. Dieses Muster unterscheidet sich grundlegend von den Einschätzungen des Marktpotenzials der vorangegangenen beiden Technologiegruppen, bei denen die Technologien ihr höchstes Marktpotenzial vornehmlich in Industrieländern erreichen.

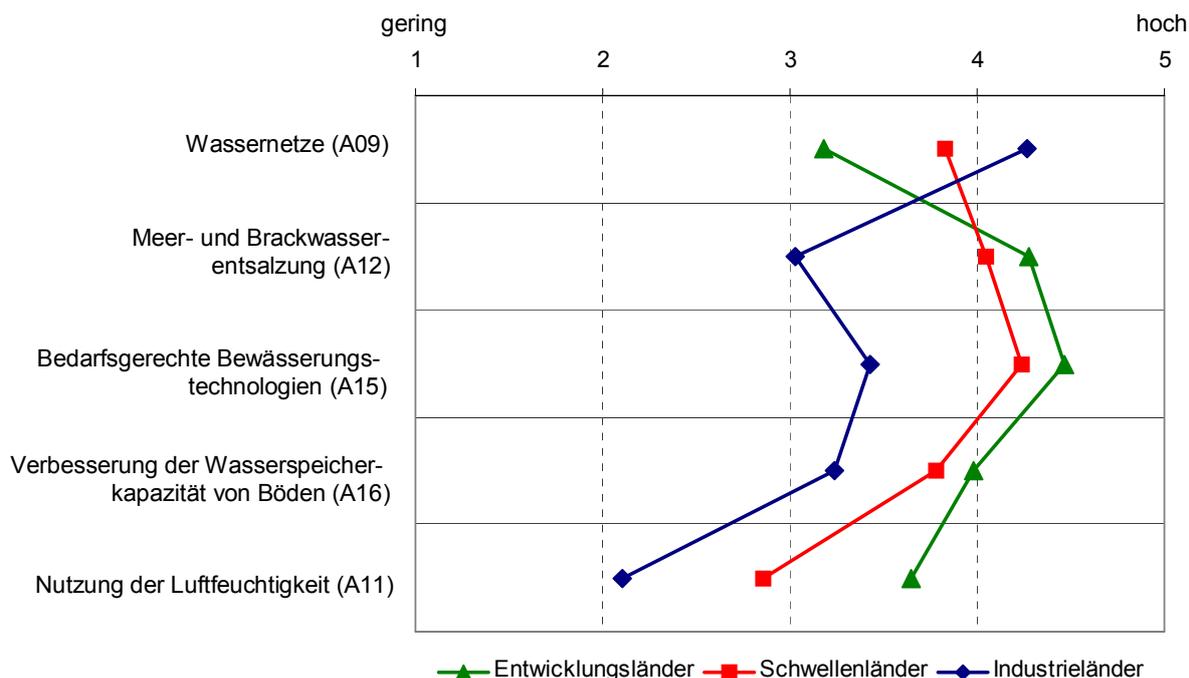


Abb. 16: Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Eine Ausnahme stellen die Technologien zur Überwachung und Sanierung von Wassernetzen (A09) dar. Hier liegt nach Einschätzung der Experten das größte Marktpotenzial in den Industrieländern, gefolgt von den Schwellenländern, während die Entwicklungsländer eine untergeordnete Rolle spielen.

Das geringste Marktpotenzial in allen Ländertypen weisen die von uns befragten Experten den Technologien zur Nutzung der Luftfeuchtigkeit der Atmosphäre (A11) zu.

Hemmnisse

In Tab. 6 sind die wesentlichsten Hemmnisse, die einem erfolgreichen Einsatz der untersuchten Technologien am Standort Deutschland entgegenstehen, angeführt.

Tab. 6: Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)

	Wassernetze (A09)	Nutzung der Luftfeuchtigkeit (A11)	Meer- und Brackwasserentsalzung (A12)	Bedarfsgerechte Bewässerungstechnologien (A15)	Verbesserung der Wasserspeicherkapazität von Böden (A16)
Kontraproduktive politische Regelungen	16	0	6	8	8
Fehlende gesellschaftliche Akzeptanz	15	8	11	14	14
Ungelöste technische Probleme	34	24	53	28	29
Fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU	28	12	32	26	22
Unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten	38	19	37	34	23
Unzureichende Vernetzung von Forschung und Unternehmen	18	7	19	21	17
Anzahl der Experten (die in dem jeweiligen Technologiebereich Hemmnisse sehen)	82	47	86	73	52

Die Tabelle bestätigt die auch aus den anderen Themenkomplexen der Umfrage bekannten Ergebnisse: Als wesentlichste Hemmnisse werden die „bisher ungelösten technischen Probleme“ sowie die „unzureichenden ökonomischen Erfolgsaussichten“ für die Unternehmen gesehen. An dritter Stelle stehen die „fehlenden FuE-Kapazitäten bei kleineren und mittleren Unternehmen“. Lediglich bei Technologien zur Überwachung und Sanierung von Wassernetzen (A09) wird auch der „unzureichenden Vernetzung von Forschung und Unternehmen“ eine gewisse Bedeutung als Hemmnis zugesprochen. Andere potenzielle Behinderungen wie etwa „kontraproduktive politische Rahmenbedingungen“ oder „fehlende gesellschaftliche Akzeptanz“ spielen dagegen eine untergeordnete Rolle. Auffällig ist die hohe Anzahl an Experten, die bei den Technologien zur Meer- und Brackwasserentsalzung mit regenerativen Energien (A12) bisher noch ungelöste technische Probleme als größtes Hemmnis sehen.

Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich

Ein hoher Anteil der Experten betrachtet die Stellung Deutschlands in dieser Technologiegruppe im internationalen Vergleich als durchschnittlich (weiß, s. Abb. 17). Bei Technologien zur Überwachung und Sanierung von Wassernetzen (A09) sowie bei

Technologien zur Meer- und Brackwasserentsalzung mit regenerativen Energien (A12) ist aber die Anzahl der Befragten, die Deutschland in einer „überdurchschnittlichen“ (grün) oder sogar „herausragenden“ Position (dunkelgrün) sehen, größer als die Zahl derer, die Deutschland eine „unterdurchschnittliche“ (orange) oder sogar „unbedeutende“ Rolle (rot) zuweisen. Bei den anderen drei Technologiebereichen ist dagegen der Anteil, der die Stellung Deutschlands für „unterdurchschnittlich“ oder sogar „unbedeutend“ hält, deutlich höher als der Anteil, der zu einer positiven Einschätzung kommt; am negativsten wird die Stellung Deutschlands im Hinblick auf Technologien zur Nutzung der Luftfeuchtigkeit der Atmosphäre (A11) beurteilt. Generell werden bei allen Technologiebereichen dieser Gruppe die industrielle Forschung und das Unternehmens-Know-how gegenüber der öffentlichen Forschung als geringfügig überlegen angesehen.

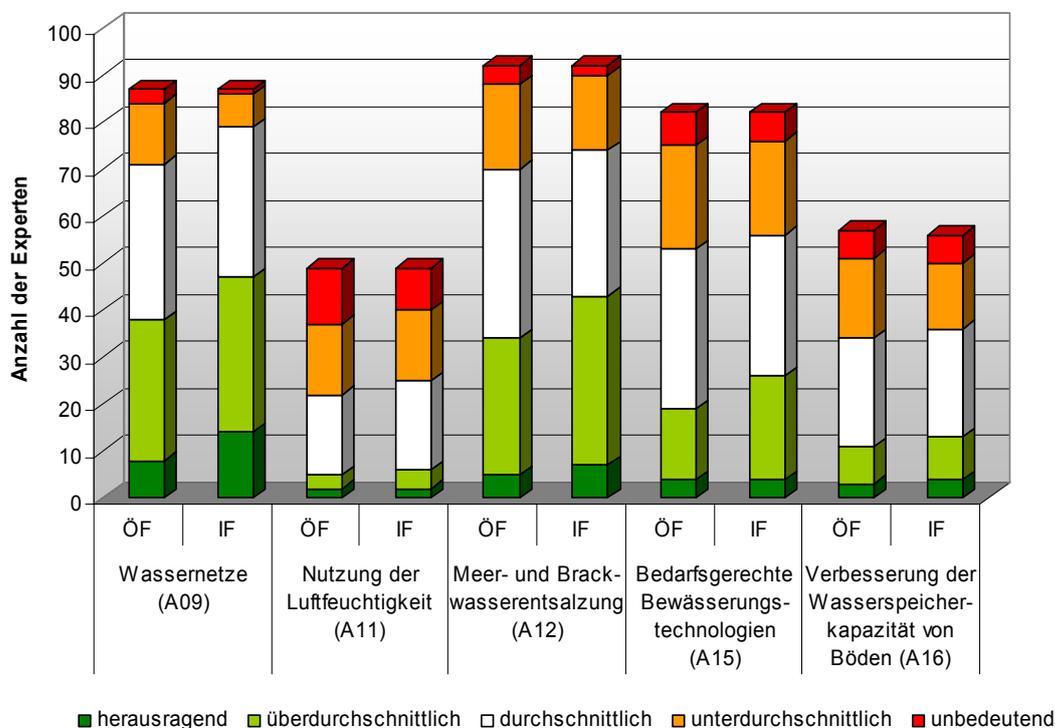


Abb. 17: Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

2.4.2 Ergebnisse des Experten-Workshops

Die Diskussion zu den ausgewählten Technologiebereichen der Technologiegruppe 3 „Reduzierung des Wasserverbrauchs“ wurde sehr technologiebezogen geführt.

Wie die schriftlich befragten Experten schätzten auch die Teilnehmer des Workshops die Relevanz der Technologien zur Systemüberwachung, Detektion von Rohrschäden, zur Zustandsbewertung und Sanierung von Wassernetzen (A09) bezogen auf Industrieländer als hoch ein. Der Anteil der Leckagen sei auch in Industrieländern sehr hoch und damit die Reparatur der Infrastruktur wichtig. Die Experten führten zudem an, dass es jedoch besonders in Entwicklungsländern eine andere Entwicklung gäbe. In diesen Ländern würde die Akzeptanz von zentralistischen Wasserversorgungssystemen eher abnehmen, was zu einer Versorgung über Brunnen im eigenen Garten führe. In Kabul würden z.B. inzwischen 18.000 Brunnen existieren, so dass zentrale Versorger nicht mehr wirtschaftlich arbeiten könnten. Diese Entwicklung sei jedoch nicht akzeptabel, weil bspw. Erfahrungen aus Berlin bis etwa 1880 mit einem Kleinbrunnensystem zeigten, dass derartige Systeme besonders anfällig bei Epidemien seien. In Kabul seien sogar 50% der Handbrunnen zum Teil hoch mit *Escherichia coli* verseucht; dessen ungeachtet würde das Wasser unaufbereitet genutzt. Aufgrund der hohen Anschlusskosten, Wasserpreise etc. sei die Bevölkerung aber schwer von den Vorteilen anderer Systeme zu überzeugen.

Die von den schriftlich befragten Experten als gering eingeschätzte Bedeutung der Technologien zur Nutzung der Luftfeuchtigkeit der Atmosphäre (A11) zur Lösung der Wasserressourcenproblematik und auch das geringe Marktpotenzial, verwunderten die Teilnehmer des Workshops nicht. Grund hierfür sei zum Beispiel, dass diese Technologien nur dort zum Tragen kämen, wo wenige Menschen lebten, es also eine geringe Bevölkerungsdichte gäbe. Zudem seien die Energiekosten hoch, v.a. in Ländern, in denen ohnehin Primärenergie nur in geringem Maße vorhanden sei. Darüber hinaus habe der Technologiebereich kaum technologisches Potenzial in ariden Gebieten wie z.B. Namibia. Dort ist es nach Ansicht der Experten zu trocken, um den Wasserbedarf zu decken. Die Funktion sei daher auf Klimate mit hohen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit beschränkt. Um das Potenzial solarer Wärme und vielen Brackwasserquellen in Namibia zur Bekämpfung der Wasserknappheit nutzen zu können, könnte aber die Kondensation von Salzwasser zu Trinkwasser bei geringem Energieeinsatz installiert werden. Diese Technologien würden zum Teil schon eingesetzt. Nach Auffassung der Workshop-Teilnehmer wäre eine Brackwassernutzung mit lokalen Kondensationsverfahren in Kombination mit einer Regenwassernutzung eine optionale Lösung für diese Länder und ein interessanter Forschungsansatz. Ein weiterer Ansatz sei die Speicherung in oberflächennahen Grundwasserspeichern, um die Verdunstungsverluste zu verringern, die ohne Abdeckung mehr als 90% betragen. Beispielsweise sammle sich Wasser in topographischen Pfannen in weni-

gen Metern und könne durch Abdeckungen gegen Verdunstung geschützt werden. Dieses gesammelte Wasser könnte z.B. wenigstens für das Tränken von Vieh genutzt werden. Die Workshop-Teilnehmer wiesen aber darauf hin, dass die Speicherung keine Technologie, sondern lediglich Know-how sei und somit und keine Ingenieurleistung vor Ort notwendig sei. Zudem wurde in der Diskussion angesprochen, dass es sich für einige dieser Technologien bzw. Verfahren nur um lokale bzw. regionale Märkte handle, die eher im Bereich urbaner Agglomerationen lägen. In diese Regionen müssten Verfahren / Technologien wie z.B. Zisternen in einer Weise eingebracht werden, dass sich ein entsprechendes Handwerk ausbilden kann, was wiederum die weitere Verbreitung der Technologien ermöglicht.

Von den Workshop-Teilnehmern nicht bestätigt wurde das durch die schriftlich befragten Experten als eher gering eingeschätzte Marktpotenzial bedarfsgerechter Bewässerungstechnologien (A15) in Industrieländern. Auch im Mittelmeergebiet hätten diese Technologien ein hohes Marktpotenzial. Durch den Einsatz nicht bedarfsgerechter Bewässerungsarten sei zum Beispiel in Südspanien der Grundwasserspiegel von 10 auf 80 Meter Tiefe abgesunken. Man müsse in diesen Gebieten zu einer bedarfsgerechten Bewässerung kommen, doch existiere kein großer Forschungsbedarf. Zum Beispiel sei das Verfahren der Tröpfchenbewässerung bereits sehr weit entwickelt; es können mit diesem Verfahren schon ca. 80% des Wassers genutzt werden.

In manchen Entwicklungsländern, gebe es neue Richtlinien für „Wasser in der Landwirtschaft“; diese Technologie sei dort vor allem eine Technologie zur Sicherung der Ernährung aufgrund stark wachsender Bevölkerungen mit Zuwachsraten von über 3% – dies bedeutet eine Verdoppelung der Bevölkerung bei gleicher Geburten- und Sterberate in nur 17 Jahren. Es müsse nach Expertenmeinung also die Landwirtschaft auf eine optimale Bewässerung umgestellt werden. Dass dies möglich sei, zeige das Beispiel Israel. Angeführt wurde daneben, dass die Nachnutzung vorgereinigter Abwässer in der Landwirtschaft ein sehr geeignetes Verfahren sei. Abwässer stellten in diesem Fall eine Ressource und eine zusätzliche Einkommensquelle dar. Klar sein müsse aber, dass dies alles Stand der Technik sei und deswegen kein großer Forschungsbedarf bestünde außer zum Einfluss soziologischer und gesellschaftlich-politischer Aspekte. Es ginge demnach eher um Politiktransfer als um Technologieentwicklungen. Angemerkt wurde, dass in diesem Kontext die Einstellung „andere sind zuständig“ falsch sei, besonders wenn man bedenke, dass zwei Drittel des Wassers über Pflanzen an die Luft abgegeben werden und damit wohl eher eine globale Lösung erstrebenswert sei. Es sollte untersucht werden, wo es z.B. sinnvoll ist Nahrungsmittel anzupflanzen und damit größere Regionen zu versorgen. Darüber hinaus müsse das so genannte „grünes Wasser“ viel stärker betrachtet werden, wobei dies vor allem ein Governance-Problem sei. In diesem Zusammenhang hoben die Workshop-Teilnehmer hervor, dass Forschungen zu „Decision-Support“-Systemen in die-

se Richtung gehen würden. Jene seien komplex und mehrdimensional. In diesem Bereich bestünde noch starker Forschungsbedarf, vor allem zu szenarienfähigen Decision-Support-Systemen, um Entscheidern durch die Szenarien Lösungswege, Steuerungsmöglichkeiten und Handlungsgrundlagen aufzuzeigen.

In Bezug auf Technologien zur Verbesserung der Wasserspeicherkapazität von Böden (A16) fiel bei der Expertenbefragung das gering bewertete Problemlösungspotenzial dieser Technologien auf. Dies könnte nach Meinung der Teilnehmer des Workshops auf ein Missverständnis zurückzuführen sein, wonach die Experten die Technologien eher auf bodenchemische Eingriffe reduziert hätten. Die Workshop-Experten führten zudem an, dass Technologien wie z.B. Bodenmatten zu hohe Kosten vor allem für Schwellen- und Entwicklungsländer mit sich bringen würden. Das Aufwand-Nutzen-Verhältnis sei besonders für Kleinbauern oft zu gering. Gleiche Effekte, wie der Aufbau einer Humusschicht, könnten mit der dann zu akzeptierenden Einschränkung einer längeren Dauer bis zum „Erfolg“ auch durch geeignete Fruchtfolgen erzielt werden. Als gute Praxisbeispiele für diesen Technologiebereich wurden ferner die Einarbeitung von gemahlenem Gestein in Lanzarote und der Einsatz von Geotextilien in der Sahelzone angeführt. Märkte für Technologien zur Verbesserung der Wasserspeicherkapazität (A16) seien nach Meinung der Workshop-Teilnehmer vor allem in Entwicklungsländern zu finden. Umstritten war der Einsatz von bereits sehr weit entwickelten Produkten wie Kunsterden aus Abfallstoffen und Additiven bspw. zur Verringerung von Erosion durch eine Humusschicht. Einerseits wurde für derartige Produkte in diesen Regionen ein bestimmter Bedarf gesehen, andererseits wurde entgegengehalten, dass diese Produkte zu teuer seien.

2.5 Technologiegruppenunabhängige Ergebnisse aus dem Workshop

Zum Schluss des Workshops wurden langfristige, eher visionär orientierte Reflektionen über Forschungstrends und mögliche Innovationen zur Lösung der Wasserproblematiken diskutiert. Jeder der eingeladenen Teilnehmer hatte die Möglichkeit sich zu äußern.

Die Workshop-Teilnehmer forderten eine verstärkte ganzheitliche Sichtweise von Prozessen und Kreisläufen im Bereich Wasser. Ihrer Ansicht nach sei Wasser ein Querschnittsthema, bei dem Aspekte des Bodenschutzes, der Landwirtschaft, gesundheitliche Perspektiven, der Einfluss des Klimawandels und das Thema Energie integriert und kombiniert beachtet und bedacht werden sollten. Ein Denken in Prozessen, ein Schließen von Stoffkreisläufen und ein Handeln über die Grenzen von Wasserressourcenschutz hinaus sei entscheidend. Zum Beispiel müsse bei der Weiterentwicklung von Membrantechniken oder der Meerwasser- und Brackwasserentsalzung ebenfalls die Erhöhung der Energieeffizienz durch den Einsatz regenerativer Energien berücksichtigt werden. Zu Oberflächenwasser / Grundwasser bzw. zur Auf-

bereitung von Abwasser gehöre auch immer der Schutz des Bodens. Dies mache neben dem angesprochenen weiten Prozessverständnis auch eine Kombination von Technologien aus verschiedenen Bereichen, also prozessintegrierte Techniken, notwendig. Um diese Integration zu erreichen und zu Systemlösungen bzw. Gesamtkonzepten zu kommen, werde aber noch viel zu wenig zusammengearbeitet; und es sei unbedingt eine institutionelle Zusammenführung in der Forschung anzustreben.

Ein weiteres wichtiges Themengebiet sei die Nahrungsmittelsicherheit bei zunehmender Weltbevölkerung, und damit die verstärkte Bewirtschaftung von landwirtschaftlich genutzten Flächen und die Erhöhung des Wasserverbrauchs durch die Landwirtschaft. Zu beachten sei hierbei, dass dies kein Thema außerhalb der Grenzen Deutschlands sei, sondern auch in Deutschland die Bewässerungslandwirtschaft stark zunehmen werde. In diesem Kontext seien intelligente Bewässerungssysteme, Technologien zur Nährstoffrückgewinnung, Nutzungsoptimierungen aber auch innovative Bewirtschaftungssysteme interessant.

Daneben sollte ein Schwerpunkt die zukünftige Entwicklung von urbanen Räumen sein. Es müsse beantwortet werden, wie mit schrumpfenden Städten, aber auch mit schnell wachsenden Agglomerationsräumen und den so genannten Megacities umzugehen sei. In diesem Bereich fehlen noch nachhaltige Lösungen. Um sich international positionieren, aber ebenso die Nutzer einbinden zu können, seien (nationale) Referenzprojekte oder die Ausstellung von Technologien in ausländischen Botschaften verstärkt anzudenken. Im Verlauf der Diskussion wurden neben der Erneuerung der Wasserinfrastruktur als zukünftig wichtige Inhalte für die Forschung und Entwicklung Membranverfahren, das Umgehen mit neuen Schadstoffen (z.B. Hormonen) und die Nanotechnologie genannt.

3 Klimaschutz und Luftreinhaltung

3.1 Einführung

Die Graphik zum globalen und nationalen Problemdruck in verschiedenen Umweltschadungsfeldern (s. Abb. 4, S. 21) spiegelt die allgemeine Problemwahrnehmung wider. Demnach ist der Klimawandel ein derzeit national und global vordringlich diskutiertes Thema, dem ein entsprechend hoher Problemdruck zugewiesen wird. Die Diskussion um eine anthropogen induzierte Klimaänderung war vor 20 Jahren weitgehend auf Experten beschränkt. Inzwischen kann von einem wissenschaftlichen und politischen Konsens darüber gesprochen werden, dass durch den zunehmenden Ausstoß von Treibhausgasen (THG) der natürliche Treibhauseffekt anthropogen verstärkt wird.

Das Thema Luftreinhaltung wurde in den letzten Jahrzehnten immer wieder in Politik, Wissenschaft und Medien diskutiert. In der Luftreinhaltung ist national und auf europäischer Ebene inzwischen ein hoher Standard erreicht, was zu der geringeren Einschätzung des Problemdrucks (s. Abb. 4, S. 21) geführt haben kann. Hohe Stickstoffoxid- und Ammoniakemissionen sowie die Problematik der flüchtigen Kohlenwasserstoffe ohne Methan (NMVOC) sind in der öffentlichen Diskussion nicht mehr so präsent wie zu Zeiten der heftigen Diskussionen um das Waldsterben oder gravierenden Smogsituationen z.B. im Ruhrgebiet. Dagegen traf die Feinstaubproblematik in den letzten Jahren immer wieder auf große öffentliche und politische Aufmerksamkeit in Europa.

Die im Bereich Klimaschutz und Luftreinhaltung auf Basis des State-of-the-Art-Reports ausgewählten Technologien sind im Folgenden zur besseren Übersicht in fünf Technologiegruppen eingeteilt.

- *Gruppe 1* beschäftigt sich mit der Speicherung und der industriellen Nutzung von CO₂. Zudem sind hier die Technologien zur Anpassung an den Klimawandel zugeordnet.
- *Gruppe 2* umfasst Technologien, die vornehmlich auf den Gebäudebereich abzielen.

Die Gruppen 3 bis 5 sind stark auf industrielle Prozesse fokussiert:

- *Gruppe 3* umfasst prozessspezifische Anwendungen,
- *Gruppe 4* integrierte Ansätze mit Querschnittscharakter,
- *Gruppe 5* additive Technologien mit Querschnittscharakter behandelt.

An dieser Stelle sei erneut betont, dass Technologien zur Energieerzeugung/-umwandlung sowie der Verkehrsbereich nicht im Mittelpunkt dieses Projekts stehen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Umfrage für dieses Cluster entlang der fünf oben beschriebenen Technologiegruppen skizziert. Diese Ergebnisse wurden in einem Expertenworkshop zur Diskussion gestellt; die Ergebnisse dieser Workshop-Diskussion sind ebenfalls nach den 5 Technologiegruppen sortiert. Generell lässt sich festhalten, dass vielen der ausgewählten Technologiebereiche eine hohe Problemlösungskapazität zugeschrieben wurde, aber keineswegs allen. Auch wenn die Vergleichbarkeit der Technologien eingeschränkt ist, durch die unterschiedliche Anzahl antwortender Experten und den unterschiedlichen Detaillierungsgrad der Technologien (von spezifischen Prozessen bis zu ganz unterschiedliche Technologien umfassenden Bereichen), so wird doch deutlich, dass die Bewertung im Hinblick auf den Umweltnutzen stark variiert.

3.2 Technologiegruppe 1: CO₂-Behandlung und Klimafolgen

Auswahl der Technologiebereiche

Allen drei Technologiebereichen ist gemeinsam, dass sie nicht primär versuchen, die Entstehung von CO₂ zu verhindern. Sie setzen vielmehr da an, wo CO₂ bereits entstanden ist, und versuchen entweder zu verhindern, dass dieses in der Atmosphäre klimatisch wirksam wird (B01: CCS und B02: CO₂-Nutzung), oder versuchen, die negativen Folgen der Klimaerwärmung zu begrenzen (B12).

CCS (Carbon Capture and Storage = CO₂-Abscheidung und –Speicherung) wurde in die Befragung aufgenommen, da diese Technologie in vielen Szenarien und mittel- bis langfristigen politischen Strategien zur Reduktion des CO₂-Gehalts der Atmosphäre eine wichtige Rolle spielt. Die Einschätzungen bzgl. technischer Machbarkeit und politischer Durchsetzbarkeit gehen allerdings stark auseinander: Während die einen große Hoffnungen in CCS setzen und größere Marktpotenziale in den nächsten Dekaden sehen, bezweifeln andere, dass diese Technologie jemals eine Lösung für Klimaprobleme sein kann (vgl. BMU/UBA 2007; Ausfelder, Bazanella 2008).

Im Hinblick auf ein „CO₂-Management“ werden vermehrt Technologien und Verfahren zur industriellen Nutzung von CO₂ diskutiert (z.B. Photobioreaktoren). Dieser Technologiebereich wurde auch deshalb ausgewählt, weil im Hinblick auf Machbarkeit und Potenziale sehr unterschiedliche Meinungen existieren (vgl. Ausfelder, Bazanella 2008). Zumindest kann aber von einem Beitrag zur Stabilisierung der atmosphärischen CO₂-Konzentration ausgegangen werden.

Wie im State-of-the-Art-Report (Schippl et al. 2008) beschrieben, existieren inzwischen zahlreiche Konzepte und Technologien zur Adaptation an den Klimawandel. Solche Technologien können in sehr unterschiedlichen Bereichen und Regionen ansetzen, was auch daran liegt, dass sich eine Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur in den Regionen der Erde sehr unterschiedlich auswirken wird. Forschungs- und Anwendungsfelder reichen über (einfache) bauliche Maßnahmen zum Hochwasserschutz, biotechnische Verfahren zur Resistenzsteigerung von Pflanzen bis hin zur Modellierung und verbesserten Vorhersagbarkeit von Klimafolgen. Wegen dieser extremen inhaltlichen Breite und der hohen geographischen Variabilität der Ansätze wurde darauf verzichtet, einzelne Technologien auszugliedern und abzufragen. Dazu wäre eine eigene Befragung erforderlich, die sich dann der unterschiedlichen Technologien annehmen müsste. Wegen ihrer großen Bedeutung sollte die Thematik aber nicht ganz fehlen, sodass eine sehr allgemeine Formulierung der Frage gewählt wurde – die mit diesem hohen Aggregationsniveau verbundenen Nachteile bewusst in Kauf nehmend.

B01	Technologien zur dauerhaften Speicherung von CO ₂ (z.B. in geologischen Formationen)
B02	Technologien und Verfahren zur industriellen Nutzung von CO ₂ (z.B. Photobioreaktoren)
B12	Konzepte, Verfahren und Technologien zur Adaptation an den Klimawandel (z.B. Hochwasserschutz, Züchtung salztoleranter und trockenheitsresistenter Nutzpflanzen)

3.2.1 Ergebnisse der Expertenbefragung

Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Klimaschutz- und Luftqualitätsproblemen

Wie Abb. 18 zeigt, bestätigt die Mehrheit der Experten die hohe Relevanz der Technologien zur Lösung von Klimaschutz- und Luftqualitätsproblemen. Insbesondere werden Konzepte, Verfahren und Technologien zur Adaptation an den Klimawandel (z.B. Hochwasserschutz, Züchtung salztoleranter und trockenheitsresistenter Nutzpflanzen) (B12) von mehr als drei Vierteln der dazu befragten Experten als wichtig (> 35%) oder äußerst wichtig (> 44%) betrachtet. Die Anteile derjenigen, die den ausgewählten Technologiebereichen hingegen keine Bedeutung zugewiesen haben, sind vergleichsweise gering. Jedoch messen fast die Hälfte der Experten den Technologien zur Speicherung von CO₂ (B01) keine Bedeutung (> 9%) oder nur geringe Bedeutung (> 31%) zu.

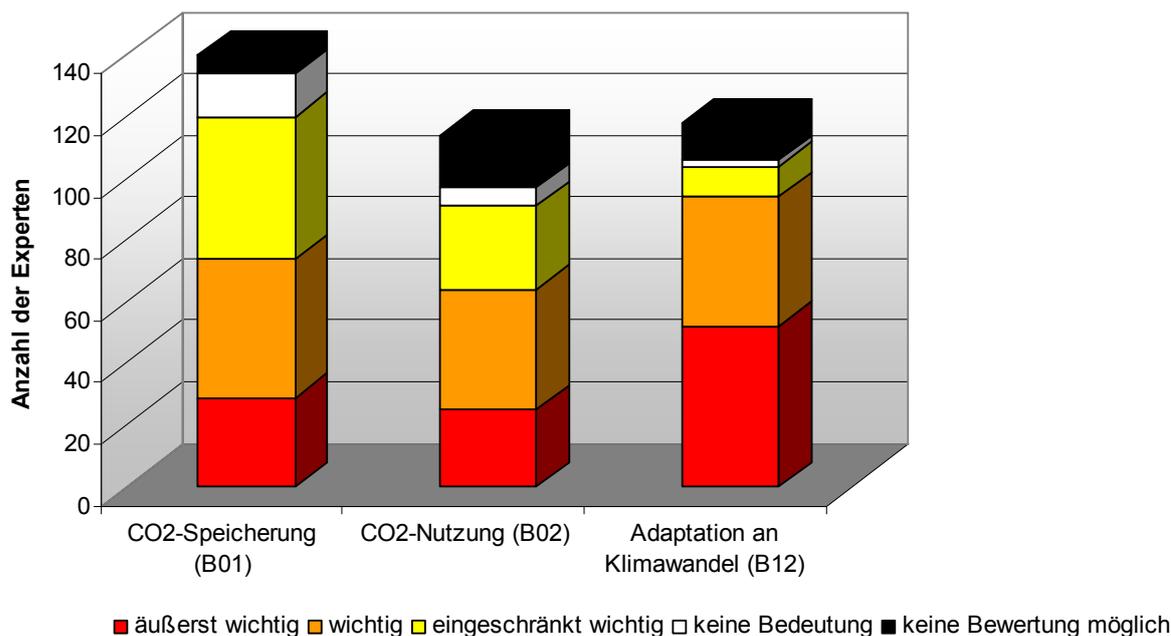


Abb. 18: Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Klimaschutz- und Luftqualitätsproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Positive und negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche

Bei *Carbon Capture and Storage (CCS)* (B01) wurde neben der positiven Auswirkung unter Klimaschutzgesichtspunkten auch auf eine mögliche Reduktion des Ausstoßes anderer Luftschadstoffe und deren Eintrag in die Ökosysteme hingewiesen, womit fast alle anderen Umwelthandlungsfelder angesprochen sind (Biodiversität, Boden, Wasser, Luft). Die Liste mit negativen Nennungen bei CCS ist lang: Hingewiesen wird zunächst auf den reduzierten Wirkungsgrad und damit auf den erhöhten Energieverbrauch, ebenso viele Kommentare beziehen sich auf Risiken wie unkontrollierten Austritt von CO₂ aus Lagerstätten, pH-Wert-Änderungen in wässrigen Medien, Öko-Humantoxizität, negative Auswirkungen auf Böden oder den geologischen Untergrund insgesamt. Zudem werden ein erhöhter Landschaftsverbrauch und eventuelle Nutzungskonflikte mit Geothermie oder Druckluftspeicherung angeführt.

Bei der *industriellen Nutzung von CO₂* (B02) wurden deutlich weniger negative als positive Auswirkungen genannt. Als positive Auswirkungen wurde die Entlastung von natürlichen Ressourcen unter Betonung von Böden und Landwirtschaft (auch weil dann weniger „Lebensmittel in Kraftstoffe“ umgewandelt werden müssen) angeführt. Auch die Biomassegewinnung wird mehrfach als positiver Effekt genannt. Die genannten negativen Auswirkungen beziehen sich im Wesentlichen auf den erhöhten Ressourcenverbrauch (Energie, Wasser, Fläche).

Bezüglich der *Konzepte, Verfahren und Technologien zur Adaptation an den Klimawandel* (B12) sind die genannten Auswirkungen sehr unterschiedlicher Art, was nicht überrascht, da die Fragestellung bewusst so gewählt wurde, dass sehr unterschiedliche Technologien damit verbunden werden können. Genannte positive Auswirkungen beziehen sich auf folgende Stichworte: Biodiversität, Bodenschutz, Gewässermanagement, Entsiegelung, Katastrophenschutz, Klimaschutz selbst, nachhaltige Nutzungskonzepte, Armutsbekämpfung, Biotechnologie. Genannte negative Auswirkungen beziehen sich auf: Flächenkonkurrenz (Flächenverbrauch durch Schutzanlagen), Biodiversität, Landschaftsschutz und Düngemittelaustrag.

Forschungsbedarf / Förderbedarf

Erwartungsgemäß wird für alle drei Technologiebereiche der Forschungsbedarf im Bereich Grundlagenforschung und Technologieentwicklung als hoch bis sehr hoch eingeschätzt (s. Abb. 19). Deutlich geringerer Forschungsbedarf wird für den Bereich „Demonstration und Marketing“ sowie für die „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ gesehen. Auch die in Tab. 7 angeführten Nennungen für „kein Bedarf“ werden in den zuletzt genannten Kategorien deutlich häufiger genannt.

Tab. 7: Nennungen in der Kategorie "kein Bedarf" (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten)

		B01	B02	B12
Förderbedarf	Grundlagenfor.	15,1% (19/126)	1,1% (1/91)	9% (4/44)
	Technologieentw.	14,5% (18/124)	2,3% (2/88)	11% (5/45)
	Demo u. Marketing	25% (29/116)	9,8% (8/82)	11% (5/44)
	Anpassung SL / EL	27,2% (31/114)	17,1% (14/82)	11% (5/45)
Forschungsbedarf	Grundlagenfor.	6,2% (8/129)	1,1% (1/93)	1,1% (1/90)
	Technologieentw.	5,5% (7/127)	1,1% (1/89)	1,1% (1/88)
	Demo u. Marketing	13,8% (16/116)	6,2% (5/81)	6,1% (5/82)
	Anpassung SL / EL	17,7% (20/113)	12% (10/83)	3,5% (3/86)

Keinen öffentlichen Förderbedarf sehen hier 15,1% bzgl. Grundlagenforschung, 14,5% bzgl. Technologieentwicklung, 25% bzgl. „Demonstration und Marketing“ und 27,2% bzgl. „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungslän-

der“. Bei der CO₂-Nutzung (B02) sah dagegen nur hinsichtlich der „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ eine nennenswerte Anzahl von Experten keinen Forschungsbedarf (12%) bzw. Förderbedarf (17,1%).

Bei den Technologien zur Anpassung an den Klimawandel (B12) wird im Vergleich zu anderen Technologiebereichen in diesem Handlungsfeld die Bedeutung der „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ sehr stark betont, sowohl für den Forschungsbedarf wie auch für den Förderbedarf. Kein Bedarf wird vor allem bzgl. „Demonstration und Marketing“ gesehen (6,1% bzgl. Forschungsbedarf, 9.8% bzgl. Förderbedarf).

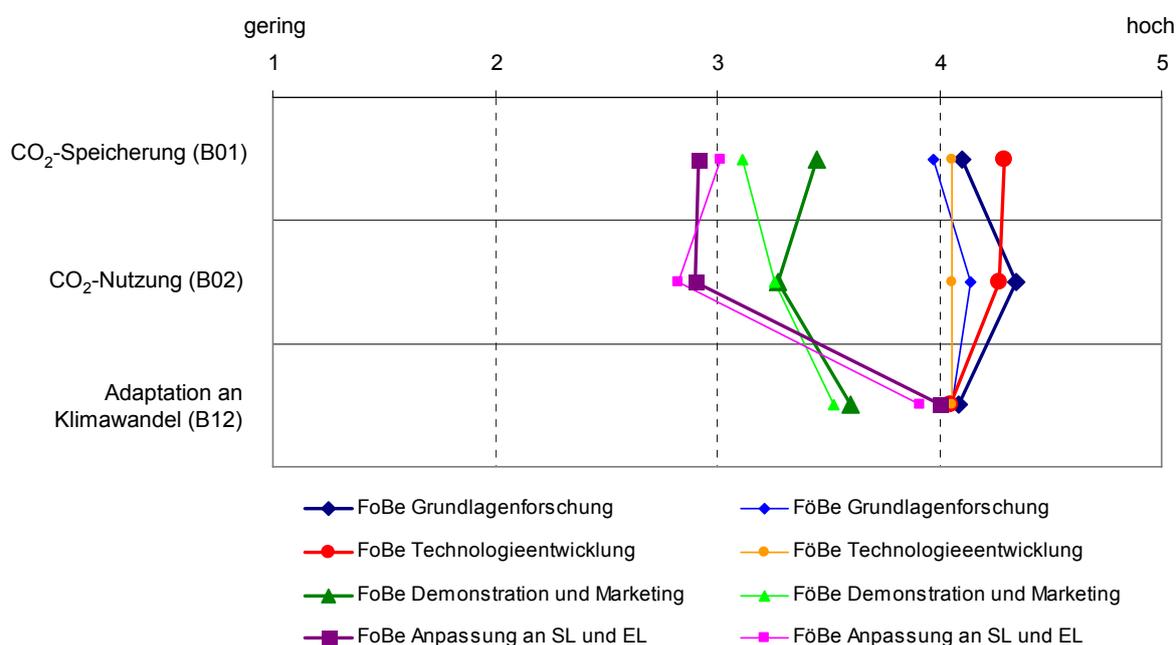


Abb. 19: Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Marktpotenziale

Bei CCS (B01) und der industriellen Nutzung von CO₂ (B02) zeigt sich das für viele in diese Befragung einbezogene Umwelttechnologien typische Muster mit hohem Marktpotenzial in den Industrieländern, mittlerem Potenzial in den Schwellenländern und geringem Potenzial in den Entwicklungsländern (s. Abb. 20). Keinerlei Marktpotenzial sehen für CO₂-Speicherung in Entwicklungsländern immerhin 16,1% (4,7% bei Industrieländern, 8% bei Schwellenländern). Für die CO₂-Nutzung sehen 8,2% kein Potenzial in Entwicklungsländern (1,1% in Industrieländern, 3,3% in Schwellenländern).

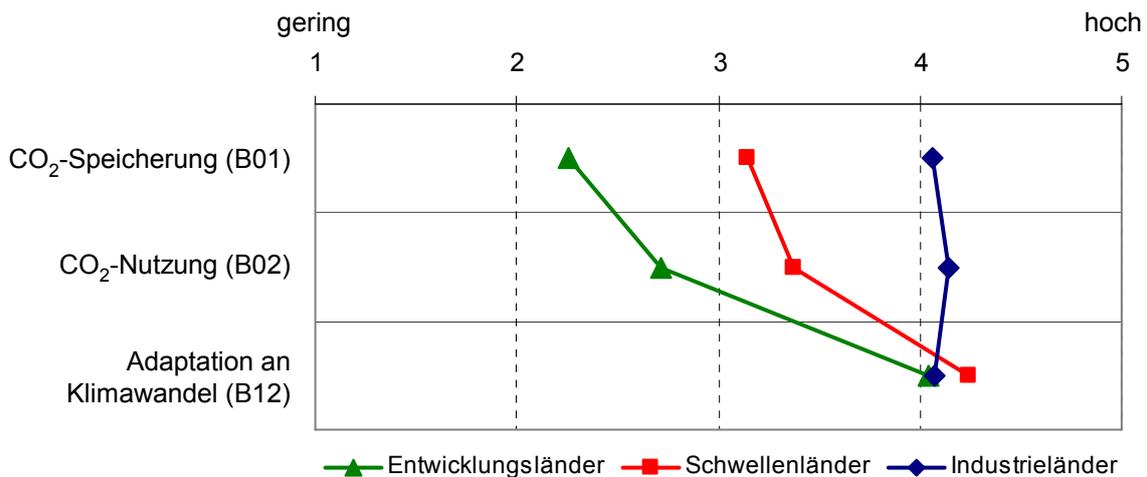


Abb. 20: Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Dagegen wird für Technologien zur Anpassung an den Klimawandel global ein hohes Marktpotenzial gesehen. Das mag an der sehr breiten Formulierung der Frage liegen, die es ermöglicht, sehr viele und sehr verschiedene Technologien zu subsumieren. Dennoch gehen die Experten offensichtlich davon aus, dass eine große Zahl dieser Technologien aufgrund des großen Problemdrucks auch nachgefragt wird – unabhängig vom ökonomischen Entwicklungsstand der Zielregion.

Hemmnisse

Bei dieser Befragung sind auch in den anderen Handlungsfeldern in der Regel die häufigsten Nennungen bei den Kategorien „ungelöste technische Probleme“, „fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU“ sowie „unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten“ (s. Tab. 8). Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den hier diskutierten Technologien. Zudem wird bestätigt, dass viele Experten bzgl. CCS-Technologien mit Akzeptanzproblemen rechnen. „Ungelöste technische Probleme“ werden bei allen drei Technologiebereichen am häufigsten genannt, besonders fällt hier die hohe Zahl an Nennungen (95) bei CCS aber auch bei der Nutzung von CO₂ (64) auf.

Tab. 8: Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl, dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl, hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)

	CO ₂ -Speicherung (B01)	CO ₂ -Nutzung (B02)	Adaptation an den Klimawandel (B12)
Kontraproduktive politische Regelungen	23	9	24
Fehlende gesellschaftliche Akzeptanz	54	10	25
Ungelöste technische Probleme	95	64	38
Fehlende FuE-Kapazitäten bei KMUs	24	43	24
Unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten	51	47	35
Unzureichende Vernetzung von Forschung und Unternehmen	16	19	25
Anzahl der Experten (die in dem jeweiligen Technologiebereich Hemmnisse sehen)	119	82	75

Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich

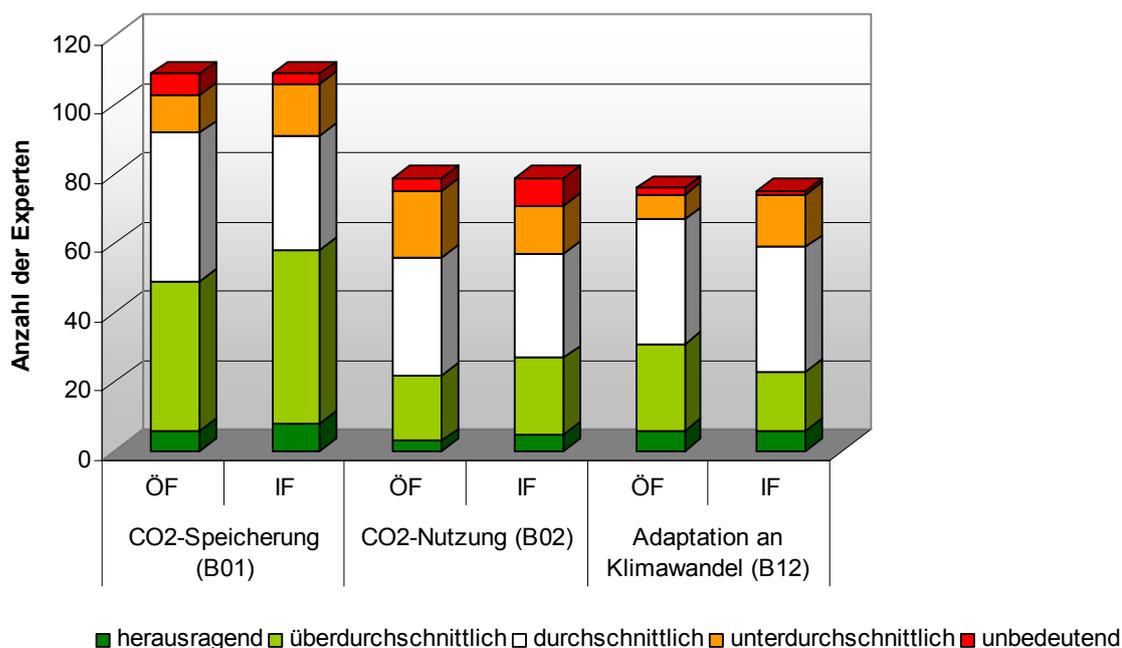


Abb. 21: Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Die Stellung Deutschlands wird bei CCS (B01) eher positiv, bei den anderen beiden Technologiebereichen höchstens verhalten positiv eingeschätzt (s. Abb. 21). Bei allen drei Technologiebereichen haben sich viele Experten für die mittlere Kategorie („durchschnittlich“) entschieden. Bei der CO₂-Nutzung (B02) und den Technologien zur Adaptation an den Klimawandel (B12) ist das die dominierende Kategorie.

3.2.2 Ergebnisse des Experten-Workshops

Zum Technologiebereich CCS (B01) entstand im Workshop eine relativ lange und kontroverse Diskussion, welche die wesentlichen aus der Literatur bekannten Argumentationslinien wiedergab und zudem die auf den Fragebögen schriftlich eingetragenen Kommentare widerspiegelt. Einige Teilnehmer stimmten mit der zurückhaltenden Experteneinschätzung in der Umfrage völlig überein, andere beurteilten die Ergebnisse etwas skeptisch.

Methodisch wurde der starke, durch den Energiewandlungstechnologien ausschließenden Projektzuschnitt bedingte Fokus auf die CO₂-Einlagerung kritisiert. Zum einen wurde befürchtet, dass dadurch zum einen die Effizienzverluste durch CO₂-Abscheidung in den Kraftwerken nicht ausreichend berücksichtigt würden, zum anderen wurde angemerkt, dass der Energiesektor als Ganzes betrachtet werden müsse und CCS nur im Vergleich zu alternativen Optionen zur CO₂-Reduktion bzw. -Behandlung bewertet werden könne. Es wurde darauf hingewiesen, dass große Teile des Kraftwerksparks bis 2020 bereits gebaut wären, sodass vor allem die Nachrüstung mit Anlagen zur CO₂-Abscheidung stattfinden müsse. Genau diese Nachrüstung drücke den Wirkungsgrad aber besonders stark herunter. Deshalb solle vergleichend geprüft werden, ob Fördermittel nicht sinnvoller in Effizienztechnologien und/oder in erneuerbare Energien investiert wären.

Die in diesem Kontext gemachten Aussagen lassen sich als Plädoyer für breiter angelegte Forschungsvorhaben interpretieren, die nicht nur die Machbarkeit von CCS an sich, sondern auch die Wünschbarkeit von CCS im Vergleich zu anderen Alternativen untersuchen. Zudem wurden erhebliche Zweifel an der Exportfähigkeit und den damit verbundenen Marktpotenzialen von CCS-Technologien geäußert. Einige Teilnehmer bezweifelten, dass Länder wie China und Indien eine Technologie, die teuer ist und zudem die Effizienz von Kraftwerken senkt, je einsetzen würden. Und nur durch den Einsatz in solchen Ländern könne global gesehen eine signifikante Reduktion von CO₂ durch CCS erreicht werden, weil entsprechende Effekte in Deutschland – abgesehen von einer Signalwirkung – keinen wesentlichen Beitrag zur Bekämpfung des Klimawandels leisten könnten.

Es wurde aber auch argumentiert, dass das Erreichen ehrgeiziger CO₂-Ziele in Deutschland ohne den Einsatz sauberer Kohle bis 2020/2030 nicht realistisch sei,

da bis dahin die regenerativen Energien nicht weit genug entwickelt wären, um umfassende CO₂-Einsparungen zu ermöglichen. Dies könne jedoch langfristig durchaus der Fall sein, sodass CCS als Übergangstechnologie betrachtet werden sollte, die aber in den nächsten Jahrzehnten vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele durchaus ihre Berechtigung habe. Als wichtiges Hemmnis wurde weiter angeführt, dass die aktuellen politischen Rahmenbedingungen einer CO₂-Speicherung im Untergrund entgegenstünden.

Die industrielle Nutzung von CO₂ (B02) wurde grundsätzlich als interessante Option diskutiert, auch wenn nicht klar sei, ob und bis wann signifikante Beiträge zur Reduktion der atmosphärischen CO₂-Konzentration zu erwarten wären. Die tatsächlichen Potenziale seien schwer abzuschätzen. Die Experten gingen davon aus, dass sich über diesen Technologiebereich deutlich weniger CO₂ binden ließe als über CCS; die Potenziale und Chancen wurden aber unterschiedlich eingeschätzt. Sowohl Forschungs- als auch Förderbedarf wurden im Workshop aber eindeutig konstatiert. Diese Aussage deckt sich wiederum mit den Antworten und den Kommentaren der schriftlich befragten Experten. Algen seien in der Lage, sehr schnell größere Mengen CO₂ auf Biomassebasis zu binden, die Nachteile lägen bisher im großen Flächenbedarf. Die Experten sprachen sich dafür aus, die vielfältigen Optionen für Algenzuchtungen zu nutzen. Weiter wurde auf einen Bedarf für Grundlagenforschung im Hinblick auf die Umwandlung von CO₂ in chemischen Reaktionen hingewiesen.

Die Ergebnisse des Technologiebereichs „Konzepte, Verfahren und Technologien zur Adaptation an den Klimawandel (B12)“ wurde von den Teilnehmern als recht plausibel eingeschätzt und nicht weiter vertieft. Vermeidung und Anpassung wurden als zwei notwendige Strategien betrachtet.

3.3 Technologiegruppe 2: Emissionsreduktion bei Gebäuden

Auswahl der Technologiebereiche

In dieser Gruppe sind Technologien zusammengefasst, bei denen Gebäude weitgehend im Mittelpunkt von technischen Anwendungen für Klimaschutz und Luftreinhaltung stehen. Die Auswahl gründet hauptsächlich auf dem State-of-the-Art-Report und den anschließenden Expertengespräche. Zentrales Argument ist der große Beitrag der Gebäude zum Klimawandel und das gleichzeitig hohe Einsparpotenzial, das in diesem Bereich gesehen wird. Beim Technologiebereich „Energieeffiziente neuartige Leuchtmittel und Beleuchtungssysteme“ (B03) greift die Fokussierung auf den Gebäudebereich allerdings nur teilweise, da der Anwendungsbereich natürlich weit über Gebäude hinaus geht (Straßenbeleuchtung, Fahrzeuge). Die Technologien wurden ebenso wie die Optimierung der Wärmedämmung von Gebäuden (B04) wegen des

großen potenziellen Beitrags zum Klimaschutz, den technologischen Entwicklungspotenzialen und dem immer wieder artikulierten FuE-Bedarf ausgewählt (vgl. Schippl et al. 2008). Etwa 40% des Energieverbrauchs und 20% der CO₂-Emissionen in Deutschland sind auf Gebäude zurückzuführen (BMBF 2006, 31). Der Anteil der Energie für Beleuchtungszwecke am Gesamtenergieverbrauch in Deutschland wird mit ca. 10% angegeben (BMBF 2007a, 40).

Technologien zur solarthermischen Kühlung und Klimatisierung von Gebäuden (B05) sind als relativ neuer Ansatz von großem Interesse, unter anderem weil sie technologisches Entwicklungspotenzial bieten, weil sie aufgrund der engen Korrelation des Kühlbedarfs mit der Sonneneinstrahlung ein großes regeneratives Potenzial haben und wegen des im Zusammenhang mit Klimawandel und Verstädterung wachsenden Kühlbedarfs (vgl. BMU/UBA 2007, 66; Henning 2006).

Wartungsarme, kostengünstige Abgasreinigungssysteme für Kleinf Feuerungsanlagen (B13) zielen vornehmlich auf den Bereich Luftreinhaltung ab. Kleinf Feuerungsanlagen mit Brennholz stellen nach wie vor ein erhebliches Problem im Hinblick auf die Staubemission, aber auch CO- und Kohlenwasserstoffemissionen dar (vgl. Schippl et al., 104). Wenn sie auf relativ engem Raum konzentriert vorkommen, können private Holzöfen zu ausgeprägten Smogsituationen führen, selbst in Gebieten, die ansonsten kaum Probleme der Luftreinhaltung aufweisen. Eine zufriedenstellende additive Lösung zur Emissionsminderung ist derzeit noch nicht auf dem Markt.

B 03	Energieeffiziente neuartige Leuchtmittel und Beleuchtungssysteme (z.B. LED, OLED)
B 04	Technologien zur Optimierung der Wärmedämmung von Gebäuden (z.B. innovative Wärmedämmstoffe wie nanostrukturierte / nanoporöse Materialien oder Aerogele)
B 05	Technologien zur solarthermischen Kühlung und Klimatisierung von Gebäuden
B 17	Wartungsarme, kostengünstige Abgasreinigungssysteme für Kleinf Feuerungsanlagen

3.3.1 Ergebnisse der Expertenbefragung

Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Klimaschutz- und Luftqualitätsproblemen

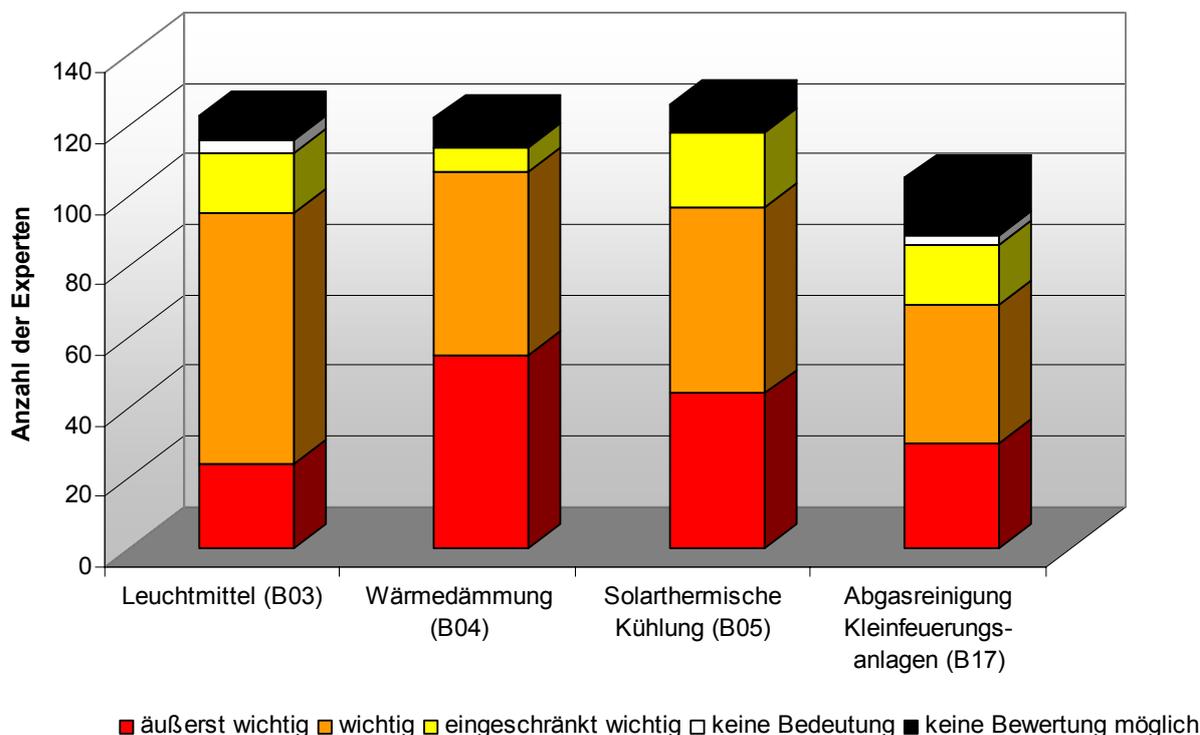


Abb. 22: Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Klimaschutz- und Luftqualitätsproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Wie Abb. 22 zeigt, wird den Technologien zur Emissionsreduktion bei Gebäuden („Cleaner Buildings“) eine sehr hohe Relevanz bei der Bewältigung der Klimaschutz- und Luftqualitätsprobleme beigemessen. Alle ausgewählten Technologiebereiche (B03, B04, B05, B17) werden von mehr als 70% der befragten Experten als wichtig oder äußerst wichtig bewertet. Die Anteile derjenigen, die den Technologiebereichen keine Bedeutung zugewiesen haben, sind hier verschwindend gering (< 4%) oder sogar Null. Der Wärmedämmung (B04) wird der höchste Wert im gesamten Cluster Klimaschutz/ Luftreinhaltung zugewiesen.

Positive und negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche

Bei den *Leuchtmitteln* (B03) wird an positiven Auswirkungen mit Abstand am häufigsten Energie- und Ressourceneffizienz genannt; positive Effekte werden auch in den

Bereichen Abfall- und Altlastenverminderung (Lebensdauer, Größe, Inhaltsstoffe), Biodiversität, Luftreinhaltung, Bodenschutz und anderen Anwendungsbereichen wie org. Elektronik oder UV-LED-Wasserentkeimung erwartet. Als negative Auswirkungen werden der eventuelle „ökologische Rucksack“ der Leuchtmittel und die Entsorgungsprobleme genannt.

Bei der *Wärmedämmung* (B04) werden neben der erhöhten Energie- und Ressourceneffizienz und der verbesserten Luftreinhaltung positive Auswirkungen auf Abfallwirtschaft, Boden, Materialeffizienz, Biotechnik, Abflachung der Wärmebedarfskurven und damit bessere Voraussetzungen für KWK gesehen. Die meisten Nennungen negativer Auswirkungen beziehen sich auf einen eventuell erhöhten Ressourcenverbrauch bei der Herstellung sowie auf mögliche Entsorgungsprobleme. Mehrfach betont wurden dabei Risiken die von eingesetzten Nanopartikeln ausgehen könnten.

Bei der *Solarthermischen Kühlung und Klimatisierung* (B05) werden hauptsächlich die Einsparung fossiler Energieträger aber auch die Emissionsminderung (insbesondere die CO₂-Einsparung) bei der Energieerzeugung als positiv genannt. Zudem wird ein Beitrag zur Luftreinhaltung, zur Förderung der Lebensqualität und geringere Beeinträchtigung von Ökosystemen angeführt. Durch Integration mit Wärmedämmung lässt sich auch ein intelligentes Energiemanagement von Gebäuden verwirklichen. Die wenigen Nennungen negativer Wirkungen beschränkten sich auf zusätzlichen Materialverbrauch, weitere gesundheits- oder umweltschädliche Emissionen in der Produktion, erhöhten Flächenbedarf und Entsorgungsprobleme.

Bei *Neuen wartungsarmen, kostengünstigen Abgasreinigungssystemen für Kleinfeuerungsanlagen* (B17) werden insbesondere positive Auswirkungen auf die Bereiche Wasser- und Bodenschutz, Biodiversität, Luftreinhaltung, Klimaschutz und Gesundheitsschutz gesehen. Speziell werden die geringere Feinstaub- und „Dioxin“-Belastung der Umwelt genannt. Als negative Effekte werden der evtl. erhöhte Energieverbrauch und die Verminderung der Energieeffizienz, Umweltbelastungen aus der Herstellung und die Entsorgung der Filterstäube gesehen.

Forschungsbedarf/Förderbedarf

Der Forschungs- und Förderbedarf im Bereich Grundlagenforschung rangiert für alle Technologien im Mittelfeld. Bedarf wird vor allem im Bereich Technologieentwicklung, aber auch bei „Demonstration und Marketing“ gesehen (s. Abb. 23). Letztere Kategorie wird bzgl. Forschungsbedarf und Förderbedarf für Leuchtmittel und Beleuchtungssysteme (B03) deutlich unterschiedlich eingeschätzt – die Rolle der öffentlichen Forschungsförderung wird als weniger bedeutend gesehen. Kein Forschungsbedarf wird nur bzgl. „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ in nennenswertem Umfang genannt. Keinen Förderbedarf sehen deut-

lich mehr Personen für Grundlagenforschung 8,5%, für Technologienentwicklung 6,4%, für „Demonstration und Marketing“ 7,9% und für die „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ immerhin 19,1%.

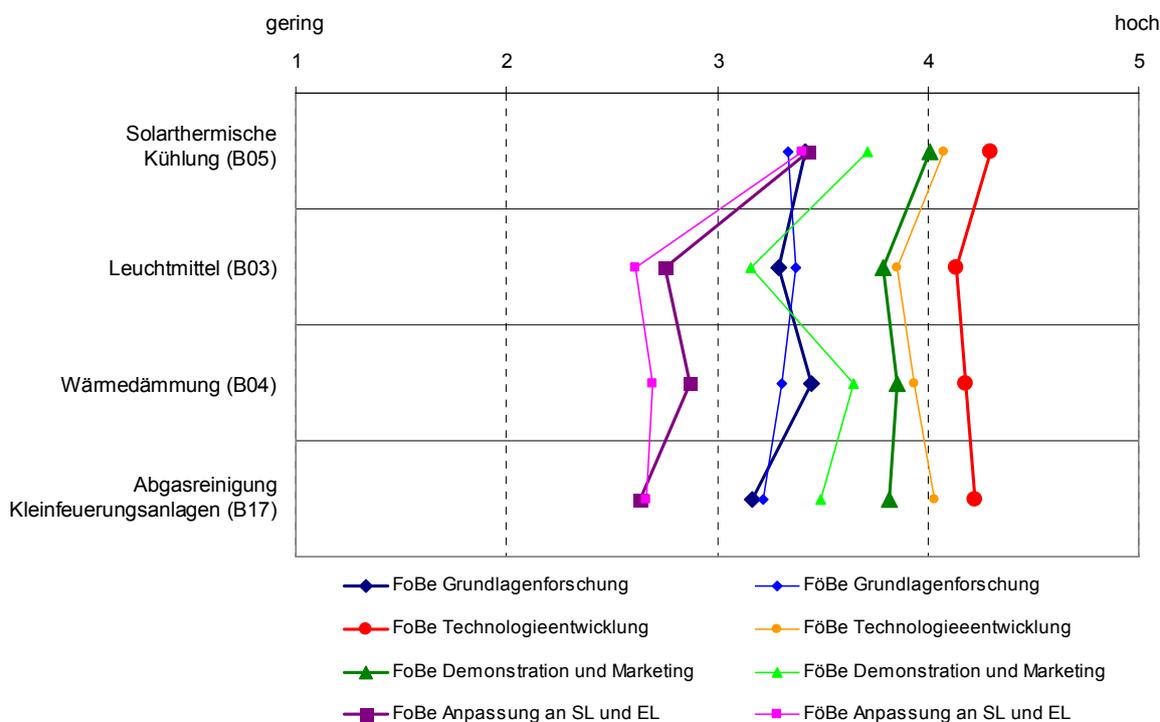


Abb. 23: Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Mit Ausnahme der solarthermischen Kühlung (B05) wird der Bedarf für „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländern“ bei allen als eher gering eingeschätzt (s. Tab. 9). Für die Wärmedämmung sehen 10,4% überhaupt keinen Forschungsbedarf und 12,2% keinen Förderbedarf. Für die solarthermische Kühlung sind die entsprechenden Werte 5,5% für Forschungsbedarf und 10,1% für Förderbedarf. Besonders für die Abgasreinigung bei Kleinfeueranlagen (B17) wird die dargestellte hohe Bedeutung von Technologieentwicklung sowie von „Demonstration und Marketing“ auch durch die Ergebnisse in der Kategorie „kein Bedarf“ unterstrichen: Keinen Forschungs- bzw. Förderbedarf sahen für Grundlagenforschung 6,9% bzw. 9,9%, für Technologieentwicklung nur 1,4% bzw. 4,1%, für „Demonstration und Marketing“ nur 2,9% bzw. 4,4% und für die „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ wiederum 12,7% bzw. 13,8%.

Tab. 9: Nennungen in der Kategorie "kein Bedarf" (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten)

		B03	B04	B05	B17
Förderbedarf	Grundlagenfor.	8,5% (6/94)	4,2% (4/96)	6,3% (6/95)	10% (7/71)
	Technologieentw.	6,4% (6/94)	3% (3/100)	3% (3/99)	4% (3/74)
	Demo u. Marketing	7,9% (7/89)	7,4% (7/95)	7,2% (7/97)	4% (3/68)
	Anpassung SL / EL	19,1% (17/89)	12,2% (11/90)	10,1% (9/89)	14% (9/65)
Forschungsbedarf	Grundlagenfor.	1% (1/96)	2% (2/100)	1% (1/96)	6,9% (5/72)
	Technologieentw.	2% (2/99)	2% (2/102)	1% (1/99)	1,4% (1/72)
	Demo u. Marketing	4,1% (4/97)	3,1% (3/97)	3,1% (3/96)	2,9% (2/68)
	Anpassung SL / EL	12,1% (11/91)	10,6% (10/94)	5,5% (5/91)	12,7% (8/63)

Marktpotenziale

Die neuartigen Leuchtmittel (B03) sowie die Wärmedämmung (B04) zeigen die höchsten Marktpotenziale im gesamten Cluster (s. Abb. 24). Für neuartige Leuchtmittel (B03) wird beim Marktpotenzial in Industrieländern fast der theoretisch mögliche Maximalwert erreicht, und auch in Schwellenländern wird noch ein vergleichsweise hohes Marktpotenzial gesehen. Der solarthermischen Kühlung (B05) wird global ein recht hohes Marktpotenzial zugeschrieben, was sich mit den oben beim Forschungsbedarf beschriebenen Ergebnissen deckt. Sehr deutliche Unterschiede zwischen Entwicklungs- und Industrieländern finden sich bei den Technologien zur Optimierung der Wärmedämmung von Gebäuden (B04). Kein Potenzial in den Entwicklungsländern sehen 12,2% (1% für Industrieländer und 2% für Schwellenländer). Auch bei der Abgasreinigung für Kleinf Feueranlagen (B17) ist das Marktpotenzial hoch. Gar kein Marktpotenzial sehen hier 1,4% in Industrieländern, 1,4% in Schwellenländern aber immerhin 8,3% in Entwicklungsländern.

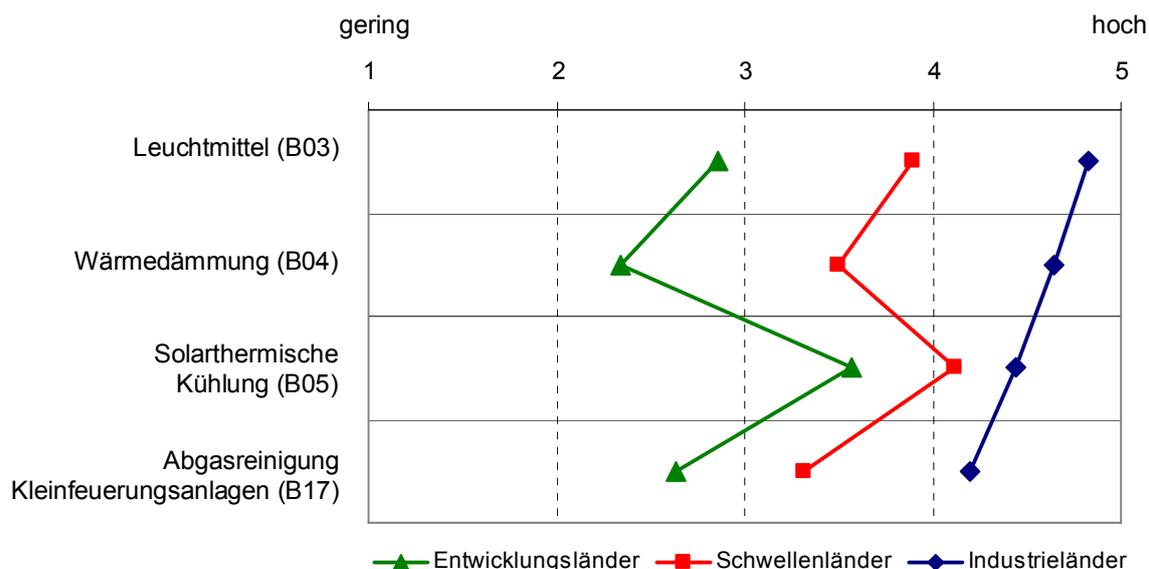


Abb. 24: Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Hemmnisse

Tab. 10: Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)

	Leuchtmittel (B03)	Wärmedämmung (B04)	Solarthermische Kühlung (B05)	Abgasreinigung Kleinfeuerungsanlagen (B17)
Kontraproduktive politische Regelungen	7	19	10	18
Fehlende gesellschaftliche Akzeptanz	19	17	15	21
Ungelöste technische Probleme	41	33	44	34
Fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU	33	32	41	32
Unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten	18	36	34	28
Unzureichende Vernetzung von Forschung und Unternehmen	12	18	16	11
Anzahl der Experten (die in dem jeweiligen Technologiebereich Hemmnisse sehen)	76	80	80	66

Auch hier findet sich die Verteilung, die typisch für fast alle in der Befragung behandelten Technologien ist: „Ungelöste technische Probleme“, „fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU“ und „unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten“ werden fast immer am häufigsten als die ausschlaggebenden Hemmnisse, die einer erfolgreichen Verbreitung dieser Technologien am Standort Deutschland entgegenstehen, genannt (s. Tab. 10). Sehr auffällig ist die relativ häufige Nennung von „fehlender gesellschaftlicher Akzeptanz“ bei den neuartigen Leuchtmitteln und Beleuchtungssystemen (B03). Diese mangelnde Akzeptanz scheint sich weniger auf die Risiken für Mensch und Umwelt, sondern auf die Qualität der Technologie, d.h. des Lichtes zu beziehen. Eventuell spielt auch die Entsorgungsproblematik (Quecksilber) bei Energiesparlampen eine Rolle. Die politischen Regelungen werden vor allem bei den Dämmstoffen (B04) und den Abgasreinigungssystemen (B17) als Hemmnisse angeführt.

Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich

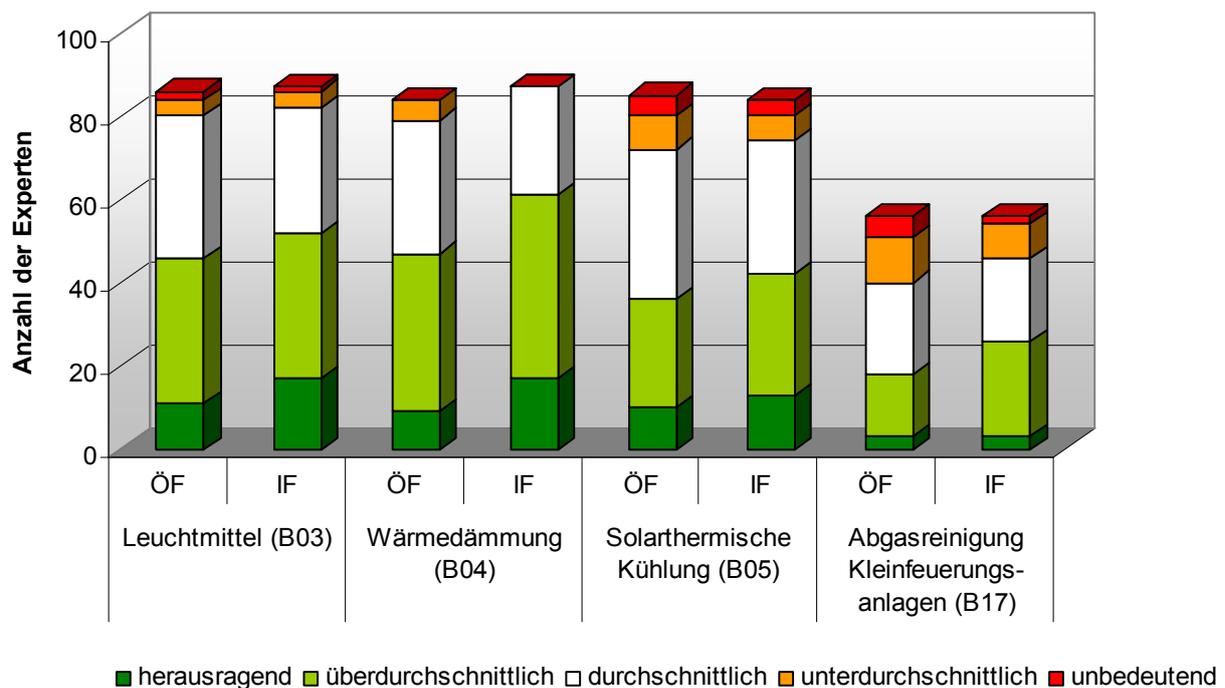


Abb. 25: Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Auffallend sind die Ergebnisse im Technologiebereich Wärmedämmung (B04): Die Stellung Deutschlands wird von den meisten als zumindest „überdurchschnittlich“ eingeschätzt, die Kategorien „unterdurchschnittlich“ und „unbedeutend“ kommen so gut wie gar nicht vor (s. Abb. 25). Besonders der industriellen Forschung wird ein hoher Stellenwert zuerkannt. Generell schneidet die industrielle Forschung und das Unternehmens-Know-how etwas besser ab als die öffentliche Forschung. Sehr posi-

tiv wird die Stellung Deutschlands auch bei den Leuchtmitteln und Beleuchtungssystemen (B03) eingeschätzt. Die Antworten für Abgasreinigungssysteme (B17) fallen eher durchschnittlich aus bei deutlich kleinerer Grundgesamtheit.

3.3.2 Ergebnisse des Experten-Workshops

Die Workshop-Diskussion konzentrierte sich zunächst auf die Technologien zur Optimierung der Wärmedämmung in Gebäuden (B04), die hohe Bedeutung aufgreifend, welche die schriftlich befragten Experten diesem Technologiebereich zugeschrieben haben. Zunächst wurde auf das Fehlen ökonomischer Erfolgsaussichten eingegangen, welches von den befragten Experten als wichtiges Hemmnis für den erfolgreichen Einsatz der Technologie genannt wurde. Nach Ansicht der Workshop-Teilnehmer sind in diesem Bereich nicht nur technische Lösungen gefragt, sondern auch Faktoren wie die Schaffung entsprechender gesetzlicher Rahmenbedingungen. Vorstellbar sei auch, dass die Energieversorger im Bereich Dämmung stärker aktiv werden. Zudem wurde angeführt, dass die Kosten nicht nur mit der Technik selbst, sondern auch mit deren Anbringung oder Einbau verbunden seien; es gelte also, die Kosten für die Anbringung zu reduzieren. Das könne erreicht werden, indem solche Maßnahmen besser in ohnehin fällige Sanierungsphasen integriert würden.

Weiter wurde bemängelt, dass durch die im Fragebogen getroffene Fokussierung auf Dämmung, der Blick auf das Gesamtsystem zu kurz komme. Es gehe in Deutschland nur teilweise um Neubauten; von noch größerer Bedeutung sei der Gebäudebestand, Aus technischen Gründen oder wegen Denkmalschutzrichtlinien könne man nicht überall effizient Dämmen. Umso wichtiger sei es, das Gebäude als Gesamtsystem zu betrachten. Dies auch, weil eine besser gedämmte, daher dichtere Gebäudehülle sich negativ auf die Innenraumluftqualität auswirken könne. Dies sei insofern von großer Bedeutung, als die Menschen sehr viel Zeit innerhalb von Gebäuden verbringen. Hier seien Gesundheitsfragen, aber auch Fragen der Leistungsfähigkeit anzusprechen, die dazu beitragen könnten, die Akzeptanz gegenüber Dämmsystemen zu verringern. Es bedürfe daher integraler Konzepte. Die Verbesserung der Gebäudehülle müsste beispielsweise mit einer angepassten Gebäudetechnik kombiniert werden, wobei das Innenraumklima ebenso wie die Energiebereitstellung mitbetrachtet werden müssten. Es biete sich an, anstatt über Wärmedämmung besser über Wärmeschutz zu sprechen, um auch den sommerlichen Wärmeschutz mit einzubeziehen. Weit über 2020 hinaus könnten Konzepte wie „schaltbare Wärmedämmung“ oder die „adaptive Wärmehülle“ interessant werden.

Als wichtig wurde auch die Optimierung des Gebäudebetriebs angesehen. Hervorgehoben wurde, dass sich selbst bei bautechnisch sehr fortschrittlichen Gebäuden noch erhebliche Energieeinsparpotenziale durch optimierten Gebäudebetrieb erzielen ließen. Hier könnte zum Teil die Mess- und Regeltechnik unterstützend wirken.

Viel liege aber an der Mensch-Maschine-Schnittstelle: Versteht der Gebäudebetreiber die Logik des Systems, versteht er, was dort im Bereich Energie abläuft. Aktuelle Untersuchungen zeigten zudem, dass zwar aufgrund des technologischen Fortschritts der Wärmebedarf bezogen auf die Gebäudefläche sinke, nicht aber der Wärmebedarf pro Einwohner. Dies sei auf den nach wie vor steigenden Wohnflächenbedarf pro Kopf zurückzuführen, was wiederum mit unterschiedlichen Faktoren wie gesellschaftlichem Wandel (zunehmende Anzahl von Haushalten bei abnehmender Haushaltsgröße) und steigendem Wohlstand zusammenhänge. Es gehe also nicht nur um Technikentwicklung, sondern ebenso um sozialwissenschaftliche Fragestellungen.

Die Technologien zur solarthermischen Kühlung und Klimatisierung von Gebäuden (B05) wurden nur kurz gestreift, wobei die Diskutanten die Ergebnisse der Umfrage bestätigten. Auf den großen Vorteil, dass hoher Kühlbedarf zeitlich mit hohem Sonnenstand und somit mit hoher Energieverfügbarkeit parallel laufe, wurde hingewiesen. In diesem Zusammenhang wurde angeführt, dass für solare Heizung und Kühlung und andere Haustechnologien bedarfsgerechte Steuerungen und Regelungen entwickelt werden sollten (z.B. „das Licht geht aus, wenn man den Raum verlässt“).

Ein wichtiges Thema in der Diskussion waren auch Wartungsarme, kostengünstige Abgasreinigungssysteme für Kleinfeueranlagen (B17). Die Ergebnisse der Befragung wurden grundsätzlich als plausibel eingestuft. Kleinfeueranlagen, insbesondere mit Holz als Brennstoff würden sich gerade in ländlichen Gegenden immer stärker durchsetzen. Dabei würden oft Anlagen mit vergleichsweise schlechter Verbrennung verwendet, die eine erhebliche Feinstaubbelastung nach sich zögen. Es wurde berichtet, dass in Wohngebieten bei bestimmten Wetterlagen zeitweise bis zu 70% des Feinstaubes aus Holzfeuerungen kommen können. Bemängelt wurde das Fehlen politischer Regelungen für Holzfeueranlagen und gleichzeitig wurde angemerkt, dass noch erheblicher Verbesserungsbedarf in der messtechnischen Erfassung der Emissionen/Immissionen bestehe.

Grundsätzlich liege der erste Ansatzpunkt in der Konstruktion der Öfen hin zu einer vollständigen Verbrennung, einer Nachverbrennung und Abgaswärmenutzung. Wichtig sei auch eine gut verständliche Bedienungsanleitung, da über die Schnittstelle Mensch-Technik erhebliche Fehler entstünden. Viele Zentralheizkessel liefen zu lange oder seien falsch geregelt. Ebenso seien veraltete Anlagen auf ihre Dimensionierung hin zu überprüfen. Hinsichtlich der Abgasreinigung bestehe gerade bei Kleinanlagen noch erheblicher Forschungsbedarf, zumal es sich als technisch schwierig erweise, die hohen Kosten für die Filtertechnik zu senken. Entwicklungsbedarf bestünde weiterhin darin, die Feuerungstechnik, die Abgasreinigung und die Messtechnik in Einklang zu bringen. Eine verbesserte Wärmedämmung der Gebäude führe zu immer kleineren Anlagen und damit zu immer kleineren Abgasvolumenströmen, deren

Behandlung dann immer schwieriger und energieaufwändiger werde. Vor diesem Hintergrund sei es wichtig, die direkte Wandlung von Holz in Wärme z.B. im Kamin mit einer vorgelagerten Umwandlung von Holz/Biomasse in einen Stoff, der dann problemloser genutzt werden könne (z.B. Biogas) zu vergleichen, um die Gesamtsysteme sinnvoll beurteilen zu können. Einfacher zu lösen seien die Probleme dann, wenn sich in Zukunft vermehrt dezentrale Energieverbände mit wieder etwas größeren Wärmeerzeugungseinheiten bildeten, für die sich bessere Möglichkeiten der Filtertechnologien anböten.

Mit Blick auf Energieeffiziente neuartige Leuchtmittel und Beleuchtungssysteme (B03), drehte sich die Diskussion um die in der schriftlichen Befragung angeführten Hemmnisse. Die relativ häufige Nennung von „fehlende gesellschaftliche Akzeptanz“ als Hemmnis wurde damit begründet, dass das Licht oft als etwas kalt und unangenehm wahrgenommen werde; zudem seien Energiesparlampen teuer in der Anschaffung und noch nicht immer kompatibel mit dem Beleuchtungssystem. Als Hauptproblem wurden aber die Lichtfarben, vor allem in Innenräumen, identifiziert. Das gelte aber weniger für den Außenbereich. Entwicklungspotenzial wurde in einer weiteren Steigerung der Effizienz (Lumen/Watt) gesehen, womit sich eventuell auch die Akzeptanz verbessern lasse. Insgesamt wurden die Ergebnisse der Befragung aber als plausibel betrachtet. Die Einschätzung, dass für diesen Technologiebereich ein sehr hohes Marktpotenzial gegeben sei, wurde bestätigt.

3.4 Technologiegruppe 3: Prozessspezifische Lösungen zur Emissionsreduktion in industriellen Prozessen

Auswahl der Technologiebereiche

In dieser Gruppe wurden Technologien zusammengefasst, die sich im Wesentlichen auf spezifische industrielle Anwendungen beziehen, d.h. eher prozessintegriert und nicht additiv angelegt sind. Dabei sollten zum einen Technologien einbezogen werden, bei denen es um Stoffströme in relevanten Größenordnungen geht, zum anderen Technologien, die auch im Hinblick auf Forschungsbedarf und Umsetzungshemmnisse interessante Perspektiven versprechen. In Deutschland stammten 2004 240 Mt CO₂e (CO₂-Äquivalent) aus direkten Emissionen der Industrie, das entspricht einem Anteil an der Gesamtemission von Treibhausgasen von 23%. Bei der Erzeugung von Strom und Fremdwärme entstehen 14% (136 Mt CO₂e) zusätzliche indirekte Emissionen (McKinsey 2007b). Außerdem sind Industrieprozesse mit über 20% an den Gesamtemissionen der Luftschadstoffe Schwefeldioxid, Gesamtstaub / PM₁₀ und mit 14% an den CO-Emissionen beteiligt (UBA 2007a, b, c, d). Wesentliche Quellen der Klimagase wie auch der Luftschadstoffe im Industriesektor sind die Stahlindustrie, die Chemische Industrie und die Zementherstellung (McKinsey 2007b).

Die Technologiebereiche B06 bis B09 sind aus diesen Bereichen ausgewählt worden. 85% der CO₂e-Emissionen der Stahlherstellung sind Prozessemissionen der Eisenreduktion, nur knapp 15% entfallen auf die Unterfeuerungsenergie (McKinsey 2007b, 63). Die Betrachtung alternativer Reduktionsmittel (B06) liegt also nahe. Gerade in Zeiten steigender Energiepreise werden in energieintensiven Branchen vermehrt Ersatzbrennstoffe eingesetzt. Um die hier besonders wichtigen industriellen Hochtemperaturprozesse einzubinden wurde Technologiebereich B07 aufgenommen. Die Chemische Industrie zeichnete 2004 für insgesamt 62 Mt CO₂e verantwortlich. Ein wesentlicher Anteil des Energieverbrauchs in der chemischen Industrie entfällt auf die Chloralkali-Elektrolyse zur Herstellung von Chlor (Technologiebereich B8). 39% der Prozessemissionen der chemischen Industrie wurden als Lachgas emittiert, das aus der Adipin- und Salpetersäureproduktion stammt (McKinsey 2007b, 60), weshalb der Technologiebereich B09 in die Befragung aufgenommen wurde.

Zudem wurde dieser Gruppe die etwas anders gelagerte Entwicklung lösemittelfreier bzw. -armer Produkte zur Verminderung der Emissionen flüchtiger Kohlenwasserstoffe (B13) hinzugefügt, weil es auch hier eher um prozessspezifische Lösungen und Verfahrensweisen geht und weniger um Querschnittstechnologien. Aus der Verwendung von lösemittelhaltigen Produkten resultieren in Deutschland rund 59% der gesamten Emissionen an flüchtigen Kohlenwasserstoffen ohne Methan (NMVOC). Etwa zur Hälfte sind sie auf Lösemittelverwendungen in Haushalten, in Druckereien usw., zu etwa 40% auf die Verwendung von Lacken und Farben und zu etwa 10% auf die Entfettung von Oberflächen, die chemischen Reinigungen oder der industriellen Herstellung bzw. Nutzung chemischer Produkte und anderer Anwendungen zurückzuführen (UBA 2007c).

B06	Einsatz neuer Reduktionsmittel bei der Eisen- und Stahlerzeugung (z.B. Wasserstoff)
B07	Technologien zur Verwendung von Sekundärbrennstoffen in industriellen Hochtemperaturprozessen (z.B. in der Stahl- und Zementindustrie)
B08	Technologien zur Reduktion von Lachgas-Emissionen aus Prozessen der chemischen Industrie
B09	Technologien zur Erhöhung der Energieeffizienz bei der Chloralkali-Elektrolyse
B13	Entwicklung lösemittelfreier bzw. -armer Produkte zur Verminderung der Emissionen flüchtiger Kohlenwasserstoffe (NMVOC)

3.4.1 Ergebnisse der Expertenbefragung

Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Klimaschutz- und Luftqualitätsproblemen

Generell fällt bei dieser Gruppe auf, dass sich im Vergleich zu anderen Technologiegruppen nur relativ wenige Experten zu den einzelnen Technologien geäußert haben und die Kategorie „keine Bewertung möglich“ mit 18% bis zu 31% der Antworten relativ oft angekreuzt wurde (s. Abb. 26). Das Problemlösungspotenzial der fünf Technologiebereiche wurde vergleichsweise niedrig eingestuft, das gilt insbesondere für die neuen Reduktionsmittel (B06) und für die Chloralkali-Elektrolyse. Die Verwendung von Sekundärbrennstoffen in industriellen Hochtemperaturprozessen (B07) sowie die Entwicklung lösemittelfreier bzw. -armer Produkte zur Verminderung der Emissionen flüchtiger Kohlenwasserstoffe (B13) wird als deutlich wichtiger für die Lösung der Klimaschutz- und Luftqualitätsprobleme eingeschätzt. Die Reduktion der Lachgasemissionen in der chemischen Industrie (B08) wird von immerhin 23% der antwortenden Experten als äußerst wichtig eingestuft.

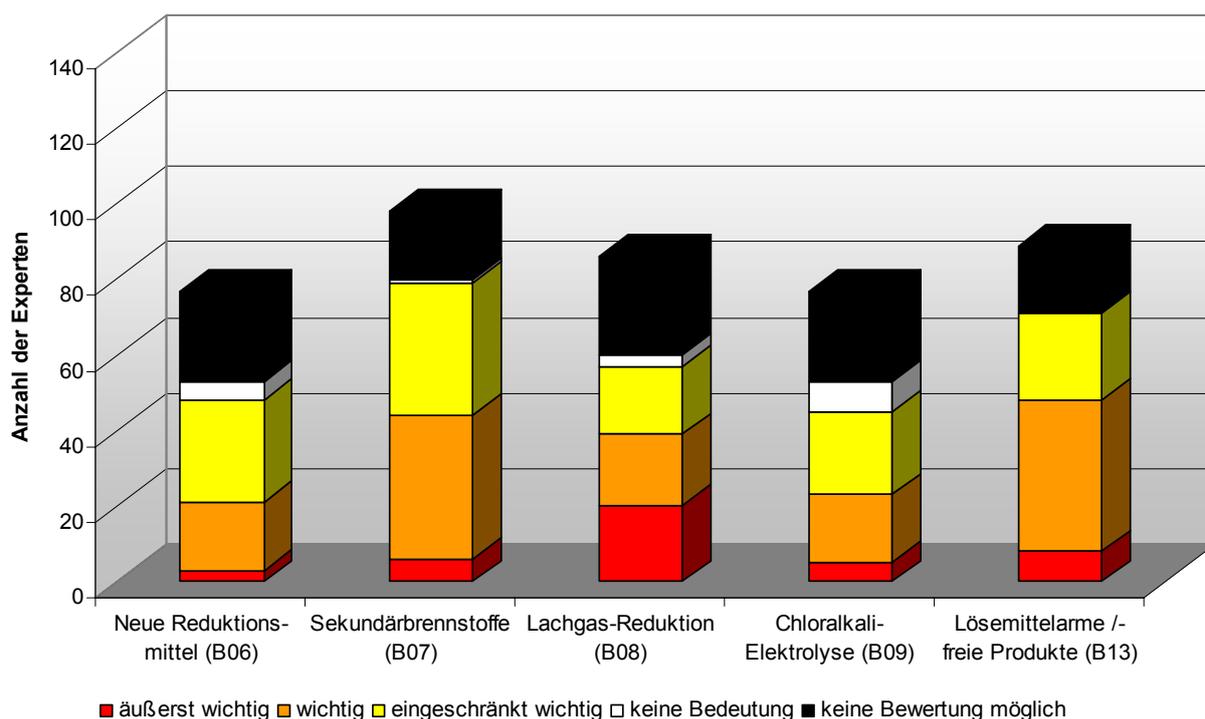


Abb. 26: Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Klimaschutz- und Luftqualitätsproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Positive und negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche

Durch den *Einsatz neuer Reduktionsmittel bei der Eisen- und Stahlerzeugung* (B06) erwarten die Experten insbesondere positive Auswirkungen auf Boden, Luft und Klima. Unter anderem werden genannt: CO₂-Einsparung und damit Verminderung des Treibhauseffekts, Einsparung fossiler Energieträger, Verminderung der Feinstaubbelastung und folglich Schutz der Gesundheit, geringerer Flächenbedarf aufgrund des verringerten Kohlebergbaus. Negative Effekte können durch die Bereitstellungskette für neue Reduktionsmittel und deren Emissionen entstehen. Vor diesem Hintergrund hoben mehrere Experten die Notwendigkeit von Lebenszyklusanalysen hervor. Im Hinblick auf den Einsatz von Wasserstoff wurde auf die Energie- und Ressourcenintensität der Wasserstoff-Herstellung hingewiesen.

Bei der *Verwendung von Sekundärbrennstoffen* (B07) sehen die Experten zahlreiche positive Auswirkungen auf andere Umweltbereiche. Positiv wird in erster Linie die Einsparung der Primärenergieträger, verbunden mit der entsprechenden Verminderung der CO₂-Emissionen, bewertet. Als weitere positiven Wirkungen gelten die energieeffiziente Abfallverwertung und in der Folge eine Verminderung der Flächeninanspruchnahme und der Emissionen durch Abfalldeponien sowie die Errichtung von speziellen, mit Ersatzbrennstoff befeuerten Kraftwerken. Viele befürchten jedoch, insbesondere bei unkontrollierter Prozessführung, eine Verlagerung der Probleme aus dem Bereich „Schutz fossiler Ressourcen“ in andere Bereiche wie Luft (vermehrte Schadstoffemissionen, z.B. Dioxine, Schwermetalle), Boden und Wasser. Eine Verschärfung der Probleme wird durch den steigenden PVC-Gehalt im Abfall erwartet sowie durch Schwierigkeiten der Probenahme und Messung (z.B. von Schwermetallgehalten) im Abgas und Abfall. Mehrere Experten vertraten allerdings die Ansicht, dass es weniger um die Entwicklung neuer Technologien, als vielmehr um eine wirksame Kontrolle und Durchsetzung vorhandener Regelungen gehe.

Bei der *Reduktion von Lachgas-Emissionen aus Prozessen der chemischen Industrie* (B08) wurden in erster Linie positive Effekte auf andere Umweltbereiche erwartet, vorwiegend auf Boden, Wasser und Biodiversität als Konsequenz der Klimaentlastung durch Verminderung der Treibhausgasemissionen sowie der Steigerung der Luftqualität (z.B. Verminderung der Stickstoffoxidemissionen und damit Reduktion von bodennahem Ozon). Als negative Folgen finden die Emissionen und der Energieverbrauch durch erhöhten Aufwand in der Reinigung, in der Filterherstellung sowie bei der Entsorgung Erwähnung. Gefordert wird, der Landwirtschaft als einem relevanten Lachgaserzeuger vermehrte Aufmerksamkeit zu widmen.

Technologien zur Energieeinsparungen bei der Chloralkali-Elektrolyse (B09) führen nach Ansicht der Experten zur Schonung der Ressourcen fossiler Energieträger und zur Verminderung der Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen mit den entsprechend positiven Folgen auf die anderen Umweltbereiche. Außerdem wird

erwähnt, dass durch den Übergang auf das Membranverfahren die Quecksilber- und Asbest-Emissionen vermindert würden. Als negativ werden die Emissionen aus der Technologieherstellung, sowie auch die ggf. fehlende Wasserstoff-Entstehung und dessen Verwertbarkeit in anderen Prozessen eingeschätzt. Hervorgehoben wurde, dass die energetische Optimierung der Chloralkali-Elektrolyse in Anbetracht hoher Energiepreise im Eigeninteresse der Betreiber liege und dies die Industrie zu eigenen Forschungsaktivitäten motivieren sollte.

Der *Entwicklung und Nutzung lösemittelfreier bzw. -armer Produkte zur Verminderung der Emission flüchtiger Kohlenwasserstoffe (B13)* werden zahlreiche positive Effekte zugewiesen. Als wichtige Voraussetzung für eine breite Nutzung gelte die Erhöhung der Akzeptanz entsprechender Produkte beim Verbraucher. Negative Auswirkungen könnten ein erhöhter Energieverbrauch in der Herstellung der Produkte oder/und deren Nutzung sein. Die Umweltbilanz von Ersatzstoffen könnte negativ zu Buche schlagen. REACH und andere vergleichbare Regulierungen machen nach Ansicht der Experten künftig weitere Verminderungen erfolgreich, wobei vor allem im Bereich der KMU Nachholbedarf gesehen wird. Als notwendig werden in erster Linie Demonstrationsanlagen und ein verbesserter Technologietransfer angesehen.

Forschungsbedarf/ Förderbedarf

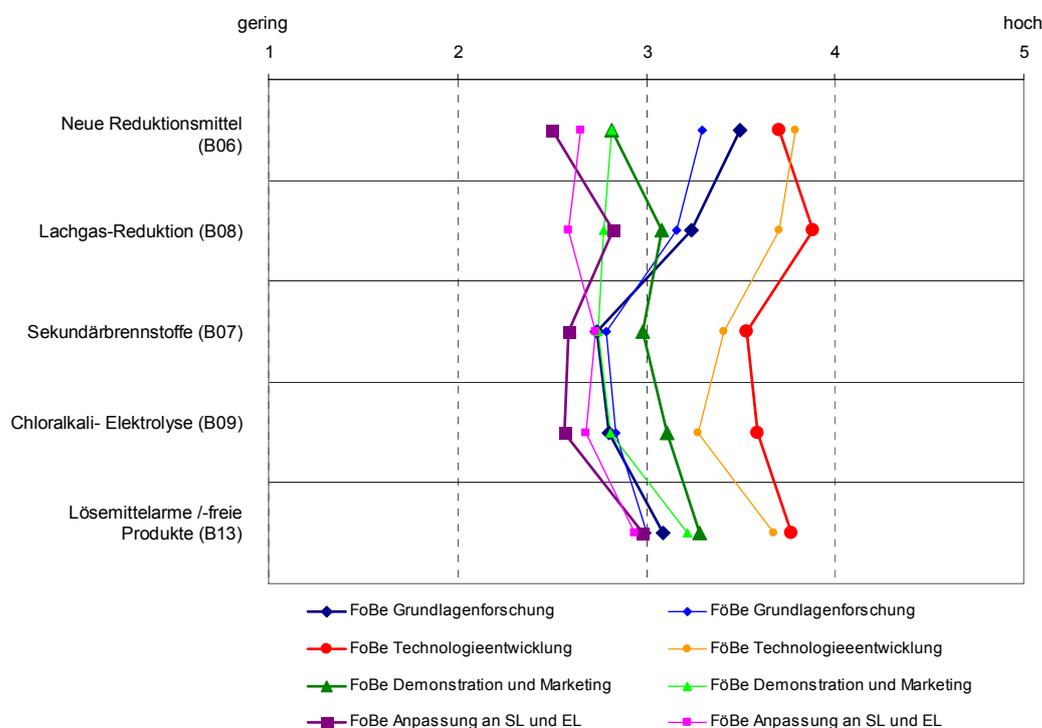


Abb. 27: Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Der Forschungs- und Förderbedarf wird bei diesen Technologiebereichen durchweg im Bereich Technologieentwicklung am höchsten eingeschätzt, wobei die Werte unter 4 bleiben, was im Vergleich zu anderen Technologiebereichen kein hoher Maximalwert ist (s. Abb. 27 und vgl. Abb. 14, 23, 31 und Abb. 35). Die Kategorie „kein Bedarf“ (s. Tab. 11) wurde im Hinblick auf die Technologieentwicklung nur selten angekreuzt. Dem Bereich Grundlagenforschung kommt lediglich beim Einsatz neuer Reduktionsmittel bei der Eisen- und Stahlerzeugung (B06) größere Bedeutung zu. In der Kategorie „Demonstration und Marketing“ fällt auf, dass der Bedarf an öffentlicher Förderung bei den meisten Technologien deutlich unterhalb des Forschungsbedarfs angesiedelt ist, woraus sich der Schluss ziehen lässt, dass dies für eine Aufgabe gehalten wird, die in den Verantwortungsbereich der Industrie fällt. Ähnliches gilt für die Technologieentwicklung, vor allem im Bereich der Chloralkali-Elektrolyse.

Tab. 11: Anzahl der Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ (absolute Nennungen / Gesamtexpertenanzahl)

		B06	B07	B09	B08	B13
Förderbedarf	Grundlagenfor.	7,5% (3/40)	13,8% (9/65)	18,4% (7/38)	11,9% (5/42)	7% (4/57)
	Technologieentw.	7,3% (3/41)	9% (6/67)	10% (4/40)	4,7% (2/43)	5,1% (3/59)
	Demo u. Marketing	15,4% (6/39)	14,1% (9/64)	15,8% (6/38)	14,6% (6/41)	9,1% (5/55)
	Anpassung SL / EL	21,6% (8/37)	20% (13/65)	40,5% (15/37)	27,5% (11/40)	19% (11/58)
Forschungsbedarf	Grundlagenfor.	4,8% (2/42)	8,8% (6/68)	10,3% (4/39)	2,3% (1/43)	1,8% (1/57)
	Technologieentw.	2,4% (1/42)	4,3% (3/69)	4,9% (2/41)	2,3% (1/44)	4,9% (3/61)
	Demo u. Marketing	5% (2/40)	7,7% (5/65)	5,1% (2/39)	9,5% (4/42)	3,4% (2/58)
	Anpassung SL / EL	12,8% (5/39)	4,5% (3/66)	23,1% (9/39)	17,1% (7/41)	12,1% (7/58)

Hinsichtlich der „Anpassung an die Anforderungen von Schwellen- und Entwicklungsländer“ sehen zwischen 19% der Experten für NMVOC-arme/-freie Produkte (B13), 20% für den Einsatz von Sekundärbrennstoffen (B07) und bis zu 41% der Experten

für die energieeffizientere Chloralkali-Elektrolyse (B09) keinen Bedarf für Forschungsförderung.

Marktpotenziale

Für alle in dieser Gruppe behandelten Technologien liegt die Einschätzung der Marktpotenziale in den Industrieländern recht hoch, im Vergleich aber zu den anderen Technologiegruppen eher im unteren Bereich (vgl. Abb. 28). Eine etwas niedrigere Bewertung erfuhren die Potenziale in den Schwellenländern, wobei hier den Sekundärbrennstoffen in Hochtemperaturprozessen (B07) und der Reduktion von Lachgas-Emissionen in der chemischen Industrie (B08) die höchsten Potenziale zugeschrieben wurden. Im Vergleich zu den anderen Technologiegruppen liegen diese Werte eher im oberen Bereich. Die Marktpotenziale der Entwicklungsländer liegen deutlich unter denen der Industrie- und Schwellenländer.

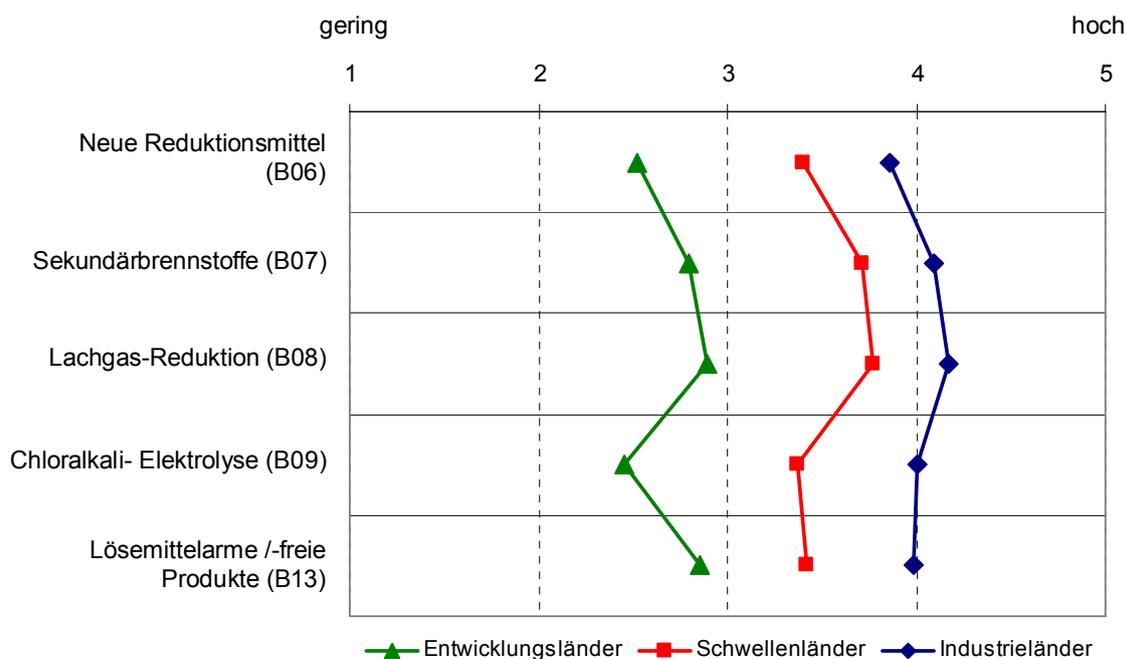


Abb. 28: Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Hemmnisse

Gegenüber den übrigen Technologiegruppen wurden für die hier behandelten, eher prozessspezifischen Technologien, von vergleichsweise wenigen Experten Hemmnisse benannt (s. Tab. 12). Dies gilt besonders für die Neuen Reduktionsmittel (B06), die Lachgas-Emissionen der chemischen Industrie (B08) und die Chloralkali-Elektrolyse (B09). Die häufigsten Nennungen liegen durchweg im Bereich „ungelöster tech-

nischer Probleme“, in geringerem Maße im Bereich „unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten“ und „fehlenden FuE-Kapazitäten bei KMU“.

Bezüglich des Einsatzes von Sekundärbrennstoffen in industriellen Hochtemperaturprozessen (B07) spielen jedoch auch „fehlende gesellschaftliche Akzeptanz“ und „kontraproduktive politische Rahmenbedingungen“ eine relativ bedeutende Rolle. Ergänzend zu den im Fragebogen angeführten Hemmnissen wurde noch die zunehmende Konkurrenz durch die stoffliche Nutzung von Rohstoffen aus Abfällen und Reststoffen als ein Hinderungsgrund für den Einsatz von Sekundärbrennstoffen genannt.

Tab. 12: Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)

	Neue Reduktionsmittel (B06)	Sekundärbrennstoffe (B07)	Lachgas-Reduktion (B08)	Chloralkali-Elektrolyse (B09)	Lösemittelarme /-freie Produkte (B13)
Kontraproduktive politische Regelungen	2	20	7	3	10
fehlende gesellschaftliche Akzeptanz	2	23	2	0	8
Ungelöste technische Probleme	29	23	20	19	33
Fehlende FuE-Kapazitäten bei KMUs	10	12	11	13	23
Unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten	15	14	10	17	20
Unzureichende Vernetzung von Forschung und Unternehmen	5	10	3	5	7
Anzahl der Experten (die in dem jeweiligen Technologiebereich Hemmnisse sehen)	36	57	33	30	49

Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich

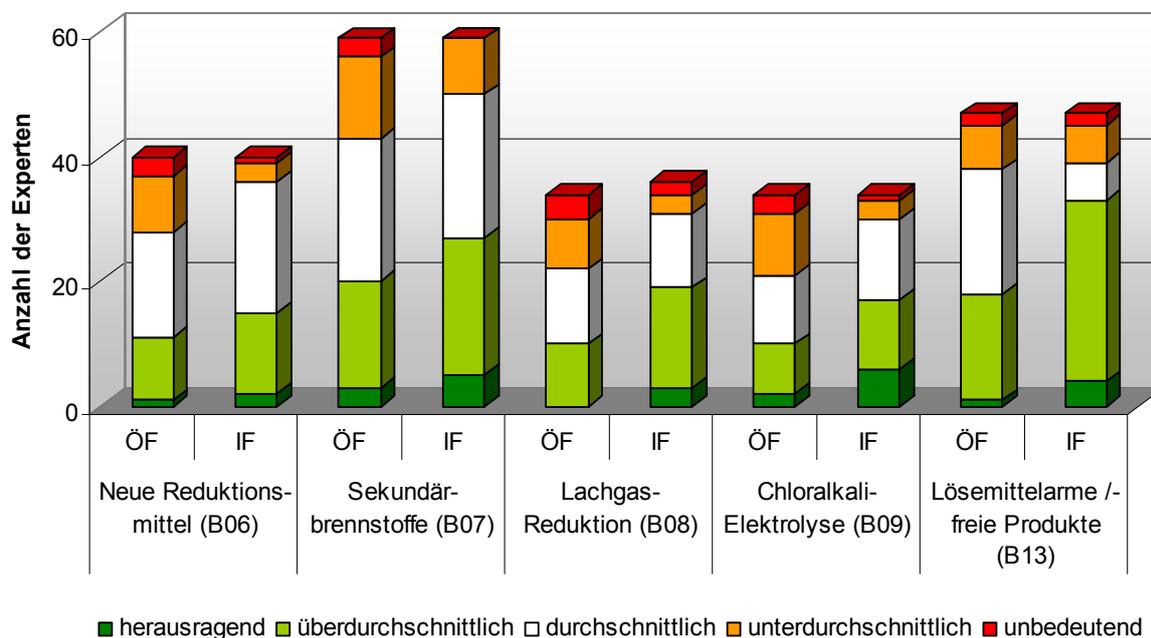


Abb. 29: Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Bei Betrachtung der Abb. 29 fällt zunächst der sehr hohe Stellenwert der industriellen Forschung für die Entwicklung NMVOC-ärmer / -freier Produkte (B13) auf. 70% der Experten entschieden sich für die Bewertungen „herausragend“ und „überdurchschnittlich“. Die Position Deutschlands im Hinblick auf die öffentliche Forschung wird zurückhaltender eingeschätzt. Die industrielle Forschung zur Minderung der Lachgasemissionen aus chemischen Prozessen (B08) wird zu 53% als „überdurchschnittlich“ bis „herausragend“ bewertet, die öffentliche Forschung jedoch als „durchschnittlich“ bis „unbedeutend“. Vergleichbares gilt für die energieeffizientere Chloralkali-Elektrolyse (B09). Für den Einsatz neuer Reduktionsmittel in der Eisen- und Stahlerzeugung (B06) sowie die Verwendung von Sekundärbrennstoffen (B07) überwiegt eine „durchschnittliche“ bis „unterdurchschnittliche“ Bewertung der Forschungslandschaft in Deutschland im internationalen Vergleich. Die industrielle Forschung schneidet etwas besser ab als die öffentlich geförderte Forschung.

3.4.2 Ergebnisse des Experten- Workshops

Mit dem Einsatz neuer Reduktionsmittel bei der Eisen- und Stahlerzeugung (B06), den Technologien zur Reduktion der Lachgasemissionen in der chemischen Industrie (B08) und der Erhöhung der Energieeffizienz der Chloralkali-Elektrolyse (B09) sind in dieser Technologiegruppe sehr spezifische Techniken zusammengefasst, die zu einer relativ geringen Anzahl an Antworten im Fragbogen führte. Dies spiegelte sich auch in der Beteiligung an der Diskussion im Workshop wider.

Neue Reduktionsmittel (B06), die denkbar, aber noch nicht untersucht wären, seien derzeit nicht in Sicht, so die Meinung der Workshop-Teilnehmer. Verschiedene Alternativen wie Erdgas, Kohlestaub und Öl statt Koks oder Wasserstoff würden eingesetzt bzw. untersucht. Allerdings hänge ihre Verwendung sowohl von den technologischen Möglichkeiten, aber mehr noch von der Verfügbarkeit ab. Die erforderliche Menge Wasserstoff in einer Elektrolyse mit regenerativen Energiequellen zu erzeugen, sei derzeit nicht realisierbar. Von Bedeutung könne sowohl für den Reduktionsprozess als auch für den Energieeinsatz die Abscheidung von CO₂ (CCS-Technologie) und dessen dauerhafte Speicherung oder Nutzung werden (vgl. B01 und B02), vorausgesetzt diese Technologien seien verfügbar und ließen sich an Prozesse der Stahlindustrie adaptieren.

Ein Experte wies darauf hin, dass der Energieverbrauch in den letzten 50 Jahren halbiert werden konnte und moderne integrierte Hütten nur noch rund 10% über dem thermodynamischen Minimum arbeiteten. Erreicht werde dies u.a. durch einen Energieverbund der einzelnen Prozessschritte mittels Nutzung der entstehenden Gase sowie durch Verstromung der nicht genutzten Gase. Werde in diesen Verbund durch Veränderung des Reduktionsprozesses eingegriffen, könne das Abgas an anderer Stelle fehlen. Neue Technologien würden so die Überarbeitung des gesamten Prozesses erfordern. In der Diskussionsrunde wurde es daher nicht für überraschend gehalten, dass „ungelöste technische Probleme“ und „unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten“ in der Befragung als wichtigste Hemmnisse genannt wurden. „Fehlende Forschungs- und Entwicklungskapazität in KMU“ sah die Runde jedoch nicht als ein Hemmnis für den Einsatz neuer Reduktionsmittel in der Eisen- und Stahlerzeugung an.

In Einklang mit den Ergebnissen der schriftlichen Befragung wurde das Marktpotenzial für Maßnahmen zur Effizienzsteigerung wie zur Emissionsminderung der Eisen- und Stahlerzeugung in den Industrieländern am höchsten eingeschätzt. Hervorgehoben wurde allerdings, dass beispielsweise auch in China oder Indien gebaute neue Anlagen dem neuesten technischen Standard entsprächen. Wie bei anderen Technologien sei es in deutlich stärkerem Maße erforderlich, die Betreiber auf den Betrieb und Erhalt der Anlagen zu schulen, da sonst Effizienztechnologien sowie Emis-

onsminderungsmaßnahmen nach kurzer Zeit nicht mehr funktionsfähig seien. Diese Einschätzung drücke vermutlich der, gegenüber dem Forschungsbedarf, höhere Wert für den Förderbedarf zur „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ in den Fragebogenergebnissen aus. Grundlagenforschung und Technologieentwicklung gingen Hand in Hand und ließen sich kaum von einander trennen. Weiterhin wurde angemerkt, dass die Forschung vorwiegend in den global agierenden Unternehmen stattfinde und damit nicht mit einer deutschen Vorreiterposition im internationalen Vergleich zu rechnen sei.

Zur Verbrennung der Sekundärrohstoffe (B07) ständen im Wesentlichen ausreichend erforschte und zuverlässige Technologien zur Verfügung. Seit etwa zehn Jahren sei der Einsatz in Zementwerken erprobt und weiterentwickelt worden. Probleme bereite für diesen Bereich weder die Aufbereitung der Abfälle / Reststoffe, noch deren Handhabung und Verbrennung. Insofern wurde kein überdurchschnittlicher Forschungs- und Förderbedarf im Bereich Technologieentwicklung gesehen. Probleme seien aber dann zu erwarten, wenn zwischen verschiedenen Abfallarten gewechselt oder neue Abfallstoffe statt der hinsichtlich ihrer Inhaltsstoffe weitgehend bekannten Ersatzbrennstoffe (EBS) verwendet würden. Ein weiterer Aspekt sei die Schadstoffentfrachtung aus Sekundärrohstoffen in Produkte wie Zement. Ein begrenztes Maß an Forschungs- und Förderbedarf sah die Diskussionsrunde zur Effizienzsteigerung und Qualitätssicherung in der Sortierung, der sehr vielschichtigen Abfälle aus Haushalten und Gewerbe. PVC-Gehalt und Quecksilber führten nach wie vor zu Problemen. Bei der Wirbelschichtfeuerung sei das Chlorproblem beherrschbar, jedoch bei anderen Feuerungen nicht. Anzunehmen sei, dass der Gehalt an PVC im Abfall und damit die Chlorproblematik noch zunehmen werde.

Den Einsatz von Sekundärrohstoffen bewerteten die Workshop-Teilnehmer aus zwei verschiedenen Blickwinkeln. Zum einen sei die energetische Nutzung aus der Sicht der Abfallverwertung wichtig, zum anderen sei ihr Potenzial durch eine begrenzte Verfügbarkeit der Abfallstoffe endlich. Ein weiterer begrenzender Faktor sei die zunehmende, stark von steigenden Rohstoffpreisen getriebene, Konkurrenz der stofflichen Nutzung der Rohstoffe aus Abfall und Reststoffen. Die in der schriftlichen Befragung häufig als Hemmnis genannten „fehlende gesellschaftliche Akzeptanz“ sei bei Einsatz von Sekundärbrennstoffen innerhalb einer Produktion meist kein großes Problem, führe aber bei Einzelanlagen zu erheblichen Bürgerprotesten und mache eine Realisierung der als „Müllverbrennung“ bewerteten Technologie häufig schwierig.

Die Workshop-Teilnehmer bestätigen, dass durch die neuen Membranverfahren der Stromverbrauch der Chloralkali-Elektrolyse (B09) erheblich reduziert werden konnte. Quecksilber werde hierbei nicht mehr produziert wie es noch beim Amalgam-Verfahren der Fall war. Darüber hinaus gebe es mehrere sehr spezielle Ansätze zur

weiteren Reduktion des Stromverbrauchs, wie z.B. die Sauerstoffverzehr-Membran, bei deren Einsatz kein Wasserstoff mehr produziert werde, der jedoch an andere Stelle im Prozessverbund fehlen könne. Hier gebe es durch die EU geförderte Pilotanlagen. Generell sei die öffentliche Förderung zur Stromverbrauchsreduktion in der Chloralkali-Elektrolyse sehr hoch, was von den Workshop-Teilnehmern, anders als von der Mehrheit der schriftlich befragten Experten (s. Abb. 29, S. 89), auch für notwendig und richtig gehalten wurde.

Die Techniken zur Lachgasreduktion (N_2O) in der Adipin- und Salpetersäureherstellung (B08) seien vorhanden und würden auch nachgerüstet, dies allerdings mit einem erheblichen finanziellen Aufwand. Die Firmen, die über diese Anlagen verfügten, lägen in Ländern, in denen sie jetzt oder zukünftig unter den CO_2 -Zertifikat-Handel fallen würden. Demzufolge liege die Nachrüstung im Bereich der Kostenabwägung. Daher gewichteten die Workshop-Teilnehmer den Bedarf an Grundlagenforschung und Technologieentwicklung geringer als die schriftlich befragten Experten. Zu berücksichtigen seien auch Prozesse außerhalb der chemischen Industrie, die hier nicht erfasst wären.

Die Entwicklung lösemittelfreier bzw. -armer Produkte zur Verminderung der Emissionen flüchtiger Kohlenwasserstoffe (NMVOC) (B13) wurde ausführlicher diskutiert. Es wurde angemerkt, dass flüchtige Kohlenwasserstoffe Vorläufersubstanzen von Ozon sind. Eine Zeit lang sei Ozon in aller Munde gewesen, aber zur Verwunderung der Workshop-Teilnehmer interessiere sich derzeit niemand mehr dafür, obwohl sich die Situation keineswegs wesentlich geändert habe. Auch wenn die halogenierten Kohlenwasserstoffe reduziert würden, bliebe die Frage, wie die teilhalogenierten Kohlenwasserstoffe zu ersetzen seien. Darüber hinaus seien NMVOC auch häufig als Aerosole vertreten, die sich mit anderen festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen zu Sekundäraerosolen verbinden können und damit zur Partikelbelastung beitragen.

Bezüglich des Umgangs mit NMVOC sollten grundsätzlich verschiedene Anwendungsbereiche unterschieden werden. In Großbetrieben (z.B. Automobilindustrie), in denen die NMVOC-haltigen Abgase konzentriert, d.h. mit hohem Heizwert abgesaugt und in einer Nachverbrennung mit nur sehr geringer Energiezufuhr verbrannt werden könnten, seien auch die Emissionen weitgehend unproblematisch. Bei Verwendung wasserbasierter, aber damit keineswegs NMVOC-freier Lacke müsse zusätzlich Energie aufgewendet werden, weil die notwendige Verbrennungstemperatur in der Abgasreinigung nicht allein durch Verbrennung in der Ablauf enthaltenen NMVOC erreichbar sei. Außerdem wurde angemerkt, dass wasserbasierte Lacke eine längere Trockenzeit mit erhöhtem Energieverbrauch benötigten. Additive müssten z.B. verhindern, dass die Lacke schäumen. D.h. es müssten teilweise Stoffe eingesetzt wer-

den, die ihrerseits zu Umweltbelastungen führen. Es wäre deswegen angebracht eine Gesamtbilanz einschließlich der Abluftsysteme zu erstellen.

Die anwendungsnahe, konzentrierte Erfassung bei weit verteilten Lackieranlagen, oder Lackieren von großvolumigen Teilen (z.B. Flugzeuge) sei überhaupt nicht gelöst, da eine Nachverbrennung mit erheblichen Mengen Erdgas aufrechterhalten werden müsste und damit unter Umständen die Umwelt mehr (als ohne Abgasreinigung) belasten würde. Hier seien grundlegende technische Lösungen zu entwickeln, denn z.B. eine Aufkonzentration durch Adsorption und Desorption in einem Aktivkohle- oder Zeolithrad sei bisher noch nicht für alle Lösemittelgemische problemlos einsetzbar.

NMVOC-arme oder sogar -freie Produkte seien dort erforderlich wo keine Abluftreinigung gefordert werde, wie z.B. in Haushalten, kleinen Autoreparaturwerkstätten usw. Es gebe viele Ansätze, die aber unter Umständen auch eine schädliche Umweltwirkungen oder Handhabungsnachteile haben könnten. Der Bedarf an Forschung und Entwicklung wie auch die Frage nach den Marktpotenzialen seien bezogen auf die jeweilige Anwendung zu bewerten.

3.5 Technologiegruppe 4: Emissionsreduktion in industriellen Prozessen – Integrierte Ansätze mit Querschnittscharakter

Auswahl der Technologiebereiche

Diese Technologiegruppe bezieht sich erneut auf industrielle Prozesse. In dieser Technologiegruppe wurde versucht, aus dem Portfolio von 20 Technologien aus dem Cluster Klimaschutz / Luftreinhaltung diejenigen zusammen zu fassen, die nicht mit additiven, sondern mit prozessintegrierten Ansätzen verbunden sind und denen in gewissem Umfang Querschnittscharakter zugewiesen werden kann. Die Abwärmennutzung in industriellen Prozessen (B10) wurde in Evaluierungsvinterviews mit Fachleuten zum State-of-the-Art-Report (Schippl et al. 2008) als ein sehr wesentlicher Technologiebereich herausgehoben, in dem keineswegs alle Probleme gelöst seien, und wurde daher in den Fragebogen aufgenommen.

Im industriellen Bereich fallen große Abwärmemengen auf verschiedenen Temperaturniveaus an, die häufig nur teilweise oder nicht genutzt werden bzw. die sich aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus oder fehlender Nutzungsmöglichkeiten im selben Betrieb einer wirtschaftlichen Verwendung entziehen. In Großunternehmen mit vielfältiger Prozessstruktur werden die Abwärmeströme inzwischen meist in umfassenden Energieverbänden gezielt genutzt. Handelt es sich jedoch um nur eine oder wenige Produktionslinien, liegt das Hauptaugenmerk auf Energieeinsparungen im Prozess und dessen Vergleichmäßigung, auch mit dem Ziel, kontinuierliche Ab-

wärmeströme mit weitgehend konstanter Temperatur zu sichern. Ist die Abwärme nicht als Wärmequelle nutzbar, bietet sich auch die Nutzung zur Stromerzeugung an. Ein spezielles Verfahren zur Stromerzeugung aus Kühlerabluft, d.h. bei Temperaturen unter 250°C, ist das ORC (Organic Rankine Cycle)-Verfahren, welches ursprünglich für die Verstromung geothermischer Heißwasserquellen entwickelt wurde. Allerdings arbeitet dieses Verfahren mit einem geringen Wirkungsgrad.

In Klein- und Mittelbetrieben ist eine Abwärmenutzung durchführbar z.B. an Kühlanlagen oder Kompressoren zur Warmwassererzeugung oder Vorwärmung von Produkten. Auch eine Kraft-Wärme-Kopplung kann sich bei geeigneter Abnahmestruktur rechnen. Aufgrund von Fragen der Versorgungssicherheit und sich hieraus ergebender rechtlicher Probleme, aber auch durch mangelnde Kommunikation der Betriebe untereinander wird eine Abwärmenutzung über die Betriebsgrenze hinweg selten realisiert. Während bei vorhandenen Möglichkeiten der Abwärmenutzung Demonstrationsprojekte sowie die Förderung des Austausches der Firmen untereinander im Vordergrund stehen, ist für Wärmespeicher und die Verstromung bei geringeren Temperaturen nach wie vor Technologieentwicklung und ggf. auch Grundlagenforschung (z.B. effiziente und raumsparende Speichermedien) wichtig.

Die Aufnahme der „Technologien zur Erhöhung der Effizienz elektrischer Antriebe in industriellen Prozessen“ (B11) in den Fragebogen ist auf die im State-of-the-Art-Report (Schippl et al. 2008) beschriebene große Bedeutung elektrischer Antriebssysteme für die Realisierung von Energieeinsparpotenzialen in industriellen Prozessen zurückzuführen.

Der Komplex Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR) wurde im State-of-the-Art-Report als sehr wichtige Querschnittstechnologie für den Umweltbereich im Allgemeinen aber insbesondere für den Bereich Luftreinhaltung identifiziert. Diese Einschätzung wurde in Expertengesprächen bestätigt. Um der großen Bedeutung gerecht zu werden, wurden 2 Technologiebereiche der MSR ausgegliedert: Anwendungsintegrierte kostengünstige Sensorik zur Echtzeitmessung von Zusammensetzung und Konzentration gasförmiger Stoffe (B19) und die Steuer- und Regeltechniken zur umweltbezogenen Optimierung von industriellen Produktionsprozessen (B20).

B10	Technologien zur Verbesserung der Abwärmenutzung in industriellen Prozessen
B11	Technologien zur Erhöhung der Effizienz elektrischer Antriebe in industriellen Prozessen
B19	Anwendungsintegrierte kostengünstige Sensorik zur Echtzeitmessung von Zusammensetzung und Konzentration gasförmiger Stoffe
B20	Steuer- und Regeltechniken zur umweltbezogenen Optimierung von industriellen Produktionsprozessen

3.5.1 Ergebnisse der Expertenbefragung

Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Klimaschutz- und Luftqualitätsproblemen

Besondere Aufmerksamkeit verdient zunächst die sehr große Anzahl an Experten, welche die Technologien zur besseren Abwärmenutzung in industriellen Prozessen (B10) als „wichtig“ oder „äußerst wichtig“ für die Lösung von Klimaschutz- und / oder Luftqualitätsproblemen einschätzt (s. Abb. 30). Auch die Erhöhung der Effizienz elektrischer Antriebe (B11) und die Steuer- und Regeltechniken zur umweltbezogenen Optimierung von industriellen Produktionsprozessen (B20) wurde deutlich als „wichtig“ bezeichnet. Die anwendungsintegrierte kostengünstige Sensorik zur Echtzeitmessung von Zusammensetzung und Konzentration gasförmiger Stoffe (B19) erfuhr eine zurückhaltende Bewertung, obwohl ihr in den ergänzenden Bemerkungen (s.u.) einen Schlüsselrolle hinsichtlich Optimierung und Emissionsminderung zugeschrieben wird. Bei diesem Technologiebereich nimmt zudem die Kategorie „keine Bewertung möglich“ viel Raum ein.

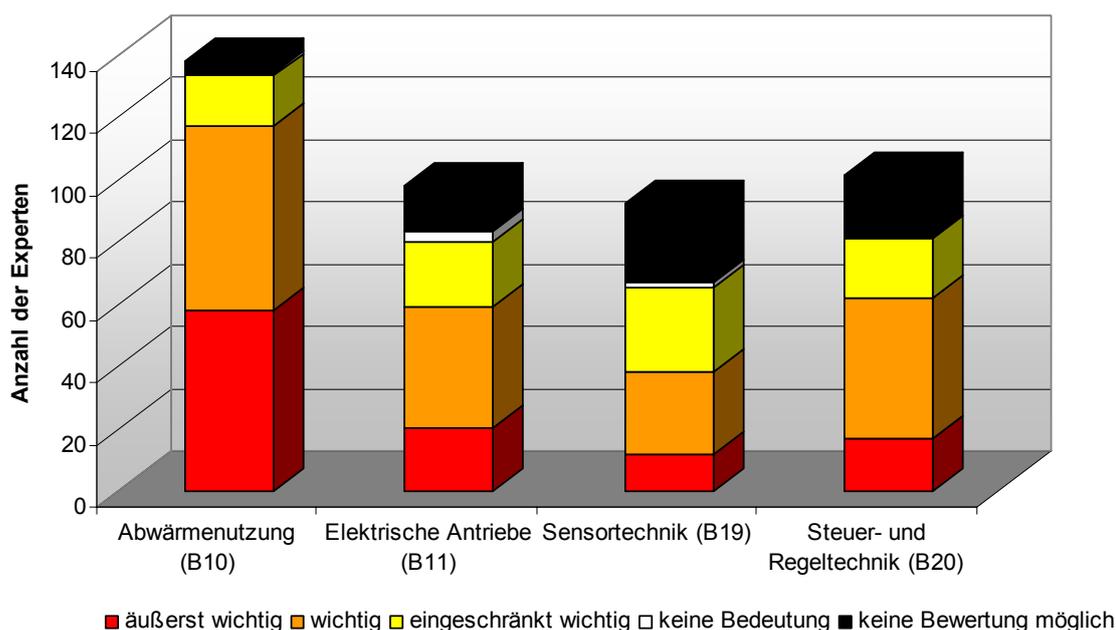


Abb. 30: Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Klimaschutz- und Luftqualitätsproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Positive und negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche

Die Mehrheit der befragten Experten erhoffen von einer *Verbesserten Abwärmenutzung* (B10) positive Wirkungen auf andere Umweltbereiche und verneinen negative

Wirkungen. Als positiver Effekt wird zudem eine Förderung der System- und Kreislaufgedankens erwartet. Mit der Steigerung der Energieeffizienz gehen nach Ansicht der Befragten die Schonung der Energieressourcen und die Verminderung der Klima-/ Luftbelastung sowie auch der Wärmeemissionen in Gewässern einher. Einige Experten wiesen darauf hin, dass in einer Gesamtbewertung der Ressourcenbedarf und die Emissionen bei der Herstellung und dem Transport der Anlagen zu berücksichtigen wären. Um die Kosten der Abwärmenutzung zu senken, wurden ein verstärkter modularer Aufbau der Systeme sowie ein intensiverer Informationsaustausch zwischen Anwendern und Herstellern angeregt. Teilweise wurden auch verpflichtende Auflagen zur Energieeinsparung und zur Abwärmenutzung gefordert, etwa durch die Vorgabe einer Mindest-Energieeffizienz bei der Genehmigung von Anlagen oder durch die Auflage bei der Planung von Industriegebieten ein Fernwärmenetz vorzusehen und mit einem Anschluss- und Benutzungszwang abzusichern. Nicht benötigte Abwärme könnte in Strom gewandelt und ins Netz eingespeist werden.

Die Mehrheit der befragten Experten erwarten durch die *Steigerung der Effizienz elektrischer Antriebe* (B11) positive Rückwirkungen auf andere Umweltbereiche, insbesondere durch eine Verminderung des Energieverbrauchs (s.o.), aber auch durch die Reduzierung der Abwärme und den damit geringeren Kühlbedarf. Weitere Verbesserungen könnten sich bei einer Steigerung der Nachfrage durch den vermehrten Einsatz in der Praxis und die hieraus gewonnenen Erkenntnisse ergeben. Mehrfach wurde die Auffassung vertreten, dass effiziente Motorentchnik im Prinzip vorhanden sei und es vorrangig nur darum gehe, diese zum Einsatz zu bringen.

Sensoren zur Echtzeitmessung von Zusammensetzung und Konzentration von Gasen (B19) werden von vielen der Befragten positive Auswirkungen auf andere Umweltbereiche attestiert. Positive Effekte werden auch von einem Monitoring von Prozessen und Gasen durch die Online-Diagnostik in Prozessen, eine bessere Quellenanalyse verschiedenster Gase sowie eine schnellere und präzisere Bestimmung von Emissionen/ Immissionen der Klimagase und Luftschadstoffe erhofft. Effizienzsteigerungen mit Auswirkungen auf den Energie- und Ressourcenverbrauch werden ebenso für möglich gehalten wie eine Verbesserung des Gesundheitsschutzes. Negative Effekte werden kaum gesehen.

Auch von der *Steuer- und Regeltechnik* (B20) werden überwiegend positive Auswirkungen auf andere Umweltbereiche erwartet und negative verneint. Die positiven Erwartungen erstrecken sich auf alle Umweltbereiche sowie auf den Arbeitsschutz und die Sicherheit. Hervorgehoben wurde der hohe Wissenstand in diesem Bereich, sowohl in den deutschen Hochschulen, als auch in der Industrie. Bemängelt wurde allerdings, dass häufig die Regelgröße „Umwelteffizienz“ nicht ohne weiteres mit den wirtschaftlichen Zielen des Prozesses bzw. der Produktion in Einklang gebracht werden könnte.

Forschungsbedarf / Förderbedarf

Alle in dieser Gruppe behandelten Technologien erfahren eine auffällig hohe Einschätzung des Forschungs- und Förderbedarfs in der Kategorie Technologieentwicklung (s. Abb. 31). Relativ hoher Forschungsbedarf wird zudem in der Kategorie „Demonstration und Marketing“ gesehen, insbesondere bei der Abwärmenutzung in industriellen Prozessen (B10) aber auch bei der Effizienz elektrischer Antriebe (B11). Deutlich geringer als der Forschungsbedarf wird der Bedarf an öffentlicher Förderung in diesem Bereich eingeschätzt, was wiederum anzeigt, dass die Experten „Demonstration und Marketing“ eher in den Verantwortungsbereich der Unternehmen verweisen. Der Bedarf an Grundlagenforschung und der entsprechende Förderbedarf werden für die Abwärmenutzung eher unterdurchschnittlich bewertet. Es mehren sich auch die Stimmen, die einen Bedarf ganz verneinen (s. Tab. 13).

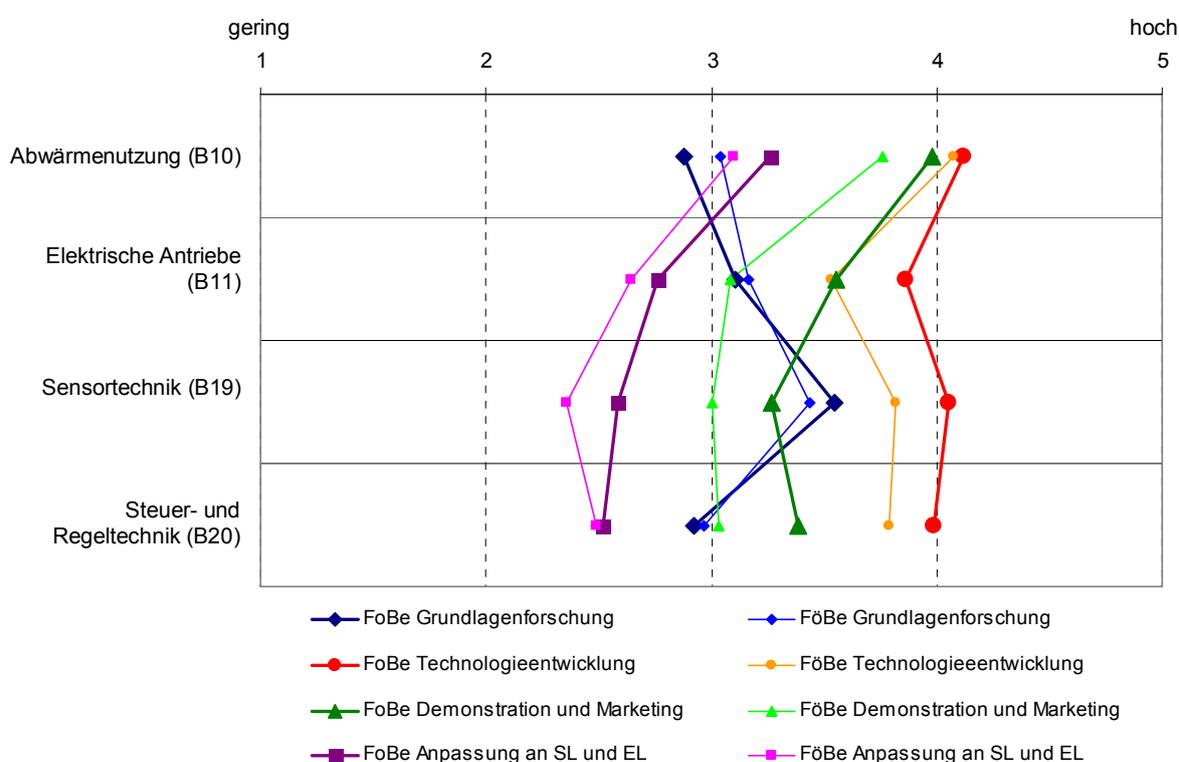


Abb. 31: Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Den anwendungsintegrierten kostengünstigen Sensoren zur Echtzeitmessung (B19) sowie der Steuer- und Regeltechnik (B20) schreiben etwa Dreiviertel der Experten einen hohen Forschungsbedarf im Bereich der Technologieentwicklung zu und, in etwas geringerem Maße, an öffentlicher Förderung. Aber auch in der Grundlagenforschung und ihrer Förderung sehen etwa die Hälfte der Experten noch einen hohen Bedarf auf dem Gebiet der Sensorentwicklung (B19), während bei der Steuer- und Regeltechnik (B20) „Demonstration und Marketing“ im Vordergrund stehen. Den

Forschungs- und Förderbedarf hinsichtlich der „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ sehen die meisten als gering an, für die Sensortechnik (B19) sogar als außergewöhnlich gering. Ein hoher Anteil der Befragten entschied sich für die Kategorie „kein Bedarf“.

Tab. 13: Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ – in Prozent (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten)

		B10	B11	B19	B20
Förderbedarf	Grundlagenfor.	14% (15/107)	11,6% (8/69)	9,1% (5/55)	7,5% (5/65)
	Technologieentw.	6,3% (7/111)	7% (5/71)	3,6% (2/55)	2,9% (2/68)
	Demo u. Marketing	10,2% (11/108)	11,6% (8/69)	11,8% (6/51)	6,1% (4/66)
	Anpassung SL / EL	14,6% (15/103)	17,6% (12/68)	23,5% (12/51)	14,9% (10/67)
Forschungsbedarf	Grundlagenfor.	10,7% (12/112)	5,6% (4/71)	7,3% (4/55)	1,5% (1/67)
	Technologieentw.	1,7% (2/117)	2,7% (2/74)	3,6% (2/55)	1,5% (1/68)
	Demo u. Marketing	4,6% (5/109)	5,5% (4/73)	7,5% (4/53)	1,5% (1/66)
	Anpassung SL / EL	8,3% (9/108)	11,4% (8/70)	21,2% (11/52)	10,4% (7/67)

Marktpotenziale

Für alle Technologien dieser Gruppe werden im Vergleich zu allen anderen Technologiegruppen der Befragung in den Industrieländern durchgängig sehr hohe Marktpotenzial gesehen (s. Abb. 32). In Schwellenländern liegen die von den Experten geschätzten Potenziale etwas niedriger aber immer noch relativ hoch, am niedrigsten für die Sensortechnik (B19). Das Potenzial für Entwicklungsländer wird als eher gering eingeschätzt.

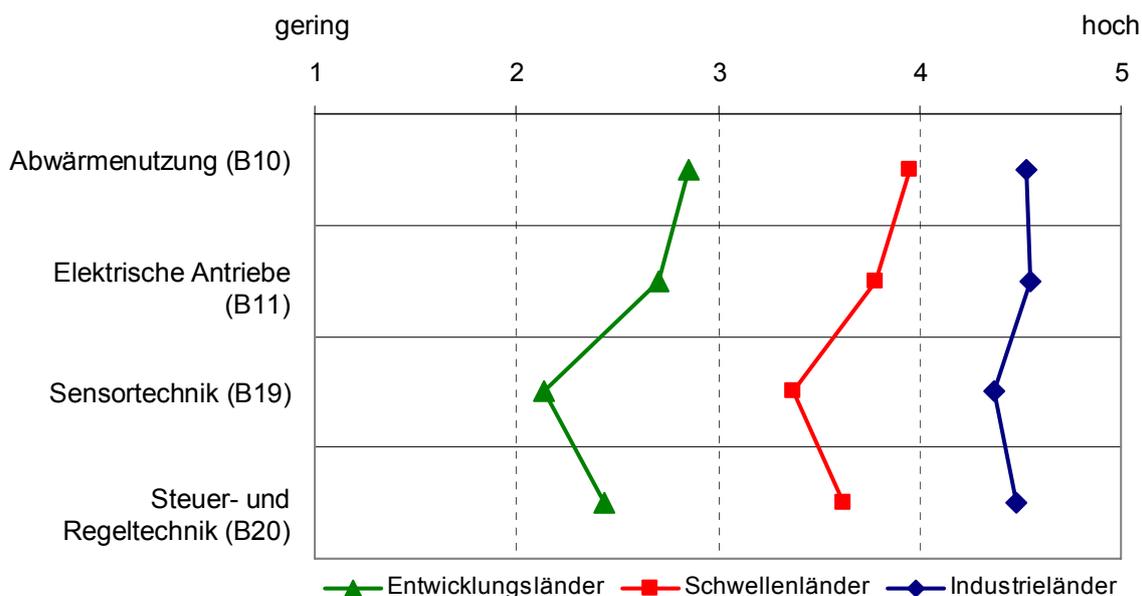


Abb. 32: Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Hemmnisse

Tab. 14: Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)

	Abwärmenutzung (B10)	Elektrische Antriebe (B11)	Sensortechnik (B19)	Steuer- und Regeltechnik (B20)
Kontraproduktive politische Regelungen	24	7	1	5
Fehlende gesellschaftliche Akzeptanz	9	4	0	5
Ungelöste technische Probleme	43	26	28	28
Fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU	42	31	26	32
Unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten	50	21	14	20
Unzureichende Vernetzung von Forschung und Unternehmen	25	9	9	19
Anzahl der Experten (die in dem jeweiligen Technologiebereich Hemmnisse sehen)	94	65	41	55

Wie bei vielen Technologiebereichen in dieser Befragung sind auch hier die am häufigsten genannten Hemmnisse: „ungelöste technische Probleme“, „fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU“ und „unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten“ (s. Tab. 14). Für alle vier Technologiebereiche in dieser Gruppe wird außerdem das fehlende Wissen der Entscheidungsträger als Hemmnis gesehen und eine bessere Aufklärung über Kosten und Nutzen sowie eine langfristige Kalkulation eingefordert.

Bei der Abwärmenutzung (B10) werden am häufigsten die fehlenden ökonomischen Erfolgsaussichten genannt und ergänzt, dass derzeit technische Lösungen sehr aufwändig und damit teuer seien. Einige Experten wiesen in ergänzenden Kommentaren darauf hin, dass für eine wirtschaftliche Niedertemperaturwärmenutzung noch entsprechende Anwendungen wie Nahwärmenetze in Industriegebieten fehlten. Relativ große Bedeutung als Hemmnis wird auch den „kontraproduktiven politischen Rahmenbedingungen“ sowie der „unzureichenden Vernetzung“ zugeschrieben.

„Fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU“ sind für energieeffiziente elektrische Antriebe (B11) das am häufigsten genannte Hemmnis, gefolgt von „ungelösten technischen Problemen“ und „unzureichenden ökonomischen Erfolgsaussichten“. Letzteres beruht auch darauf, dass die Einsparpotenziale durch effizientere Motoren häufig gering sind, im Vergleich zur benötigten Energie im gesamten Prozess. Außerdem wurde in Kommentaren darauf hingewiesen, dass Investitionsentscheidungen sich weniger an Lebenszykluskosten oder Umweltgesichtspunkten, sondern an möglichst kurzen Amortisationszeiten orientieren. Außerdem seien alte Antriebe langlebig, sodass eine Erneuerung aus Energieverbrauchsgesichtspunkten häufig wirtschaftlich nicht vertretbar erscheine. Die Einführung stromsparender Motoren sei eher bei umfassenden Neuinvestitionen realisierbar, sofern diese standardmäßig vorgesehen sind.

Für die Sensortechnik (B19) und die Steuer- und Regeltechnik (B20) sehen die Experten den Schwerpunkt der Hemmnisse ebenfalls im Bereich „ungelöster technischer Probleme“ und „fehlender FuE-Kapazitäten bei KMU“. Auch die „unzureichende Vernetzung von Forschungseinrichtungen und Unternehmen“ spielt vor allem bei der Steuer- und Regeltechnik eine nicht unerhebliche Rolle. Hingewiesen wird außerdem auf die Dominanz großer Hersteller im Bereich der Sensorentwicklung und deren geringere Neigung zur Entwicklung kleiner Serien prozessangepasster Lösungen.

Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich

Mit Blick auf die Abwärmenutzung (B10) und die effizienten elektrischen Antriebe (B11) wird vor allem die industrielle Forschung von der Mehrzahl der Befragten als „überdurchschnittlich“ (grün) oder sogar als „herausragend“ (dunkelgrün) betrachtet, während die öffentliche Förderung etwas weniger positiv eingeschätzt wird. (s. Abb.

33). Bei der Sensortechnik (B19) ist der Anteil der Experten die eine neutrale Position (weiß) einnehmen größer; auch hier sehen jedoch deutlich mehr Experten Deutschland in einer „überdurchschnittlichen“ Position als in einer „unterdurchschnittlichen“ (orange) oder sogar „unbedeutenden“ (rot). Öffentliche und industrielle Forschung werden in etwa gleich gewichtet, allerdings ist die Anzahl der Experten, die zu diesem Technologiebereich überhaupt Stellung genommen haben, deutlich geringer. Für die Steuer- und Regeltechnik (B20) verschiebt sich die positive Bewertung wieder stärker zur industriellen Forschung.

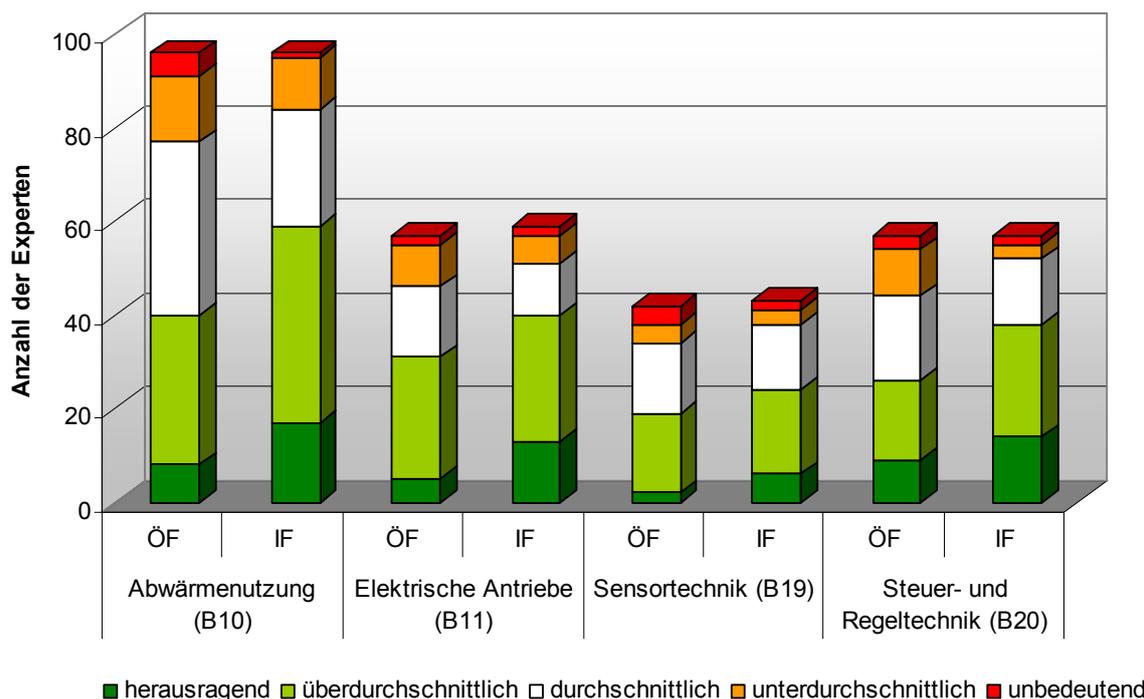


Abb. 33: Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

3.5.2 Ergebnisse des Experten-Workshops

Die sich in der Befragung abzeichnende große Bedeutung von Technologien zur Verbesserung der Abwärmenutzung in industriellen Prozessen (B10) und damit zur Verbesserung der Energieeffizienz wurde durch den Workshop bestätigt. Im Zentrum der Diskussion stand zunächst der Zusammenhang zwischen der Wirtschaftlichkeit entsprechender Technologien und der Entwicklung der Energiepreise. Es wurde darauf hingewiesen, dass bei Anfall großer Wärmemengen eine Abwärmenutzung in der Regel lukrativ sei, insbesondere dann, wenn die Temperaturdifferenz zwischen Anfall und Nutzung relativ groß und ein hohes Maß an Gleichzeitigkeit von Anfall und Bedarf gegeben sei. Zur optimalen Nutzung vorhandener Potenziale seien meist intelligente prozessspezifische Lösungen erforderlich, die durchaus auf vorhandenen Systemen aufbauen könnten, aber oft der individuellen Beratung bedürften. Bei kleinen

Firmen sei es zudem wichtig über einfache, schnell einsetzbare und preiswerte Systeme zu verfügen. Grundsätzlich seien Technik und Wissen vorhanden, es gehe hier mehr um Umsetzung bzw. Anpassung und nicht zuletzt auch um die Finanzierung. Die Experten bestätigten damit die entsprechenden Ergebnisse der schriftlichen Befragung zum Forschungs- und Förderbedarf.

Einer überbetrieblichen Abwärmenutzung stehe die mangelnde Kommunikation zwischen Abwärmeproduzenten und potenziellen Nutzern entgegen. Diese Schnittstellenproblematik träte unter Umständen selbst in größeren Firmen von einer Abteilung zur anderen auf, bei kleineren und mittleren Firmen sei häufig für dieses Thema niemand zuständig. Letztendlich handele es sich um ein organisatorisches Problem. Für Nahwärmekonzepte zur Niedertemperaturwärmenutzung habe in der Vergangenheit teilweise die Bereitschaft der potenziellen Abnehmer gefehlt. Ein Ansatzpunkt wären gute Gesamtkonzepte einschließlich der entsprechenden Bauleitplanung für die Nahwärmeversorgung in Industriegebieten. Der Anschluss- und Benutzungszwang könne ein Weg sein, aber auch ökonomische Anreize könnten Aktivitäten anstoßen. Probleme bereitet das zeitliche Auseinanderklaffen von Abwärmeeinfall und Wärmebedarf. In KMU liefen entsprechende Anlagen zeitweise parallel, aber in Abhängigkeit von der Produktion zeitweise auch gar nicht. In solchen Fällen sollte eine preisgünstige Speicherung als Backup-Lösung zur Verfügung stehen.

Ähnlich wie in der schriftlichen Befragung schätzen die Workshop-Teilnehmer die Technologien zur Erhöhung der Effizienz elektrischer Antriebe in industriellen Prozessen (B11) als wichtig für den Bereich Klimaschutz ein. Die in der Literatur existierenden Potenzialabschätzungen für die Energieeinsparung wurden allerdings kontrovers diskutiert. Elektromotoren wiesen in sich bereits eine sehr hohe Effizienz auf, wenn sie optimal arbeiteten. In der Praxis sei dies jedoch häufig nicht der Fall, da sie bereits in der technischen Planung aufgrund von Sicherheitszuschlägen und aus beschaffungspraktischen Gründen nicht selten überdimensioniert würden. Effiziente Technologien seien in der Regel teurer als Standardmotoren. Schließlich liefen Motoren, zum Beispiel bei Pumpen im praktischen Betrieb auch dann, wenn sie eigentlich nicht benötigt würden. Das Bewusstsein für den Stromverbrauch sei zu wenig ausgeprägt und müsse in den Betrieben verstärkt werden. Auch eine kontinuierliche Überwachung könne sinnvoll sein, die idealer Weise mit einem Anzeigesystem verbunden sei, das schnell und eindeutig warne, wenn der Energieverbrauch einen vorgegebenen Wert überschreite.

Besonders in KMU vermuteten die Workshop-Teilnehmer häufiger einen ineffizienten Betrieb von Anlagen, während in Großbetrieben die Motoren eher kontinuierlich oder geregelt betrieben würden. In der Mess-, Steuer- und Regeltechnik (B19 / B20) sahen die Workshop-Teilnehmer ein sehr großes Potenzial im Hinblick auf eine Reduzierung von Emissionen, Immissionen und Energieverbrauch. Im Bereich Sensorik

(B19) werde diese Einschätzung aber nicht durch die Ergebnisse der schriftlichen Befragung wiedergegeben, was nach Ansicht der Workshop-Teilnehmer auf die in der Fragestellung gewählte Einschränkung auf gasförmige Stoffe liegen könne. Es wurde betont, dass Sensoren zunächst die Voraussetzung für Steuer- und Regelsysteme seien. Grundsätzlich würden sehr unterschiedliche Technologien als Sensor bezeichnet. So werde z.B. die Messung von Kohlenwasserstoffen durch Probenahmen und deren Analyse in einem Flammenionisations-Detektor durchgeführt und teilweise der gesamte Apparat als Sensor bezeichnet; andererseits bezeichne man auch kleine Signalgeber als Sensoren.

Im Hinblick auf den Forschungs- und Förderbedarf wurde angemerkt, dass beispielsweise in der Chemie und Biotechnologie häufig grundlegende Kenntnisse zur Messbarkeit von Reaktionsmechanismen fehlten. Bei vielen Prozessen steckten die Messsysteme noch in den Kinderschuhen und bedürften der Grundlagenforschung oder Technologieentwicklung. In anderen Bereichen fehle es hingegen an der Umsetzung in die Praxis, d.h. an der Adaptation an Prozessbedingungen wie hohe Temperaturen, korrosive Umgebung usw. Wichtig sei die Entwicklung kleiner, einfacher und kostengünstiger Sensoren für die Effizienzsteigerung oder Störungsanzeige in vielen Anwendungen. So bestehe ein Mangel an kleinen, robusten und dabei preiswerten Sensoren zur besseren Steuerung von Feststoff- und Ölheizungen und / oder Warnung bei Fehlfunktionen. Lambda-Regelungen für Holzheizungen zur Sicherung einer guten Verbrennung gebe es zwar, aber es fehlten anwendbare Sensoren, die Unverbranntes anzeigen, d.h. eine kontinuierliche Staubmessung ermöglichen. Ein derartiges kontinuierliches Messsystem existiere auch für viele andere (Fein-)Staubemissionen nicht. Weiter wurde darauf hingewiesen, dass man in der Praxis öfters abgeschaltete oder schlecht gewartete Messsysteme antreffe. Auch hier sei, wie bei anderen Techniken, eine Sensibilisierung und die regelmäßige Kontrolle der Wartung erforderlich. Insgesamt wurde für die Messtechnik, je nach Technik und Anwendungsbereich eine breite Spanne an Forschungs- und Förderbedarf gesehen, von der Grundlagenforschung bis zu „Demonstration und Marketing“, mit einem Schwerpunkt in der Technologienentwicklung. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Befragung.

In Einklang mit den Befragungsergebnissen wurde auch hinsichtlich der Steuer- und Regeltechnik (B20) der Transfer des vorhandenen Wissens in die Praxis als wichtiger Schritt identifiziert. Meist sei klassische Regeltechnik im Einsatz, die noch deutlich hinter den erforschten Möglichkeiten hinterher hinke. Die klassischen Systeme mit Phasenregelungen würden langsam durch lernende Regelsysteme ergänzt, d.h. modellgestützten Reglern, denen ein mathematisches Modell ggf. mit Funktionen eines neuronalen, lernenden Netzwerkes, hinterlegt sei. Von diesen Systemen werde eine erhebliche Optimierung vieler Prozesse erwartet. Für Teilprozesse der chemischen Industrie seien derartige Systeme in der Erforschung, aber noch nicht im brei-

ten Einsatz. Teilweise sei auch noch Grundlagenforschung und Technologieentwicklung erforderlich. Besonders hervorgehoben wurde die Notwendigkeit einer Umsetzung auf konkrete komplexe technische Prozesse, für welche die heute verwendeten Regeltechniken noch weit hinter den technischen Möglichkeiten zurück blieben. Zum Teil liege dies an der fehlenden oder unzureichenden Sensortechnik, zum Teil aber auch an den sehr komplexen und nicht immer vollständig entschlüsselten Abläufen, wie sie z.B. in der chemischen Industrie oder der Biotechnologie zu finden seien.

Öffentlichen Förderbedarf sahen die Workshop-Teilnehmer auch deswegen, weil viele kleine Betriebe Forschung und Entwicklung in diesem Bereich betrieben, denen für längerfristige Entwicklungen Personal und Finanzmittel fehlten. Meist würden KMU nur dann in die Entwicklung investieren, wenn sie den Markt über 3 bis 4 Jahre überblicken könnten. In manchen Bereichen fehle es auch an gesetzlichen Vorgaben und somit dem Zwang zu messen, der jedoch auch erst ausgeübt werden könne, wenn der Stand der Technik entsprechende Messungen erlaube. Daher bedürfe es, wenn bestimmte messtechnische Ziele erreicht werden sollen, der Förderung der Entwicklungen bis zur Umsetzung der Messtechnik. Hinzu komme, dass neue Messsysteme evaluiert werden müssten, wozu Forschungsinstitute geeignet und ausgerüstet seien müssten. Auch hierzu werde eine ergänzende Förderung der öffentlichen Hand erforderlich sein.

3.6 Technologiegruppe 5: Emissionsreduktion in industriellen Prozessen – Additive Technologien mit Querschnittscharakter

Auswahl der Technologiebereiche

In dieser Technologiegruppe wurden Technologien zusammengefasst, die eine stark additive Komponente aufweisen. Technologien zur Verminderung/ Vermeidung klima- und luftschadstoffrelevanter Aerosolemissionen (B14) wurden aufgenommen, weil Bildungsmechanismen, Zusammensetzungen, biologische Wirksamkeit und Wirkungszusammenhänge sowie Dosis-Wirkungsbeziehungen noch in vielen Bereichen unklar sind. Auch die Kombinationswirkungen der Aerosole mit anderen Luftschadstoffen, deren Akut- und Langzeitauswirkungen sowie die Rahmenbedingungen für eine besondere Gefährdung sind bisher z.B. für differenziertere Grenzwerte nicht ausreichend erforscht (GSF 2008). Sekundär-Aerosole bilden sich durch chemische Reaktionen und / oder Anlagerung an einen Kondensationskern und tragen als „Sekundär-Partikel“ in der Regel zur Feinstaubbelastung bei (z.B. Sulfate, Nitrate, Ammoniumsulfate, -nitrate). Je nachdem, in welcher Luftschicht sich Aerosole befinden reduzieren sie die Sonneneinstrahlung oder deren Reflexion von der Erdoberfläche und beeinflussen somit den Temperaturhaushalt der Erde.

Technologien zur Verminderung oder Vermeidung von Arbeitsplatz- / Umgebungsbelastungen beim Umschlag staubender Güter, insbesondere kleinster Partikel (B15) wurden in die Befragung einbezogen, da der Umschlag staubender Güter zur Gesamtstaubbelastung (TSP, Total Suspended Particles) und insbesondere zur Feintaubbelastung (PM₁₀ und PM_{2,5}) beiträgt.

Zur Abscheidung von Abgas- / Abluftbelastungen (B16) steht eine Vielzahl physikalischer, chemischer und biologischer Verfahren zur Verfügung, die je nach Bedarf auch kombiniert werden können. Bei großen Abgasströmen werden verschiedene Verfahren in der Regel hintereinander geschaltet. Zunehmend jedoch wird auch hier versucht, z.B. über Katalysatoren oder „Precoating“ die Abscheidung verschiedener Abgas- und Abluftbelastungen in einer Anlage zusammen zu fassen. Bei KMU fallen geringere Mengen, aber durchaus kritische Gase und Abgasbestandteile an, für die möglichst einfache, kompakte und preiswerte Systeme erforderlich sind.

Die Heißgasfiltration (B18) wurde aufgrund von Experteninterviews zur Evaluierung des State-of-the-Art-Reports (Schippel et al. 2008) als eine äußerst relevante Technologie angesehen und daher in den Fragebogen aufgenommen. Heiße Prozessgase haben häufig eine hohe Partikelfracht. Für die Filtration im Temperaturbereich von 250 bis 1000°C werden Heißgasfilter eingesetzt, die, je nach Einsatztemperatur und Filtrationsanforderungen, mit unterschiedlichen Heißgasfilterelementen bestückt werden können. Bisher sind solche Anlagen relativ teuer in Anschaffung und Unterhaltung. Eine gut funktionierende Heißgasfiltration könnte eine Energieauskopplung bei z.B. 400 bis 650°C ermöglichen, hierdurch Energieverluste verringern und den Gesamtwirkungsgrad der Anlage erhöhen. Sie würde außerdem dazu beitragen, die nachfolgenden Anlagen vor Sublimation und Kondensation zu schützen. Die potenziellen Anwendungsbereiche sind sehr vielfältig, z.B. in der Kraftwerkstechnik bei der Kohleverbrennung, Vergasung von Kohle, Biomasse oder Müll, in Hochtemperaturprozessen der Industrie wie katalytische Crackprozesse in Raffinerien, „Carbon Black Production“, Verbrennung von Krankenhaus-, Sonder- oder radioaktivem Müll, bei der Herstellung von Nanopulvern, Metallen, in der Klinkerkühlung der Zementindustrie oder bei der Kunststoffherstellung.

B14	Technologien zur Verminderung / Vermeidung klima- und luftschadstoffrelevanter Aerosolemissionen
B15	Technologien zur Verminderung oder Vermeidung von Arbeitsplatz- / Umgebungsbelastungen beim Umschlag staubender Güter, insbesondere kleinster Partikel
B16	Kombinierte Abluft- / Abgasreinigungsverfahren für verschiedene Luftschadstoffe in kompakter Bauweise ggf. auch zur Nachrüstung bestehender Anlagen
B18	Kompakte, wartungsarme Filtersysteme für die Filtration großer Heißgasströme

3.6.1 Ergebnisse der Expertenbefragung

Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Klimaschutz- und Luftqualitätsproblemen

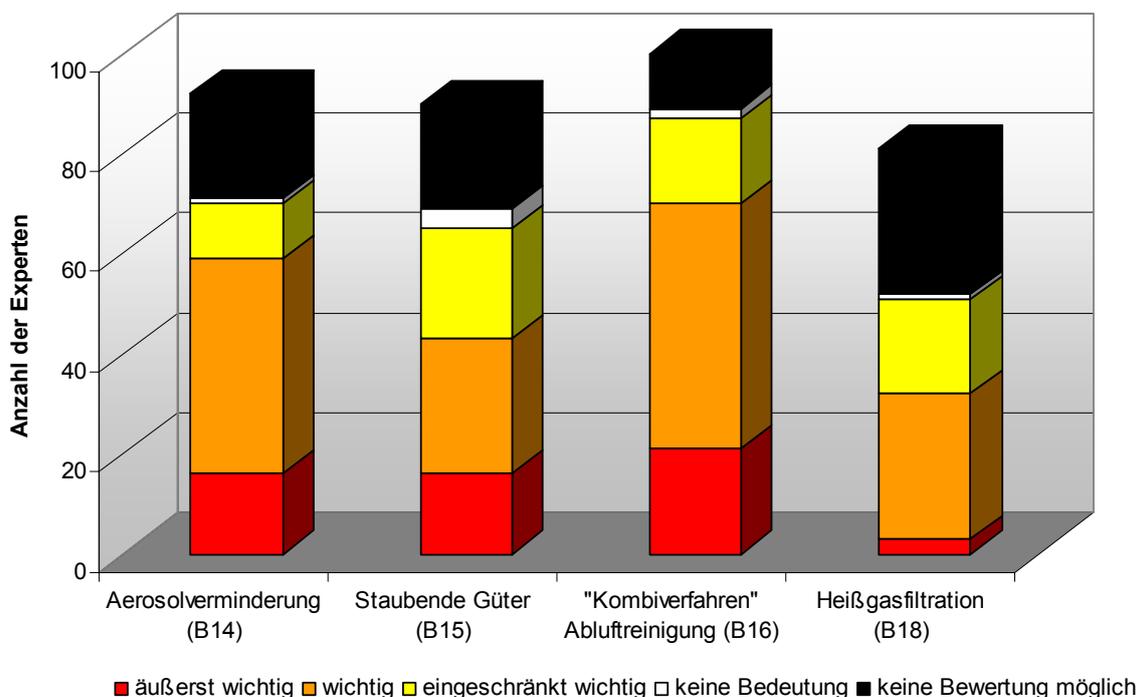


Abb. 34: Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Klimaschutz- und Luftqualitätsproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

17% der Befragten halten den Technologiebereich Aerosolverminderung / -vermeidung (B14) für „äußerst wichtig“, zusätzlich 47% für „wichtig“ (s. Abb. 34). Eine vergleichbar große Bedeutung wird den Kombiverfahren der Abluftreinigung (B16) zugesprochen, etwas zurückhaltender wird das Problemlösungspotenzial von Technologien zur Handhabung staubender Güter (B15) eingeschätzt. Die Heißgasfiltration (B18) halten noch 40% der Experten für „äußerst wichtig“ und „wichtig“. Allerdings geben auch viele Experten an, dass eine „Bewertung nicht möglich“ ist.

Positive und negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche

Allen in dieser Technologiegruppe zusammengefassten Technologien werden von den befragten Experten eher positive als negative Effekte für andere Umweltbereiche bescheinigt. Neben positiven Auswirkungen auf Klima und Luftqualität werden eine generelle Immissionsminderung und damit eine Entlastung von Böden und Gewässer

erwartet, sowie Beiträge zum Gesundheits- und Naturschutz. Die Emissionen bei der Herstellung und gegebenenfalls während des Betriebs der Anlagen (z.B. Energieverbrauch) werden dagegen als negative Auswirkung betrachtet, die in einer Gesamtbilanz zu berücksichtigen wären.

Der Einsatz von *Technologien zur Verminderung / Vermeidung von Aerosolemissionen* (B14) wird sich nach Ansicht der Befragten auch positiv auf die Feinstaubbelastung auswirken. Von einer Intensivierung der Forschung in diesem Bereich erhoffen sich die Experten zudem bessere Kenntnisse hinsichtlich der Bildungs- und Wirkungsmechanismen von Aerosolen.

Technologien zur Verminderung und Vermeidung der Staubbelastung beim Umschlag staubender Güter (B15) würden eine Verbesserung des Arbeitsschutzes bewirken und könnten diffuse Emissionen verringern. Als Nachteile werden die höhere Wasserbelastung, sofern Wasser zur Abscheidung eingesetzt wird, bzw. der Anfall größerer Abfallmengen bei anderen Verfahren genannt. Als Hemmnisse für den Einsatz dieser Technologien werden die hohen Kosten geschlossener Systeme und Anlagen sowie fehlende Investitionsanreize für Unternehmen infolge mangelnder konkreter gesetzlicher Vorgaben und Regulierungen angeführt.

Durch *Kombinationsverfahren zur Abgasreinigung* (B16) erwarten die Experten je nach Verfahren entweder eine Steigerung der Energieeffizienz oder in anderen Systemen u.U. auch deren Verminderung. Die Kombination verschiedener Einzelverfahren zur Abluft- / Abgasreinigung wird von manchen als ein zukunftsweisender Ansatz in der Umwelttechnik eingeschätzt. Als notwendig werden vor allem die Entwicklung kompakter Verfahren für immer kleinere dezentrale Anlagen gesehen. Vor dem Hintergrund, dass sich die Abgasreinigung in Deutschland und Europa immer mehr auf kritische Stoffe und Stoffzusammensetzungen konzentriert, für die das notwendige Wissen noch nicht zu Verfügung steht, wird Forschungsbedarf nicht nur bezüglich der Technologieentwicklung sondern auch im Bereich der Grundlagenforschung angemahnt.

Als Vorteil der *Heißgasfiltration* (B18) wird vor allem die effektive Staubabscheidung, z.B. bei Kraftwerken, angeführt. Ein Hemmnis für die Einführung dieser Technologie wird in den hohen Investitionskosten gesehen.

Forschungsbedarf / Förderbedarf

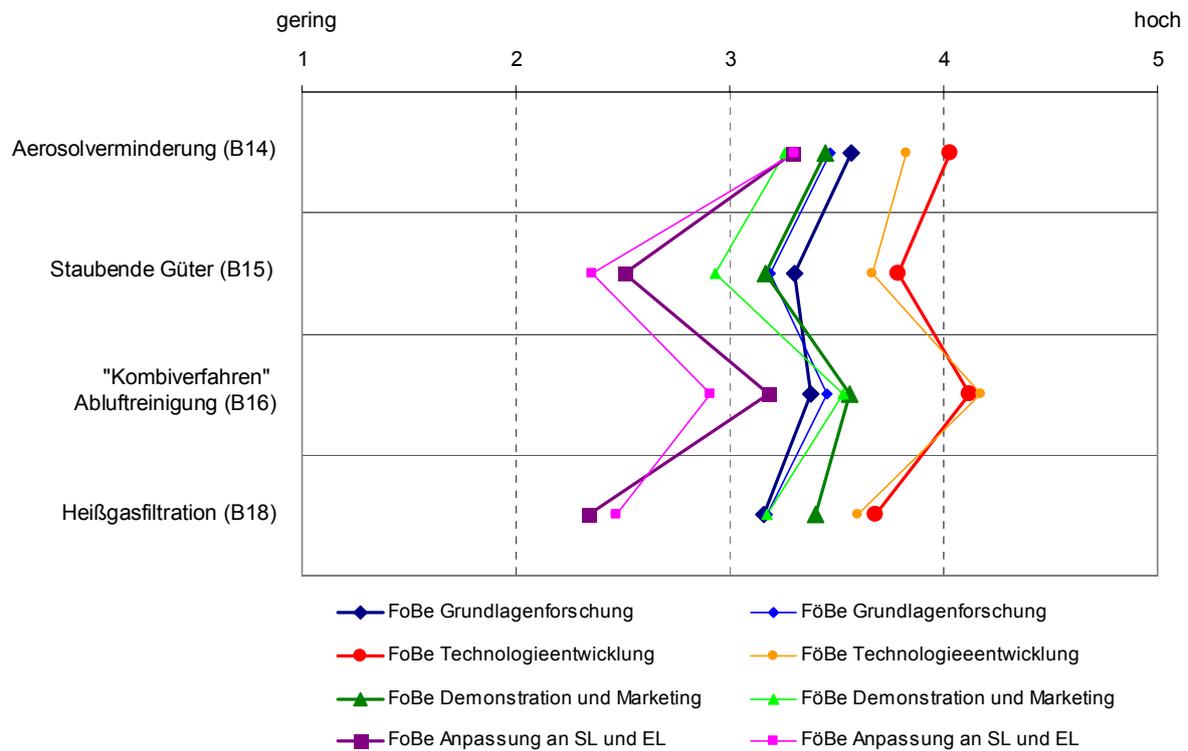


Abb. 35: Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Der Forschungs- und Förderbedarf für die Technologieentwicklung wird bei allen aufgeführten Technologiebereichen am höchsten eingeschätzt, allerdings auf unterschiedlichem Niveau (s. Abb. 35). Bei der Aerosolverminderung / -vermeidung (B14) fällt auf, dass der Bedarf an öffentlicher Förderung der Technologieentwicklung deutlich unterhalb des Forschungsbedarfs liegt. Die Kurven für den Forschungsbedarf in den Bereichen Grundlagenforschung und „Demonstration und Marketing“ verlaufen im Mittelfeld und relativ dicht nebeneinander. Ebenso wie in anderen Technologiegruppen dieser Befragung wird der Bedarf an öffentlicher Förderung für „Demonstration und Marketing“ bei den meisten Technologien mit Ausnahme der Kombinationsverfahren zur Abluftreinigung (B16) geringer eingeschätzt als der Forschungsbedarf. Der Forschungsbedarf für die „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ wird bei allen Technologien als am wenigsten vordringlich angesehen, liegt aber bezüglich der Technologien zur Verminderung der Aerosolemissionen (B14) und der Kombinationsverfahren zur Abluftreinigung etwas höher und nahe dem Bedarf für Grundlagenforschung.

Marktpotenziale

Passend zu dem Befund, dass bei der Aerosolverminderung/-vermeidung (B14) ein relativ großer Forschungsbedarf für die „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ gesehen wird, liegen die Marktpotenziale in diesen Ländern auch vergleichsweise hoch. Die höchsten Marktpotenziale werden, wie in den meisten anderen Technologiegruppen, in den Industrieländern gesehen. Am niedrigsten liegen die Werte für den Umschlag staubender Güter (B15) und die Heißgasfiltration (B18). Die Schwellen- und Entwicklungsländer folgen mit deutlichem Abstand und annähernd gleichem Muster.

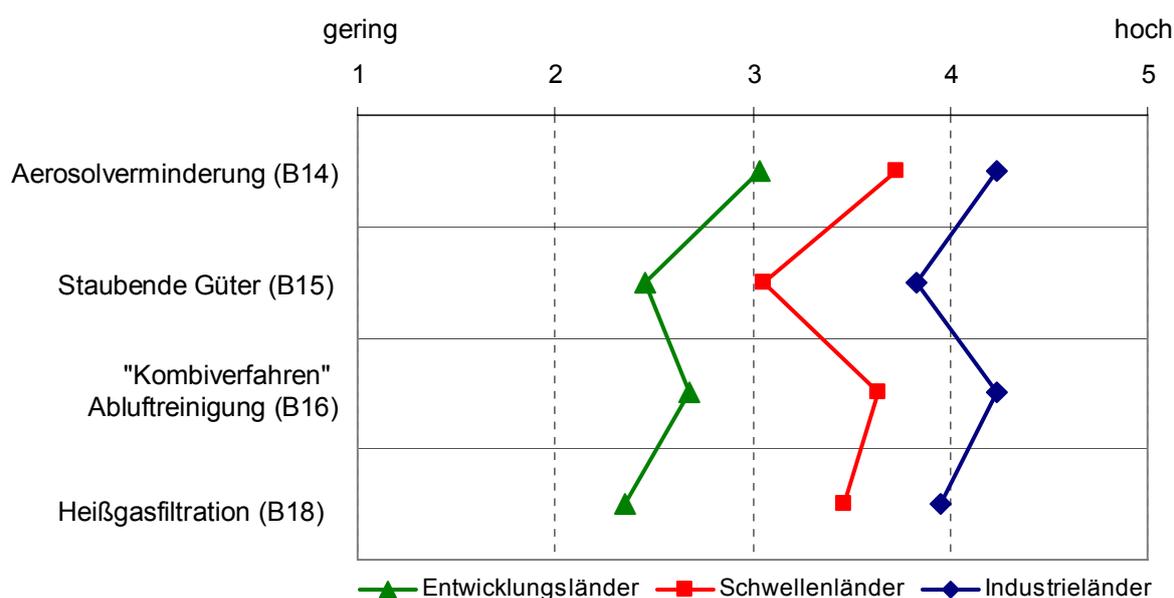


Abb. 36: Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Hemmnisse

Erneut liegt der Schwerpunkt der Nennungen auf den folgenden drei Hemmnissen: „Ungelöste technische Probleme“, „fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU“ und „unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten“ (s. Tab. 15). Dabei werden technische Probleme am häufigsten genannt. Bei der Aerosolverminderung/-vermeidung (B14) werden „ungelöste technische Probleme“ mit Abstand als das relevanteste Hemmnis betrachtet, was gut mit dem oben diagnostizierten Forschungsbedarf korrespondiert. Abgesehen von diesem schon bekannten Muster, werden auch den „kontraproduktiven politischen Rahmenbedingungen“ eine wichtigere Rolle als Hemmnis eingeräumt als in anderen Technologiegruppen, vor allem bezüglich der Aerosolverminderung/-vermeidung (B14), des Umgangs mit staubenden Gütern (B15) und der Kombiverfahren zur Abluftreinigung (B16). Besonders für die Aerosolverminderung/-vermeidung

(B14) wird auch die „unzureichende Vernetzung von Forschung und Unternehmen“ als ein Hinderungsgrund für die erfolgreiche Umsetzung dieser Technologie am Standort Deutschland häufiger genannt.

Tab. 15: Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)

	Aerosolverminderung (B14)	Staubende Güter (B15)	"Kombiverfahren" Abluftreinigung (B16)	Heißgasfiltration (B18)
Kontraproduktive politische Regelungen	10	13	13	5
fehlende gesellschaftliche Akzeptanz	6	9	4	2
Ungelöste technische Probleme	33	21	34	23
Fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU	23	15	35	11
Unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten	16	14	28	21
Unzureichende Vernetzung von Forschung und Unternehmen	12	5	9	9
Anzahl der Experten (die in dem jeweiligen Technologiebereich Hemmnisse sehen)	49	45	60	40

Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich

Tendenziell wird die Position Deutschland in der industriellen Forschung im Vergleich zur öffentlichen Forschung positiver eingeschätzt (s. Abb. 37). Besonders deutlich ist dieser Unterschied bei den Kombinationsverfahren zur Abluftreinigung (B16), ein Technologiebereich bei dem die Stellung Deutschlands im Bereich industrieller Forschung von gut 50% der Experten als „überdurchschnittlich“ (grün) und von 15% als „herausragend“ (dunkelgrün) eingeschätzt wird. Bei der öffentlichen Forschung überwiegt dagegen die Kategorie „durchschnittlich“ (weiß), knapp ein Drittel der Experten sieht sie als „überdurchschnittlich“, und nur 9% als herausragend an.

In allen anderen Technologiebereichen fällt die Bewertung der Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich weniger positiv aus. Lediglich die Aerosolverminderung/-vermeidung (B14) wurde bei der industriellen Forschung im internationalen Vergleich noch mit 15% als herausragend bzw. mit 43% als überdurchschnittlich bewertet. Bei den Technologien zum Umgang mit staubenden Gütern (B15) und der Heißgasfiltration (B18) wird die Position Deutschlands im Mittelfeld angesiedelt, allerdings ist

auch hier der Anteil der Befragten, die Deutschland in einer „überdurchschnittlichen“ Position sehen höher als der Anteil derer, die Deutschland eine „unterdurchschnittliche“ (orange) oder sogar „unbedeutende“ (rot) zuweisen.

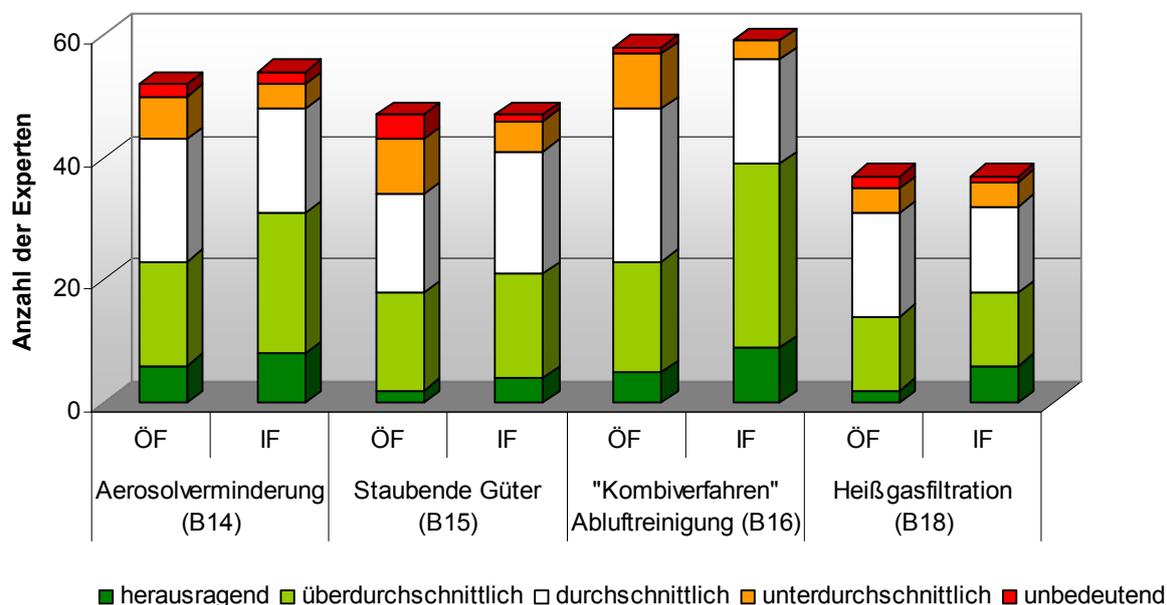


Abb. 37: Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

3.6.2 Ergebnisse des Experten-Workshops

Die hier zusammengefassten Technologiebereiche wurden teilweise sehr ausführlich diskutiert. Dabei gab es auch deutliche Abweichungen von den in der schriftlichen Befragung geäußerten Experteneinschätzungen. Im Hinblick auf Technologien zur Verminderung von Aerosolemissionen (B14) betonten die Workshop-Teilnehmer, dass Aerosole nicht nur unter Umweltgesichtspunkten, sondern auch aus gesundheitlichen Gründen beachtenswert seien, da sie tief in die Lunge eindringen und Leistungs- bis Gesundheitsstörungen hervorrufen könnten. Zu diesem Technologiebereich wurden mehrere Aspekte diskutiert, die den in der schriftlichen Befragung ermittelten deutlichen bis hohen Forschungsbedarf in den verschiedenen Kategorien weitgehend widerspiegeln. Es wurde betont, dass nicht nur die Abscheidung selbst, sondern insbesondere auch die Messtechnik eine zentrale Rolle spiele. Bei Aerosolen träten in Abhängigkeit von der Temperatur Phasenübergänge auf. Je nachdem, wo im Prozess die Abscheidetechnik sitze, sei das Aerosol entweder noch gasförmig und würde nicht abgeschieden, oder aber es sei bereits kondensiert bzw. resublimiert und verklebe möglicherweise den Abscheider. Dies könne je nach Außentemperatur auch variieren. Daher müsse die Abscheidetechnik Hand in Hand mit der

Messtechnik weiter entwickelt und kombiniert werden um den gesamten Prozess zu optimieren. Besonders betont wurde der Forschungsbedarf hinsichtlich des Problems der Phasenübergänge im Bereich der Messtechnik.

Schwer zu erfassen seien diffuse Aerosole, da sie an verschiedenen Stellen in Produktionsprozessen aufträten und über ihre Menge, Zusammensetzung und Relevanz bisher wenig bekannt sei. Für gefasste Quellen seien dagegen Filter oder Abscheider verfügbar, die auf geltende gesetzliche Grenzwerte ausgelegt sind. Diese Technologien könnten noch weiter verbessert werden, allerdings nur mit zusätzlichen Investitionen. Grundlagenforschung sei weniger erforderlich, sondern eher eine technologische Verbesserung und Optimierung.

„Hightech“-Aerosolabscheidung sei für Schwellen- und Entwicklungsländer (noch) kein vordringliches Thema, da in diesen Ländern andere Probleme, wie z.B. die Belastungen durch Kleinf Feuerungen zum Heizen und Kochen im Wohnbereich, durch rußende Öllampen oder Fahrzeugabgase im Vordergrund ständen. Minderungstechniken seien grundsätzlich vorhanden, die evtl. noch einen Anpassungsbedarf an die jeweiligen Bedürfnisse haben, aber nicht gänzlich neu entwickelt werden müssten. Angepasste, robuste und einfach handhabbare Technologien seien gefragt. „Bewusstseins-schärfung“ und Organisation seien ebenfalls wichtige Ansatzpunkte. Der Forschungsbedarf für die „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ wurde daher als deutlich geringer eingeschätzt als in der schriftlichen Befragung.

Die Technologien zur Verminderung der Belastungen beim Umschlag staubender Güter (B15) wurden weniger ausführlich diskutiert. Bei großen industriellen Prozessen käme inzwischen mehr Staub aus den vor- und nachgelagerten Prozessschritten wie Anlieferung, Mahlen oder Umschlagen. Simple, bekannte Techniken oder Verhaltensweisen wie „Förderanlagen schließen“ oder „den Kran nur bewegen, wenn die Türen geschlossen sind“, würden hier eingesetzt. Es gehe also mehr um Demonstration als um Technologieentwicklung. Für eine Weiterentwicklung der Technologien und Maßnahmen bestehe kein ökonomischer Anreiz. Wenn hier etwas geändert werden solle, müsse dies rechtlich geregelt oder durch ökonomische Anreize gefördert werden.

Im Hinblick auf die Kombinierten Abgasreinigungsverfahren (B16) wurde zunächst die Begriffswahl kritisiert. Der Begriff „kombinierte Verfahren“ sei hier nicht eindeutig. Manche Teilnehmer sahen z.B. bereits einen Wäscher als ein kombiniertes Verfahren an, da mit ihm Stäube, aber auch, ggf. durch entsprechende Zusätze, andere Abluftinhaltsstoffe abgeschieden werden könnten. In diesem Zusammenhang wurde angemerkt, dass Feinstäube wie PM_{10} und $PM_{2,5}$ in Wäschern Probleme bereiteten. Hierfür werde mit neuen Wäschertypen experimentiert (z.B. Venturiwäscher) um die Grenzen der Abscheidung zu erweitern. Entsprechend sei hier auch Forschungsbe-

darf vorhanden. Ebenso könne man die Abscheidung gasförmiger Stoffe in Katalysatoren verbunden mit einem Filter zur Partikelabscheidung zu den kombinierten Verfahren zählen, diese könnten aber auch als zwei Stufen angesehen werden. Viel eher wäre beispielsweise die Kombination einer thermischen Nachverbrennung mit einer Entstickung, d.h. zwei Module in einer Anlage als Kombianlage zu werten. Ergänzend wurde in diesem Kontext auch auf einen großen Forschungsbedarf bei der Entwicklung von Katalysatoren bzw. Katalysatormaterialien hingewiesen, besonders im Hinblick auf Stickoxide sowie auf die Verwendung in Großanlagen.

Je größer der Abgasvolumenstrom sei, umso wahrscheinlicher wäre es, dass es sich lohne, verschiedene Abgasbehandlungsverfahren hintereinander zu schalten. An Kombianlagen wäre eher bei kleinen Volumenströmen zu denken. Sie hätten sich aber oftmals als nicht so leistungsfähig erwiesen. Forschungs- und Entwicklungsbedarf wurde mit Blick auf die Optimierung der Verfahren bzw. die Verfahrenskombination auf die spezifische Fallsituation gesehen.

Bezüglich der Heißgasfiltration (B18) wurden die Entwicklungsmöglichkeiten zurückhaltender eingeschätzt als in der schriftlichen Befragung. Der größte Forschungsbedarf wurde bei der Grundlagenforschung gesehen, also anders als in der Befragung, in der Forschungs- und Förderbedarf bei der Technologieentwicklung sowie bei „Demonstration und Marketing“ am höchsten eingeschätzt werden. Auch die Marktpotenziale werden als nicht allzu groß eingeschätzt. Relativ großes Potenzial wurde der Entwicklung neuer Filtermaterialien zugeschrieben, die in kompakten Filtern eingesetzt werden können. Hier sei noch Grundlagenforschung zu leisten, welche letztlich alle Bestandteile des Systems, sowie ihr Zusammenwirken, berücksichtigen sollte. Allerdings gestalte sich die Technologieentwicklung sehr schwierig und wäre bisher weitgehend an den erheblichen Kosten gescheitert. Die gelte besonders für keramische Materialien, deren Entwicklung bzw. Einsatz durch die extrem hohen Kosten verhindert wird. Große Fortschritte bei der Materialentwicklung seien in den letzten Jahren nicht erzielt worden.

3.7 Technologiegruppenübergreifende Ergebnisse des Workshops

Neben den einzelnen Technologien wurden noch einige andere, allgemeine Aspekte zu Klimaschutz und Luftreinhaltung diskutiert, die für die Bedeutung der Handlungsfelder und für die Einschätzung des Förderbedarfs relevant sind. Wichtigster Punkt war dabei sicherlich die deutliche Kritik der Befragungsergebnisse für die allgemeinen Fragen. Die relativ geringe Gewichtung von Problemdruck und Forschungsbedarf für das Handlungsfeld Luftreinhaltung konnte von vielen Workshop-Teilnehmern nicht nachvollzogen werden. Der Bereich Luftreinhaltung sei gerade im Vergleich zum heute allseits diskutierten Thema Klimawandel, in seiner Bedeutung auch für Deutschland erheblich unterschätzt. Zugespitzt wurde das durch die Aussage, dass

Luftbelastung zumindest kurz- bis mittelfristig mindestens so große, wenn nicht gar größere, Auswirkungen besonders auf die Gesundheit, aber auch auf die Umwelt habe wie der Klimawandel. Hingewiesen wurde auf die ungelöste Feinstaubproblematik, das nach wie vor ungelöste Problem bodennahen Ozons, auf die nachweislich durch Luftverschmutzung sinkende Lebenserwartung sowie auf den Zusammenhang zwischen Luftbelastung und Krebsraten. Gerade die Feinstaubbelastung als ungelöstes Problem mit direkter Auswirkung auf die menschliche Gesundheit müsse höher bewertet werden. Im Gegensatz zum Klimawandel sei ein direkter Einfluss der Luftqualität auf die Menschen auch in Deutschland nachweisbar.

Hervorgehoben wurde außerdem, dass im Bereich Luftreinhaltung neben der Betrachtung der Emissionen zunehmend die Immissionen ins Blickfeld rückten. Das gelte besonders für die Luftqualität in Innenräumen. Der durchschnittliche Bundesbürger verbringe einen großen Teil seiner Lebenszeit in Gebäuden. Gleichzeitig würden Gebäude aus Gründen der Energieeffizienz immer mehr gegen den Luftaustausch mit der Umgebung abgedichtet. Dementsprechend gewinne die Innenraumbelastung an Bedeutung. Expositionsrechnungen würden im Vergleich zu Konzentrationsrechnungen immer wichtiger. Luftqualität, Schadstoffe und deren Quellen in Innenräumen müssten mehr beachtet werden. Hier gebe es bisher zu wenig Forschung.

Generell wurde es als problematisch eingeschätzt, dass der für Klimaschutz und Luftreinhaltung hoch relevante Energiesektor bei diesem Projekt nur am Rande und fragmentarisch einbezogen werden konnte. Oft sei eine ganzheitliche Betrachtungsweise erforderlich, um eine Technologie nicht nur im Hinblick auf ihre Machbarkeit und eventuelle Marktpotenziale, sondern explizit auch im Hinblick auf Alternativen bewerten zu können. Dies zeige sich immer wieder bei der Diskussion der abgefragten Technologiebereiche (z.B.: CCS (B01) oder Abwärmenutzung (B10)). Oft wurde auch auf Überlappungen mit anderen Umwelthandlungsfeldern hingewiesen und gefordert, stärker eine handlungsfeldübergreifende, also integrierte Perspektive einzunehmen. Besonders wichtig sei die Überschneidung des Clusters „Klimaschutz/Luftreinhaltung“ mit dem Handlungsfeld „Erhöhung der Rohstoffproduktivität/Kreislaufwirtschaft“. Als Beispiele wurden hier die Idee, schon beim Produktdesign einen minimierten Schadstoffausstoß anzustreben, schadstoffarme Produktionsverfahren, „Cleaner Technologies“ oder das „Design for Recycling“ genannt, die alle in Teil II Kapitel 5 (s. S. 251) behandelt werden.

4 Boden / Erhalt von Biodiversität und Naturschutz

4.1 Einführung

In diesem Cluster wurden die beiden Handlungsfelder Bodenschutz und Biodiversität zusammengefasst. Das hat sowohl inhaltlich wie auch konzeptionell-organisatorische Gründe. Letztere liegen darin, dass eine symmetrische Strukturierung des Fragebogens zur besseren Orientierung und Verständlichkeit erforderlich war. Inhaltlich sind die zahlreichen Überschneidungen zwischen Bodenschutz und Erhalt von Biodiversität und Naturschutz offensichtlich und in der Ökosystemforschung vielfach adressiert (Stichworte sind: Standortfragen wie z.B. Salztoleranz, Wasserhaushalt der Böden, Kontaminationen, Pflanzen als Erosionsschutz und zur Verbesserung der Bodenqualität). Diese Überschneidungen werden insbesondere bei der Zusammenfassung der Workshop-Diskussion immer wieder deutlich. Neben zahlreichen Überlappungen gibt es aber auch eine Reihe wichtiger Unterschiede zwischen diesen beiden Umweltschlagfeldern. In der Ergebnisdarstellung werden Bodenschutz und Erhalt von Biodiversität und Naturschutz deswegen weitgehend getrennt dargestellt, diskutiert und interpretiert.

Der Boden ist ein Multitalent; er ist Lebensraum für Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen. Er nimmt Speicher-, Filter-, Puffer- und Umwandlungsfunktionen wahr, spielt eine zentrale Rolle beim Wasserschutz und dem Austausch von Gasen mit der Atmosphäre und ist eine Regelgröße im Stoffhaushalt. Der Boden stellt aber zugleich auch einen Produktionsfaktor für Nahrungsmittel und nachwachsende Rohstoffe dar. Er ist daneben ein Archiv der Natur- und Kulturgeschichte. Wegen seiner vielfältigen lebenswichtigen Funktionen und vor allem wegen seiner Unvermehrbarkeit muss der Boden genau wie Luft und Wasser mit höchster Priorität geschützt werden. Eng mit der Qualität des Bodens und seiner Nutzung sind der Erhalt der Biodiversität und der Naturschutz verbunden. Biodiversität, Ökosysteme und vieles, was uns als Natur erhaltenswert erscheint, befindet sich unmittelbar an der Erdoberfläche, am Boden und in Gewässern. Räumliche (z.B. Bau-, Versiegelungs- oder Bewirtschaftungsmaßnahmen) und Stoffliche Beeinträchtigungen (z.B. Immission ökotoxischer Stoffen und der Eintrag von Nährstoffen aus der Landwirtschaft) schädigen direkt und / oder mechanisch Lebens- und Naturräume. Damit liegen die zentralen Herausforderungen nicht nur im nachhaltigen Umgang mit Boden, sondern auch bei dem Erhalt der Biodiversität sowie im Schutz der Natur. Bei der Erreichung dieser Ziele spielen neben politischen, ökonomischen und institutionellen Lösungsansätzen insbesondere technologische Innovationen und die Einbettung dieser in nachhaltige Nutzungskonzepte eine wichtige Rolle. Vor diesem Hintergrund wurden im Projekt mögliche technologi-

sche Lösungsansätze untersucht, die anderen Ansätze aber nicht außer Acht gelassen.

Auf Basis des im State-of-the-Art-Report (Schippel et al. 2008) ermittelten breiten Spektrums von Umwelttechnologien wurden mit Unterstützung durch Experteninterviews diejenigen ausgewählt, denen aus unserer Sicht zentrale Bedeutung zur Lösung der Probleme im Bereich „Bodenschutz, Erhalt von Biodiversität und Naturschutz“ zukommen. Zur besseren Übersicht haben wir die von uns ausgewählten Technologien in vier Technologiegruppen unterteilt; zwei Gruppen, die dem Bodenschutz zuzuordnen und zwei Technologiegruppen, die beim Themenbereich „Erhalt von Biodiversität / Naturschutz“ zu verorten sind:

- *Gruppe 1* beschäftigt sich mit den Technologien des Monitoring und der Analytik.
- *Gruppe 2* umfasst Technologien, die der Vor- und Nachsorge von Bodenverunreinigungen dienen und unter dem Begriff „Nachhaltige Bodenschutzkonzepte“ zusammengefasst werden.
- *Gruppe 3* beschäftigt sich mit denjenigen Technologiebereichen, die zunächst auf den Schutz der Natur bzw. natürlich vorkommender Biodiversität gerichtet sind und dementsprechend einen mehr *indirekten* Nutzwert aufweisen. „Indirekt“ bedeutet hier jedoch keinesfalls „weniger wichtig“, sondern lediglich, dass – neben einem direkten (eigenwerten) Arten- und Naturschutz – vielmehr Ökosystemfunktionen und -leistungen erhalten werden, die sich mitunter – indirekt, vermittelt über komplexe Wirkketten – höchst bedeutsam für die menschliche Existenz erweisen.
- *Gruppe 4* hingegen umfasst Technologien, die sich stärker mit der Nutzung von Natur und kultureller Biodiversität auseinandersetzen und dementsprechend *direkte* Nutzenaspekte im Vordergrund stehen. In der Einteilung direkt/indirekt spiegelt sich indes auch die unterschiedliche Beschäftigung mit Lebewesen wieder:

Widmet sich die Technologiegruppe 3 vornehmlich den Bedingungen und Lebensräumen von Lebewesen, so stehen bei Gruppe 4 Organismen im Fokus.

Die aufbereiteten Ergebnisse der Experten-Befragung wurden analog zu den anderen Clustern „Klimaschutz / Luftreinhaltung“, „Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft“ und „Wassermanagement“ in einem eintägigen Workshop Experten aus Wissenschaft, Politik und Industrie vorgestellt und kritisch diskutiert. Das im Projekt verwendete Workshop-Konzept wurde methodisch dadurch ergänzt, dass möglichst konkrete Roadmaps (vgl. auch Teil I, Kap. 3.2, S. 11ff.) zu vier ausgewählten Technologiebereichen erarbeitet wurden. Danach wurde der Versuch unternom-

men, mit Hilfe der Experten Visionen im Bereich des „Bodenschutzes“ und dem „Erhalt von Biodiversität und Natur“ aufzuspüren.

Bei der Erarbeitung der „Roadmaps“ ging es nicht darum, dem ursprünglichen Begriff von „Roadmap“ zu folgen und ein spezifisches technisches Produkt zu planen oder zu entwerfen. Es ging vielmehr um eine Ausgestaltung möglicher, Erfolg versprechender Entwicklungspfade von ausgewählten Technologiebereichen, wobei sich der Erfolg erstrangig auf die Lösung von Umweltproblemen bezog. Damit galt es, den gesellschaftlichen Rahmen bezüglich Forschung, Entwicklung, Diffusion und Anwendung einer Technologie mit zu berücksichtigen. Folgende relevante Fragen waren beim Erstellen der Roadmaps zu beachten: Welche politischen, ökonomischen, strukturellen, gesetzlichen und kulturellen Hemmnisse können der Entwicklung bzw. dem erfolgreichen Einsatz einer Umwelttechnologie im Wege stehen? Welche Faktoren wirken begünstigend? Wo und wie muss die Entwicklung, der Einsatz einer Technologie unterstützt werden?

Wie die Auswertung des Allgemeinen Teils der Experten-Umfrage (s. Abb. 4, S. 21) zeigt, sehen die Befragten den größten Problemdruck in den nächsten 10 bis 20 Jahren auf nationaler Ebene in den Bereichen Klima und Rohstoffe. Der Problemdruck im Bereich Boden wird deutlich geringer eingeschätzt und liegt noch hinter dem Problemdruck im Bereich der Luftreinhaltung auf Platz sechs. Im Vergleich zum Boden wird der Problemdruck im Bereich Biodiversität von den befragten Experten höher eingestuft.

Auch im globalen Kontext steht nach Meinung der befragten Experten der Bodenschutz lediglich an vorletzter Stelle und liegt wieder mit Abstand hinter dem Problemdruck im Bereich Biodiversität zurück. Nur der Problemdruck im Bereich Abfallwirtschaft wird noch geringer bewertet. Dieses Ergebnis ist aus unserer Sicht eher überraschend, weil das Ausmaß der globalen Bodendegradation beispielsweise vom Wissenschaftlichen Beirat Globale Umweltveränderungen (WBGU) der Bundesregierung als alarmierend eingestuft wird und tagtäglich große Flächen durch Erosion verloren gehen, versiegelt, überbaut oder verdichtet werden (WBGU 1994)². Auch die Workshop-Teilnehmer sahen die Bedeutung des „Bodenschutzes“ als unterschätzt an.

Im Folgenden werden für alle Technologiegruppen die Ergebnisse der Expertenbefragung, die auch als schriftliche Hintergrundinformationen vorab den Teilnehmern des Workshops zur Verfügung standen sowie die Ergebnisse des Experten-Workshops vorgestellt.

2 WBGU Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, Hrsg. (1994): Welt im Wandel: Die Gefährdung der Böden. Jahresgutachten 1994. Bonn, <http://www.wbgu.de/wbgu.jg1994.pdf>.

4.2 Technologiegruppe 1: Monitoring / Bodenanalytik

Auswahl der Technologiebereiche

Böden unterliegen ständigen Veränderungen, sie sind dynamische Systeme. Diese Veränderungen sind zum Teil natürlichen Ursprungs, andere werden direkt oder indirekt durch den Menschen verursacht, wie zum Beispiel die Einträge anthropogener Emissionen über Niederschlag und Staub (Säuren, Nährstoffe, Schwermetalle, Radionukleide, organische Schadstoffe usw.). Aber auch der Landwirt verändert die Böden durch Kultivierung und Nutzung. Für den Boden entstehen hieraus mechanische Belastungen (durch schwere Landmaschinen) und agrochemische Belastungen (durch Düngung, Pflanzenschutzmittel etc.) sowie unter Umständen der Verlust von Ackerboden durch Abschwemmung (Wassererosion) oder Verwehung (Winderosion). Während Flüsse und Bäche mit Schaumwalzen oder gar Fischsterben auf Verschmutzung reagieren oder zu hohe Ozonwerte und Smog uns deutlich spürbar auf die Lunge schlagen, reagiert das Umweltmedium Boden in der Regel sehr langsam und meist wenig spektakulär. Die Prozesse laufen oft so langsam ab, dass sie für die menschlichen Sinne nur schwer wahrnehmbar sind. Es ist daher nicht ohne weiteres festzustellen, ob mögliche Entwicklungen zu einer schädlichen Bodenveränderung führen oder führen werden.

Im Sinne eines vorsorgenden Bodenschutzes sind die aktuelle stoffliche Bodenbelastung zu erfassen (Stoffinventar), deren Veränderungen zu erkennen und zu prognostizieren. Hierzu sind eine Vielzahl von bodenkundlichen Arbeitstechniken wie Kartierung, Feldmessung, Laboranalytik und Modellierung einzubeziehen. Die folgenden vier Technologien wurden in diesem Bereich als besonders relevant angesehen und daher in die Befragung aufgenommen.

C01	Konzepte und Technologien zum großflächigen Monitoring von Umweltzustand und Umweltveränderungen auf der Erdoberfläche und zur adäquaten Abbildung natürlicher Systeme
C02	Fernerkundungsbasierte Verfahren zur Bereitstellung flächendeckender Bodeninformationen für die Beurteilung von Erosionsrisiken
C06	Technologien zur mobilen Vor-Ort-Analytik von Böden (z.B. mit Direct-Push-Verfahren)
C08	Neue methodische Ansätze zur Erhöhung der Kompatibilität von räumlichen (wie Feld-, Beobachtungs- und Prozessskala) und zeitlichen Skalen sowie zwischen Messung und Modell

4.2.1 Ergebnisse der Experten-Befragung

Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Bodenschutzproblemen

Wie Abb. 38 zeigt, wird vor allem den Konzepten und Technologien zum großflächigen Monitoring von Umweltzustand und -veränderungen (C01) sowie den Fernerkundungsbasierten Verfahren zur Bereitstellung flächendeckender Bodeninformationen (C02) große Bedeutung zur Lösung der künftigen Bodenschutzproblematiken zugeschrieben.

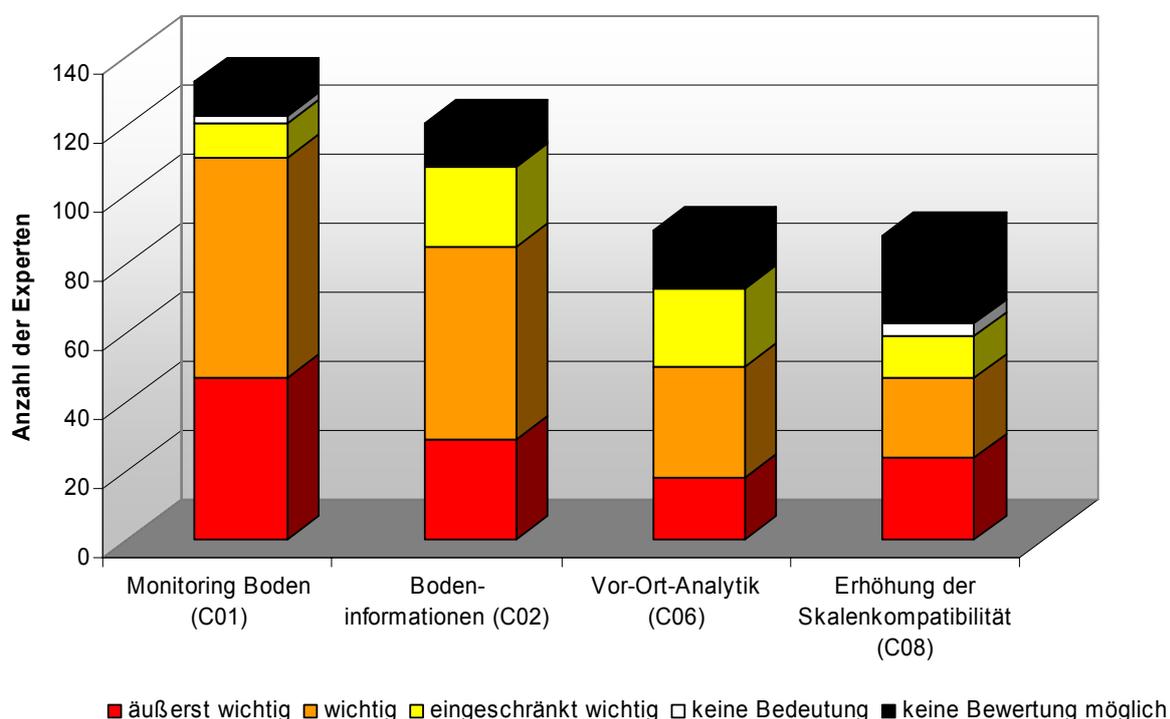


Abb. 38: Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Bodenschutzproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Ein hoher Prozentsatz der Befragten hält diese Technologien für „wichtig“ (orange) oder sogar für „äußerst wichtig“ (rot). Nur ein geringer Anteil der befragten Experten weist ihnen eine „eingeschränkte“ (gelb) oder „keine Bedeutung“ (weiß) zu. Deutlich geringere Relevanz wird dagegen Technologien zur mobilen Vor-Ort-Analytik (C06) und Neuen methodischen Ansätzen zur Erhöhung der Kompatibilität (C08) zugemessen. Nur gut die Hälfte der Befragten hält diese Technologien für „wichtig“ oder für „äußerst wichtig“. Auffallend ist die relativ hohe Anzahl der Befragten, die sich bei den Neuen methodischen Ansätzen zur Erhöhung der Kompatibilität (C08) einer Bewertung enthalten (schwarz).

Positive und negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche

Wie die Experten in den freien Feldern des Fragebogens ausführten, dienen alle in dieser Technologiegruppe zusammengefassten Technologien der Verbesserung der Informationen über den Zustand der Umwelt und relevante Umweltveränderungen, vor allem im Hinblick auf das Umweltmedium Boden. Die Bereitstellung valider Daten über Status und Dynamik natürlicher Systeme trage zum Erkenntnisgewinn über die komplexen Vorgänge und Zusammenhänge in der Natur bei und vergrößere die Prognosesicherheit. Belastbare Informationen seien außerdem eine unabdingbare Voraussetzung für jede Art von umweltpolitischen Maßnahmen, Plänen und Programmen, die allen Umweltbereichen zu gute kommen.

Entsprechend hoch schätzen die befragten Experten die Bedeutung dieser Technologien ein, insbesondere für den Natur- und Landschaftsschutz (Stoffflüsse in Landschaften, Ökosystemfunktionen, Biotopvernetzung, frühzeitige Erkennung von Biotopzerstörungen und Habitatveränderungen), die Landwirtschaft (Bodenbearbeitungssysteme, Produktivität, Vegetationsbeobachtung, teilflächenspezifische Düngung), den Gewässerschutz (Wasserhaushaltsmodelle, Wassermanagement, Gewässerqualität), die Raumplanung (Entwicklung der Flächennutzung, Flächenverbrauch für Siedlungs- und Verkehrszwecke, Bodenversiegelung) sowie für die Einleitung von Maßnahmen im Kontext des Global-Change-Management (Wüstenausbreitung, Versteppung, Risikoanalyse). Als weiterer Vorteil wird die Nutzbarkeit dieser Informationen für andere Zwecke, etwa im Ingenieurbereich, im Katastrophenschutz, als Basis für die monetäre Bewertung von Natur- und Landschaftsgütern sowie zur Sensibilisierung der Bevölkerung für ökologische Fragen, hervorgehoben.

Als Nachteil werden hauptsächlich die hohen Kosten für den Aufbau flächendeckender Umwelt-Monitoring-Systeme angeführt. Beklagt werden außerdem die fehlende methodische Vereinheitlichung, sowohl zwischen den Bundesländern als auch zwischen den Staaten der EU, sowie die unzureichende staatliche Förderung. Als notwendig werden eine Intensivierung der Grundlagenforschung auf diesem Gebiet und die Etablierung von Langzeituntersuchungen (>30 Jahre) angesehen.

Speziell mit Blick auf die *Technologien zur mobilen Vor-Ort-Analytik von Böden (C06)* und die Direct-Push-Verfahren wurde kritisch angemerkt, dass der Markt dafür im Bereich Bodenschutz sehr klein sei. Ein weiteres Hemmnis wird darin gesehen, dass es bisher keine Normierung für Direkt-push-basierte Verfahren gebe und das (BBodSchG) ihre Anwendung nicht zulasse. Auf der anderen Seite könnten diese Technologien jedoch häufig in anderen Bereichen erfolgreich eingesetzt werden, etwa bei der Gefahrenfrüherkennung durch gefährliche Stoffe, bei der Steuerung von Anlagen und Produktionsprozessen sowie generell im Umweltmonitoring. Vor diesem Hintergrund sollte ihre Erforschung und Weiterentwicklung nach Auffassung einiger der befragten Experten mit hoher Priorität gefördert werden.

Forschungsbedarf und Förderbedarf

Wie Abb. 39 zeigt, besteht eine enge Korrelation zwischen Forschungs- und Förderbedarf in den Bereichen „Grundlagenforschung“ sowie „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“; die Kurven verlaufen praktisch parallel und sehr dicht nebeneinander. Daraus kann man den Schluss ziehen, dass in Bereichen in denen hoher Forschungsbedarf besteht, auch ein hoher Bedarf an öffentlicher Forschung gesehen wird.

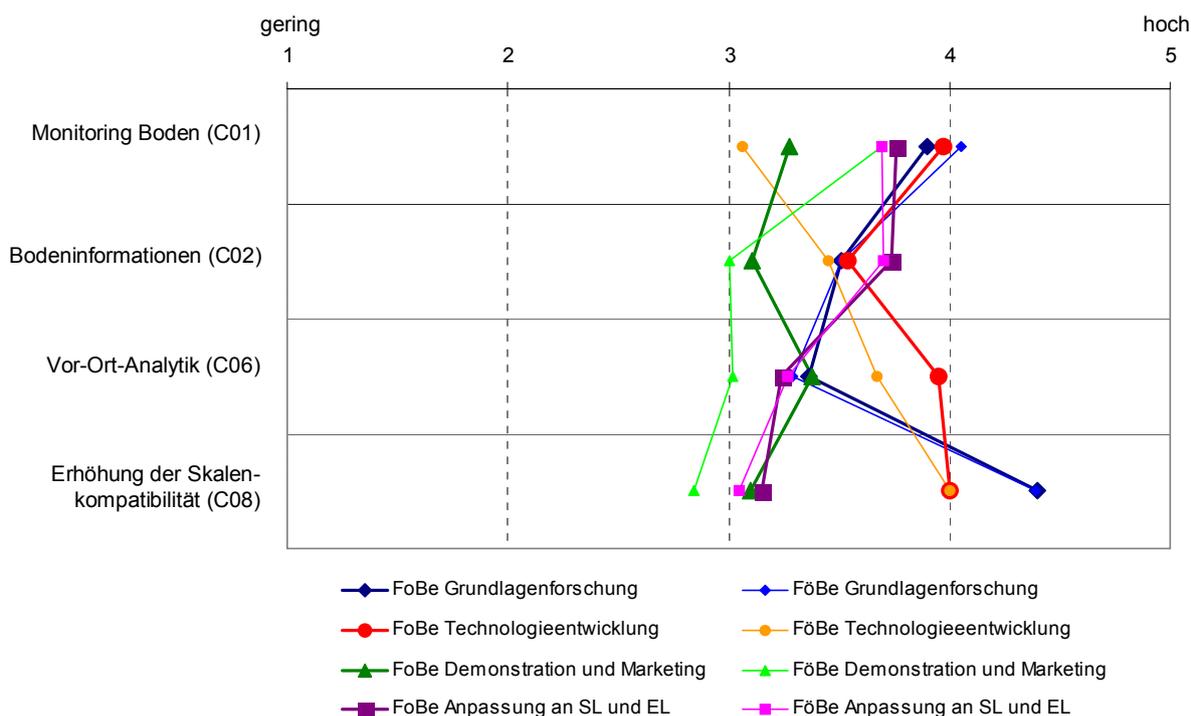


Abb. 39: Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Die Abbildung zeigt weiter, dass bei den Neuen methodischen Ansätzen zur Erhöhung der Kompatibilität von räumlichen und zeitlichen Skalen (C08) ein sehr hoher Bedarf an Grundlagenforschung und ein noch höherer Bedarf an öffentlicher Förderung besteht (>4).

In den beiden anderen Kategorien von Forschungs- und Förderbedarf zeigt sich ein sehr unausgeglichenes Bild. Die Bewertung der Experten ist sehr technologiespezifisch. Interessant ist, dass ein hoher Bedarf an Forschung im Bereich der Technologieentwicklung nicht gleichzeitig einen hohen Bedarf an Förderung durch die öffentliche Hand bedeutet (siehe rote und orangefarbene Punkte). Ähnliches gilt für den Bereich „Demonstration und Marketing“. Auch hier liegt der Förderbedarf bei den meisten Technologien unterhalb des Forschungsbedarfs. Eine Ausnahme bildet das

Boden-Monitoring (C01), bei dem der Förderbedarf deutlich oberhalb des Forschungsbedarfs angesiedelt wird.

Wie Tab. 16 zeigt, lässt sich bei allen Technologien außer den Konzepten und Technologien zum großflächigen Boden-Monitoring (C01) erkennen, dass die Experten für „Demonstration und Marketing“ sowohl den Forschungs- als auch den Förderbedarf als gering einschätzen. Beim Forschungsbedarf wurde die Kategorie „kein Bedarf“ von 8,0% der Experten bei den Technologien zur Bodeninformationen (C02) bzw. von bis zu 16,7% bei den Technologien zur Erhöhung der Skalenkompatibilität (C08) genannt, beim Forschungsbedarf lagen die Nennungen sogar noch geringfügig höher. So sahen 9,5% der Experten für die Technologien zur Bodeninformationen (C02) und 17,4% der Experten für die Technologien zur Erhöhung der Skalenkompatibilität (C08) keinen Bedarf an öffentlicher Förderung.

Tab. 16: Anzahl der Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ (absolute Nennungen / Gesamtexpertenanzahl)

		C01	C02	C06	C08
Förderbedarf	Grundlagenfor.	0,9% (1/111)	1,1% (1/92)	3,1% (2/64)	5,6% (3/54)
	Technologieentw.	0,9% (1/110)	2,2% (2/91)	3% (2/66)	5,9% (3/51)
	Demo u. Marketing	6,9% (7/101)	9,5% (8/84)	11,3% (7/62)	17,4% (8/46)
	Anpassung SL / EL	2,9% (3/104)	5,7% (5/88)	11,3% (7/62)	17% (8/47)
Forschungsbedarf	Grundlagenfor.	0% (0/117)	1% (1/96)	1,5% (1/67)	5,4% (3/56)
	Technologieentw.	0% (0/114)	0% (0/93)	1,5% (1/66)	4% (2/50)
	Demo u. Marketing	4,7% (5/107)	8% (7/87)	9,7% (6/62)	16,7% (8/48)
	Anpassung SL / EL	1,9% (2/106)	3,4% (3/89)	11,3% (7/62)	14,6% (7/48)

Bei den Technologien zur mobilen Vor-Ort-Analytik (C06) und den Technologien zur Erhöhung der Skalenkompatibilität (C08) fällt darüber hinaus die vergleichsweise hohe Nennung von 11,3% (C06) bzw. 16,7% (C08) der Kategorie „kein Bedarf“ beim Förderbedarf bzw. 11,3% (C06) und 14,6% (C08) beim Forschungsbedarf für die „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ auf.

Marktpotenziale

In Abb. 40 sind die Einschätzungen zu den Marktpotenzialen dargestellt.

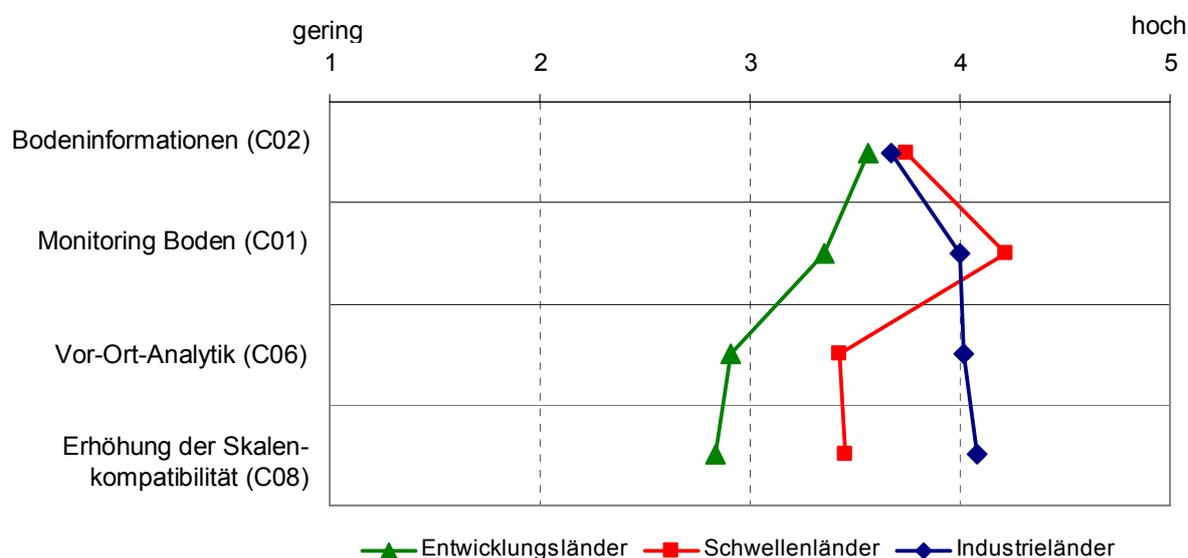


Abb. 40: Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Bei den Technologien zur mobilen Vor-Ort-Analytik (C06) und den Neuen methodischen Ansätzen zur Erhöhung der Kompatibilität von räumlichen und zeitlichen Skalen (C08) zeigt sich ein typisches Muster, das sich auch für andere Themenkomplexe dieser Befragung herauskristallisiert hat: Hohes Marktpotenzial in den Industrieländern (blaue Kurve), mittleres Marktpotenzial in den Schwellenländern (rote Kurve) und eher geringes Marktpotenzial in den Entwicklungsländern (grüne Kurve). Bei den Konzepten und Technologien zum großflächigen Boden-Monitoring (C01) überwiegt – wie auch bei den Fernerkundungsbasierten Verfahren (C02) – hingegen das Marktpotenzial in den Schwellenländern (rote Kurve) gegenüber dem der Industrieländern (blaue Kurve).

Für Fernerkundungsbasierte Verfahren zur Bereitstellung flächendeckender Bodeninformationen für die Beurteilung von Erosionsrisiken (C02) wird das Marktpotenzial sowohl der Industrieländer als auch der Schwellen- und Entwicklungsländer als ähnlich hoch angesehen, die Punkte liegen sehr nah beieinander.

Hemmnisse

Die Ergebnisse der Umfrage zeigen, dass als die wesentlichsten Hemmnisse, die einem erfolgreichen Einsatz dieser Technologien am Standort Deutschland entgegen stehen, in erster Linie die folgenden drei betrachtet werden: „Bisher ungelöste technische Probleme“, „unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten“ und „fehlende

FuE-Kapazitäten bei KMU“. Mit Abstand werden hier die meisten Nennungen angegeben (s. Tab. 17). Genannt wird bei den Konzepten und Technologien zum großflächigen Boden-Monitoring (C01) und den neuen methodischen Ansätzen zur Erhöhung der Kompatibilität von räumlichen und zeitlichen Skalen sowie zwischen Messung und Modell (C08) auch die „unzureichende Vernetzung von der auf diesem Gebiet tätigen Forschungseinrichtungen und Unternehmen“. Andere potenzielle Hemmnisse wie etwa „kontraproduktive politische Regulierungen“ und „fehlende gesellschaftliche Akzeptanz“ werden weitaus seltener angeführt.

Tab. 17: Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)

	Monitoring Boden (C01)	Bodeninformationen (C02)	Vor-Ort-Analytik (C06)	Erhöhung der Skalenkompatibilität (C08)
Kontraproduktive politische Regelungen	26	10	4	3
fehlende gesellschaftliche Akzeptanz	22	19	6	9
Ungelöste technische Probleme	36	36	30	27
Fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU	39	33	27	14
Unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten	41	31	24	17
Unzureichende Vernetzung von Forschung und Unternehmen	38	28	16	15
Anzahl der Experten (die in dem jeweiligen Technologiebereich Hemmnisse sehen)	100	77	55	45

Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich

Die Position Deutschlands im internationalen Vergleich unterscheidet sich nach Meinung der befragten Experten von Technologie zu Technologie (s. Abb. 41). Zu den Konzepten und Technologien zum großflächigen Boden-Monitoring (C01) und den Fernerkundungsbasierten Verfahren zur Bereitstellung flächendeckender Bodeninformationen für die Beurteilung von Erosionsrisiken (C02) gibt es zum einen mehr Experteneinschätzungen als zu den restlichen beiden Technologien. Zum anderen fällt die Einschätzung hinsichtlich der Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich positiver aus, d.h. der Anteil der Experten, die Deutschland in einer „überdurchschnittlichen“ (grün) oder sogar „herausragenden Stellung“ (dunkelgrün) sehen

ist deutlich größer als die Zahl derer, die Deutschland Stellung eine „unterdurchschnittliche“ (orange) oder sogar „unbedeutende“ (rot) Rolle zuweisen.

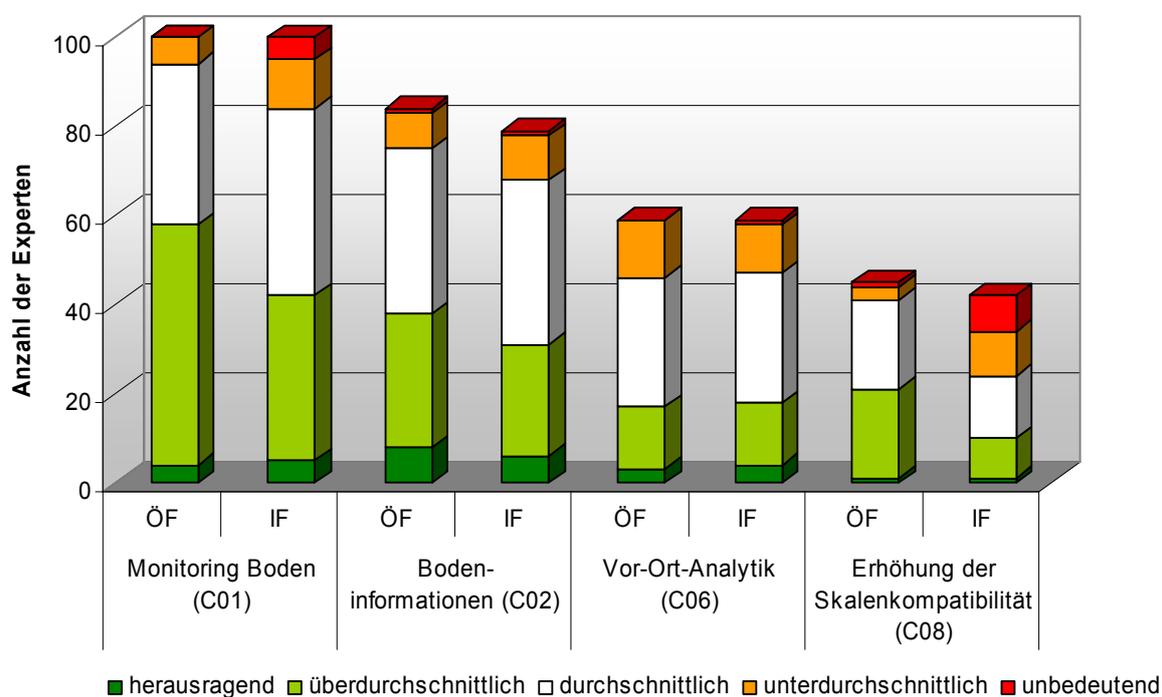


Abb. 41: Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Für die Technologien zur mobilen Vor-Ort-Analytik (C06) nimmt Deutschland eine eher „durchschnittliche“ Position im internationalen Vergleich ein (weiß).

Ein anderes Muster zeigt die Abbildung bei den Neuen methodischen Ansätzen zur Erhöhung der Kompatibilität von räumlichen und zeitlichen Skalen (C08). Hier ergeben sich deutliche Unterschiede in der Einschätzung von industrieller Forschung und Unternehmens-Know-how (IF) gegenüber der öffentlichen Forschung (ÖF). Der Anteil der Experten, die Deutschland bei der öffentlichen Forschung in einer führenden Position sehen ist deutlich größer als die Zahl derjenigen, die Deutschland im internationalen Vergleich als „unterdurchschnittlich“ oder „unbedeutend“ einstufen. Hingegen ist bei der industriellen Forschung und dem Unternehmens-Know-how (IF) der Anteil der Experten, die Deutschland in einer „überdurchschnittlichen“ oder sogar „herausragenden“ Stellung (grün) sehen, deutlich geringer als der Anteil derer, die Deutschland eine „unterdurchschnittliche“ oder „unbedeutende“ Rolle (orange, rot) zuweisen. Deutschland wird im internationalen Vergleich offensichtlich als unterrepräsentiert wahrgenommen.

Generell wird bei allen Technologiebereichen die öffentliche Forschung von den befragten Experten besser oder in einem Fall (Vor-Ort-Analytik, C06) gleichwertig als die industrielle Forschung und das Unternehmens-Know-how eingeschätzt.

4.2.2 Ergebnisse des Experten-Workshops

Aufgrund starker thematischer Überlappungen wurden Konzepte und Technologien zum großflächigen Monitoring von Umweltzustand und Umweltveränderungen auf der Erdoberfläche und zur adäquaten Abbildung natürlicher Systeme (C01) zusammen mit den Technologien zum Monitoring der Vielfalt von Arten und Ökosystemen (C17) diskutiert und eine Roadmap erstellt. Die Ergebnisse der Diskussion sind aus diesem Grund nur einmal im Kapitel 4.5 (s. S. 147) dargestellt, um Dopplungen zu vermeiden.

4.3 Technologiegruppe 2: Nachhaltige Bodenschutzkonzepte

Auswahl der Technologiebereiche

Aktuell sind weltweit große Bodenflächen in ihrer Existenz gefährdet. Sie sind mehr oder weniger stark degradiert – zum größten Teil durch Erosion – und in ihren natürlichen Funktionen erheblich beeinträchtigt. Sie werden versiegelt, zunehmend überbaut oder verdichtet. Angesichts des steigenden Bevölkerungswachstums und steigenden Lebensstandards werden Bodendegradationen und -verluste weiter zunehmen. Allein der Nahrungsmittelbedarf erfordert eine stärkere Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion und führt zu einer großen Belastung der Böden. Parallel dazu werden Bodenflächen bei zunehmender Besiedlung und Ausweitung von Infrastruktureinrichtungen durch Überbauung und Versiegelung der produktiven Nutzung entzogen. Zudem wird der Boden in seinen wesentlichen Funktionen durch aktuelle und zurückliegende Schadstoffeinträge in Böden, Untergrund und Grundwasser aus Ablagerungen, Altstandorten, der Luft und anderen Quellen gefährdet bzw. ist der Boden sogar zum Teil bereits zerstört.

Zukünftig ist es wichtig, diesen Gefährdungen vorzubeugen und die Leistungsfähigkeit von Böden zu erhalten sowie nachsorgend Böden zu sanieren und bereits eingetretene Schäden zu beheben. Die folgenden vier Technologien wurden für diese Aspekte als besonders relevant angesehen und daher in die Befragung aufgenommen.

C03	Standortangepasste landwirtschaftliche Bodenbearbeitungssysteme, welche die Bodenerosion reduzieren
C04	Technologien und Verfahren zur Sanierung von großskaligen und komplex kontaminierten Standorten (Megasites)
C05	Kostenoptimierte On-site- und In-situ-Sanierungstechnologien für Boden- und Grundwasserkontaminationen
C07	Technologien zur Verlagerung von Siedlungs- und Verkehrsflächen in den Untergrund

4.3.1 Ergebnisse der Experten-Befragung

Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Bodenschutzproblemen

Wie Abb. 42 zeigt, wird vor allem den Standortangepassten landwirtschaftlichen Bodenbearbeitungssystemen, welche die Bodenerosion reduzieren (C03) die größte Bedeutung zur Lösung der künftigen Bodenschutzprobleme zugeschrieben. Ein hoher Prozentsatz der Befragten hält diese Technologie für „wichtig“ (orange) oder sogar für „äußerst wichtig“ (rot). Nur ein äußerst geringer Anteil der befragten Experten weist ihnen „eingeschränkte“ Bedeutung (gelb) zu.

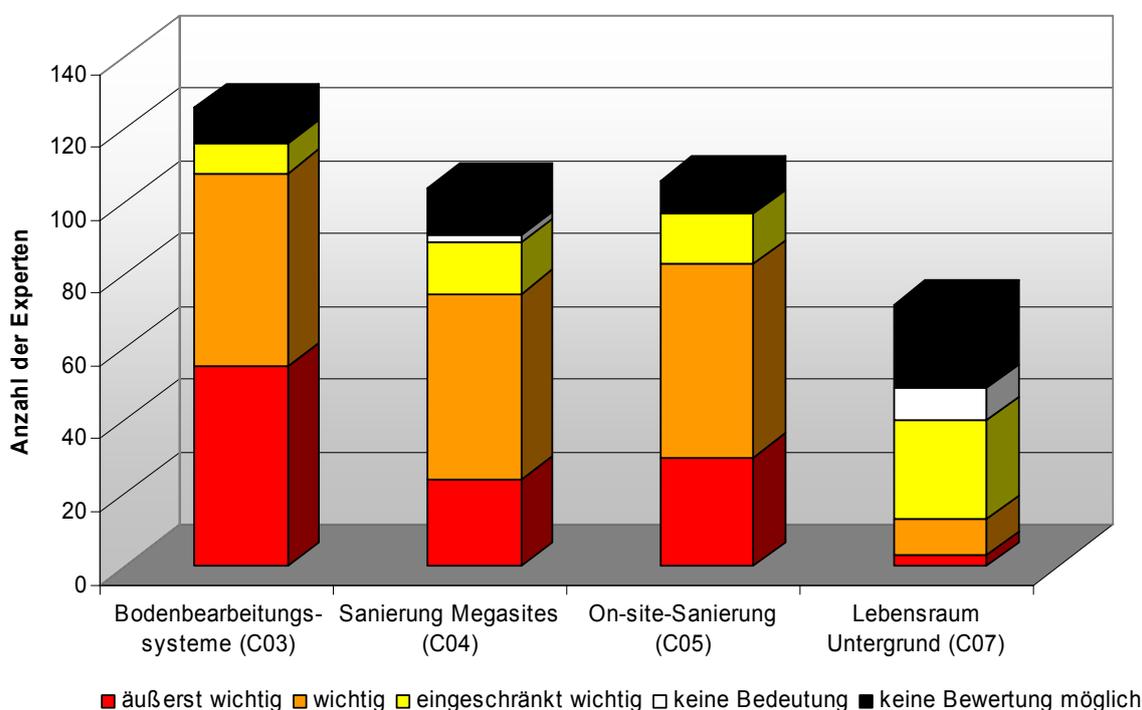


Abb. 42: Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Bodenschutzproblemen (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Die Bedeutung der Technologien und Verfahren zur Sanierung von Megasites (C04) und der kostenoptimierten On-site- und In-situ-Sanierungstechnologien für Boden- und Grundwasserkontaminationen (C06) wird etwas geringer eingeschätzt. Dennoch hält die Mehrheit der Experten diese Technologie für „wichtig“ bzw. „äußerst wichtig“.

Die geringste Zustimmung finden in der gesamten Befragung die Technologien zur Verlagerung von Siedlungs- und Verkehrsflächen in den Untergrund (C07). Nur 3 von 72 Experten halten diese Technologie für „äußerst wichtig“ für die Lösung von Bodenschutzproblemen. Die Mehrheit der Befragten weist ihnen „keine“ (weiß) oder nur

„eingeschränkte“ Bedeutung zu oder enthält sich einer Bewertung (23 von 72 Experten).

Positive und negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche

Die in dieser Technologiegruppe zusammengefassten Technologien lassen sich zwei verschiedenen Untergruppen zuordnen: Die erste Gruppe betrifft *vorsorgende Technologien* zur Erhaltung der Leistungsfähigkeit von Böden, während die zweite Gruppe *nachsorgende Technologien* zur Sanierung kontaminierter Böden und zur Beseitigung bereits eingetretener Schäden beinhaltet.

Standortangepasste Bodenbearbeitungssystemen (C03) werden positive Wirkungen auf fast alle Umweltbereiche zugeschrieben: Sie vermindern die Bodenerosion und die Bodenverdichtung, tragen zu Optimierung des Nährstoff- und Wasserhaushalts des Bodens bei (Mikrobiologie, biologische Vielfalt, Naturschutz), reduzieren den Düngemiteleinsatz und dadurch die Eutrophierung (Entlastung von Grund- und Oberflächenwasser und von aquatischen Ökosystemen), verringern den Treibstoffverbrauch (Luftreinhaltung, Klimaschutz) und verbessern den Hochwasserschutz. Als Hauptnachteile werden die unsicheren Ertragserwartungen und der fragwürdige ökonomische Nutzen für die Anwender genannt. Weitere Hemmnisse werden in der unzureichenden Ausbildung auf diesem Gebiet, dem mangelnden Problembewusstsein der Entscheidungsträger und dem fehlenden politischen Willen zur Umsetzung solcher Konzepte gesehen.

Die positiven Effekte von *Technologien zur Verlagerung von Siedlungs- und Verkehrsflächen in den Untergrund* (C07) werden in der Reduktion des oberirdischen Flächenverbrauchs und der Versiegelung, in der Verbesserung des Lärm- und Emissionsschutzes sowie in der Möglichkeit zur Renaturierung der wiedergewonnenen Flächen gesehen. Diesen Vorteilen stehen allerdings nach Auffassung der Befragten gravierende Nachteile gegenüber. Befürchtet werden negative Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und die Bodenbiologie, Grundwasserbeeinträchtigungen, Verhinderung der Versickerungsfähigkeit und Störungen der Bodenfunktionen. Mehrheitlich wird darin eine „Verlagerung der Probleme in den Untergrund“ gesehen, die zudem mit hohen Kosten verbunden ist und neue Entsorgungsprobleme (Bodenaushub) aufwirft.

Technologien zur Sanierung von Megasites (C04) tragen zu einer Verbesserung der ökologischen Gesamtsituation in dem betroffenen Gebiet bei (positive Auswirkungen auf Boden, Grund- und Oberflächenwasser, Luft, Flora und Fauna, Biodiversität). Die sanierten Flächen können zudem renaturiert (Naturschutz) oder wieder einer städtebaulichen Nutzung zugeführt werden, was die Neuinanspruchnahme natürlicher Flächen an anderer Stelle verhindert (Reduktion des Flächenverbrauchs). Als Nachteile

werden die hohen Kosten in Anbetracht begrenzter Haushaltsmittel, das Risiko der Schadstoffmobilisierung, das Problem der Entsorgung kontaminierter Bodenaushubs sowie die eventuelle Zerstörung von Extremhabitaten, die infolge der Kontamination entstanden sind, angeführt. Kritisch wurde außerdem angemerkt, dass diese Technologien vor allem für Schwellen- und Entwicklungsländer von Bedeutung wären, diese aber kaum in der Lage seien, die hohen Kosten aufzubringen.

Für *Kostenoptimierte On-site und In-situ-Sanierungstechnologien* (C05) lassen sich prinzipiell dieselben positiven und negativen Auswirkungen anführen wie bei den zuletzt diskutierten *Technologien zur Sanierung von Megasites* (C04). Im Hinblick auf die kostengünstigen biologischen In-situ-Verfahren (Einbringung von schadstoffabbauenden Mikroorganismen in den Untergrund) wird die Sanierungsdauer als Problem betrachtet, die einen ebenso langen Zeitraum in Anspruch nehmen kann wie die natürliche Entwicklung der Wildbakterienpopulation.

Forschungsbedarf und Förderbedarf

Wie Abb. 43 zeigt, besteht generell eine enge Korrelation zwischen Forschungs- und Förderbedarf, die Kurven verlaufen weitgehend parallel und sehr dicht nebeneinander. Daraus kann man den Schluss ziehen, dass in Bereichen in denen hoher Forschungsbedarf besteht, auch ein hoher Bedarf an öffentlicher Forschung gesehen wird. Eine Ausnahme stellt der Bereich Technologieentwicklung für die Technologien und Verfahren zur Sanierung von Megasites (C04) dar, bei denen der Bedarf an öffentlicher Förderung geringer eingeschätzt wird als der Forschungsbedarf. Ähnliches gilt für den Bereich „Demonstration und Marketing“ mit Blick auf Bodenbearbeitungssysteme (C03), Sanierung von Megasites (C04) und On-site-Sanierungen (C05).

Der höchste Forschungsbedarf wird bei den meisten Technologien im Bereich der Technologieentwicklung (rote Kurve) gesehen. Die Kurven für den Bedarf an Grundlagenforschung (blaue Kurve), Forschung für „Demonstration und Marketing“ (grüne Kurve) und Forschung zur „Anpassung an die Anforderungen der „Schwellen- und Entwicklungsländer“ (violette Kurve) verlaufen im Mittelfeld und relativ eng nebeneinander. Lediglich bezüglich der Bodenbearbeitungssysteme (C03) wird der Forschung zur „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ die höchste Bedeutung zugeschrieben, gefolgt von „Demonstration und Marketing“, während der Bedarf an Grundlagenforschung als weniger vordringlich angesehen wird.

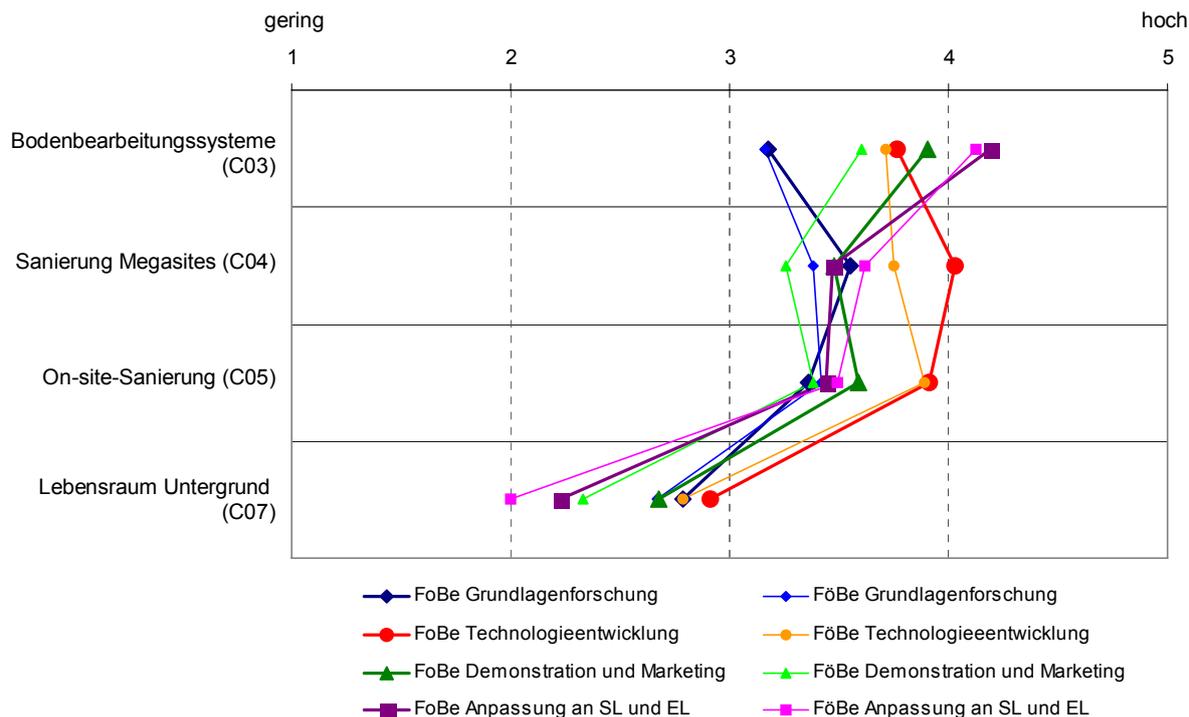


Abb. 43: Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Tab. 18: Anzahl der Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ (absolute Nennungen / Gesamtexpertenanzahl)

		C03	C04	C05	C07
Förderbedarf	Grundlagenf.	3% (3/100)	2,7% (2/74)	3,7% (3/81)	26,8% (11/41)
	Technologieentw.	2,9% (3/103)	1,3% (1/76)	2,4% (2/82)	19,5% (8/41)
	Demo u. Marketing	5,9% (6/101)	9,6% (7/73)	5,3% (4/76)	30,8% (12/39)
	Anpassung SL/ EL	1% (1/98)	8,5% (6/71)	3,8% (3/79)	30,8% (12/39)
Forschungsbedarf	Grundlagenf.	2,9% (3/103)	0% (0/76)	1,2% (1/84)	23,3% (10/43)
	Technologieentw.	0,9% (1/106)	0% (0/77)	1,2% (1/85)	19% (8/42)
	Demo u. Marketing	5,8% (6/103)	6,8% (5/74)	3,7% (3/81)	28,2% (11/39)
	Anpassung SL / EL	0% (0/99)	2,8% (2/72)	2,5% (2/80)	26,8% (11/41)

Bei den Technologien zur Verlagerung von Siedlungs- und Verkehrsflächen in den Untergrund (C07) fällt die vergleichsweise hohe Anzahl der Nennungen der Katego-

rie „kein Bedarf“ sowohl beim Forschungs- als auch beim Förderbedarf auf (s. Tab. 18). Diese liegen zwischen 19,5% für den Förderbedarf bei der Technologieentwicklung und sogar 30,8% beim Förderbedarf für „Demonstration und Marketing“ als auch für die „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“. Die Anzahl der Nennungen beim Forschungsbedarf ist nur unwesentlich geringer und bewegt sich zwischen 19,0% bei der Technologieentwicklung und 26,8% bei der „Anpassung an die Bedingungen der Schwellen- und Industrieländer“. Darüber hinaus messen die Experten, mit einer Anzahl der Nennungen „kein Bedarf“ von 9,6% beim Förderbedarf bzw. 6,8% beim Forschungsbedarf dem Bereich „Demonstration und Marketing“ bei den Technologien zur Sanierung von Megasites (C04) wenig Bedeutung zu.

Marktpotenziale

Wie zu erwarten, werden die Marktpotenziale für die Mehrzahl der in dieser Technologiegruppe zusammengefassten Technologien vorwiegend in den Industrieländern (Abb. 44, blaue Kurve) gesehen, gefolgt von den Schwellenländern (rote Kurve), während die Marktpotenziale in den Entwicklungsländern (grüne Kurve) als weniger bedeutsam bis unbedeutend eingeschätzt werden.

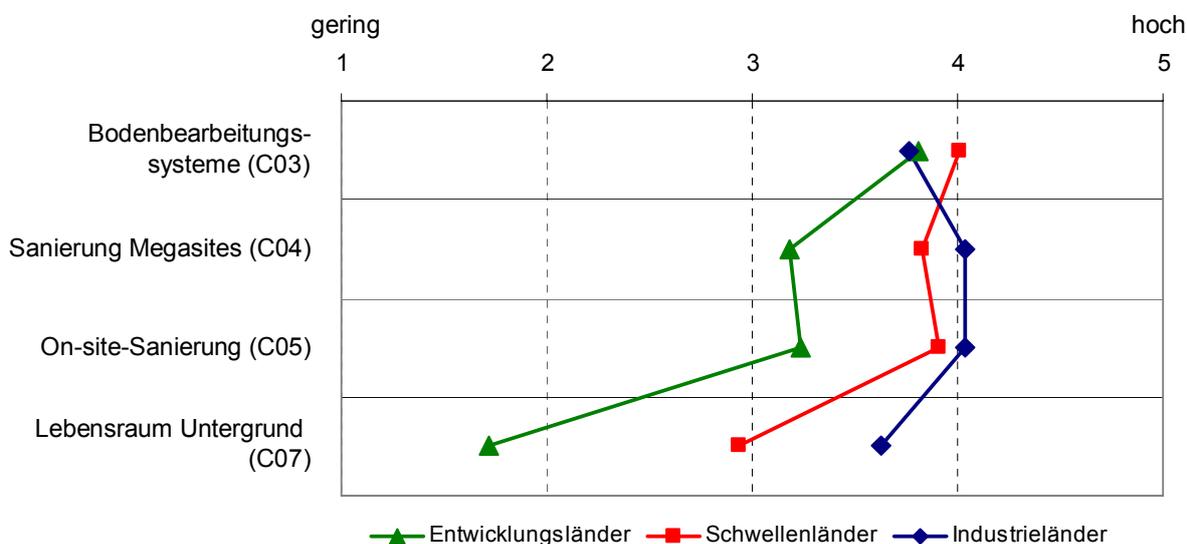


Abb. 44: Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Eine Ausnahme stellen die standortangepassten landwirtschaftlichen Bodenbearbeitungssysteme (C03) dar. Hier wird nach Einschätzung der Experten das größte Marktpotenzial in den Schwellenländern erreicht. Die Marktpotenziale in den Industrie- und Entwicklungsländern werden dagegen als geringer eingestuft, sind aber nach Meinung der Befragten ungefähr gleich.

Hemmnisse

In Tab. 19 sind die wesentlichsten Hemmnisse, die einem erfolgreichen Einsatz der untersuchten Technologien am Standort Deutschland entgegenstehen, angeführt.

Tab. 19: Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)

	Bodenbearbeitungssysteme (C03)	Sanierung Megasites (C04)	On-site-Sanierung (C05)	Lebensraum Untergrund (C07)
Kontraproduktive politische Regelungen	21	20	18	8
Fehlende gesellschaftliche Akzeptanz	32	13	12	15
Ungelöste technische Probleme	34	38	39	16
Fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU	42	19	30	9
Unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten	33	34	37	14
Unzureichende Vernetzung von Forschung und Unternehmen	27	19	20	4
Anzahl der Experten (die in dem jeweiligen Technologiebereich Hemmnisse sehen)	86	67	70	30

Die Tabelle bestätigt das schon aus anderen Themenkomplexen der Umfrage bekannte Muster. Als wesentliche Hemmnisse werden die bisher „ungelösten technischen Probleme“ sowie „unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten“ für die Unternehmen gesehen. Bei den Standortangepassten landwirtschaftlichen Bodenbearbeitungssystemen (C03) genauso wie bei den kostenoptimierten On-site- und In-situ-Sanierungstechnologien (C05) werden als zusätzliches Hemmnis die „fehlenden FuE-Kapazitäten bei KMU“ angeführt. Bei den Technologien und Verfahren zur Sanierung von großskaligen und komplex kontaminierten Standorten (Megasites) (C04) werden die „kontraproduktiven politischen Regulierungen“ und bei den Technologien zur Verlagerung von Siedlungs- und Verkehrsflächen in den Untergrund (C07) die „fehlende gesellschaftliche Akzeptanz“ als weiteres Hemmnis von den befragten Experten genannt.

Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich

Ein hoher Prozentsatz der befragten Experten betrachtet die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich als durchschnittlich. Öffentliche und industrielle Forschung werden in dieser Technologiegruppe als annähernd gleichwertig angesehen. (s. Abb. 45).

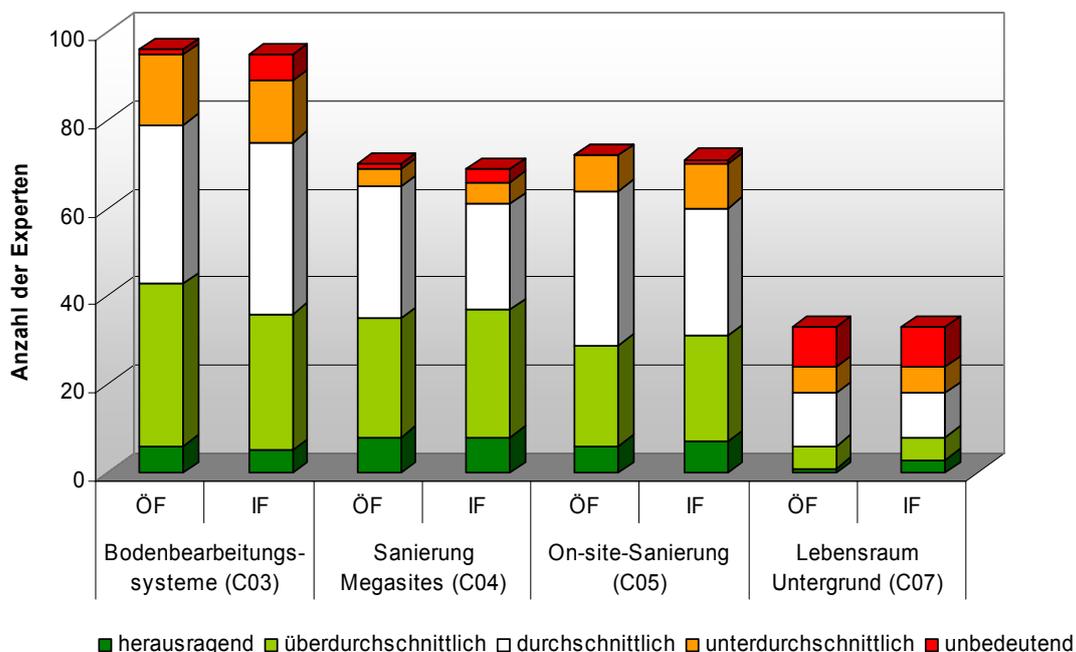


Abb. 45: Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Bei den Standortangepassten landwirtschaftlichen Bodenbearbeitungssystemen (C03), den Technologien und Verfahren zur Sanierung von großskaligen und komplex kontaminierten Standorten (Megasites) (C04) und den Kostenoptimierten On-site- und In-situ-Sanierungstechnologien für Boden- und Grundwasserkontaminationen (C05) ist aber die Anzahl der Befragten, die Deutschland in einer „überdurchschnittlichen“ (grün) oder sogar „herausragenden“ Position (dunkelgrün) sehen, weit- aus größer als die Zahl derer, die Deutschland eine „unterdurchschnittliche“ (orange) oder „unbedeutende“ Rolle (rot) zuweisen. Am negativsten wird die Stellung Deutschlands im Hinblick auf die Technologien zur Verlagerung von Siedlungs- und Verkehrsflächen in den Untergrund (C07) beurteilt. Der Anteil derjenigen, die Deutschland im internationalen Vergleich eine „unterdurchschnittliche“ oder sogar „unbedeutende“ Rolle zuweisen, ist größer als die Zahl derer, die zu einer positiven Einschätzung kommen. Allerdings hat sich zu diesem Technologiebereich nur eine vergleichsweise geringe Anzahl von Experten geäußert (ca. 35 Experten im Vergleich zu rd. 90 Experten bei den Bodenbearbeitungssystemen (C03)).

4.3.2 Ergebnisse des Experten-Workshops

Zunächst wurde von den Teilnehmern des Workshops angemerkt, dass ihrer Ansicht nach die Themengebiete Versalzung und Versauerung in der Technologiegruppe fehlen würden, weil z.B. die Versalzung durch regelmäßige Überflutungen in Ländern wie Bangladesch/Thailand eine wichtige Rolle spiele. Zudem wurde das Thema Küstenschutz vermisst, welches im Zuge der Klimaänderung eines der zentralen Herausforderungen, wenn nicht das größte globale Problem, sei. Dies werde durch die Tatsache bewiesen, dass global die besten Böden in Küstennähe existieren. Ebenfalls wurde von den Diskutanten das Ausklammern der Forstwirtschaft kritisiert; Regelungen hierzu würden zwar auch im BBodSchG fehlen, die Forstwirtschaft betreibe jedoch Raubbau und müsse bspw. keinen Ersatz für den Entzug von Nährstoffen bieten. Gerade aber Nährstoffe seien bei der Versauerung von hoher Relevanz.

Im weiteren Verlauf des Workshops wurde dann das Ziel der Erstellung einer Roadmap für eine spezielle Technologie aus der Technologiegruppe verfolgt. Die im Folgenden dargestellte Diskussion ist daher auf die Standortangepassten landwirtschaftlichen Bodenbearbeitungssysteme (C03) fokussiert.

Überrascht zeigten sich die Teilnehmer des Workshops von einigen Ergebnissen der schriftlichen Experten-Umfrage. Nicht nachzuvollziehen erschien ihnen die geringe Anzahl von Nennungen der „kontraproduktiven politischen Regelungen“ als Hemmnis für eine erfolgreiche Weiterentwicklung bzw. Anwendung dieser Technologien am Standort Deutschland. So seien doch zum einen die gesetzlichen Anforderungen national sehr unterschiedlich und zum anderen im Vergleich z.B. mit der Schweiz, die sehr hohe Anforderungen an die Landwirte stellen, eher minimalistisch. Die geringe politische Regelungsdichte und der fehlende Druck in Deutschland führten zu einem nicht angepassten Verhalten bei den Landwirten. Die vorhandenen Standortangepassten Bewirtschaftungssysteme (C03) würden nicht wirklich konsequent angewendet.

Als zentrales Problem sahen die Teilnehmer des Workshops die Landdegradation in ariden Gebieten. In diesen Klimazonen seien die Fragen der standortangepassten Bewirtschaftungssysteme noch nicht ausreichend angegangen worden, obwohl der FuE-Bedarf speziell für die Tropen (Feuchtgebiete) gedeckt sei und man über eine breite Palette an Methoden und Technologien verfüge.

Nach dieser Anfangsdiskussion wurde als Ziel des Roadmapping eine Reduktion der Bodenerosion durch standortangepasste Bodenbewirtschaftungssysteme um 80% bis 2030 vorgeschlagen. Dies führte zu einer kontroversen Debatte über das Thema Erosion. Neben der fehlenden Definition eines Ausgangswerts, wurde generell der Handlungsbedarf in Frage gestellt. Die Experten führten an, dass im Bewusstsein der Landwirte die Erosion nicht unbedingt ein Problem darstelle, ganz im Gegenteil wer-

de sie sogar teilweise als Vorteil angesehen, weil sich durch den Erosionsprozess fruchtbare Böden in Senken sammeln würden. Bodenerosion müsse demnach standortspezifisch betrachtet werden, so dass der Vorschlag einer festgelegten Reduktionsmenge als nicht praktikabel ad acta gelegt wurde und stattdessen die Verwendung einer relativen Bezugsgröße wie z.B. die Bodenfruchtbarkeit oder Möglichkeiten / Maßnahmen zur Verminderung der Erosion erörtert wurden. In diesem Zusammenhang wurde darauf hingewiesen, dass als Basis für die Definition des Zielzustandes eine vorhergehende Definition des Bodens unerlässlich sei. Es müsse die Frage geklärt werden, ob es sich bei Boden um einen Naturkörper oder Produktionsfaktor handele.

Als wesentlich eingestuft wurde, die Bodenerosion so zu reduzieren, dass die Bodenfruchtbarkeit erhalten bleibt. Dies erfordere ein Zusammenspiel verschiedener Technologien.

Anschließend wurden von den Teilnehmern des Workshops Möglichkeiten und Praxisbeispiele zur Reduzierung von Bodenerosionen erörtert. Als Schutz gegen Winderosionen würden unterstützend Hecken verwendet, teilweise würden Grünstreifen parallel zum Hang als Erosionsauffangstreifen / -schutz angelegt. Extreme Bodenerosionen seien beispielweise im Weinbau vorhanden, wo man versuche dem Ganzen durch die Anlage von Terrassen entgegenzusteuern, d.h. der erodierte Boden werde teilweise alle paar Jahre wieder „nach oben geschoben“. Dem entgegengesetzt wurde, dass der Weinbau eine viel zu geringe Fläche einnehme und deswegen eher uninteressant sei, vielmehr seien Landbewirtschaftungssysteme – cultivation agriculture – zu thematisieren. In diesem Zusammenhang wurden sowohl die Strukturierung der Landwirtschaft als auch ein Monitoring der Bodenerhaltung diskutiert. Durch dieses Monitoring sollte betreiberabhängig die Frage geklärt werden, wann Boden erhalten bleiben kann und wann nicht. Techniken seien dabei abhängig von den bewirtschafteten Flächen und der Schlaggröße. Der Trend gehe zu immer größeren Flächen und damit zu immer größeren landwirtschaftlichen Maschinen, die negative Auswirkungen auf den Boden haben würden. Beratende Systeme oder Organe könnten der Erosionsminderung dienlich sein. Zudem vermindere eine verstärkte Versickerung z.B. durch Mulchdecken oder eine reduzierte Bodenbearbeitung den Wasserabfluss und reduziere damit die Bodenerosion. Würde die Möglichkeit einer gezielten Einarbeitung von Holzkohle genutzt, seien die Wechselwirkungen zwischen Landwirtschaft und Klima, bei einer Bewirtschaftung unter dem Aspekt der CO₂-Senke, die Auswirkungen auf Flora und Fauna zu beachten.

Neben dieser Forderung schätzten beim Thema Bodenbiodiversität die Experten sowohl das Innovationspotenzial als auch den Forschungsbedarf als hoch ein. Speziell bei der (1) Wechselwirkung zwischen Bodenorganismen und Humusgehalt, der

(2) differenzierteren Betrachtung der allgemeinen Verbreitung der Bodenorganismen und der (3) gezielten Verbreitung werde ein hoher Forschungsbedarf gesehen.

Die Diskussionsrunde wechselt alsdann zur Rekultivierung / Wiederbesiedlung von Braunkohlefolgelandschaften. Substrathersteller würden zwar viele Techniken der Rekultivierung kennen, deren Auswirkungen beim Einsatz in der Landwirtschaft seien jedoch weniger bekannt. Viele Techniken würden mangels unzureichender Ausbildung in der Praxis nicht umgesetzt, so dass eine Anpassung der Ausbildung sinnvoll erscheine (z.B. sollten Themen der Fruchtfolge und bodenerhaltenden Landwirtschaft in die Ausbildung aufgenommen werden). Dennoch gäbe es z.B. in Brasilien, aber auch in Deutschland interessierte Landwirte, die bereits jetzt selbstorganisiert Wissenstransfer betreiben. Um das – von den Experten als gering eingeschätzte – Interesse der Landwirte zu erhöhen, sollten mehr Anreizsysteme geschaffen werden. Als mögliche Ansatzpunkte wurden das Aufzeigen von Möglichkeiten zur Kostensparnis, aber auch verbesserte Beratungsleistungen gesehen. Die Teilnehmer des Workshops führten an, dass, obwohl teilweise handlungsorientiertes Wissen vorhanden sei, würden die Hemmnisse oft aufgrund des Bestands (z.B. vorhandene Geräte) oder aufgrund von Traditionen entstehen. In den 40iger Jahren wurde der Boden bspw. noch auf 20cm Tiefe bearbeitet (Krumenvertiefungen in der Nachkriegszeit), heute jedoch auf mehr als 35cm, was zwar die Humusmenge nicht jedoch den Humusgehalt erhöhe. Diese Tatsache widerspräche der These, dass dauerhafte Minimalbodenbearbeitung gut sei, so dass als Kompromiss zwischen Bodenexperten und Ackerbauern eine Minimalbodenbearbeitung alle 10 Jahre anzusehen wäre. Dem wurde stark widersprochen, weil die Krumenvertiefung derart schnell gehen würde und eine Erhöhung der Humusmenge auch über den „normalen Eintrag“ (= biolog. Weg, z.B. Pflanzenfolge) erreicht werden könne, auch wenn dies länger dauere.

Den Workshop-Teilnehmern erschien eine 3jährige Fruchtfolge zu kurz, so dass mindestens 4 bis 5jährige Fruchtfolgen plus 1mal Tiefpflügen erstrebenswert erscheinen. Dies wiederum hätte jedoch evtl. die Notwendigkeit komplexerer Fruchtfolgen zur Folge. Diese Aspekte seien aber im Rahmen der Grundlagenforschung zu klären. Beim Thema Grundlagenforschung scheint die Erosion – auf die EU bezogen, im Gegensatz zu den Bodenorganismen, kein Thema zu sein. Nach Expertenmeinung sei nicht das Wissen das Problem, sondern die Umsetzung und die finanzielle Einschränkungen, die die Landwirte hinnehmen müssten. Dies lasse eine Unterstützung der Landwirte als unerlässlich erscheinen.

Nach Ansicht der Workshop-Teilnehmer sei zwar viel geforscht worden, derzeit liege die Forschung jedoch infolge fehlender finanzieller Mittel am Boden. Darüber hinaus gebe es zu wenig Modelle und es lägen keinerlei Erkenntnisse vor, wie viel Erosion tolerierbar sei und wie sich vorgeschädigte Flächen verhalten. Die Experten machten weiterhin klar, dass die Grundlagenforschung und deren Ergebnisse jedoch nur ein

Teil des Ganzen seien, wesentlicher Aspekt sei auch die Wahrnehmung des Themas in der Politik. Sinnvoll wäre daher ein Monitoring der biologischen und der konventionellen Bewirtschaftung, um Synergieeffekte zu erzielen.

Bei der Nachfrage nach FuE-Bedarf, wies die Diskussionsrunde auf die Notwendigkeit der Drilltechnik für die Direktsaat hin. In der EU sei noch keine adäquate Technik vorhanden. Es gäbe viele gute Ideen, diese würden aber zu wenig von Umsetzern und Förderern aufgenommen. Eine standortgerechte Anpassung (standortspezifische Szenarien) und eine langfristige, nicht von Politik und Markt dominierte, Sichtweise der Landwirte seien absolut erstrebenswert. Es erscheine zweckmäßig, Verluste, die durch die praktizierte Landwirtschaft auftreten, vor Ort zu definieren, um gezielt Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Wichtig wäre auch die Bewertung nicht marktfähiger Güter, die Analyse von Problemfeldern und die Definition genauer Ziele der Umweltforschung, um daraus Anreize bilden zu können. Der Boden sei ein öffentliches Gut, was eine nachhaltige Bewirtschaftung erforderlich mache. Generell sei festzustellen, dass in Schwellen- und Entwicklungsländern mehr technologische Forschung notwendig sei, als in den Industrieländern. Nach Expertenmeinung bestehe Forschungsbedarf ebenso bei der Vermeidung der Wassererosion und bei der agrartechnischen Bildung stabiler Bodenaggregate (schluffreiche Böden sind leicht erodierbar). Freier Kalk in der Ackerkrume vermindere zwar die Erosion, gefährde jedoch evtl. die Versorgung mit Spurenelementen, was mittels Forschung geklärt werden könnte, jedoch für viele Bauern wahrscheinlich zu teuer wäre. Da die Erschließung von Land- und Forstwirtschaft (z.B. Wegestruktur) einen wesentlichen Einfluss auf Boden und Biodiversität hat, bestünde auch hier Forschungsbedarf. In den Entwicklungsländern seien eine Anpassung der Techniken (Feldbau) auf meist trockenere Klimate sowie der Einsatz anderer Techniken (z.B. Saatgut vom Flugzeug werfen) erforderlich. Die Experten machten klar, dass in anderen Teilen der Welt, z.B. in den Subtropen, und beim Reisanbau ganz andere Anforderungen, als in den Industrieländern zu beachten seien. Erfahrungen aus den Industrieländern seien deswegen oft nicht übertragbar.

Neben dem Hinweis auf mögliche Forschungsgebiete, führten die Experten aus, dass Deutschland in manchen, die Agrartechnik betreffenden Bereichen als Entwicklungsland anzusehen sei, aber keine entsprechenden Gelder für FuE beantragt würde. Als wesentliche Hemmnisse zum Annehmen der „anderen Technologien“ wurden fehlende Anreizsysteme und mangelnde Anforderungen in der BBodSchV betrachtet. Die konservierende Bodenbearbeitung leide zudem noch unter dem Stigma der „enttechnisierten Landwirtschaft“, was auch als Generationenproblem gesehen werden könne. Eine „low-input agriculture“ gelte als rückständig, eine „high-input agriculture“ dagegen als „in“, diese sei aber oft mit hohen Energiekosten verbunden. Wichtig wäre eine stärkere Ausnutzung biologischer Systeme (-> fördert „low-input agriculture“), wobei jedoch die wachsenden Ansprüche an die Nahrung (Menge / Art) zu bedenken

seien. Nicht in allen Aspekten unumstritten war die These „Low-input bedeutet auch low-output“. Dies müsste bei einem wachsenden Weltmarktbedarf an Nahrung in der Vergangenheit, und auch zukünftig, zu einer erheblichen Steigerung des Düngemiteleinsatzes führen. Es bedürfe deswegen exakterer und detaillierterer Prognosen z.B. bezüglich der Auswirkung des Klimawandels auf die durch Erosion gefährdeten Gebiete. Bestritten wurde bei „low-input gleich low-output“ jedoch das Maß der Auswirkungen. Extremer Input könne den Ertrag der Landwirtschaft nur begrenzt steigern. Daneben sei bei Kleinbauern der Ertrag nicht abhängig vom Input, was biologische Potenziale und interessante Ansätze böte. Nach Expertenmeinung verdecke die Bearbeitung derzeit die Entwicklung. Angeprangert wurde auch eine intensive Düngung, die dem Boden nicht (!) entzogene Nährstoffe zuführe und somit eine abnehmende Fruchtbarkeit zur Folge hätte. Es würden jedoch auch in der ökologischen Landwirtschaft Stickstoff-Auswaschungen gemessen, die über den Grenzwerten lägen, da der Kreislauf durch den Nährstofftransfer von Grünland zum Acker überzogen würde.

Um einen sehr weiten Blick in die Zukunft zu wagen, wurde der Zeithorizont 2080 ins Gespräch gebracht. In diesem Kontext kamen folgende Fragen auf: Wie viel (Dünger)Input ist zu diesem Zeitpunkt noch vertretbar? Was können die Böden dann noch leisten? Ist die Bodenfruchtbarkeit dann so weit reduziert, dass nichts mehr möglich ist?

4.4 Technologiegruppe 3: Naturschutz, indirekte Nutzenaspekte

Auswahl der Technologiebereiche

Natürliche Lebensräume werden immer stärker genutzt. Mit der sich in der Regel durch den Einsatz von Technik geprägten Intensivierung der Nutzungsmuster, ist vielfach eine direkte Beeinträchtigung von Arten und Individuen verbunden. Lebensräume werden zerstört oder überformt, die Lebensbedingungen für Arten in einer Weise erschwert, die vielfach eine Reduktion der Populationen und der Vitalität oder gar das Aussterben am Standort zur Folge hat. Insbesondere in den aquatischen Lebensräumen vollziehen sich solche Beeinträchtigungen oft abseits der breiten öffentlichen Wahrnehmung. Während der Verlust naturnaher Gewässerlandschaften und die Wirkung von Ölaustritten in Gewässer seit Langem bekannte Probleme sind, werden die Folgen der akustischen Belastung mariner Ökosysteme mit dem enorm zunehmenden Güterverkehr auf den Meeren und der beginnenden Sondierung und Erschließung der Tiefsee als „Nutzraum“ (z.B. Ressourcenförderung, Abfalldeponierung) in ihrer Breite wohl erst künftig zu Tage treten. Ein nicht nur die Tiefsee sondern die gesamte Biosphäre betreffendes zentrales Problem beim Erhalt von Natur und Biodiversität ist das diesbezüglich immer noch sehr lückenhafte Wissen. Die

Erfassung der Artenvielfalt und deren Entwicklung, das Monitoring des aktuellen Umweltzustands sowie die Erforschung der ökosystemaren Zusammenhänge und Stabilitätsbedingungen sind notwendige Voraussetzungen für einen gezielten Erhalt.

Technologien – verstanden in einem weiten Begriff von Technik – können durchaus einen Beitrag leisten, Lebensräume zu erhalten und zu schützen. Hierbei spielen nicht nur so genannte „Artefakttechniken“ (Geräte, Maschinen, technische Produkte) sondern auch planerische Maßnahmen und die Verknüpfung von Artefakttechniken mit so genannten „Sozialtechniken“ (Management, gesetzliche Regelungen, Dienstleistungen, etc.) und die Einbindung von Artefakttechniken in organisatorische Zusammenhänge eine zunehmende Rolle. Vor dem Hintergrund dieses weiten Technikverständnisses wurden unter Aspekten des Naturschutzes und indirekten Nutzenaspekten (Gruppe 3) folgende Technologien als besonders bedeutsam erachtet und im Rahmen der Expertenbefragung näher ausgeleuchtet.

C09	Technologien und Maßnahmen zur naturnahen Gewässergestaltung
C10	Technologien zur Reduktion der akustischen Belastungen mariner Ökosysteme (z.B. lärmarme Schiffsantriebe, lärmarme Sondierungstechniken)
C11	Technologien zur Milderung der umweltschädlichen Wirkungen von Ölaustritten in Gewässer
C12	Technologien und Konzepte zur Reduktion der Landschaftszerschneidung durch Verkehrswege
C17	Technologien zum Monitoring der Vielfalt von Arten und Ökosystemen

4.4.1 Ergebnisse der Expertenbefragung

Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Naturschutzproblemen

Wie Abb. 46 zeigt, hält die Mehrzahl der Befragten die ausgewählten Technologien für „wichtig“ (orange) oder sogar für „äußerst wichtig“ (rot). Die Säulen unterscheiden sich vor allem durch die Zahl der Antworten (Höhe) und weniger durch die relative Verteilung auf die verschiedenen Antwortkategorien. Für mindestens eingeschränkt wichtig (gelb) halten die Befragten die Technologien zwischen etwa 65% (C10) und 90% (C17). Der Anteil derjenigen, die ihnen „keine Bedeutung“ (weiß) zumessen, ist sehr gering. Diese Ergebnisse unterstreichen die Relevanz der zur Befragung gestellten Technologiebereiche. Die Kategorie „keine Bewertung möglich“ kreuzten zwischen 10% (C17) und 30% (C10) der Befragten an. Sie kann als Kategorie der Unsicherheit in der Bewertung eines Technologiebereichs herangezogen werden. Vor dem Hintergrund, dass vor allem jene Technologien, die am Anfang ihrer techni-

schen Entwicklung stehen und / oder über einen eingeschränkten Bekanntheitsgrad verfügen, als „unsicher“ in ihrer Bedeutung erscheinen, lässt sich die Kategorie „keine Bewertung möglich“ auch als Indikator für den „Reife“- oder Realisierungsgrad eines Technologiebereichs heranziehen.

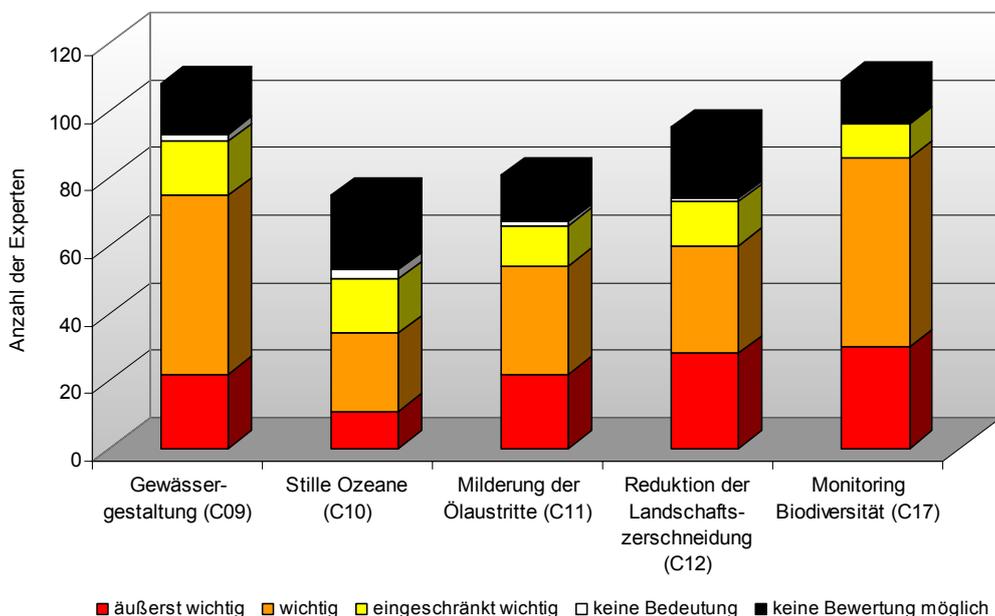


Abb. 46: Einschätzung der zukünftigen Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Umweltproblemen im Bereich Biodiversität und Naturschutz (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben).

Positive und negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche

Bei der *naturnahen Gewässergestaltung* (C09) werden positive Wirkungen auf die Umweltmedien Boden und Wasser erwartet, insbesondere im Hinblick auf den Schutz von Grundwasser und Trinkwasser sowie auf eine Verbesserung der Gewässerökologie. Hochwasserschutz und eine Aufwertung der Landschaft wurden ebenso genannt, wie eine Stärkung der Ökosystemleistungen und der Erhalt natürlicher Kreisläufe. Vereinzelt wurden auch der Klimaschutz bzw. eine Verbesserung des Kleinklimas angeführt. Negative Auswirkungen wurden sehr selten gesehen. („Schifffahrt“ und „Ressourcenverbrauch“). Als Hemmnisse wurden vorwiegend die hohen Investitionskosten genannt.

Bezüglich der *Technologien zur Reduktion der akustischen Belastung mariner Ökosysteme* (C10) wurden sehr wenige Kommentare über Wirkungen auf andere Umweltbereiche abgegeben. Hervorgehoben wurde, dass das Meer als größtes Ökosystem ein gewichtiger Faktor globaler Stoffkreisläufe sei.

Als positiver Effekt einer *Minderung von Ölaustritten* (C11) wurde mehrfach der Schutz der Umweltmedien Wasser, Boden und Luft angeführt. Als Hemmnis wurde auf die mangelnde Sensibilisierung von Öffentlichkeit und Entscheidungsträgern verwiesen. Als problematisch werden insbesondere die Umweltrisiken, die mit der Förderung der großen, neu zu erschließenden Öllagerstätten in der Arktisregion verbunden sind, angesehen.

Positive Auswirkungen einer *Verminderung der Landschaftszerschneidung* (C12) werden vor allem durch eine Reduktion der Lärmemissionen und eine Verbesserung der Luftreinhaltung erwartet, insbesondere mit Blick auf die Erholungsfunktion der Landschaft. Als Hemmnisse wurden der fehlende politische Wille sowie entgegen gesetzte wirtschaftliche Interessen ins Feld geführt. Die Einführung eines verbindlichen Umwelt- bzw. Nachhaltigkeitsmanagement für Gemeinde- bzw. Stadtverwaltungen und regionale Behörden wäre nach Ansicht der Befragten eine gute Grundlage dafür.

Ein *Monitoring der Vielfalt von Arten und Ökosystemen* (C17) könnte außer positiven Auswirkungen auf den Erhalt von Natur und Biodiversität im Eigentlichen auch zu einer Verbesserung der Landwirtschaft (Bodenbearbeitungssysteme, Vegetationsbeobachtung, teilflächenspezifische Düngung), des Gewässerschutzes (Gewässerqualität) und der Raumplanung (Entwicklung der Flächennutzung) beitragen. Ein weiterer Vorteil wurde in einer möglichen Steigerung der öffentlichen Sensibilität für Fragen des Naturschutzes und seiner breiteren Unterstützung gesehen. Als Nachteil wurden hauptsächlich die hohen Kosten für den Aufbau flächendeckender Umwelt-Monitoring-Systeme und die mangelnden wirtschaftlichen Gewinnaussichten angeführt. Als Hemmnis wurden des Weiteren fehlende politische Vorgaben, z.B. im Rahmen der EU genannt. Beklagt wurden auch die fehlende methodische Vereinheitlichung, sowohl zwischen den Bundesländern als auch zwischen den Staaten der EU, sowie die unzureichende staatliche Förderung. Die Entwicklung von Standards und Normen sei in diesem Bereich wichtig. Für notwendig werden eine Intensivierung der Grundlagenforschung auf diesem Gebiet und die Etablierung von Langzeituntersuchungen (>30 Jahre) gehalten.

Außerdem wurde angemerkt, dass der Verlust der Biodiversität „und dessen wirtschaftliche und ökologische Folgen nicht genügend wahrgenommen“, bzw. „nicht mit Europa und Deutschland in Verbindung gebracht“ würden. Es fehle zudem an Personal und Kompetenzen. Ein großflächiges Monitoring, verknüpft mit einer intensiveren Biodiversitätsforschung würde eine tragfähige Basis für politische Entscheidungsprozesse und Weichenstellungen, etwa im Rahmen von CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of wild Fauna and Flora), COP (Conference Of the Parties, UN-Naturschutzkonferenz) und CMS (Übereinkommen zum Schutz wandernder wildlebender Tierarten) liefern. Ergänzend zum Biodiversitäts-

monitoring wurde ein Monitoring von Früherkennungsparametern z.B. auf molekularbiologischer Ebene vorgeschlagen, welches das rechtzeitige Erkennen von Stressfaktoren in der Umwelt ermöglichen würde. Hierfür seien Kriterien festzulegen und Grundlagenforschung durchzuführen.

Forschungsbedarf und Förderbedarf

Sehr deutlich wird bei diesen Technologiebereichen ein Bedarf sowohl an Forschungsaktivitäten als auch an öffentlicher Förderung konstatiert. Der Anteil der Befragten die keinen Forschungs- oder Förderbedarf sehen (s. Tab. 20), liegt fast ausschließlich unter 10%, in vielen Fällen zwischen 0% und 5%. Eine Ausnahme bilden Technologien zur Reduktion der akustischen Belastung mariner Ökosysteme (C10). Hier liegt der Anteil der Befragten, die keinen Forschungs- und Förderbedarf in den Bereichen „Demonstration und Marketing“ sowie „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ sehen, zwischen 14 und 17%.

Tab. 20: Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten)

		C09	C10	C11	C12	C17
Förderbedarf	Grundlagenfor.	7,6% (6/79)	5,3% (2/38)	0% (0/54)	6,3% (4/63)	0% (0/82)
	Technologieentw.	2,5% (2/80)	2,6% (1/38)	0% (0/54)	3,1% (2/64)	2,5% (2/81)
	Demo u. Marketing	3,9% (3/77)	16,7% (6/36)	3,8% (2/53)	4,8% (3/62)	9,9% (8/81)
	Anpassung SL/EL	7,9% (6/76)	17% (6/36)	5,7% (3/53)	10,2% (6/59)	8,8% (7/81)
Forschungsbedarf	Grundlagenfor.	6,4% (5/78)	2,7% (1/37)	1,9% (1/54)	4,6% (3/65)	0% (0/81)
	Technologieentw.	1,3% (1/80)	2,6% (1/38)	0% (0/55)	1,5% (1/65)	2,5% (2/81)
	Demo u. Marketing	4,1% (3/74)	17,1% (6/35)	2% (1/51)	6,3% (4/63)	5% (4/80)
	Anpassung SL / EL	5,3% (4/75)	13,9% (5/36)	3,8% (2/53)	8,3% (5/60)	6,2% (5/81)

Zudem fällt auf, dass in weiten Teilen Forschungs- und Förderbedarf hochgradig korrelieren (s. Abb. 47). Dies gilt insbesondere bei den Technologien und Maßnahmen zur naturnahen Gewässergestaltung (C09) und den Technologien zur Reduktion der akustischen Belastungen mariner Ökosysteme (C10) für die Bereiche Grundlagenforschung und Technologieentwicklung. Der Förderbedarf im Bereich „Demonstration und Marketing“ wird dagegen deutlich geringer als der Forschungsbedarf eingeschätzt. Lediglich im Hinblick auf Technologien zum Monitoring der Vielfalt von Arten und Ökosystemen (C17) liegt der Förderbedarf in allen Kategorien über dem Forschungsbedarf.

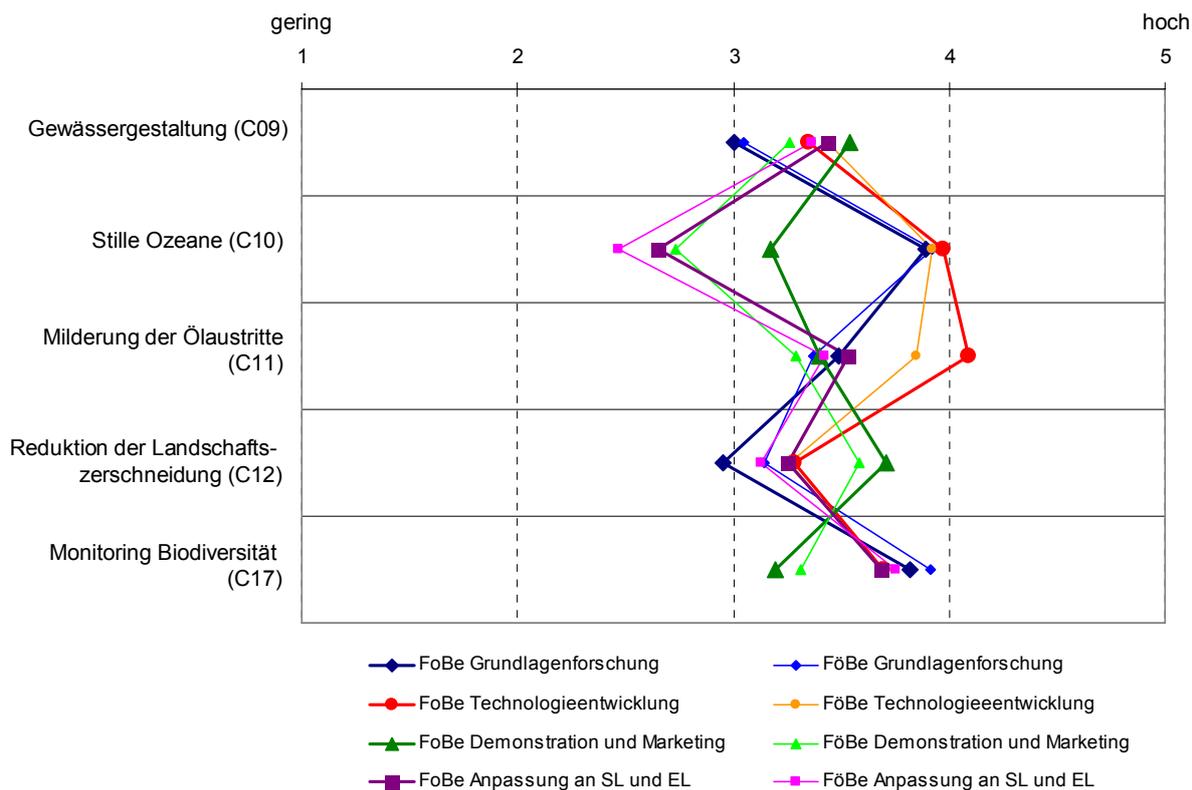


Abb. 47: Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Marktpotenziale

Wie bei den meisten anderen in die Befragung einbezogenen Umwelttechnologien zeigt sich wieder (s. Abb. 48), dass das Marktpotenzial in den Industrieländern (blaue Kurve) als am höchsten eingeschätzt wird, etwas niedriger in den Schwellenländern (rote Kurve) und am niedrigsten in den Entwicklungsländern (grüne Kurve). Hierbei bilden die Technologien zum Monitoring der Vielfalt von Arten und Ökosystemen (C17) eine Ausnahme, da hier das Marktpotenzial in den Entwicklungsländern von den Experten als etwa genauso hoch eingeschätzt wurde wie das in den Schwellenländern.

Mit Ausnahme des hohen Marktpotenzials von Technologien zum Monitoring der Biodiversität (C17) in den Entwicklungsländern, werden den Technologien zur Milderung der umweltschädlichen Wirkungen von Ölaustritten in Gewässer (C11) in allen Länderkategorien, die besten Marktchancen zugeschrieben.

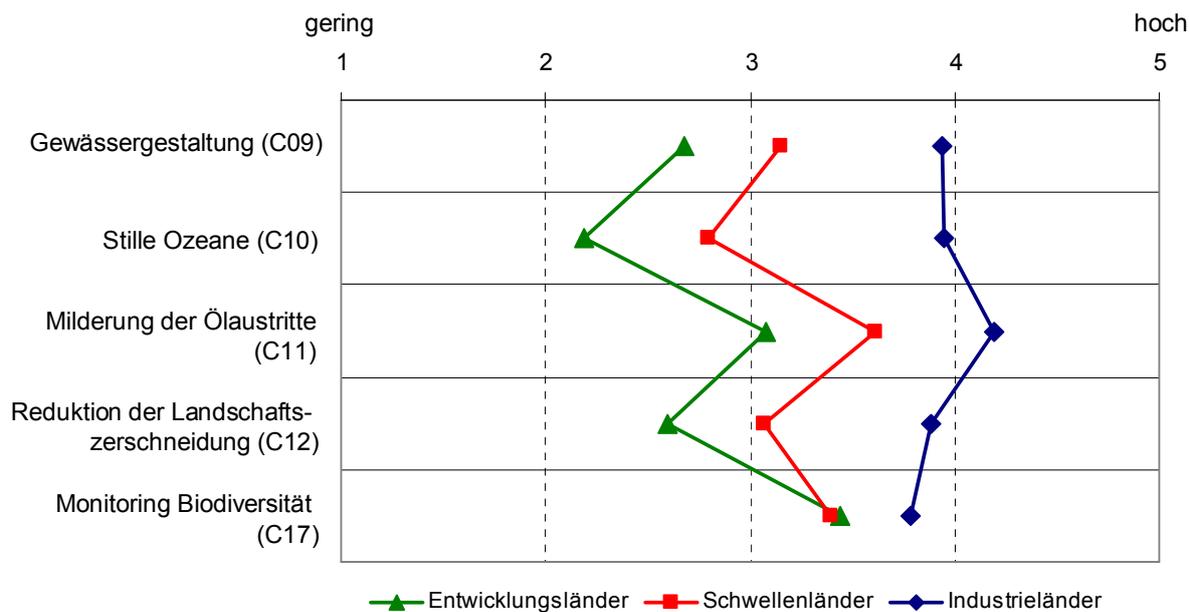


Abb. 48: Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Hemmnisse

Die Häufigkeitsverteilung der Nennungen der wesentlichsten Hemmnisse, die einem erfolgreichen Einsatz dieser Technologien am Standort Deutschland entgegenstehen, zeigt ein von den meisten anderen Technologiegruppen dieser Befragung deutlich abweichendes Muster (s. Tab. 21).

Bei den Technologien zur naturnahen Gewässergestaltung (C09), und den Technologien zur Reduktion der Landschaftszerschneidung durch Verkehrswege C12) werden „kontraproduktive politische Regelungen“ mit Abstand als das wesentlichste Hemmnis betrachtet. Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass die Verantwortung für die Probleme in diesen beiden Infrastrukturbereichen eindeutig in Politik und Gesellschaft verortet werden. Als öffentliche Angelegenheit entziehen sie sich dementsprechend auch ein Stück weit dem Marktgeschehen.

Für alle Technologiebereiche im Feld Biodiversität und Naturschutz spielt das Hemmnis „unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten“ eine herausragende Rolle und taucht bei allen Technologiebereichen als eines der drei am häufigsten genannten auf. Die größte Bedeutung wird ihm bei den Technologien zum Monitoring der Arten und Ökosysteme (C17) bescheinigt. Die zweithäufigste Nennung betrifft die „unzureichenden Vernetzung von Forschung und Unternehmen“, an dritter Stelle stehen die „fehlenden FuE-Kapazitäten bei KMU“, beides Hemmnisse, die bei den anderen Technologien in dieser Gruppe eine eher untergeordnete Rolle spielen.

Bei den Technologien zur Reduktion der akustischen Belastung mariner Ökosysteme (C10) fällt die insgesamt geringe Anzahl von Nennungen auf. Dies dürfte jedoch eher an der geringen Problemlösungskapazität und der Unsicherheit in der Einschätzung dieser Technologien (vgl. Abb. 46, S. 140) liegen, als Rückschlüsse auf die tatsächlich vorhandenen Hemmnisse zuzulassen: Für diese These spricht auch die relativ gleiche Verteilung der Nennungen. Innerhalb dieser relativen Gleichverteilung wird den „ungelösten technischen Problemen“ noch die größte Relevanz eingeräumt. Bei den Technologien zur Milderung der Wirkung von Öläustritten (C11) stehen ebenfalls die „ungelösten technischen Probleme“ im Vordergrund, dicht gefolgt von „unzureichenden ökonomischen Erfolgsaussichten“ und „fehlenden FuE-Kapazitäten bei KMU“.

Tab. 21: Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)

	Gewässer-gestaltung (C09)	„Stille Ozeane“ (C10)	Milderung der Öläustritte (C11)	Reduktion der Landschafts-zerschneidung (C12)	Monitoring Biodiversität (C17)
Kontraproduktive politische Regelungen	30	10	11	39	20
Fehlende gesellschaftliche Akzeptanz	24	10	8	30	20
Ungelöste technische Probleme	7	12	22	6	20
Fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU	17	11	17	3	23
Unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten	25	10	19	20	32
Unzureichende Vernetzung von Forschung und Unternehmen	11	5	12	9	24
Anzahl der Experten (die in dem jeweiligen Technologiebereich Hemmnisse sehen)	66	31	43	57	69

Abseits von den im Fragebogen vorgegebenen Kategorien wurden mit Blick auf die naturnahen Gewässergestaltung (C09) und die Reduktion der Landschaftszerschneidung (C12) zudem mehrfach die hohen Investitionskosten und die fehlende Mittelvergabe aus öffentlicher Hand als Hemmnisse genannt. Für Technologien zur Reduktion der akustischen Belastung mariner Ökosysteme (C10) und Technologien zur Milderung der Wirkung von Öläustritten (C11) wurde eine mangelnde Sensibilisierung von Öffentlichkeit und Entscheidungsträgern als Hemmnis angeführt. Der Einführung von Technologien zum Monitoring (C17) stehen den Ergebnissen der

Befragung nach die hohen Kosten sowie die mangelnde (internationale) politische Koordination entgegen.

Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich

Nach Meinung der befragten Experten kommt bei diesen Technologien der Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich eine eher mittlere Position zu (s. Abb. 49).

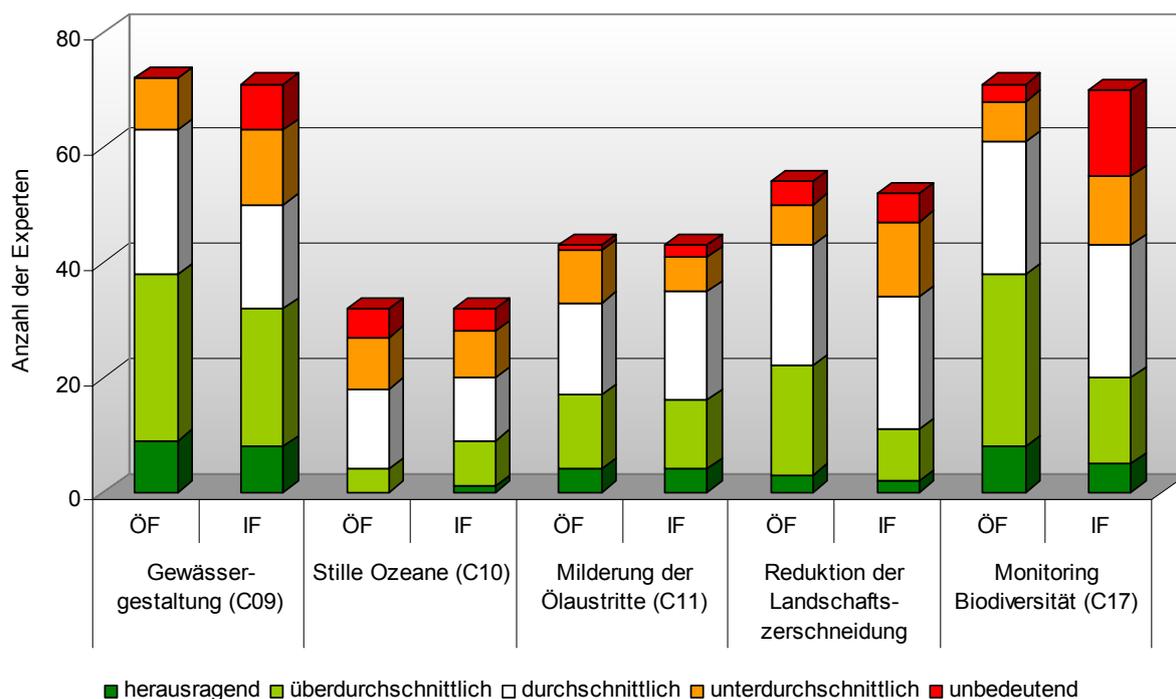


Abb. 49: Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Eine „überdurchschnittliche“ oder sogar „herausragende“ Stellung (grün) der öffentlichen Forschung wird bei den Technologien zur naturnahen Gewässergestaltung (C09) und den Technologien zum Monitoring der Vielfalt von Arten und Ökosystemen (C17) gesehen. Dies legen jeweils etwa 55% der Antworten zu den jeweiligen Technologiebereichen nahe. Sowohl im öffentlichen als auch industriellen Sektor wird die deutschen Forschung bei den Technologien zur Reduktion der akustischen Belastung mariner Ökosysteme („Stille Ozeane“, C10) als eher „unterdurchschnittlich“ (orange) oder sogar „unbedeutend“ (rot) erachtet, wobei die industrielle Forschung und das Unternehmens-Know-how etwas weniger negativ beurteilt werden. Mit Ausnahme der „Stillen Ozeane“ (C10) schneidet jedoch die öffentliche Forschung im Vergleich zur industriellen insgesamt besser ab. Im Hinblick auf die Reduktion der Landschaftszerschneidung ist der Anteil der Befragten, die der industriellen Forschung eine „unterdurchschnittliche“ oder sogar „unbedeutende“ Rolle bescheinigen, sogar

deutlich höher als der Anteil derer, die ihr eine „überdurchschnittliche“ (hellgrün) oder „herausragende“ Rolle zubilligen. Bei den Technologien zur Milderung der Auswirkungen von Ölaustritten (C11) werden öffentliche und industrielle Forschung als etwa gleichwertig betrachtet.

4.4.2 Ergebnisse des Experten-Workshops

Insgesamt wurden sowohl die Auswahl der Technologiebereiche als auch die dazugehörigen Umfrageergebnisse kaum in Frage gestellt. Allerdings wurde die Relevanz technischer Lösungen zum Erhalt von Natur und Biodiversität kritisch diskutiert. Viele Kommentare im Workshop kreisten um allgemeine Fragen der Biodiversitätsforschung.

Im Zuge der Debatte um die naturnahe Gewässergestaltung (C09) wurde angemerkt, dass der Flächenverlust, bzw. der Verlust an naturnahen Flächen eine der größten Bedrohungen für die Biodiversität sei. Der Schutz von Biodiversität sei ohne ein angemessenes Flächenmanagement schlicht unmöglich. Auch im Hinblick auf Entwicklungsländer liege der Schlüssel für den Biodiversitätserhalt in der angemessenen Gestaltung einer Flächennutzung, die gleichzeitig Nutzung und Schutz gewährleistet. Für eine solche Flächennutzung seien aber Technologien im engen Sinne zweitrangig, vielmehr wären ökonomische Mechanismen zur Internalisierung der externen Kosten ausschlaggebend.

Die Technologien zum Monitoring von Biodiversität und Boden (C17 und C01) wurden im Hinblick auf die Erstellung einer „Roadmap“ gemeinsam diskutiert. An dieser Stelle seien wichtige Eckpunkte der Diskussion kurz dargestellt.

Als Ziel wurde die Realisierung eines flächendeckenden, zeitechten, hierarchisch geschichteten und flächenscharfen Monitoring (zunächst für Europa) bis zum Jahre 2030 gesetzt. Anvisiert wurde dabei nicht nur ein Monitoring von Umweltzuständen und Populationen, sondern darüber hinaus auch ein Monitoring von biotischen Prozessen und Ökosystemleistungen. Ein solches Monitoring sollte Wissen generieren, das politische Entscheidungen im Hinblick auf den Erhalt von Natur und Biodiversität ermöglicht und unterstützt. Visionär wäre ein „Ursachenmonitoring“, das die Kausalketten bei Veränderungen in Ökosystemen mit erfasst bzw. mit berücksichtigt.

Als deutliche Hemmnisse wurden in der Diskussion zunächst eine bislang mangelhafte Koordination und Standardisierung der Datenerhebung und des Datenmanagements (inkl. Archivierung) auf Ebenen der Länder, des Bundes und der europäischen Union identifiziert. Bemängelt wurde, dass auf europäischer Ebene hierzu noch weitgehend Vorgaben fehlten, während die auf Bundesebene bereits vorhandenen Richtlinien nicht strikt zur Anwendung gebracht würden. Ein praktisches Hemmnis wurde – gerade mit Blick auf die junge Generation – im dem Mangel an gut

ausgebildeten Fachkräften, die dieses Monitoring (bspw. taxonomisch) leisten könnten, gesehen. Ein anderes wesentliches Hemmnis für die Implementierung eines einheitlichen und effektiven Monitoring liege nach Auffassung der Workshop-Teilnehmer in dem Nichtvorhandensein eines einheitlichen Zielsystems: Wofür, worauf hin soll beobachtet und überwacht werden? Dahinter verberge sich die Frage nach dem erstrebenswerten Zustand von Natur und Biodiversität (Umweltqualitätsziele). Diese Zielwerte zu formulieren sei auch Aufgabe der Politik, nicht nur der Wissenschaft. Behindert würde der Aufbau eines flächendeckenden Monitoring, zudem durch den fehlenden politischen Willen ein konsistentes System aufzubauen. Die Durchsetzung globaler Standards werde durch die Konkurrenzsituation Europa / Nordamerika erschwert, deren unterschiedliche Standards in vielen Ländern übernommen würden.

Fördernd würden sich nach Ansicht der Workshop-Teilnehmer dagegen eine bundesweite Vorgabe von Indikatoren und Methoden zur Datenerhebung sowie eine stärkere Vernetzung der Monitoring betreibenden / beauftragenden Institutionen der Verwaltung auf und zwischen den Ebenen von Bund, Ländern und Europäischer Union auswirken. Wichtig seien darüber hinaus eine engere Vernetzung der Landesanstalten für Umweltschutz und eine engere Anbindung der staatlichen Organe an universitäre Forschung, eine Integration und Re-Interpretation der bereits vorhandenen separat erhobenen Monitoring-Daten sowie der Ausbau flächendeckender Monitoringstationen. Die technischen Möglichkeiten der Fernerkundung seien noch nicht ausgeschöpft und müssten forciert genutzt werden. Zum einen bedeute dies eine verstärkte Anwendung von Fernerkundungstechniken, zum anderen aber auch verstärkte Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen in diesem Bereich.

In den Entwicklungsländern stelle sich das Problem des Monitoring auf einem ganz anderen Niveau. Hier sei oft nicht einmal basales Kartenmaterial vorhanden. Staatliche Institutionen seien oft nicht in der Lage, Monitoring zu betreiben. Es fehle an Geld, Fachkräften und Technik. Im Zuge der UN-Biodiversitätskonvention sei allerdings mitunter begonnen worden, Daten zu erheben.

Erheblicher Forschungsbedarf wurde im Bereich der Grundlagenforschung gesehen. So seien z.B. der Zusammenhang zwischen Biodiversität und Ökosystemleistungen, sowie zwischen Biodiversität und der Stabilität von Ökosystemen noch nicht ausreichend bekannt. Zudem wurden ein Prozessmonitoring sowie ein Monitoring von Ökosystemleistungen gefordert, die aber noch in beträchtlichem Umfang der Grundlagen- und anwendungsbezogenen Forschung bedürften. Mehrfach angesprochen wurde auch die Notwendigkeit der inter- und transdisziplinären Forschung, wobei hier auf die erkenntnismäßige Kopplung gesellschaftlicher und ökologischer Prozesse abgehoben wurde, wie sie beispielsweise im Programm der sozial-ökologischen Forschung angelegt sei.

4.5 Technologiegruppe 4: Kulturelle Biodiversität, direkte Nutzenaspekte

Auswahl der Technologiebereiche

Der Mensch zieht unmittelbar Nutzen aus der Vielfalt, Produktivität und Gestalt der Natur. Diese Nutzung geschieht aber zumeist nicht nachhaltig und beschädigt die natürlichen Bestände oft dauerhaft; sei es beispielsweise durch Überfischung oder das Sammeln seltener Heilpflanzen, die zu einem „ökonomischen“ oder gar tatsächlichen Aussterben der genutzten Arten führen können. Schwinden die Bestände, bleibt als Ultima Ratio letztlich nur noch die Ex-situ-Konservierung von Tier- und Pflanzenarten (vgl. Schippl et al. 2008).

Nicht nur die natürliche, auch die kulturelle Biodiversität der Nutzpflanzen, Nutztiere und Anbauverfahren sinkt rapide – mit unüberschaubaren Folgen. Langfristig gehen wachsende Ertragsrisiken, ökonomische und kulturelle Verluste sowie soziale Spannungen mit diesem Rückgang einher.

Im Folgenden werden jene Technologiebereiche im Handlungsfeld Erhalt von Biodiversität und Naturschutz betrachtet, die dieser Degradation entgegenwirken.

C13	Techniken und Verfahren zur arterhaltenden Nutzung natürlich vorkommender Tiere und Pflanzen im Zuge von Fischerei, Jagd und Pflanzensammlung auf der Basis ökosystemarer oder evolutionsbiologischer Simulationen der jeweiligen Populationsdynamik
C14	Techniken und Verfahren zur Erhöhung der Arten- und Sortenvielfalt bei Nutztieren und -pflanzen (z.B. Rückzüchtungen, alternative Anbauverfahren)
C15	Verfahren zur Züchtung mehrjähriger Sorten von Nutzpflanzen wie Getreide, Hülsenfrüchte oder Ölsaaten („Natural Systems Agriculture“)
C16	Konzepte und Techniken zur Ex-Situ-Konservierung von Tier- und Pflanzenarten (z.B. in Biobanken)
C18	Multimediale Verfahren zur Darstellung, Simulation und Archivierung von Natur („virtuelle Natur“), die ein realitätsnahes Naturerleben ermöglichen (z.B. für Bildungszwecke, zur Unterstützung von Entscheidungsprozessen)

4.5.1 Ergebnisse der Expertenbefragung

Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Umweltproblemen im Bereich Biodiversität und Naturschutz

Drei der ausgewählten Technologiebereiche, nämlich die arterhaltende simulationsgestützte Nutzung (C13), die Erhöhung der Arten- und Sortenvielfalt (C14) sowie die Ex-situ-Konservierung (C16) halten jeweils eine Mehrheit der Befragten für „wichtig“ (orange) oder sogar für „äußerst wichtig“ (rot) (s. Abb. 50). Die Züchtung mehrjähriger Sorten (C15) und die multimedialen Verfahren zur Simulation von Natur (C18) stoßen dagegen auf geringere Zustimmung. Die meisten Bewertungen der Kategorie „äußerst wichtig“ entfallen auf die Technologien zur arterhaltenden simulationsgestützten Nutzung (C13). Damit wird einem vergleichsweise neuen Technologiebereich ein hohes Problemlösungspotenzial für die Zukunft zugesprochen. Bei der Erhöhung der Arten- und Sortenvielfalt (C14) ist die Zahl derer, die den Technologiebereichen zukünftig keine Bedeutung zumessen, äußerst gering. Dagegen messen den multimedialen Verfahren (C18), knapp 15% – und damit vergleichsweise viele der Befragten – „keine Bedeutung“ zu.

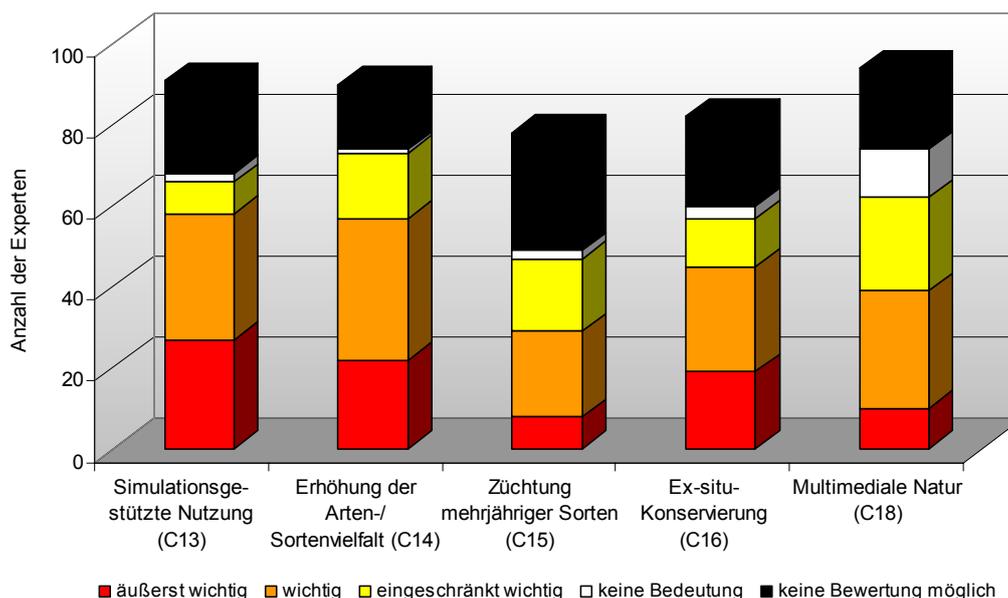


Abb. 50: Einschätzung der zukünftigen Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung von Umweltproblemen im Bereich Biodiversität und Naturschutz (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben).

Maßgebliche Unterschiede zeigen sich in dieser Gruppe in der Anzahl derer, denen „keine Bewertung möglich“ (schwarz) erscheint. Sind dies im Falle der Erhöhung der Arten- und Sortenvielfalt (C14) etwa 20%, so sind es bei der Züchtung mehrjähriger Sorten (C15) über das Doppelte, nämlich knapp 40%.

Positive und negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche

Von einer *arterhaltenden simulationsgestützten Nutzung natürlich vorkommender Tiere und Pflanzen* (C13) sind nach Ansicht der Befragten – über den Erhalt der Biodiversität hinaus – auch positive Auswirkungen auf Wasser und Boden zu erwarten. Ökosystemleistungen würden erhalten und geschützt. Eventuell könne eine standortangepasste Landschaftsnutzung damit forciert werden. Als Hemmnisse werden die entgegenstehenden Interessen wirtschaftlicher Akteure und eine fehlende politische Akzeptanz betrachtet. Die Realisierung wird als schwierig eingestuft, da es, wie z.B. bei der Hochseefischerei, oft einer internationalen Lösung bedürfe, die an nationalen Interessen zu scheitern drohe. Folgender Kommentar – „Die Frage ist absurd bezogen auf die gängigen Praktiken in den genannten Bereichen“ bringt die bisherige große Umsetzungsferne solcher Techniken und Verfahren und gleichzeitig deren enorme Relevanz pointiert zum Ausdruck.

Positive Effekte einer *Erhöhung der Arten- und Sortenvielfalt* (C14) werden in einer Verbesserung des Ressourcenschutzes (Boden, Wasser), einer Reduktion der Betriebsmittel und Emissionen, einer Risikominimierung in der landwirtschaftlichen Produktion, wie auch in einer Vorsorge hinsichtlich schneller Klimaveränderungen gesehen. Einem Voranschreiten dieses Technologiebereichs stehen nach Ansicht der Befragten jedoch starke wirtschaftliche Interessen entgegen.

Der *Züchtung mehrjähriger Sorten von Nutzpflanzen* (C15) werden vielfach positive Auswirkungen auf Boden, Wasser und Klima zugeschrieben. Ressourcenschutz (Energieverbrauch), Erosionsschutz und geringere N₂O-Emissionen werden als Folge erwartet. Als Nachteil werden die voraussichtlich geringeren Erträge betrachtet. Einschränkend wird weiter angemerkt, dass dies nur in Verbindung mit ganzheitlichen Anbaukonzepten (mit u.U. erhöhtem Krankheits- und Schädlingsdruck) möglich, dann aber sehr aussichtsreich sei.

Hemmend auf die *Ex-situ-Konservierung von Tier- und Pflanzenarten* (C16) wirkt sich nach Ansicht der Befragten der mangelnde unmittelbare wirtschaftliche Gewinn ebenso wie die mangelnde öffentliche Förderung aus. Auf der anderen Seite könnte dadurch die zukünftige Nahrungs- und Rohstoffversorgung unterstützt werden. Auch könnten positive Impulse für die Biotechnologie erfolgen. In Frage gestellt wurde, ob ein Erhalt von Arten und Biodiversität auf lange Sicht in dieser Weise überhaupt möglich sei.

Die Kommentare zu den *Multimedialen Verfahren zur Darstellung und Simulation von Natur* (C18) sind vergleichsweise zahlreich und kontrovers. Einerseits werden die Sensibilisierung der Öffentlichkeit für Natur, Biodiversität, natürliche Prozesse, etc. und die Verbesserung der Umwelt-Bildung als Vorteile hervorgehoben, die zu einer gesteigerten Akzeptanz des Naturschutzes beitragen könnten. Andererseits werden

Realitätsverlust und eine Flucht ins Virtuelle befürchtet. Man solle „doch wirklich die Natur erhalten, anstatt sie virtuell aufzuarbeiten“. Der Wert dieses Technologiebereichs für politische Entscheidungsprozesse und, komplexe Bewertungsverfahren (z.B. UVP), wird jedoch ebenso als Vorteil gesehen, wie eine Entlastung der Natur vom „Besucherdruck“.

Forschungsbedarf und Förderbedarf

Insgesamt wird bei diesen Technologiebereichen ein deutlicher Bedarf sowohl an Forschungsaktivitäten als auch an öffentlicher Förderung konstatiert. Der Anteil der Befragten, die keinen Forschungs- oder Förderbedarf sehen (s. Tab. 22), liegt mit Ausnahme der multimedialen Verfahren zu Darstellung und Simulation von Natur (C18) überwiegend unter 10%.

Tab. 22: Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ – in Prozent (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten)

		C13	C14	C15	C16	C18
Förderbedarf	Grundlagenfor.	0% (0/60)	1,6% (1/62)	9,1% (4/44)	4,1% (2/49)	22,2% (12/54)
	Technologieentw.	0% (0/60)	3,2% (2/63)	11,1% (5/45)	4,3% (2/47)	16,4% (9/55)
	Demo u. Marketing	7,1% (4/56)	6,5% (4/62)	11,4% (5/44)	15,2% (7/46)	16,7% (9/54)
	Anpassung SL/EL	7,4% (4/54)	8,1% (5/62)	11,1% (5/45)	15,2% (7/46)	25,9% (14/54)
Forschungsbedarf	Grundlagenfor.	0% (0/60)	3,1% (2/64)	6,8% (3/44)	4,1% (2/49)	18,9% (10/53)
	Technologieentw.	0% (0/59)	1,5% (1/65)	6,8% (3/44)	4,2% (2/48)	16,4% (9/55)
	Demo u. Marketing	3,6% (2/56)	8,1% (5/62)	11,6% (5/43)	10,9% (5/46)	16,4% (9/55)
	Anpassung SL/EL	5,6% (3/54)	8,2% (5/61)	11,1% (5/45)	8,7% (4/46)	25,9% (14/54)

Dabei wird bei den meisten Technologien weniger Forschungs- und Förderbedarf für „Demonstration und Marketing“, sowie zur „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ gesehen als für Grundlagenforschung und

Technologieentwicklung (s. Abb. 51). Ausnahmen stellen die Erhöhung der Arten- und Sortenvielfalt (C14) und die Multimedialen Verfahren (C18) dar: Bei beiden ist der höchste Forschungsbedarf im Bereich „Demonstration und Marketing“ angesiedelt.

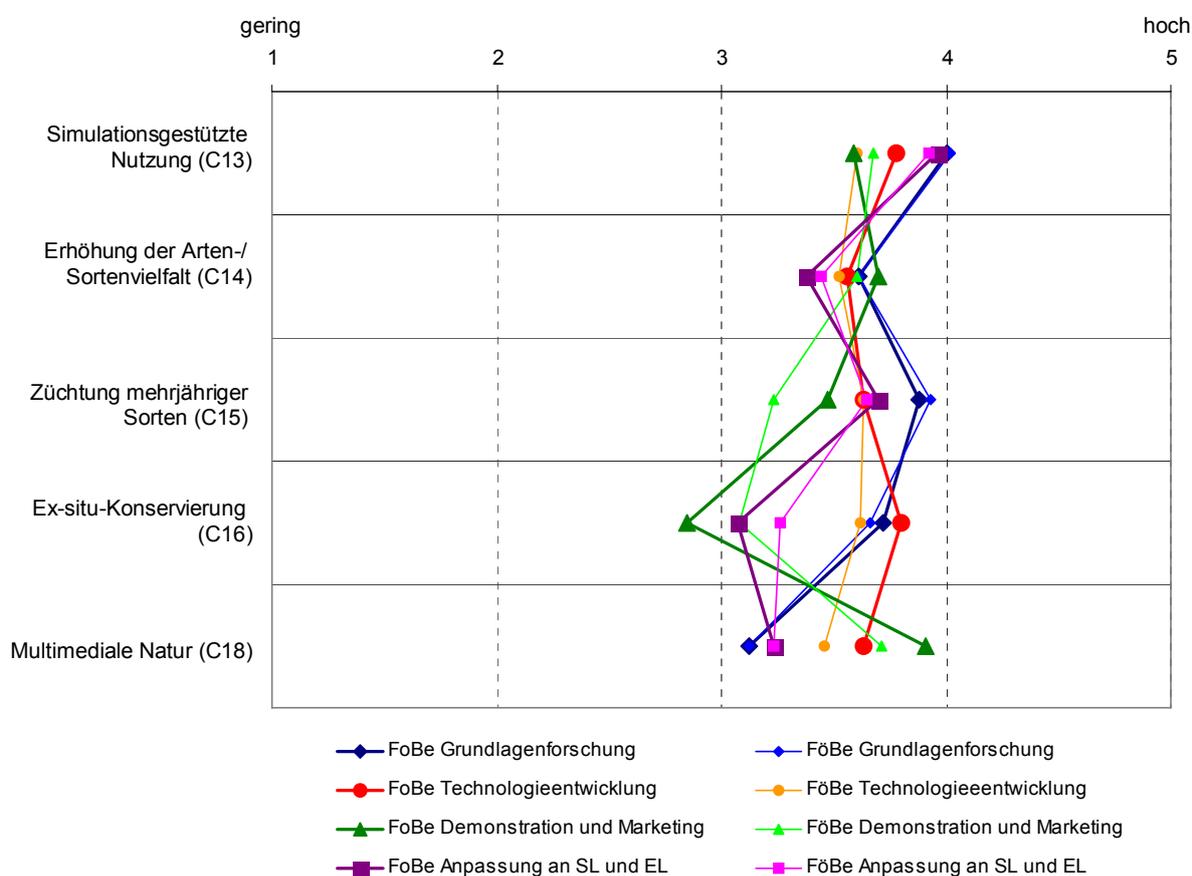


Abb. 51: Von den Experten geschätzter Forschungsbedarf und Bedarf an öffentlicher Förderung im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Zudem fällt auf, dass in weiten Teilen Forschungs- und Förderbedarf eng miteinander korrelieren. Dies gilt insbesondere in den Bereichen Grundlagenforschung, Technikentwicklung sowie „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“. Lediglich im Bereich „Demonstration und Marketing“ gibt es größere Abweichungen im Verlauf der beiden Kurven, wobei der Förderbedarf teilweise deutlich unter dem Forschungsbedarf (C15, C18), teilweise auch darüber (C13, C16) liegt.

Marktpotenziale

Nur bei dreien der in dieser Gruppe zusammengefassten Technologien, Erhöhung der Arten und Sortenvielfalt (C14), Ex-situ-Konservierung von Tier- und Pflanzenar-

ten (C16) sowie multimediale Verfahren zur Simulation von Natur (C18), zeigt sich das schon bekannte Muster mit hohen Marktpotenzialen in den Industrieländern und deutlich geringeren in den Schwellen- und Entwicklungsländern (s. Abb. 52). Hingegen wird der arterhaltenden simulationsgestützten Nutzung (C13) in den Entwicklungsländern ein ebenso hohes Marktpotenzial zugeschrieben wie in den Industrieländern. Der Züchtung mehrjähriger Sorten werden in all drei Länderkategorien in etwa gleich gute Marktchancen eingeräumt.

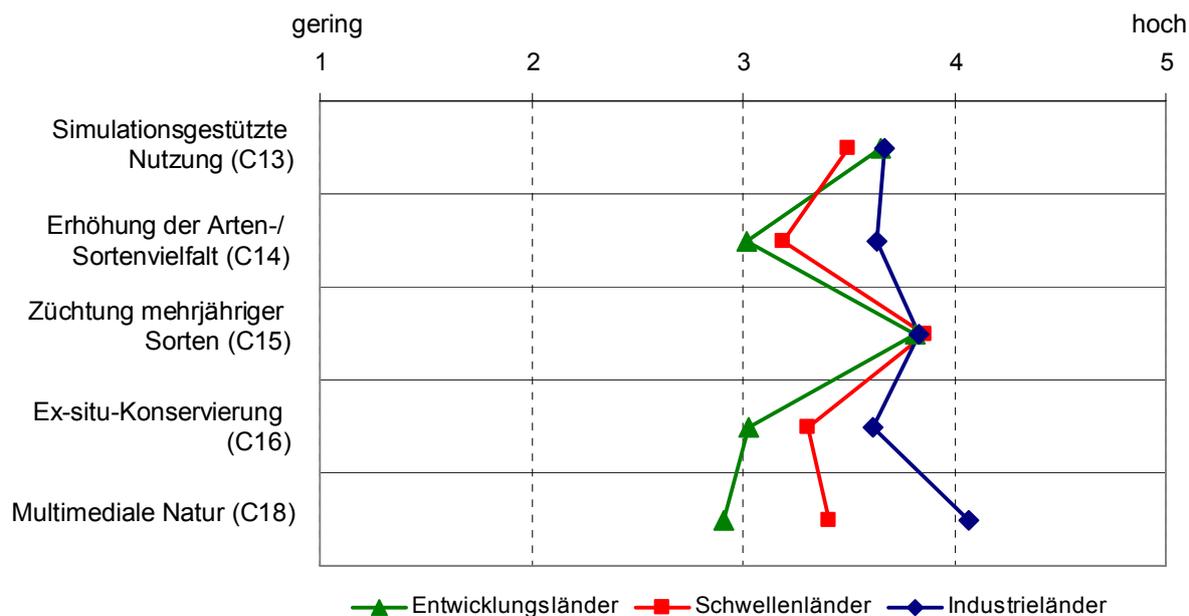


Abb. 52: Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Hemmnisse

In Tab. 23 sind wesentliche Hemmnisse angeführt, die einem erfolgreichen Einsatz der untersuchten Technologien am Standort Deutschland entgegenstehen.

Dass diese Technologiebereiche insgesamt näher an einer direkten Nutzung und damit ökonomischen Verwertung stehen als die Technologien der Gruppe 3, spiegelt sich auch in den Hemmnissen wider. „Unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten“ wird bei allen Technologiebereichen entweder als häufigstes (C16, C18) oder zweithäufigstes Hemmnis (C13, C14, C15) benannt. Es werden also nicht politische und gesellschaftliche Restriktionen als hemmend für die Entwicklung der Technologien angesehen, sondern in erster Linie ökonomische Faktoren. Am deutlichsten ist dies bei den Multimedialen Verfahren zur Darstellung und Simulation von Natur (C18). Diese „junge Technologie“ steht damit diametral zu „alten Technologien“, wie etwa der Reduktion der Landschaftszerschneidung (C12), bei der die Lösung der

Umweltprobleme weniger eine Frage der Technikentwicklung, als vielmehr der politischen Umsetzung und Anwendung zu sein scheint (s. oben).

„Kontraproduktive politische Regelungen“ und „fehlende gesellschaftliche Akzeptanz“ spielen dagegen bei der simulationsgestützten arterhaltenden Nutzung (C13) und bei der Erhöhung der Arten- und Sortenvielfalt (C14) sowie abgeschwächt bei der Züchtung mehrjähriger Sorten (C15) eine gewichtige Rolle. Diese Bereiche werden damit – zumindest in ihrem bisherigen Scheitern – klar zum Politikum erklärt. Der Technologiebereich mit den meisten Hemmnis-Nennungen ist die Erhöhung der Arten- und Sortenvielfalt (C14), was in etwa die hohe Relevanz widerspiegelt, die diesem Bereich für den Erhalt von Natur und zugemessen wurde (vgl. Abb. 50, S. 150).

Neben den in den im Fragebogen vorgegeben Hemmniskategorien wurden bei der Erhöhung der Arten- und Sortenvielfalt (C14) die mangelnde Sensibilisierung der Verbraucher und die Dominanz der großen Akteure der industriellen Landwirtschaft als behindernde Faktoren hervorgehoben. Der Ex-situ-Konservierung von Tier- und Pflanzenarten (C16) wirkt laut Umfrage wesentlich der fehlende Wille der Politik und der Mangel an bereitgestellten Mitteln entgegen.

Tab. 23: Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)

	Simulationsgestützte Nutzung (C13)	Erhöhung der Arten-/ Sortenvielfalt (C14)	Züchtung mehrjähriger Sorten (C15)	Ex-situ-Konservierung (C16)	Multimediale Natur (C18)
Kontraproduktive politische Regelungen	19	28	9	7	5
Fehlende gesellschaftliche Akzeptanz	25	27	14	9	8
Ungelöste technische Probleme	11	13	18	12	10
Fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU	9	16	12	12	10
Unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten	20	27	16	19	21
Unzureichende Vernetzung von Forschung und Unternehmen	16	15	12	10	17
Anzahl der Experten (die in dem jeweiligen Technologiebereich Hemmnisse sehen)	52	57	40	37	37

Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich

Nach Meinung der befragten Experten kommt der Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich, auch in dieser Gruppe, eine mittlere Position zu (s. Abb. 53). Dies wird nicht zuletzt dadurch bestätigt, dass „durchschnittlich“ nahezu durchgängig die meist gewählte Kategorie ist.

Auch hier wird, wie schon in der Technologiegruppe 3, die öffentliche Forschung meist besser bewertet als die industrielle Forschung und das Unternehmens-Know-how. Eine Ausnahme stellt lediglich die Züchtung mehrjähriger Sorten (C15) dar. Bei den anderen Technologien ist dagegen die Anzahl der Befragten, welche die industrielle Forschung in Deutschland für „unterdurchschnittlich“ (orange) oder sogar „unbedeutend“ (rot) hält, deutlich größer als die Zahl derer, die ihr eine „überdurchschnittliche“ (hellgrün) oder sogar „herausragende“ (dunkelgrün) Position zuweist.

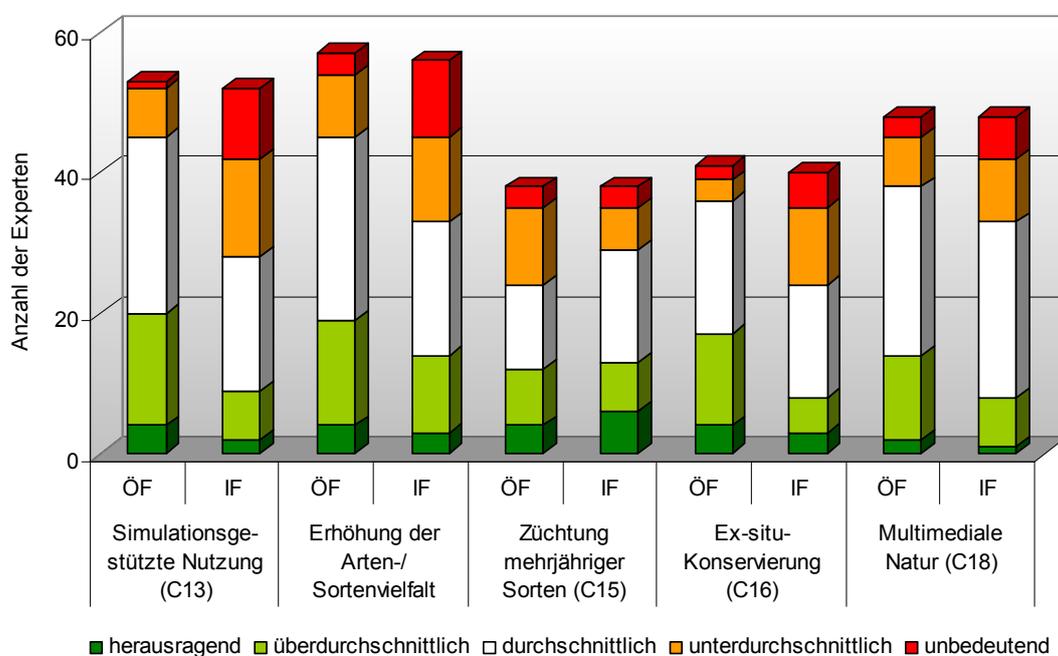


Abb. 53: Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

4.5.2 Ergebnisse des Experten-Workshops

Insgesamt wurden die Auswahl der Technologiebereiche und die dazugehörigen Umfrageergebnisse kaum in Frage gestellt und keine weiteren Technologiebereiche zur Ergänzung vorgeschlagen. Im Mittelpunkt der Diskussion standen vor allem die Züchtung mehrjähriger Sorten (C15) und die Multimedialen Verfahren zur Darstellung und Simulation von Natur (C18) sowie methodische Fragen.

Bezüglich der Züchtung mehrjähriger Sorten (C15) fand ein Meinungs austausch über mögliche Vor- und Nachteile statt. So wurden von den einen beim Anbau mehrjähriger Sorten z.B. ein verstärktes Auslaugen des Bodens und eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Schädlingen befürchtet, während andere gerade davon ausgingen, dass solche Wirkungen seltener auftreten würden. Standortangepasste, wassereffiziente Pflanzen seien wünschenswert. Es fehle aber sowohl an (Grundlagen-)Forschung als auch an experimenteller Anwendung. Auf die Frage aus dem Projektteam, warum die Technologie bei der Befragung eher auf Zurückhaltung stieß, wurde geantwortet, dass mehrjährige Sorten unter Gesichtspunkten maximalen Ertrages (zumindest für deutsche Verhältnisse) stets hinter einjährigen Sorten zurücklägen (z.B. wären hierzulande keine zwei Ernten im Jahr möglich).

Die kritische Anmerkung, dass im Fragebogen die Natur- und Umweltbildung fehle, obwohl diese hochgradig relevant sei, um auch unbequeme Entscheidungen („Verzicht“) zu treffen und umzusetzen, führte zu einer Diskussion der Multimedialen Verfahren zur Darstellung und Simulation von Natur (C18). Kontrovers war, ob die Erfahrung einer virtuellen Natur das Erleben „realer“ Natur (hinsichtlich ihrer Wirkung auch im Umweltverhalten) ersetzen könne. Einerseits wurde dies mit einem Verweis auf die Andersartigkeit der Erfahrung vehement bezweifelt, andererseits wurde die Meinung vertreten, dass über eine virtuelle Aufarbeitung natürliche Gegebenheiten und Prozesse erfahrbar würden, die sich ansonsten dem Menschen (oder zumindest vielen Menschen) entzögen. Als Beispiel wurde die Zeitraffer-Darstellung eines sich entwickelnden Waldökosystems angeführt. Konsens herrschte darüber, dass der Einsatz multimedialer Verfahren zur Unterstützung von Entscheidungen sehr sinnvoll und begrüßenswert sei. Im Hinblick auf Entwicklungsländer sei die Anwendung solcher Verfahren allerdings schlecht vorstellbar, da dort andere Voraussetzungen, wie z.B. ein allgemein wenig ausgeprägtes Umweltbewusstsein und eine zumeist schwache Verankerung und Stellung der Umweltministerien in den Staatsapparaten der Entwicklungsländer, gegeben seien.

4.6 Technologiegruppenübergreifende Ergebnisse des Workshops

Neben den spezifischen Diskussionen zu einzelnen Technologiegruppen ergaben sich weitere generell für die Handlungsfelder „Bodenschutz „und „Erhalt von Natur und Biodiversität“ relevante Hinweise. So wurde z.B. deutlich, wie eng die Themen Biodiversität / Natur, Boden und Wasser sowie Klima miteinander verknüpft sind.

Abseits der Debatte um Technologien wurde angemerkt, dass bezüglich der Biodiversität noch viele grundlegende Fragen offen seien (z.B. der Zusammenhang von Biodiversität und Ökosystemleistung, -stabilität) und deswegen ein deutlicher Bedarf an Grundlagenforschung bestehe. Neben einer grundlegenden Erfassung des bislang nur lückenhaft bekannten Staus Quo der Biodiversität wäre die Erstellung von

Landkarten über die erbrachten gebietsbezogenen Ökosystemleistungen wünschenswert. Diese könnten dann auch als Entscheidungshilfe, z.B. im Bereich der Flächennutzung herangezogen werden.

Allgemein wurde die Dringlichkeit des Erhalts von Landschaft und Biodiversität im Einklang mit der Nutzung betont. Die Konservierung von Natur und Biodiversität in ausgewiesenen Schutzzonen sei allein nicht ausreichend. Bezüglich der Landwirtschaft sei es wichtig, gleich bleibende Erträge über einen möglichst geringen chemisch-technischen Input zu gewährleisten. Biodiversität beinhalte und benötige ferner auch eine Diversität an Landschaften.

Schutz und Erhalt von Natur und Biodiversität wurde als klassischer Non-Profit-Bereich klassifiziert und damit klar unter staatliche Zuständigkeit gestellt. Insofern sei der politische Wille für die Problemlösung in diesem Handlungsfeld entscheidend. Aufgabe der Forschung sei es, den Wert von Natur und Biodiversität besser zu erfassen, darzustellen und Richtung Politik und Öffentlichkeit zu kommunizieren. Hier wurde indes noch erheblicher Forschungsbedarf konstatiert.

Zum Schluss des Workshops wurden die Teilnehmer gebeten, „Visionen“ hinsichtlich der weiteren Entwicklung in den Handlungsfeldern „Bodenschutz sowie „Natur und Biodiversität“ zu entwickeln. Drei mögliche Entwicklungen wurden als besonders erstrebenswert eingeschätzt:

- Eine weltweit bodenschonende (ökologische) Bodenbewirtschaftung, die mit wenig chemischem Input hohe Erträge ermöglicht, d.h. Erträge die etwa in Höhe der heutigen liegen, und gleichzeitig zu keiner Bodendegradation führt.
- Der Ausbau eines flächendeckenden erdumspannenden Netzes an Monitoringstationen, die basale Umweltdaten nach einem einheitlichen Verfahren erfassen. Angedacht wurde ein Raster von 400km. Dies würde sich bei laufenden Kosten von 1 Mio. €/a pro Station auf eine Gesamtsumme von etwa 1.500 Mio. € pro Jahr belaufen.
- Ein „Ursachenmonitoring“, bzw. sozial-ökologisches Monitoring, das nicht nur die Änderung von Umweltzuständen erfasst, sondern auch die anthropogenen Ursachen dieser Änderungen.

Als entscheidende Faktoren für die Verschärfung der Probleme in den Handlungsfeldern „Bodenschutz / Erhalt von Biodiversität und Naturschutz“ wurden das globale Bevölkerungswachstum und der Klimawandel identifiziert. Beide Größen müssten daher in die Ausrichtung eines künftigen globalen Schutzprogramms für diese Bereiche einbezogen werden. Eine wesentliche Voraussetzung dafür sei allerdings die Verbesserung der bisherigen Klimamodelle, die stabilere Ergebnisse bei höherer regionaler Auflösung liefern müssten.

Nach Ansicht der Workshop-Teilnehmer ist es bei wachsender Weltbevölkerung unvermeidbar, aride Gebiete zu bewässern. Das bislang hierfür benutzte fossile (nicht-erneuerbare) Wasser müsse durch Alternativen (z.B. mittels Meerwasserentsalzung) ersetzt werden. Zudem sei die Züchtung von salz- und trockenresistenten Pflanzen erforderlich. Im Zuge steigender Meeresspiegel, bedingt durch den Klimawandel, sei es von zentraler Bedeutung, die Küstenregionen gerade der ärmeren Länder zu schützen. Neben Lebens- und Wirtschaftsräumen gingen ansonsten auch wertvolle Böden verloren.

Der Flächenzerschneidung und Verinselung von Lebensräumen durch Verkehrswege müsse verstärkt entgegengewirkt werden. Angesichts der weltweit geplanten Erschließung von Flächen und großen Infrastrukturprojekten würden sich diesbezüglich aber eher düstere Perspektiven abzeichnen. Eine breite Bildung für nachhaltige Entwicklung und die Verbreitung nachhaltiger Handlungsmuster sei essenziell für die Lösung der globalen Umweltprobleme. Gerade bei Boden, Biodiversität und Naturschutz müsse die öffentliche Aufmerksamkeit gesteigert werden.

Als langfristige Vision wurde die Gewährleistung globaler Gerechtigkeit, z.B. bezüglich des Ressourcenverbrauchs angeführt. Zu Bekämpfung des Hungers müssten die Verteilungsprobleme für Wasser, Boden, Nahrungsmittel bewältigt werden. Dies erfordere nicht nur ein Umdenken, sondern andere (nachhaltigere) Wirtschaftsweisen, besonders in den Industrieländern. Letztere müssten ihrer weltweiten Vorbildfunktion gerecht werden. Konkret gelte es die ökonomische Internalisierung externer Kosten voranzutreiben. Dazu müssten öffentliche Güter wie Boden und Wasser monetär bewertet werden, ebenso wie die möglichen Nebenwirkungen und ökologische Folgen bestimmter Eingriffe in Natur und Landschaft. Darüber hinaus müsse ein Bewusstseinswandel stattfinden, der beispielsweise Landschaft als individuellen Wert begreift.

Forschung und Forschungseinrichtungen müssten verstärkt disziplinen- und institutionenübergreifend zusammenarbeiten um Herausforderungen wie z.B. die Anpassung an den Klimawandel meistern zu können. Von zentraler Bedeutung für die Bewältigung globaler Probleme sei, insbesondere im wissenschaftlichen Bereich, der freie und möglichst kostenlose Zugang zu Wissen. Dies sei gerade für ärmere Staaten von größter Relevanz.

5 Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft

5.1 Einführung

Wie die Auswertung des allgemeinen Teils der Umfrage zeigt, messen die befragten Experten der Lösung der Rohstoffproblematik hohe Bedeutung zu. Auf globaler Ebene wird lediglich der Problemdruck in den Bereichen Wassermanagement und Klimaschutz als noch höher eingestuft (s. Abb. 4, S.21). Bei einer nationalen Betrachtungsweise rückt der Bereich Rohstoffe sogar auf Platz zwei. Dieses Ergebnis bestätigt die allgemeine Problemwahrnehmung in der deutschen Politik und Öffentlichkeit, bei der die Versorgung der Wirtschaft mit Rohstoffen in den letzten Jahren eine zunehmend wichtige Rolle gespielt hat. Ursache dafür war vor allem die angespannte Lage auf den Rohstoffmärkten, die zwischen 2000 und 2008 zu einem sprunghaften Anstieg der Preise geführt hat. Der Höhenflug der Rohstoffpreise war zum einen auf die wachsende Nachfrage der Industrie- und Schwellenländer, zum anderen auf eine zu geringe Investitionstätigkeit seitens der Rohstoffherzeuger zurückzuführen. Anzunehmen ist auch, dass viele Marktteilnehmer die vorübergehende Verknappung des Angebots gezielt genutzt haben, um hohe Preise zu erzielen (vgl. Schippl et al. 2008, 225f.). Die sich abzeichnende globale Wirtschaftsrezession hat Ende 2008 zu einem massiven Einbruch der Rohstoffpreise geführt. So fiel etwa der Preis für Rhodium, das u.a. für die Herstellung von Flachbildschirmen und in Katalysatoren von Benzinfahrzeugen Verwendung findet, von 10.000 Dollar je Unze im Juni 2008 auf 1.100 Dollar je Unze im Dezember 2008 (FAZ vom 5.12.2008).

Der aktuelle Verfall der Rohstoffpreise bedeutet jedoch keineswegs, dass einem sparsamen und effizienten Umgang mit endlichen Ressourcen künftig geringere Bedeutung zuzuschreiben wäre. Vielmehr haben die Versorgungsengpässe der letzten Jahre dazu beigetragen, die Sensibilität der Akteure für die Problematik der Rohstoffsicherheit zu erhöhen. Deutlich geworden ist, dass viele Rohstoffe tatsächlich nur bedingt verfügbar sind, da ihre Vorkommen in gar nicht so ferner Zukunft zu Neige gehen. Deutlich geworden ist aber auch, dass die Versorgung, abgesehen von der absoluten Knappheit bestimmter Materialien (z.B. von strategischen Metallen), mit hohen Risiken verbunden sein kann, weil ihre Förderung auf wenige Anbieterländer mit zum Teil instabilen politischen Verhältnissen konzentriert ist (Bleischwitz / Bringezu 2007). Außerdem sind sich alle Akteure darüber im Klaren, dass bei einer Erholung der Konjunktur auch die Rohstoffpreise wieder anziehen werden. Für Deutschland, als ein exportorientiertes und vergleichsweise rohstoffarmes Land, das einen Großteil seines Bedarfs über Importe decken muss, werden Lieferschwierigkeiten und Preisschwankungen an den Rohstoffmärkten immer besonders spürbar bleiben. Schließlich ist auch das Problembewusstsein für die Umweltbelastungen, die

mit einem hohen Rohstoffverbrauch einhergehen, geschärft worden, insbesondere weil Erkundung und Abbau von Rohstoffen zunehmend in ökologisch besonders sensible Gebiete vordringen.

Um die Umwelt zu entlasten, die Kosten der Produktion zu senken und die Rohstoffreserven im Interesse künftiger Generationen zu schonen, bleibt somit die Erhöhung der Rohstoffproduktivität, ein vordringliches politisches Ziel, unabhängig von der aktuellen Preisentwicklung. Vor diesem Hintergrund können innovative Technologien, die darauf ausgerichtet sind, Einsparpotenziale beim Rohstoffeinsatz zu nutzen, in den kommenden Jahren mit erheblichen Wachstumschancen rechnen. Diese Einschätzung wird durch die Expertenbefragung bestätigt, die der öffentlichen Förderung solcher Technologien in Deutschland die zweithöchste Priorität (nach Technologien zum Klimaschutz) zuweist (s. Abb. 5, S. 22).

Demgegenüber wird der Problemdruck im Bereich Abfallmanagement von den befragten Experten am geringsten von allen sieben Handlungsfeldern eingeschätzt, sowohl in nationaler wie in globaler Perspektive. Auf der globalen Ebene steht der Bereich Abfallwirtschaft zwar auch an letzter Stelle, wird aber noch deutlich höher gewichtet als auf der nationalen Ebene (s. Abb. 4, S. 21). Analog dazu wird der Bedarf an öffentlicher Förderung im Bereich der Abfalltechnologien auf den letzten Platz verwiesen (s. Abb. 5, S. 22). Auch diese Ergebnisse stehen mehr oder weniger in Einklang mit der herrschenden Meinung in Deutschland. Die Probleme der Abfallsorgung und -behandlung gelten hierzulande als weitgehend gelöst. Deutsche Abfallbehandlungstechnik umfasst ein breites Spektrum erprobter Technologien zur Abfallerfassung, zur mechanischen, biologischen, chemisch-physikalischen und thermischen Behandlung sowie zur Aufbereitung und Beseitigung von Abfällen und Behandlungsrückständen. Diesen Technologien werden in Anbetracht des weltweiten Investitionsbedarfs im Bereich der Abfallwirtschaft in den kommenden Jahren gute Marktchancen eingeräumt (vgl. Schippl et al. 2008, 298ff.). Angenommen wird auch, dass die EU-Osterweiterung und die Angleichung der Umweltvorschriften innerhalb der EU die Nachfrage auf dem europäischen Markt forcieren werden.

Unter dem Einfluss ordnungspolitischer Vorgaben hat sich die deutsche Abfallsorgung seit Mitte der 1980er Jahre weitgehend in Richtung auf eine ressourcenschonende Kreislaufwirtschaft entwickelt. Große Investitionsschübe wurden vor allem durch das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (1996), durch das Ablagerungsverbot für unbehandelte Siedlungsabfälle (2005) sowie durch zahlreiche spezifische Verordnungen zur Verwertung, Behandlung und Beseitigung u.a. von Bioabfällen, Verpackungen, Elektrogeräten, Altfahrzeugen, Altholz und Batterien ausgelöst. Insgesamt werden heute bereits rund zwei Drittel der anfallenden Abfälle verwertet. Dennoch bleiben angesichts der zunehmenden Knappheit von Primärrohstoffen die Verbesserung der Stofftrennverfahren, die Optimierung der Materialeigenschaften

der aus Abfällen gewonnenen Sekundärrohstoffe sowie deren Aufbereitung für höherwertige Verwendungszwecke wichtige Felder künftiger technologischer Entwicklung.

Im State-of-the-Art-Report (Schippl et al. 2008) wurden vier Basisstrategien zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität identifiziert:

- *Substitution*: Der Rohstoff wird durch einen anderen ersetzt, der ein günstigeres Profil aufweist.
- *Kreislaufführung*: Der Rohstoff wird erneut genutzt (wieder- oder weiterverwendet).
- *Steigerung der Materialeffizienz*: Der Einsatz eines Rohstoffs pro Produkteinheit wird reduziert.
- *Verlängerung der Lebensdauer*: Die Nutzungsphase des Produkts, in dem der Rohstoff zur Anwendung kommt, wird verlängert.

Bei der Auswahl der Technologien für die Befragung wurde darauf geachtet, dass alle vier Basisstrategien angemessen repräsentiert waren. Die ausgewählten Technologiebereiche weisen allerdings einen sehr unterschiedlichen Detaillierungsgrad auf: teilweise handelt es sich um ganz spezifische Verfahren (z.B. lastgesteuerte Bauteiloptimierung), teilweise um breit angelegte Forschungsfelder (z.B. Bionik). Dies mag einer der Gründe dafür sein, dass jeweils eine sehr unterschiedliche Grundgesamtheit von Experten zu den einzelnen Technologiebereichen Stellung genommen hat.

Für die Umfrage wurden die beiden Handlungsfelder „Erhöhung der Rohstoffproduktivität“ und „Abfallwirtschaft“ zu einem Cluster zusammengelegt. In Anbetracht der Bedeutung, die der Erschließung von Abfällen als neuer Rohstoffquelle für die industrielle Produktion beigemessen wird, wurden aus dem Bereich der Abfallwirtschaft vornehmlich Technologien zur Stofftrennung, zur Schadstoffabscheidung und zur Qualifizierung von Sekundärrohstoffen für höherwertige Verwendungszwecke einbezogen. Klassische Technologien der Abfallentsorgung und -behandlung wurden dagegen nicht berücksichtigt. Insgesamt beinhaltet das Cluster 23 funktionale Beschreibungen von Technologien, Verfahren und Prozessen, denen aus unserer Sicht zentrale Bedeutung zur Lösung der Rohstoffproblematik zukommt.

Um die Übersicht zu erleichtern wurden die in die Befragung aufgenommenen Technologiebereiche bei der Auswertung in vier Gruppen zusammengefasst:

- *Gruppe 1* beinhaltet Technologien zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe.

- *Gruppe 2* betrifft den Bereich Materialforschung und neue Werkstoffe und ist auf Technologien fokussiert, die auf eine Verringerung des Materialinputs pro Produkteinheit ausgerichtet sind.
- *Gruppe 3* behandelt Technologien, die auf eine Optimierung von Herstellungsprozessen unter dem Aspekt der Ressourcenschonung abzielen und
- *Gruppe 4* umfasst Technologien zur Umsetzung des Kreislaufgedankens in der Güterproduktion und zur Erschließung der in Abfällen enthaltenen Wertstoffe.

Die aufbereiteten Ergebnisse der Umfrage wurden in einem eintägigen Workshop einem ausgewählten Kreis von Experten aus Wissenschaft, Politik und Industrie vorgestellt. Ziel des Workshops war es einerseits die Umfrageergebnisse kritisch zu hinterfragen, andererseits langfristige Perspektiven der künftigen technologischen Entwicklung zu erörtern. Da sich die Umfrage vorwiegend auf Technologien bezog, an denen heute bereits gearbeitet wird oder die zumindest in der Diskussion sind, war eine der zentralen Fragestellungen des Workshops, ob es aus Sicht der Teilnehmer noch andere technologische Ansätze zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität gebe, die entweder im Fragebogen nicht berücksichtigt wurden oder denen heute in der Forschung bzw. in der Forschungsförderung zu wenig Gewicht beigemessen wird.

Die Teilnehmer wurden außerdem gebeten, Punkte zu nennen, in denen sie die Ergebnisse der Befragung überrascht hätten oder in denen sie nicht mit den der Mehrheitsmeinung der Befragten übereinstimmten. Schließlich ging es um die Frage, ob aus Sicht der Teilnehmer in einer sehr langfristigen Perspektive (über 2020 hinaus) neue Problemlagen oder Rahmenbedingungen zu erwarten wären, welche die heutige Situation auf den globalen Rohstoffmärkten gänzlich verändern würden. So könnte man sich sowohl Faktoren vorstellen, die zu einer Minderung des aktuellen Problemdrucks beitragen (etwa eine lang andauernde Rezession der Weltwirtschaft, ein drastischer Bevölkerungsrückgang, die Entdeckung neuer Rohstoffvorkommen oder effizienter Förderungstechnologien oder ein grundlegender Wandel der Lebensstile und Konsumgewohnheiten) als auch Faktoren die zu einer weiteren Verschärfung der Situation führen würden. Denkbar wäre z.B., dass die Diffusion neuer Technologien die heutige Nachfragestruktur auf den Rohstoffmärkten so stark verändern würde, dass es zu Knappheiten in Bereichen käme, die bisher als unproblematisch gelten.

Im Folgenden wird zunächst die Auswertung der Umfrageergebnisse zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft präsentiert, die als schriftliche Hintergrundinformation vorab auch den Teilnehmern des Workshops zur Verfügung gestellt wurde. Sodann wird die Diskussion im Rahmen des Workshops, jeweils getrennt

nach den vier Technologiegruppen, referiert. Im letzten Kapitel werden technologieübergreifende Ergebnisse des Workshops zusammengefasst.

5.2 Technologiegruppe 1: Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe

Auswahl der Technologiebereiche

Eine wichtige Strategie zur Schonung der Rohstoffvorräte ist die Substitution nicht erneuerbarer durch erneuerbare Ressourcen. In der öffentlichen Debatte steht heute meist die energetische Nutzung von Biomasse im Mittelpunkt, während die stoffliche Nutzung eher ein randständiges Thema bildet. Auch der Schwerpunkt der öffentlichen Förderung liegt derzeit auf der energetischen Nutzung. Nach Ansicht vieler Experten, sowohl aus der Industrie, vor allem aus der chemischen Industrie (SusChem 2006) als auch aus der Umweltforschung, so z.B. der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU 2007, 19) sollte jedoch in einer langfristigen Perspektive die stoffliche Nutzung bevorzugt oder zumindest nicht schlechter gestellt sein, da biogene Rohstoffe im Hinblick auf die stoffliche Nutzung die einzige Alternative zu fossilen Energieträgern darstellten, während bei der Energiebereitstellung auf andere alternative Energieträger zurückgegriffen werden könne.

Aufgrund der hohen Bedeutung, die der Erschließung von Biomasse als neuer Rohstoffquelle für die industrielle Produktion in der Literatur zugemessen wird, wurden die folgenden vier Technologiebereiche in die Befragung aufgenommen.

D01	Erschließung neuer chemischer Produktklassen auf Basis nachwachsender Rohstoffe mit vergleichbaren Eigenschaften wie erdölbasierte Produkte
D02	Herstellung von Bulkchemikalien in biotechnologisch optimierten Pflanzen (Anreicherung der gewünschten Inhaltsstoffe in der Pflanze)
D03	Entwicklung neuer Synthesewege mit hoher Selektivität zur effizienten Umsetzung nachwachsender Rohstoffe unter weitgehendem Erhalt der komplexen Molekülstrukturen
D04	Technologien zur effizienten Trennung von Lignocellulose in Lignin, Cellulose und Hemicellulose und zur Verwertung von Lignin als Ausgangsstoff in der Chemie

5.2.1 Ergebnisse der Expertenurfrage

Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung der Rohstoffproblematik

Wie Abb. 54 zeigt, bestätigt die Umfrage die wachsende Relevanz der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Die Mehrzahl der Befragten hält die ausgewählten Technologien für „wichtig“ (orange) oder sogar für „äußerst wichtig“ (rot). Der Anteil derjenigen, die ihnen „keine Bedeutung“ zumessen, ist vergleichsweise gering. Am wenigsten Zustimmung findet die Herstellung von Bulkchemikalien in biotechnologisch optimierten Pflanzen (D02). Fast ein Viertel der befragten Experten (24 von 105) weisen diesem Technologiebereich nur „eingeschränkte“ (gelb) oder gar „keine Bedeutung“ (weiß) zu. Hier ist auch der Anteil der Experten, die eine Bewertung nicht oder noch nicht für möglich halten (schwarz), am höchsten. Dieses Ergebnis ist insofern nicht überraschend, als es sich dabei zweifellos um die visionärste Technologie in der gesamten Gruppe handelt, die sich noch in einem sehr frühen Entwicklungsstadium befindet.

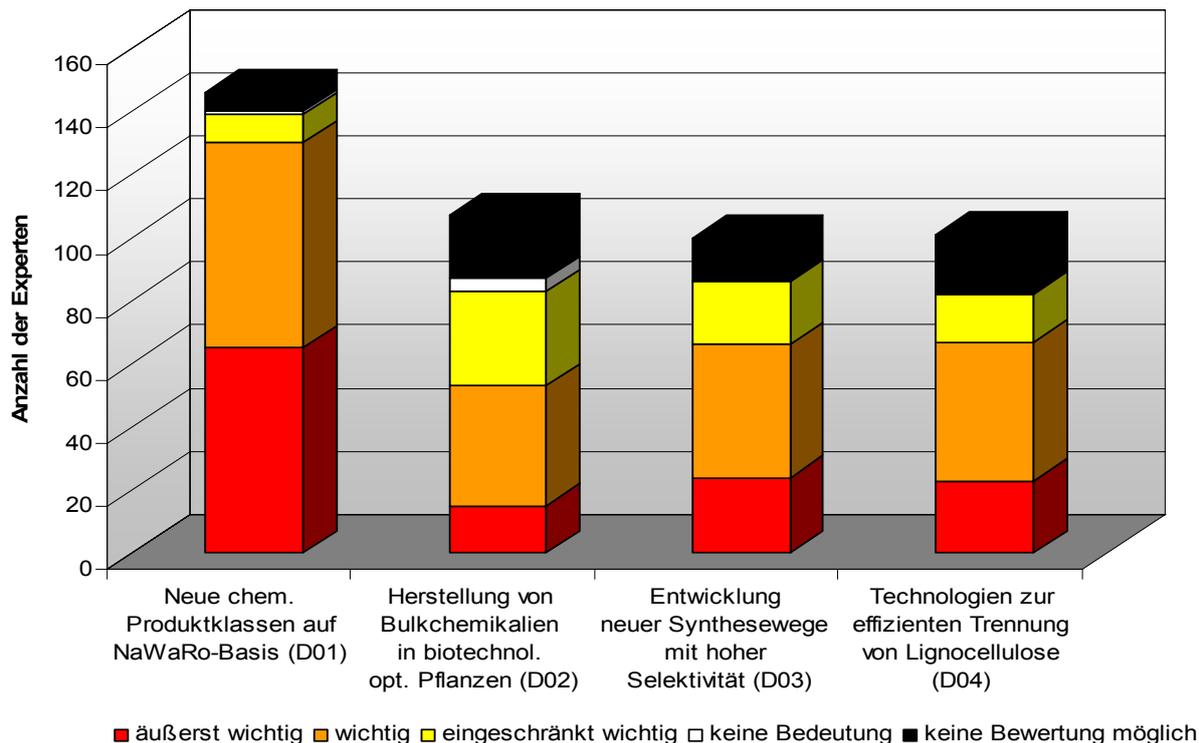


Abb. 54: Einschätzung der zukünftigen Bedeutung dieser Technologiebereiche zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Positive und negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche

Als Vorteile der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe werden generell die Schonung fossiler Energieträger und die Verringerung der Abhängigkeit von Rohölimporten betrachtet. Positive Auswirkungen auf andere Umwelthandlungsfelder werden durch die Reduktion des CO₂-Ausstoßes (Klimaschutz), die Verringerung schädlicher Abfall- und Nebenprodukte (Abfallwirtschaft) sowie durch die Vermeidung von Ölexplorationen in sensiblen Gebieten (Naturschutz) erwartet. Ein weiterer Vorteil wird in der biologischen Abbaubarkeit vieler biogener Produkte gesehen, die zu einer Entlastung von Böden und Gewässern beitragen kann.

Negative Auswirkungen werden im Hinblick auf die Inanspruchnahme weiterer Flächen für den Anbau nachwachsender Rohstoffe (Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion, drohende Abholzung wertvoller Regenwälder), die Gefahr der Ausweitung von Monokulturen sowie des damit verknüpften höheren Einsatzes von Düngemitteln und Pestiziden (Gewässer-, Bodenbelastung) sowie eines Rückgangs der Biodiversität befürchtet.

Am schwersten wiegen die Bedenken gegen die *Herstellung von Bulkchemikalien in biotechnologischen optimierten Pflanzen*. Insbesondere der Einsatz gentechnisch manipulierter Pflanzen wird wegen der Risiken des Gentransfers und der möglichen Vermischung mit Nahrungsmitteln innerhalb der Prozesskette als problematisch eingeschätzt.

Forschungsbedarf / Förderbedarf

Wie Abb. 55 zeigt, besteht eine enge Korrelation zwischen Forschungsbedarf (FoBe) und Förderbedarf (FöBe): die Kurven verlaufen weitgehend parallel und sehr dicht nebeneinander. Daraus kann man den Schluss ziehen, dass in Bereichen in denen hoher Forschungsbedarf besteht, auch ein hoher Bedarf an öffentlicher Förderung gesehen wird. Die Abbildung zeigt weiter, dass der Forschungsbedarf vor allem im Bereich der Grundlagenforschung (dunkelblaue Kurve) und der Technologieentwicklung (rote Kurve) als hoch eingeschätzt wird. Der Forschungsbedarf für „Demonstration und Marketing“ (grüne Kurve) sowie zur „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ (violette Kurve) wird dagegen als deutlich weniger vordringlich betrachtet.

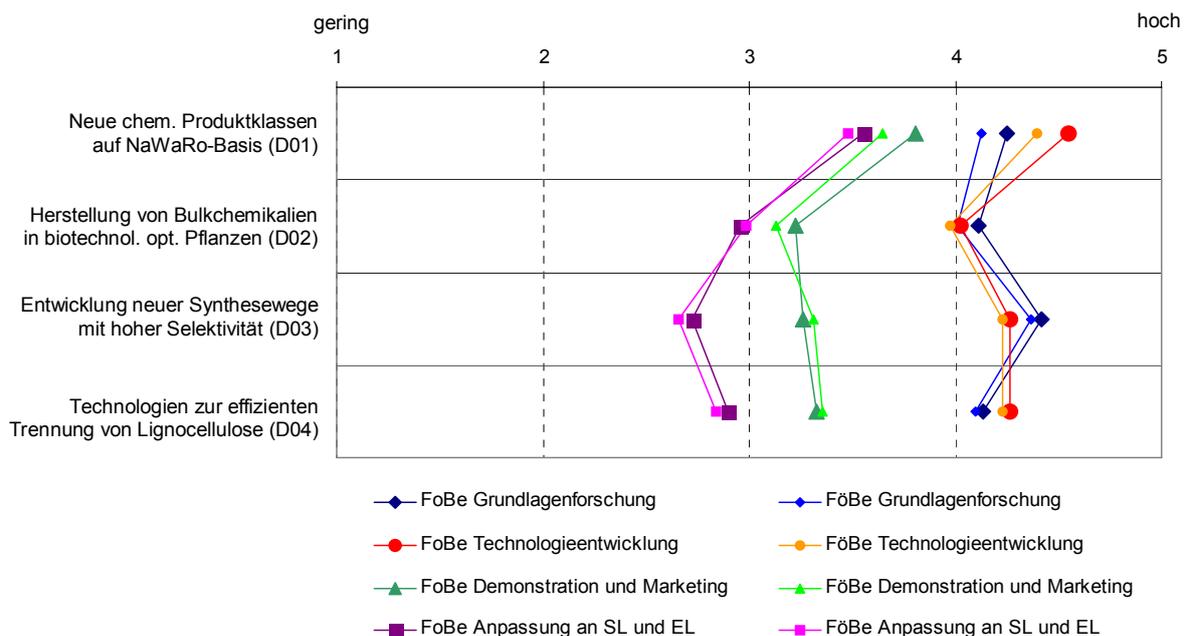


Abb. 55: Einschätzung des Forschungsbedarfs (FoBe) und des Bedarf an öffentliche Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Die Zahl der Experten, die gar keinen Forschungs- oder Förderbedarf sehen, ist nicht im gewichteten Mittel enthalten und daher in Tab. 24 dargestellt.

Tab. 24: Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten)

		D01	D02	D03	D04
Förderbedarf	Grundlagenfor.	0% (0/130)	2,7% (2/74)	0% (0/79)	1,4% (1/73)
	Technologieentw.	0% (0/132)	2,8% (2/72)	1,3% (1/79)	1,3% (1/75)
	Demo u. Marketing	7,8% (10/128)	14,1% (10/71)	13% (10/77)	11% (8/73)
	Anpassung SL/EL	7,1% ()/126)	12,9% (9/70)	12,8% (10/78)	13,7% (10/73)
Forschungsbedarf	Grundlagenfor.	0,8% (1/132)	2,7% (2/75)	3,8% (3/79)	0% (0/75)
	Technologieentw.	1,5% (2/133)	2,7% (2/73)	2,5% (2/79)	1,4% (1/73)
	Demo u. Marketing	4,7% (6/129)	10% (7/70)	8% (6/75)	4,1% (3/73)
	Anpassung SL/EL	3,9% (5/128)	11% (8/73)	11,5% (9/78)	8,2% (6/73)

Wie zu erwarten, ist die Anzahl der Experten, die keinen Forschungs- und Förderbedarf sehen, in den Bereichen Grundlagenforschung und Technologieentwicklung bei allen Technologie gering (zwischen 0 und 5%), während sie im Hinblick auf „Demonstration und Marketing“ sowie „Anpassung an die Anforderung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ deutlich höher liegt (zwischen 4 und 14%).

Marktpotenziale

Das Marktpotenzial dieser Technologien wird, wie Abb. 56 zeigt, vornehmlich in den Industrieländern (blaue Kurve) gesehen, relativ dicht gefolgt von den Schwellenländern (rote Kurve), während das Marktpotenzial in den Entwicklungsländern (grüne Kurve) deutlich geringer eingeschätzt wird. Eine gewisse Ausnahme bildet die Herstellung von Bulkchemikalien in biotechnologisch optimierten Pflanzen (D02). Bei dieser Technologie wird das Marktpotenzial in den Industrieländern als deutlich geringer eingeschätzt und liegt nahe dem der Schwellenländer. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis könnte sein, dass hier mit Blick auf die Industrieländer mit Widerstand der Bevölkerung gegen den Anbau solcher Pflanzen gerechnet wird, der in den Schwellen- und Entwicklungsländern weniger zu erwarten ist.

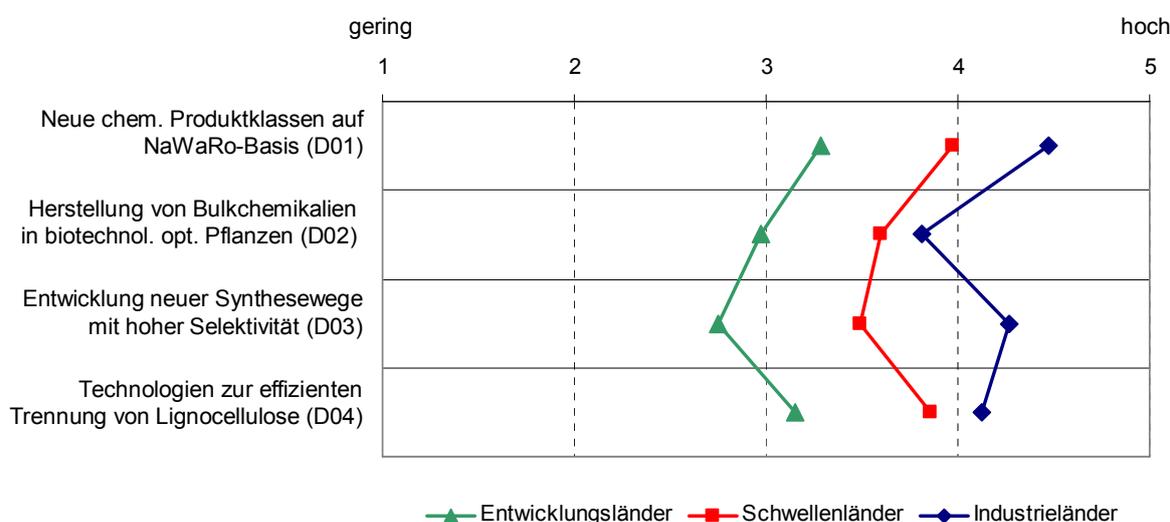


Abb. 56: Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Hemmnisse

In Tab. 25 sind die wesentlichsten Hemmnisse, die einem erfolgreichen Einsatz der untersuchten Technologien am Standort Deutschland entgegenstehen, angeführt. Wie man sieht, werden die „bisher ungelösten technischen Probleme“ bei dreien der

ausgewählten Technologien als das wesentlichste Hemmnis betrachtet. Nur bei der Herstellung von Bulkchemikalien in biotechnologisch optimierten Pflanzen wird das größte Hemmnis in der „fehlenden gesellschaftlichen Akzeptanz“ gesehen; ein Ergebnis, das zu erwarten war. An zweiter und dritter Stelle werden die „fehlenden FuE-Kapazitäten bei kleineren und mittleren Unternehmen“ sowie „unzureichende oder zu unsichere Erfolgsaussichten für die Unternehmen“ genannt. Andere potenzielle Hemmnisse, wie etwa „kontraproduktive politische Regulierungen“ oder die „unzureichende Vernetzung der auf diesem Gebiet tätigen Forschungseinrichtungen und Unternehmen“, werden weitaus seltener angeführt.

Tab. 25: Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)

	Neue chem. Produktklassen auf NaWaRo-Basis (D01)	Herstellung von Bulkchemikalien in biotechnol. opt. Pflanzen (D02)	Entwicklung neuer Synthesewege mit hoher Selektivität (D03)	Technologien zur effizienten Trennung von Lignocellulose (D04)
Kontraproduktive politische Regulierungen	35	24	8	4
Fehlende gesellschaftliche Akzeptanz	27	44	10	7
Bisher ungelöste technische Probleme	81	39	58	56
Fehlende FuE-Kapazitäten bei kleinen und mittleren Unternehmen	64	24	39	35
Unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten	71	33	37	30
Unzureichende Vernetzung von Unternehmen und Forschung	29	7	15	13
Anzahl der Experten (die in dem jeweiligen Technologiebereich Hemmnisse sehen)	120	67	74	68

Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich

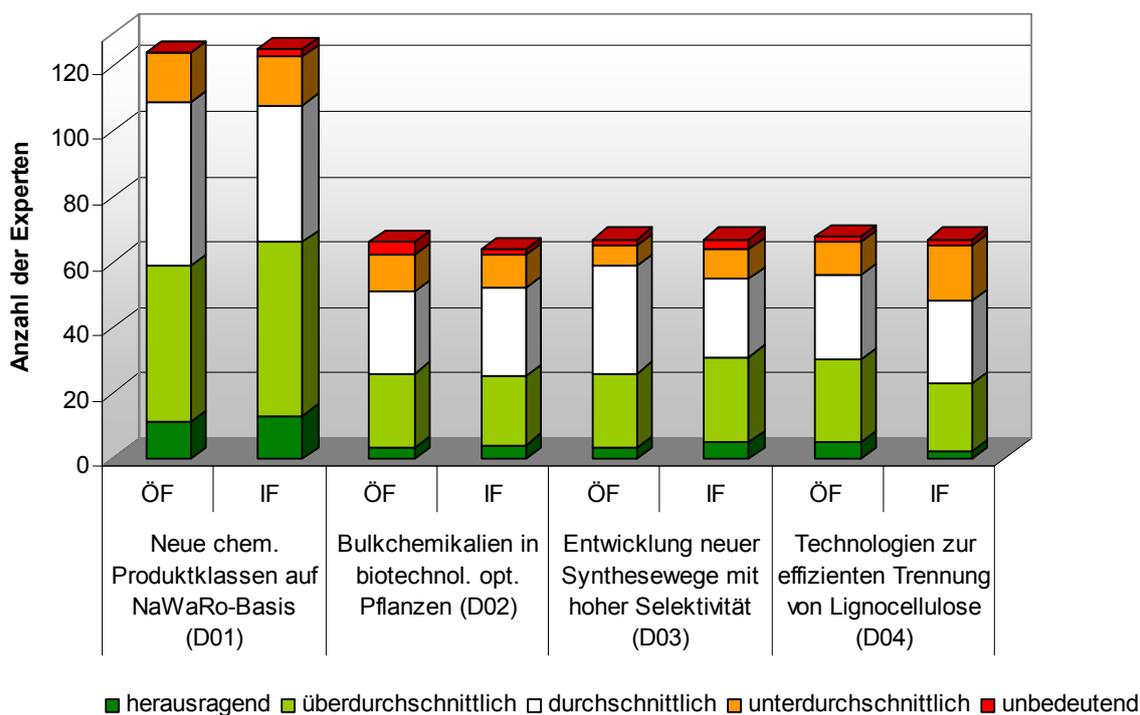


Abb. 57: Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Wie die Abb. 57 zeigt, wird die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich insgesamt eher positiv eingeschätzt. Die Anzahl der Experten, die Deutschland in einer „überdurchschnittlichen“ oder sogar „herausragenden“ Position (grün) sehen, ist weitaus größer als die Zahl derer, die Deutschland eine „unterdurchschnittliche“ oder sogar unbedeutende Rolle (orange, rot) zuweisen. Gut ein Drittel der Befragten nehmen bei der Beantwortung dieser Frage eine neutrale Haltung (weiß) ein. Die industrielle Forschung und das Unternehmens-Know-how (IF) werden bezüglich der Erschließung neuer Produktklassen auf NaWaRo-Basis (D1) und der Entwicklung neuer Synthesewege (D3) leicht positiver eingeschätzt als die öffentliche Forschung (ÖF). Bei der Herstellung von Bulkchemikalien in biotechnologisch optimierten Pflanzen (D2) werden öffentliche und industrielle Forschung als etwa gleichrangig bewertet. Im Hinblick auf die effiziente Trennung von Lignocellulose (D4) wird dagegen die öffentliche Forschung als geringfügig überlegen angesehen.

5.2.2 Ergebnisse des Expertenworkshops

Von den Teilnehmern des Workshops wurde zunächst die, durch die Projektkonzeption bedingte, strikte Trennung von stofflicher und energetischer Biomassenutzung kritisiert. Beide Nutzungsoptionen sollten als Einheit gesehen werden, da die gekop-

pelte Biomassenutzung wesentliche Synergiepotenziale biete und u.U. eine Übergangstechnologie zur Wasserstoffwirtschaft darstellen könnte. Deutschland habe bei den thermochemischen Konversionsverfahren (Choren, Bioliq) eine international führende Position erreicht. Beide setzen auf die Erzeugung von Synthesegas aus trockener Biomasse, das sowohl zur Herstellung synthetischer Kraftstoffen als auch zur Produktion chemischer Grundstoffen genutzt werden könne. Als aussichtsreich wurden diese Verfahren insbesondere deshalb angesehen, weil sie als Ausgangsstoff biogene Abfallstoffe (Waldrestholz, Getreidestroh, Heu, Baumschnitt) verwenden und daher nicht in Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion treten.

Um den Übergang von der Kraftstoffproduktion zur stofflichen Nutzung zu erleichtern, wurde das Konzept der integrierten Bioraffinerie favorisiert, in der die eingesetzte Biomasse mit Hilfe der komplementären Anwendung mechanischer, thermischer, chemischer und biotechnologischer Prozesse in vollem Umfang verwertet werden soll. Ziel sei es, die Syntheseleistung der Natur zu einem möglichst großen Teil zu nutzen, also die komplexen molekularen Strukturen der Pflanzen weitestgehend in Produkte zu konvertieren. Analog zur Bioethanolproduktion der 2. Generation sollte auch die Bioraffinerie in erster Linie organische Reststoffe (Holz, Stroh, Restholz) als Ausgangsmaterial einsetzen, um das Problem der Nahrungsmittelkonkurrenz zu umgehen. Dabei würden zunächst die Hauptkomponenten der Lignocellulose, also Cellulose, Hemicellulose und Lignin sowie ggf. enthaltene Zusatzstoffe wie Terpene aufgetrennt und extrahiert, die anschließend in verschiedene Verwertungskreisläufe eingespeist werden könnten. Ein wesentlicher Faktor für die Wirtschaftlichkeit der Lignocellulose-Raffinerie wurde in der Verwertung des anfallenden Lignins gesehen. Dies könne entweder in Kunstharzen als Ersatz von Phenolen Verwendung finden oder zu niedermolekularen Phenolen konvertiert werden. Zwar sei es bisher noch nicht gelungen, die Funktionsfähigkeit der integrierten Bioraffinerie unter Beweis zu stellen, dennoch sei das Konzept vielversprechend und sollte parallel zur Biomassevergasung weiterverfolgt werden. Als eine entscheidende Voraussetzung für die erfolgreiche stoffliche Nutzung von Lignocellulose wurde allerdings die Entwicklung bzw. Weiterentwicklung biotechnologischer und chemischer Konversionsverfahren mit hoher Selektivität betrachtet. Einschränkend wurde angemerkt, dass die ökonomische Realisierbarkeit des Konzepts von der Höhe des Ölpreises abhängt, und somit derzeit wieder in Frage gestellt sei.

Ein intrinsisches Problem der Biomassenutzung wurde in dem hohen Energiebedarf gesehen. Aus diesem Grund, müssten die thermodynamischen Kreisläufe insgesamt betrachtet und dafür Sorge getragen werden, alle Potenziale auszuschöpfen. Um die Bilanz zu verbessern, müssten z.B. die anfallenden Abfallströme aus der stofflichen Nutzung energetisch weiterverwendet werden, entweder thermisch zur Erzeugung von elektrischer Energie bzw. Prozessdampf oder zu Synthesegas umgewandelt werden (Kaskadennutzung). Insgesamt gaben die Teilnehmer des Workshops ein

einstimmiges Plädoyer für die Entwicklung eines ressortübergreifenden integrierten Gesamtkonzepts zur Förderung der stofflich / energetischen Biomassenutzung ab, in dem sich die einzelnen Technologien im Hinblick auf die Optimierung des Outputs sinnvoll ergänzen.

Eine solche holistische Sichtweise müsse auch Technikfolgen einbeziehen, das Lösungspotenzial von Effizienz und Suffizienz ausloten sowie die Frage nach der globalen Verfügbarkeit von Biomasse beantworten. Probleme wie die Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion, die Preissteigerung von Agrarprodukten, das Risiko der Abholzung wertvoller Regenwälder und des weltweiten Rückgangs der Biodiversität infolge von Monokulturen seien bisher in den Förderstrategien nur unzureichend berücksichtigt worden. Um eine rationale Bewertung zu ermöglichen, müsse eine Abschätzung erfolgen, welche Mengen an Biomasse zur Substitution aller erdölbasierten Produkte erforderlich wären und der damit verbundene Flächenbedarf in einem globalen Maßstab bilanziert werden. Dabei müssten sowohl Nutzungskonflikte auf regionaler, nationaler, europäischer und globaler Ebene adressiert, als auch bisher ungenutzte Potenziale der Biomasseproduktion (z.B. Sojaabfälle aus der Tierproduktion) aufgezeigt werden. In diesem Zusammenhang wurde darauf hingewiesen, dass 5 bis 10 Prozent der weltweiten Ackerfläche ausreichen würden, um den weltweiten Kunststoffbedarf zu decken, zur Substitution von Erdöl in der energetischen Nutzung aber die gesamte global verfügbare Ackerfläche nicht ausreichte. Notwendig sei daher letztlich eine politische Entscheidung darüber, ob künftig die energetische oder die stoffliche Nutzung Priorität haben solle.

Kritisiert wurde weiterhin, dass die Biomasseproduktion aus Algen ausgeklammert blieb, bzw. im Fragebogen nur unter dem Gesichtspunkt der CO₂-Verwertung (Klimaschutz /Luftreinhaltung) behandelt wurde, nicht aber unter dem Aspekt der Erschließung neuer Rohstoffquellen. Die Algenproduktion sei sowohl aus energetischer als auch aus stofflicher Sicht aussichtsreich, da Algen schneller wachsen und die Flächennutzungskonkurrenz zu anderen Agrarprodukten geringer sei. Auch sei eine Trennung von stofflicher und energetischer Nutzung nicht sinnvoll, da sich beide Technologien ergänzen und eng verzahnt sind. Außerdem sei die Wirtschaftlichkeit der Algenproduktion nur gegeben, wenn beide Pfade gleichzeitig verfolgt würden.

Neben der Empfehlung den Schwerpunkt weniger auf einzelne Technologien zu legen, sondern stattdessen eine ressortübergreifende Optimierung des Gesamtprozesses der Biomassenutzung anzustreben, wurde auch eine stärker produktbezogene Fokussierung als notwendig erachtet. Man müsse nicht nur prozess-, sondern auch produktseitig forschen, also der Frage nachgehen, welche Anwendungen für neue Werkstoffe in Betracht kämen. Für die Unternehmen sei es wichtig, Nischen für ihre Produkte zu finden und damit neue Märkte zu erschließen. Zur Herstellung von Bulkchemikalien aus biotechnologisch optimierten Pflanzen (D02) wurde angemerkt,

dass damit der zweite Schritt vor dem ersten getan werde. Angesichts der Neuartigkeit dieses Ansatzes sei es erfolgversprechender, zunächst an die Herstellung von Spezial- und Feinchemikalien zu denken, da kleine Produkte oftmals mit einer höheren Wertschöpfung verbunden seien und schnelleren Gewinn versprächen. Dem wurde entgegengehalten, dass es zumindest auf lange Sicht wichtiger wäre, sich um Massenprodukte zu kümmern, die ein hohes Substitutionspotenzial aufweisen und von großer Klimarelevanz seien.

Nicht nachvollziehbar erschien einigen Teilnehmern die vergleichsweise geringe Bedeutung, die dem Bereich „Demonstration und Marketing“ von den befragten Experten zugewiesen wurde. Im Workshop wurde daher mit Nachdruck darauf hingewiesen, dass die Verbreitung von Forschungsergebnissen und deren Umsetzung in die praktische Anwendung ebenso wichtig sei wie die Technologieentwicklung selbst. Neue Forschungsergebnisse würden oft in großen Unternehmen erarbeitet und seien kleinen und mittleren Unternehmen häufig nicht zugänglich. Hinzu komme eine gewisse Zurückhaltung bei der Investition in neue Technologien, weil solche Investitionsentscheidungen die Unternehmen über Jahre oder sogar Jahrzehnte bänden. Der Planungshorizont bei KMU betrage jedoch häufig nicht mehr als drei bis vier Monate. Wie das Beispiel der Membrantechnologie zeige, die in der Anwendung bei weitem noch nicht den wünschenswerten Umfang erreicht habe, lägen hier noch große Umsetzungspotenziale. Vor diesem Hintergrund wurde insbesondere mit Blick auf KMU ein Förderdefizit im Bereich „Demonstration und Marketing“ konstatiert.

Kritisiert wurde schließlich auch die Förderpolitik der EU. In den EU-Rahmenprogrammen sei das Gewicht bisher zu stark auf die Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologie gelegt worden, während die Rohstoffproblematik vernachlässigt werde.

5.3 Technologiegruppe 2: Materialforschung und neue Werkstoffe

Auswahl der Technologiebereiche

Ein erfolgreicher Weg zur Schonung begrenzter Rohstoffvorräte kann neben der Substitution nicht erneuerbarer Rohstoffe durch Biomasse auch der Ersatz knapper nicht erneuerbarer Rohstoffe durch andere sein, die zwar ebenfalls nicht regenerierbar sind, aber eine höhere Reichweite aufweisen (z.B. Substitution von Kupfer durch Aluminium in der Energieübertragung). Aufgrund der kritischen Situation, die in den letzten Jahren vor allem bei einigen strategischen Metallen eingetreten ist, die als Einsatzstoffe für bestimmte Schlüsseltechnologien auf absehbare Zeit als unverzichtbar gelten, wurden die Technologie (D06) in die Befragung einbezogen.

Eine weitere Strategie zur Verlängerung der Rohstoffreserven stellt die Verbesserung der Materialeffizienz dar, also die Verringerung des Materialinputs pro Produkteinheit. Technologische Ansatzpunkte dafür sind etwa die Miniaturisierung und die multifunktionale Ausgestaltung von Produkten, der Einsatz von Leichtbautechniken, vor allem im Bausektor, im Automobil- und Maschinenbau, sowie die Entwicklung neuer Werkstoffe, Herstellungs-, und Fügeverfahren. Wichtige Impulse für die Erhöhung der Materialeffizienz sind auch aus dem Bereich der Bionik zu erwarten (z.B. Oberflächenbehandlung, klebefreie Haftsyste, selbstheilende Membranen, „Smart Materials“). Aus der Fülle innovativer Technologien, die sich dieser Strategie zuordnen lassen, wurden die fünf folgenden für die Befragung ausgewählt:

D06	Technologien zur Substitution knapper Metalle durch Rohstoffe mit höherer Reichweite (z.B. Ersatz von Indium in transparenten leitfähigen Beschichtungen durch Fluor-dotiertes Zinn(IV)-Oxid)
D12	Optimierung von Werkstoffen für den Metalleichtbau (z.B. neue Aluminium- und Magnesiumlegierungen, Metallschäume, Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe)
D13	Entwicklung neuer materialeffizienter Werkstoffe in Anlehnung an die Konstruktions-, Verfahrens- und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme (Bionik)
D14	Dünnschichttechnologien zum Schutz von Oberflächen vor Abrieb, Korrosion und Verschmutzung
D15	Lastgesteuerte Bauteiloptimierung (z.B. Bamtec-Verfahren, Beeplate-System, Tailored Blanks)
D16	Rohstoffeffiziente Betonbauweisen (z.B. Sandwichbauweise, Schaumbeton, Glasfaserbewehrung im Betonbau)

5.3.1 Ergebnisse der Expertenbefragung

Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung der Rohstoffproblematik

Wie Abb. 58 zeigt, werden auch die in dieser Gruppe zusammengefassten Technologien von der Mehrheit der Befragten für „wichtig“ (orange) oder sogar für „äußerst wichtig“ (rot) gehalten. Der Anteil derjenigen, die ihnen „keine“ (weiß) oder nur „eingeschränkte“ Bedeutung (gelb) zumessen, ist bei allen Technologien vergleichsweise gering. Dies gilt im Prinzip auch für die lastgesteuerte Bauteiloptimierung (D15). Allerdings ist die Anzahl der Experten, die sich überhaupt zu der zukünftigen Bedeutung dieser Technologie geäußert haben (rd. 20 Experten), sehr viel geringer als der Anteil, der eine Bewertung nicht für möglich hält (schwarz, rd. 45 Experten).

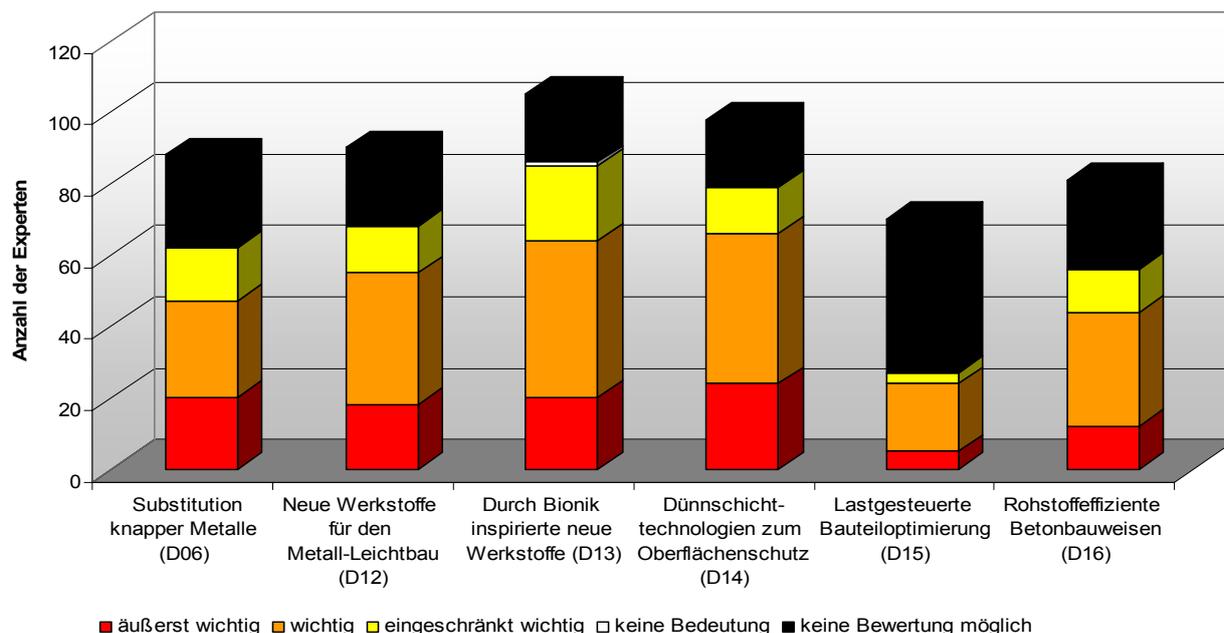


Abb. 58: Einschätzung der zukünftigen Bedeutung dieser Technologiebereiche zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Positive und negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche

Alle in diesem Cluster zusammengefassten Technologien dienen dem Ziel, den Einsatz von Rohstoffen effizienter zu gestalten, weisen ansonsten aber so unterschiedliche Eigenschaften auf, dass ihre Vor- und Nachteile jeweils separat diskutiert werden müssen.

Die Vorteile von *Technologien, die knappe Metalle durch Rohstoffe mit höherer Reichweite substituieren* (D06) werden vor allem in der Schonung seltener Metall-Ressourcen gesehen. Die in diesem Kontext entwickelten Technologien stellen nach Ansicht der Befragten zudem Schlüsseltechnologien dar, so dass das gewonnene Know-how auch für andere Gebiete sinnvoll einsetzbar wäre. Mögliche negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche sind bisher nicht bekannt. Andererseits ist davon auszugehen, dass jeder neue Werkstoff spezifische Gefahren für die Umwelt bergen kann. Bemängelt wurden die fehlenden Forschungskapazitäten an Universitäten sowie in auf diesem Gebiet spezialisierten Unternehmen.

Der wesentliche Vorzug neuer *Werkstoffe für den Metalleichtbau* (D12) wird in ihrem geringeren spezifischen Gewicht gesehen. Leichtbaumaterialien erlauben dadurch nicht nur eine Verringerung des Materialinputs, sondern – vor allem beim Einsatz im Fahrzeugbau – auch eine Verminderung der erforderlichen Antriebsleistung und tragen so zur Energieeinsparung und zum Klimaschutz bei. Als Nachteile insbesondere der Verbundwerkstoffe werden die höheren Herstellungskosten und die geringere

Recyclingfähigkeit angeführt. Ein weiteres Problem liegt nach Ansicht vieler Experten darin, dass bestimmte gar nicht mehr so neue Werkstoffe (z.B. Metallschäume) den Ingenieuren in der Praxis wenig geläufig sind und daher bisher keinen Marktdurchbruch verzeichnen konnten.

Den *durch Bionik inspirierten Werkstoffentwicklungen* (D13) werden neben einer höheren Material- und Energieeffizienz von den Befragten generell positive Auswirkungen auf alle anderen Umweltbereiche (Luft, Wasser, Boden, Klima, Biotopschutz) zugeschrieben. Auffallend ist jedoch, dass bei der Bewertung dieses Technologiebereichs zum Teil sehr konträre Standpunkte vertreten werden, die von „Man kann viel Geld damit verschwenden, also keine öffentliche Förderung (außer Grundlagenforschung)“ bis „Ich habe den Eindruck, als wenn erneut eine Zukunftstechnologie in Deutschland verschlafen wird“ reichen. Die Bionik-Befürworter bemängeln, dass es auf diesem Gebiet in Deutschland bisher zu wenig kompetente Arbeitsgruppen in Hochschulen und in der Industrie gebe.

Positive Effekte von *Dünnschichttechnologien* (D14) zur Oberflächenveredlung werden durch die Verlängerung der Lebensdauer von Produkten (Verminderung des Rohstoff- und Energieeinsatzes sowie des Abfallaufkommens) durch die Verringerung des Reinigungsmitelesinsatzes (Abwasserbehandlung, Gewässerschutz) und durch den Verzicht auf problematische Alternativverfahren erwartet. Als weiterer Vorzug wird die Entkopplung von Volumen- und Oberflächeneigenschaften angeführt, welche die Wahlfreiheit bezüglich der Volumenmaterialien vergrößert (Auswahl umweltverträglicher Volumenmaterialien wird erleichtert). Nachteile werden in der Gefahr einer Schadstoffverschleppung in die Umwelt am Ende des Produktlebenszyklus und im Umweltverhalten von Nanopartikeln gesehen.

Die *Lastgesteuerte Bauteiloptimierung* (D15), die es ermöglicht „maßgeschneiderte Werkstoffe“ herzustellen, wird wegen der damit verbundenen Rohstoff- und Energieeinsparung generell positiv eingeschätzt.

Die *Vorzüge Rohstoffeffizienter Betonbauweisen* (D16) werden insbesondere in der Schonung der mineralischen Rohstoffreserven und des Naturraums gesehen. Positiv werden weiterhin der geringere Energieverbrauch bei der Herstellung (Emissionsreduktion, Klimaschutz) und das im Vergleich zu traditionellen Stahlbetonbauten geringere Gewicht solcher Konstruktionen, das eine Verminderung der Bodenverdichtung verspricht, bewertet. Als größter Nachteil wird der höhere Recyclingaufwand betrachtet.

Forschungsbedarf / Förderbedarf

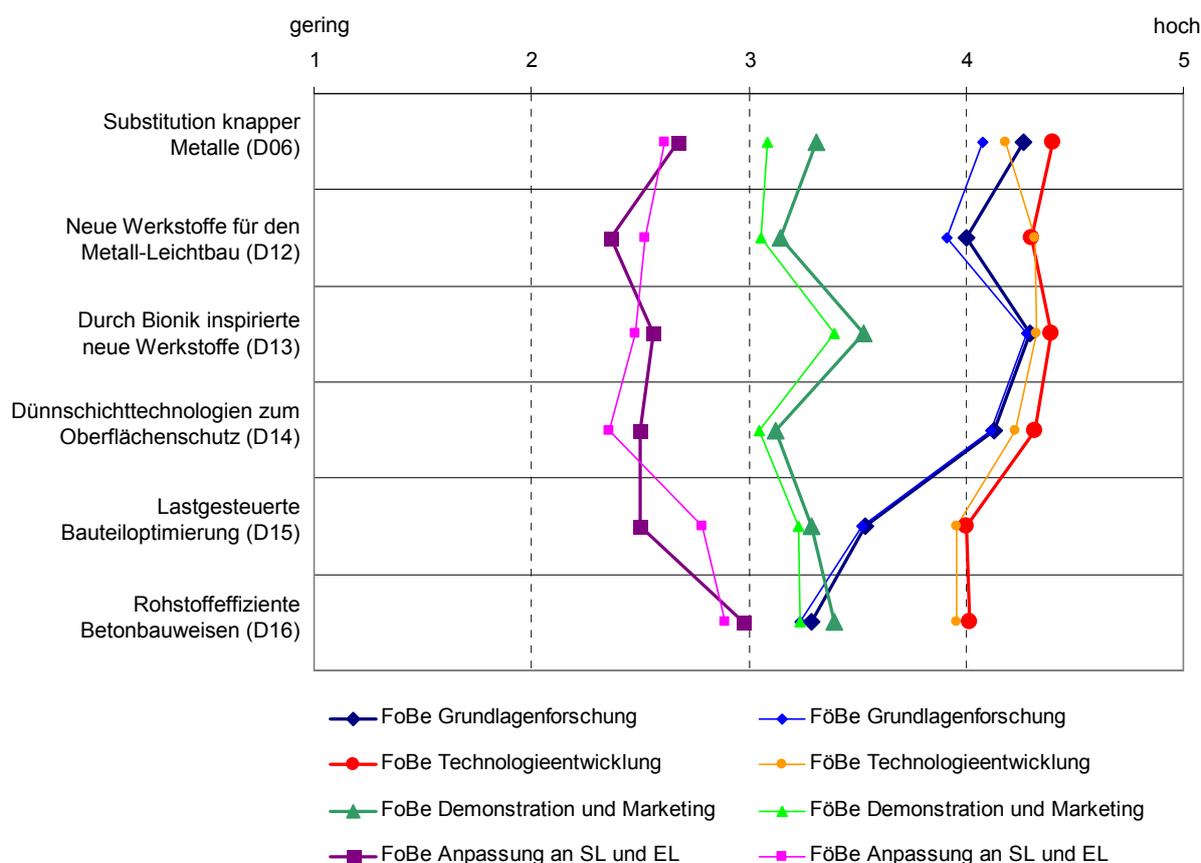


Abb. 59: Einschätzung des Forschungsbedarfs (FoBe) und des Bedarf an öffentliche Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Wie Abb. 59 zeigt, wird hoher Forschungsbedarf vor allem im Bereich der Technologieentwicklung (rote Kurve) gesehen. Bedarf an Grundlagenforschung (blaue Kurve) besteht noch auf dem Gebiet der Substitution knapper Metalle (D06), der Leichtbau-techniken (D12), der Bionik (D13) und der Dünnschichttechnologien (D14), während er bezüglich der Lastgesteuerten Bauteiloptimierung (D15) und insbesondere der Rohstoffeffizienten Betonbauweisen (D16) als deutlich geringer eingeschätzt wird. Der Forschungsbedarf für „Demonstration und Marketing“ (grüne Kurve) sowie zur „Anpassung an die Anforderungen von Schwellen- und Entwicklungsländern“ (violette Kurve) wird bei allen Technologiebereichen mit Ausnahme von D16 als wesentlich weniger vordringlich betrachtet. Der Prozentsatz der Experten, die keinen Forschungs- und Förderbedarf sehen (s. Tab. 26), ist bei allen Technologiebereichen bei Grundlagenforschung, Technologieentwicklung und Demo & Marketing relativ gering (unter 9%), mit Ausnahme von D15. Im Hinblick auf die „Forschung zur Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ liegt der Prozentsatz höher (zwischen 12,5% und 25,4%).

Auch hier besteht ähnlich wie in der Technologiegruppe 1 eine enge Korrelation zwischen Forschungs- und Förderbedarf. In der Regel wird der Förderbedarf etwas geringer eingeschätzt als der Forschungsbedarf. Eine Ausnahme von dieser Regel stellt die Anpassung an die Anforderung der Schwellen- und Entwicklungsländer dar: hier wird mit Blick auf neue Werkstoffe für den Metalleichtbau (D12) und die lastgesteuerte Bauteiloptimierung (D15) höherer Förderbedarf als Forschungsbedarf gesehen.

Tab. 26: Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten)

		D06	D12	D13	D14	D15	D16
Förderbedarf	Grundlagenfor.	0% (0/52)	1,7% (1/59)	1,3% (1/76)	1,4% (1/70)	7,4% (2/27)	0% (0/47)
	Technologieentw.	0% (0/54)	1,7% (1/58)	2,6% (2/76)	0% (0/71)	7,4% (2/27)	0% (0/48)
	Demo u. Marketing	8,2% (4/49)	7,3% (4/55)	7,4% (5/68)	5,9% (4/68)	15,4% (4/26)	4,1% (2/49)
	Anpassung SL/EL	18% (9/50)	20,8% (11/53)	21,7% (15/69)	25,4% (17/67)	20,8% (5/24)	21,7% (10/46)
Forschungsbedarf	Grundlagenfor.	0% (0/53)	0% (0/57)	1,3% (1/76)	1,4% (1/69)	3,7% (1/27)	0% (0/48)
	Technologieentw.	0% (0/53)	0% (0/60)	1,3% (1/77)	1,4% (1/70)	3,7% (1/27)	0% (0/50)
	Demo u. Marketing	6,3% (3/48)	1,8% (1/55)	2,9% (2/70)	3,1% (2/65)	4% (1/25)	0% (0/48)
	Anpassung SL/EL	14,9% (7/47)	12,5% (7/56)	18,6% (13/70)	21,2% (14/66)	15,4% (4/26)	15,2% (7/46)

Marktpotenziale

Wie Abb. 60 zeigt, wird das Marktpotenzial dieser Technologien vornehmlich in den Industrieländern gesehen. Die Marktpotenziale in den Schwellenländern, und noch deutlicher in den Entwicklungsländern, werden als wesentlich geringer eingeschätzt. Eine gewisse Ausnahme bilden die Rohstoffeffizienten Betonbauweisen (D16), denen in Schwellen- und Entwicklungsländern etwas bessere Vermarktungschancen als den anderen Technologien eingeräumt werden.

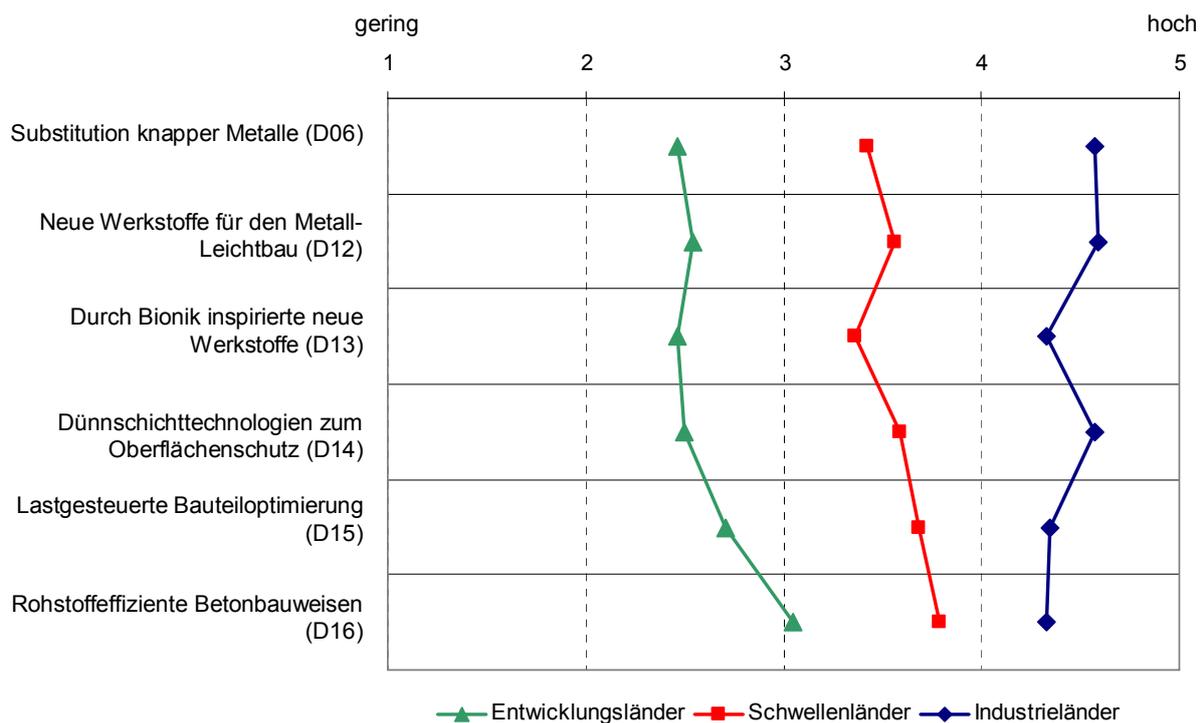


Abb. 60: Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Hemmnisse

Analog zur Technologiegruppe 1 werden auch hier die „bisher ungelösten technischen Probleme“ als das größte Hemmnis betrachtet, das einem erfolgreichen Einsatz dieser Technologien am Standort Deutschland entgegensteht (s. Tab. 27). An zweiter und dritter Stelle werden, wiederum ähnlich wie in Technologiegruppe 1, „fehlende FuE-Kapazitäten bei kleineren und mittleren Unternehmen“ sowie „unzureichende oder zu unsichere Erfolgsaussichten für die Unternehmen“ genannt. Im Gegensatz zur Technologiegruppe 1 wird der „unzureichende Vernetzung der auf diesem Gebiet tätigen Forschungseinrichtungen und Unternehmen“, insbesondere mit Blick auf die Lastgesteuerte Bauteiloptimierung (D15) und Rohstoffeffiziente Betonbauweisen (D16), größere Bedeutung zugemessen.

Tab. 27: Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder: = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)

	Substitution knapper Metalle (D06)	Neue Werkstoffe für den Metall-Leichtbau (D12)	Durch Bionik inspirierte neue Werkstoffe (D13)	Dünnschichttechnologien zum Oberflächenschutz (D14)	Lastgesteuerte Bauteiloptimierung (D15)	Rohstoffeffiziente Betonbauweisen (D16)
Kontraproduktive politische Regulierungen	2	0	5	0	0	7
Fehlende gesellschaftliche Akzeptanz	2	3	8	5	0	6
Bisher ungelöste technische Probleme	34	39	54	47	15	23
Fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU	26	33	39	42	15	24
Unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten	16	21	35	25	8	19
Unzureichende Vernetzung von Unternehmen und Forschung	8	12	18	12	6	14
Anzahl der Experten (die in dem jeweiligen Technologiebereich Hemmnisse sehen)	45	52	64	60	21	40

Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich

Die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich wird auch hier als relativ gut eingeschätzt (s. Abb. 61). Die Anzahl der Experten, die Deutschland in einer „überdurchschnittlichen“ (grün) oder sogar „herausragenden“ Position (dunkelgrün) sehen, ist fast überall deutlich größer als die Zahl derer, die Deutschland eine „unterdurchschnittliche“ oder sogar „unbedeutende“ Rolle (orange, rot) zuweisen. Knapp ein Drittel der Befragten bezieht in dieser Frage eine neutrale Position (weiß). Die industrielle Forschung und das Unternehmens-Know-how (IF) werden bei allen Technologiebereichen mit Ausnahme der bionisch inspirierten Werkstoffe (D13) geringfügig positiver eingeschätzt als die öffentliche Forschung (ÖF).

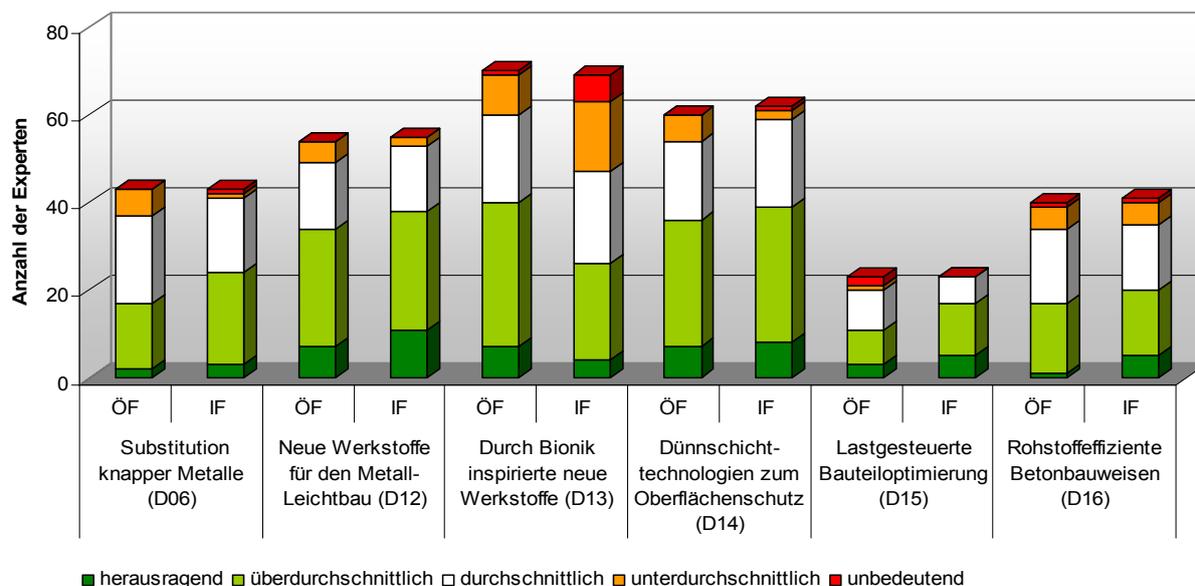


Abb. 61: Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben)

Auf dem Gebiet der Bionik wird dagegen die öffentliche Forschung als deutlich überlegen angesehen. Dieses Ergebnis ist insofern plausibel, als die wissenschaftliche Bionikforschung bisher vorwiegend auf den universitären Bereich konzentriert ist. Demgegenüber zeigen die Unternehmen eher Zurückhaltung in umfassende Projekte zu investieren, insbesondere wegen der vergleichsweise langen Entwicklungszeit bionischer Produkte bis zur Marktreife (vgl. Schippl et al. 2008, 257f.).

5.3.2 Ergebnisse des Expertenworkshops

Den meisten in dieser Gruppe zusammengefassten Technologien wurde von den Workshop-Teilnehmern hohe Relevanz bescheinigt, sowohl im Hinblick auf die Lösung der Rohstoffproblematik als auch im Hinblick auf die Erschließung neuer Märkte. Der Workshop bestätigte somit im Wesentlichen die Ergebnisse der Umfrage.

Die Substitution von strategischen Metallen sowie von anderen kritischen oder knappen Legierungselementen durch Rohstoffe mit höherer Reichweite (D06) wurde als ein sehr aussichtsreiches Thema für die Zukunft betrachtet. Die Substitution von Nickel in Edelstahl, an der zurzeit gearbeitet werde, sei ein Beispiel für diese Entwicklung, die jedoch erst am Anfang stehe.

Mit Blick auf Leichtbautechnologien (D12) wurde kritisiert, dass der Fragebogen zu stark auf den Metall-Leichtbau fokussiert sei. Es wurde angeregt, diesen Technologiebereich auf alle Kompositmaterialien mit geringer Masse auszudehnen. Deutschland sei im Bereich der Werkstoffentwicklung für den Leichtbau an der Weltspitze und auch Pionier auf dem Gebiet der Lastgesteuerten Bauteiloptimierung (D15). So

seien z.B. „Tailored Blanks“ im Automobilbau zuerst von der Firma Thyssen Krupp eingeführt worden. Derzeit seien Stahl-Aluminium-Hybrid-Blanks in der Entwicklung. Unter dem Aspekt der Rohstoffeinsparung durch Leichtbaumaterialien wurde einschränkend angemerkt, dass die Massereduktion häufig durch höhere Umsätze überkompensiert werde (Rebound-Effekt).

Auch die Funktionalisierung von Oberflächen (D14) (Dünnschichttechnologien im Metallbereich, Beschichtungen, Farben, Lacke, Fungizide, Selbstreinigung etc.) wurde generell als ein zukunftssträchtiger Technologiebereich mit hohem Entwicklungspotenzial eingeschätzt, bei der Deutschland im internationalen Vergleich gut aufgestellt sei. Beschichtungen aller Art ermöglichen eine Entkopplung der Oberflächeneigenschaften vom Material. Sie dienen der Lebensdauererlängerung der behandelten Produkte und damit sowohl der Werterhaltung als auch der Rohstoffeinsparung. Hervorgehoben wurde, dass allein durch Korrosion jährlich 5% des BIP verloren gingen, Oberflächenbehandlungen somit auch von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung seien. Zudem biete dieser Innovationsbereich kleinen und mittleren Unternehmen eine Chance, Nischen zu definieren und zu besetzen.

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Umfrage wurde im Hinblick auf das Forschungsfeld der Bionik (D13) moniert, dass es in Deutschland bisher nur wenige Arbeitsgruppen und zu wenig Nachwuchswissenschaftler gebe. Es sei zwar momentan vergleichsweise einfach, Forschungsgelder zu akquirieren, bionische Forschung sei jedoch mit einem hohen Erfolgsrisiko verbunden, da nur ca. 10 bis 20% der Forschungsergebnisse auch tatsächlich in die Anwendung gelangten. Vor diesem Hintergrund wurde es als notwendig angesehen, sowohl die Basis für die Forschungsleistung (Anzahl der auf diesem Gebiet tätigen Wissenschaftler) zu verbreitern als auch neue Studiengänge einzurichten.

Im Unterschied zu den anderen Technologien in dieser Gruppe wurde dem Bereich der Rohstoffeffizienten Betonbauweisen (D16) ein deutlich geringeres Innovationspotenzial zugeschrieben. Ein Grund wurde darin gesehen, dass Unternehmen auf dem Gebiet des Betonbaus typischerweise eher klein seien und nur über geringe FuE-Kapazitäten verfügten. Da die Marktsituation des Bausektors in den letzten Jahren relativ positiv gewesen sei, gebe es aus wirtschaftlicher Sicht auch keinen Grund, nach neuen Lösungen zu suchen. Insgesamt sei der Baubereich eher handwerklich orientiert, traditionell und wenig an visionärer Forschung interessiert. Es seien von daher keine Technologiesprünge zu erwarten. Hinzu komme, dass ein Problembewusstsein für die Umweltbelastung durch Baustoffe in der Bevölkerung bisher kaum vorhanden sei. Es gehe daher zunächst darum, die Sensibilität der Gesellschaft für den Rohstoff- und Energieverbrauch des Bauens, die dadurch verursachten Umweltfolgen und die Wirtschaftlichkeit neuer Bauformen und Bauprodukte zu erhöhen.

In Anbetracht der Langlebigkeit von Bauwerken und einer zurückgehenden Bevölkerungszahl in Deutschland sei davon auszugehen, dass heute bereits 80% der Bauten vorhanden sind, die im Jahr 2050 benötigt werden. Vor diesem Hintergrund sei in den kommenden Jahren mit einer rückläufigen Neubautätigkeit zu rechnen. Gefragt seien in erster Linie Modernisierungslösungen sowie Konzepte zur Anpassung der bestehenden Bausubstanz an sich wandelnde Nutzerbedürfnisse. Im Gegensatz zu Deutschland gebe es vor allem in Schwellenländern mit stark wachsender Bevölkerung und hohem Zuwanderungsdruck auf die Städte (Indien, China, Südamerika) einen großen Bedarf an Neubauten. Eine Trendwende zu rohstoffeffizienten Bauweisen sei jedoch auch in den Schwellenländern kaum zu erwarten, da das Problembewusstsein der Bevölkerung noch schwächer ausgeprägt sei als in den Industrieländern, die Lebensdauer eines Gebäudes bei der Erstellung keine Rolle spiele und mit sehr kurzen Amortisationszeiträumen gerechnet werde. Der Markt für Bauprodukte sei zudem eher lokal orientiert und biete ausländischen Anbietern nur geringe Absatzchancen.

5.4 Technologiegruppe 3: Ressourcenschonende und abfallarme Produktionsverfahren

Auswahl der Technologiebereiche

In dieser Technologiegruppe sind Technologien zusammengefasst, die auf eine Optimierung von Herstellungsprozessen unter dem Aspekt der Ressourcenschonung abzielen. Innovationen können in unterschiedlichen Phasen des Produktionsprozesses ansetzen (z.B. Urformen, Umformen, Trennen, Trocknen, Entfetten, Oberflächenveredelung) oder sich auf den gesamten Produktionsprozess beziehen. Die folgenden sechs Technologiebereiche wurden als besonders relevant angesehen und daher in die Befragung aufgenommen.

D05	Optimierung des Einsatzes von Mikroorganismen und deren Enzymen in der industriellen Verfahrenstechnik „BioIndustry“ (z.B. Leder-, Textil- und Papierindustrie)
D07	Einsatz neuer Löse- und Prozesshilfsmittel „Green Solvents“ in industriellen Prozessen (z.B. ionische Flüssigkeiten oder überkritische Fluide)
D08	Optimierung der Verfahren zur Metallgewinnung aus Erzen mit geringem Metallgehalt (z.B. mit Hilfe der mikrobiellen Erzlaugung)
D09	Technologien zur endkonturnahen Fertigung (Near-Net-Shape), z.B. Thixoforming, Pressgießen von ADI-Werkstoffen, Einsatz nano- und feinstdispenser Pulver zur Keramikherstellung
D10	Mess-, Steuer-, und Regelungstechniken (MSR) zur Optimierung von rohstoffintensiven Produktionsprozessen
D11	Dienstleistungen zur Optimierung von Produktionsprozessen unter dem Aspekt der Rohstoffeffizienz (z.B. PIUS-Check, betriebliche Ökobilanz, Materialflussanalyse)

5.4.1 Ergebnisse der Expertenurfrage

Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung der Rohstoffproblematik

Wie Abb. 62 zeigt, wird auch den Technologien im Bereich „Ressourcenschonende und abfallarme Produktionsverfahren“ von den Experten hohe Relevanz zugeschrieben. Abgesehen von den Technologien zur endkonturnahen Fertigung hält die Mehrzahl der Befragten die ausgewählten Technologien für „wichtig“ (orange) oder sogar für „äußerst wichtig“ (rot). Bei den Technologien zur endkonturnahen Fertigung ist allerdings auch der Anteil der Befragten, die eine „Bewertung nicht für möglich“ halten am höchsten (schwarz). Die Anzahl derjenigen, die den einzelnen Technologiebereichen nur „eingeschränkte“ Bedeutung (gelb) zumessen, ist für die meisten relativ gering. Noch geringer ist der Anteil der den ausgewählten Technologien „keine Bedeutung“ (weiß) zuschreibt (zwischen 3 und 5 %).

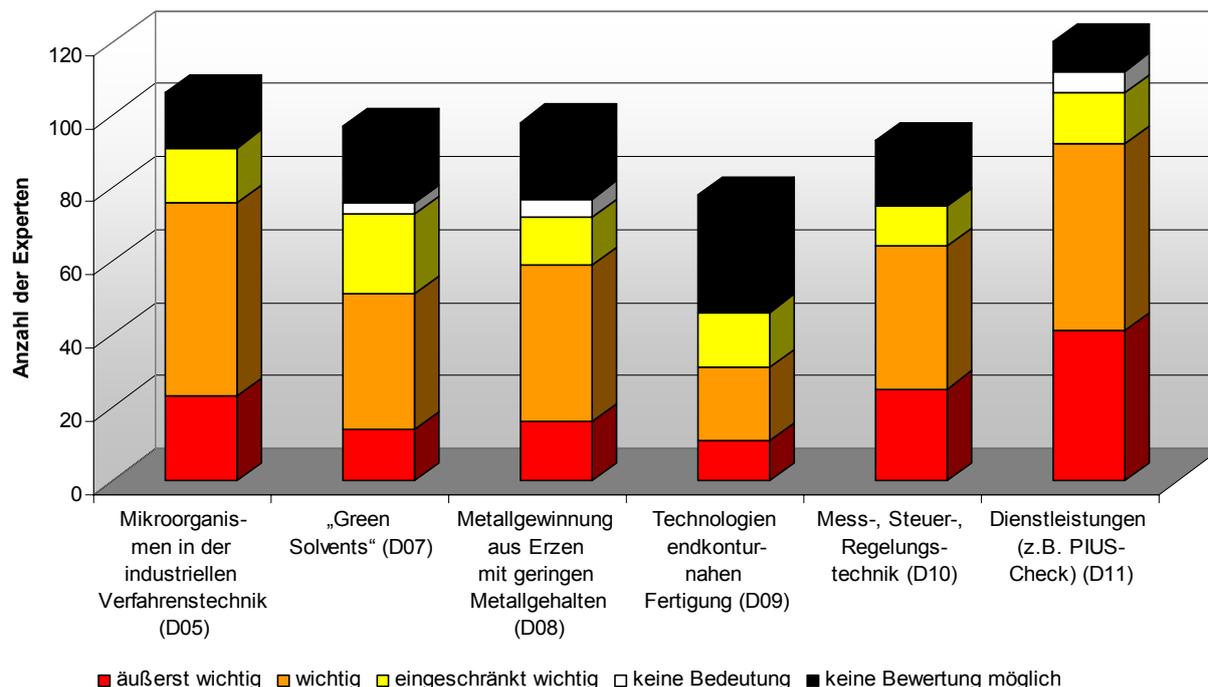


Abb. 62: Einschätzung der zukünftigen Bedeutung dieser Technologiebereiche zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Positive und negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche

Die in der Technologiegruppe „Ressourcenschonende und abfallarme Produktionsprozesse“ zusammengefassten Technologien sind wiederum so heterogen, dass ihre Vor- und Nachteile jeweils separat diskutiert werden müssen.

Die wesentlichen Vorzüge der „*Bioindustry*“ (D05) werden in der Umweltfreundlichkeit biotechnologischer Verfahren gesehen. Sie erlauben den Verzicht auf Schwermetallkatalysatoren oder aggressive Lösungsmittel und vermeiden auf diese Weise den Anfall belasteter Abwässer und Abfälle. Sie zeichnen sich zudem durch höhere Selektivität, geringeren Rohstoffverbrauch, höhere Energieeffizienz und verminderte Schadstoffemissionen aus. All dies trägt zu einer Entlastung der Umweltmedien bei. Als Nachteil wird das Risiko einer Freisetzung der verwendeten Organismen in der Natur betrachtet.

Auch von dem Einsatz neuer Löse- und Prozesshilfsmittel „*Green Solvents*“ (D07) werden zahlreiche positive Effekte auf andere Umweltbereiche erwartet. Sie erlauben häufig eine vereinfachte Stofftrennung und reduzieren so das Abfallaufkommen, insbesondere von Sondermüll. Als Ersatz für herkömmliche umweltschädliche Lösemittel (VOC) tragen sie zur Entlastung von Böden und Gewässern und zur Luftreinhaltung bei. Negative Auswirkungen könnten durch die Toxizität mancher ionischen

Flüssigkeiten (vor allem auf dem Wasserpfad) und deren Persistenz in der Umwelt ausgelöst werden. Zur Klärung der Umweltvorteile von „Green Solvents“ werden daher ganzheitliche Betrachtungen gefordert.

Positive Wirkungen auf andere Umweltbereiche durch *Verfahren der Metallgewinnung aus Erzen mit geringem Metallgehalt* (D08) werden insbesondere von der mikrobiellen Erzlaugung erwartet. Mit Hilfe dieses Verfahrens können die Rückstände chemischer Aufbereitungsverfahren vermieden, die Freisetzung wassergefährdender Stoffe verringert und der Energieverbrauch reduziert werden. Als problematisch wird allerdings der Einsatz gentechnisch veränderter Mikroorganismen eingeschätzt. Positive Effekte bei der Ausbeutung alter Bergbauhalden werden in der Schonung der Primärrohstoffvorräte, dem geringeren Landverbrauch und der Vermeidung weiterer Eingriffe in Natur und Landschaft gesehen. Generell bemängelt wird die geringe FuE-Kapazität Deutschlands in diesem Technologiebereich und daher eine Bündelung der europäischen Expertise empfohlen.

Als Vorzüge der *Endkonturnahen Fertigung* (D09) werden die Verringerung des Energie- und Materialeinsatzes, das geringere Abfallaufkommen und die Einsparung von Verfahrensschritten angeführt.

Dem *Einsatz der Mess-, Steuer-, Regelungstechnik zur Optimierung rohstoffintensiver Produktionsprozesse* (D10) werden zahlreiche positive Effekte auf andere Umweltbereiche zugeschrieben. Neben größerer Anlagensicherheit gewährleistet der Einsatz von MSR eine kontinuierliche Prozessüberwachung, durch die der Rohstoff- und Energieinput sowie die Reststoffbehandlung optimiert werden können. Dies führt zu einer Reduktion der Abgas-, Abwasser- und Abfallströme und trägt so zur Entlastung von Luft, Wasser und Boden bei. Die Einbeziehung weiterer Parameter, z.B. eines Energiemanagements, eröffnet darüber hinaus die Möglichkeit der Stabilisierung von Stromnetzen und der Nutzung von „Stromüberschüssen“. Als notwendig, insbesondere mit Blick auf die chemische Industrie, wird eine Weiterentwicklung in Richtung „intelligenter Systeme“ angesehen. Nachteile werden in der hohen Materialintensität von MSR-Technologien und in der Erforderlichkeit umfassender Prozesskenntnisse gesehen.

Ähnlich positive Auswirkungen auf alle Umweltbereiche werden von dem *Einsatz von Dienstleistungen zur Optimierung von Produktionsprozessen* (D11), wie z.B. PIUS-Check, betriebliche Ökobilanzen, Materialflussanalysen etc. erwartet. Durch die Sicherstellung höherer Transparenz sowie umfassender Kontroll- und Regelfunktionen leisten diese Instrumente einen erheblichen Beitrag zur Rohstoff- und Energieeinsparung sowie zur Emissionsminderung, insbesondere auf dem Luft- und Wasserpfad. Global gesehen ergibt sich dadurch eine bessere Ökobilanz. Bemängelt wird, dass es bisher zu wenig Dienstleistungsunternehmen in diesem Bereich und zu wenig einfache, kostengünstige Bewertungsinstrumente gebe. Während große Unterneh-

men häufig über eigene Abteilungen verfügten, seien bei kleineren und mittleren Unternehmen nicht selten mangelnde Investitionsbereitschaft, fehlende Sachkenntnis und geringe Akzeptanz anzutreffen.

Forschungsbedarf/ Förderbedarf

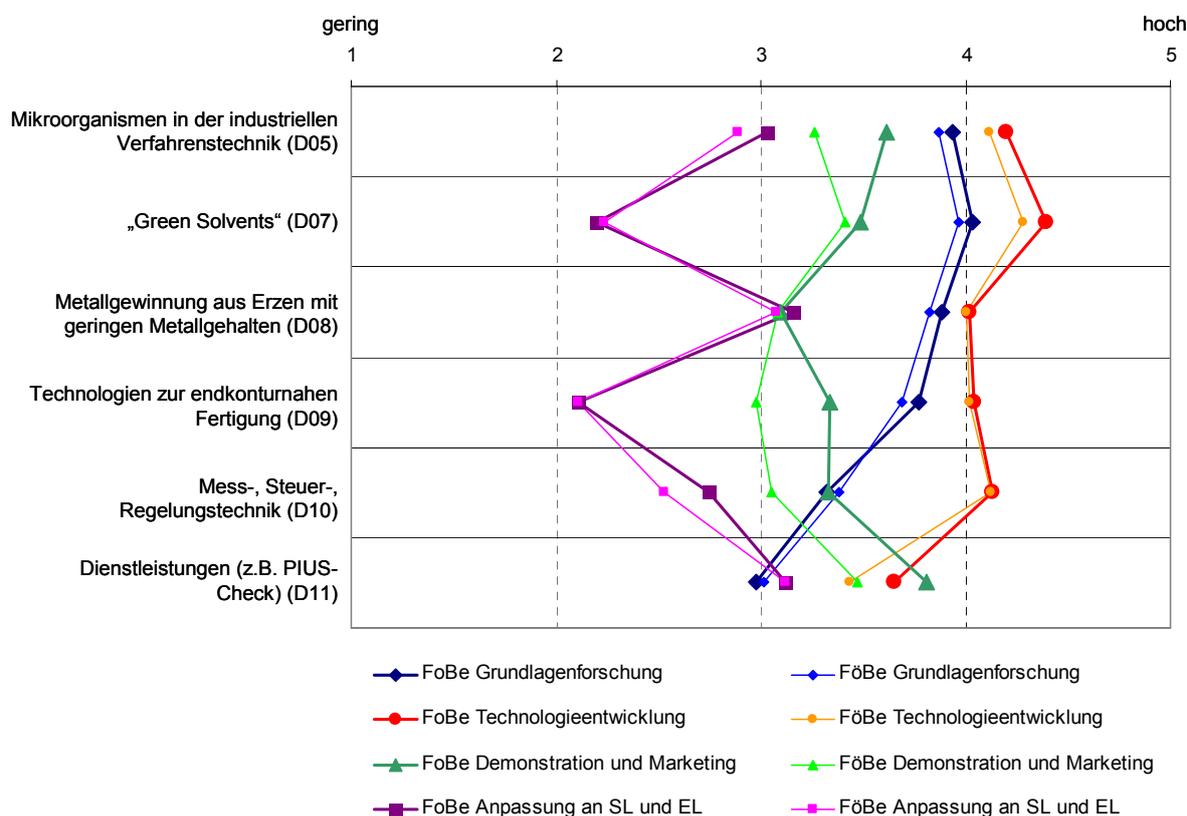


Abb. 63: Einschätzung des Forschungsbedarfs (FoBe) und des Bedarf an öffentliche Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt)

Abb. 63 zeigt, dass bei den meisten Technologien hoher Forschungsbedarf vor allem im Bereich der Technologieentwicklung (rote Kurve) und der Grundlagenforschung (blaue Kurve) gesehen wird. Der Forschungsbedarf für „Demonstration und Marketing“ (grüne Kurve) folgt relativ eng im mittleren Bereich, während der Forschungsbedarf zur „Anpassung“ der Technologien (violette Kurve) als deutlich geringer eingeschätzt wird. Relativ hohe Bedeutung wird dem Forschungsbedarf zur „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ lediglich auf dem Gebiet der Metallgewinnung (D08) und der Dienstleistungen (D11) eingeräumt. Im Dienstleistungssektor (D11) wird der höchste Forschungsbedarf im Bereich „Demonstration und Marketing“ gesehen und der geringste im Bereich der Grundlagenforschung. Bei MSR-Technologien (D10) liegt zwar der höchste Forschungsbedarf

auf dem Gebiet der Technologieentwicklung, „Demonstration und Marketing“ spielen aber eine ebenso wichtige Rolle wie Grundlagenforschung.

Wie in den beiden ersten Technologiegruppen besteht auch hier eine enge Korrelation zwischen Forschungsbedarf (FoBe) und Bedarf an öffentlicher Förderung (FöBe). Nur im Bereich von „Demonstration und Marketing“ zeigt sich bei den meisten Technologien ein deutlich abweichender Kurvenverlauf mit einem geringeren Bedarf an öffentlicher Förderung.

Tab. 28: Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten)

		D05	D07	D08	D09	D10	D11
Förderbedarf	Grundlagenfor.	1,3% (1/76)	0% (0/64)	6,5% (4/62)	8,9% (4/45)	8,7% (6/69)	20% (20/100)
	Technologieentw.	1,3% (1/80)	0% (0/64)	6,3% (4/64)	2,2% (1/46)	4,3% (3/69)	8,9% (9/101)
	Demo u. Marketing	5,3% (4/76)	4,9% (3/61)	12,3% (7/57)	4,8% (2/42)	7,7% (5/65)	7,1% (7/98)
	Anpassung SL/EL	7,9% (6/76)	6,8% (4/59)	10% (6/60)	11,9% (5/42)	13,6% (9/66)	18,2% (18/99)
Forschungsbedarf	Grundlagenfor.	0% (0/79)	0% (0/63)	6,3% (4/63)	2,2% (1/45)	1,4% (1/69)	14,9% (15/101)
	Technologieentw.	0% (0/80)	0% (0/64)	6,3% (4/64)	0% (0/46)	1,5% (1/68)	9,9% (10/101)
	Demo u. Marketing	5,3% (4/76)	0% (0/60)	8,8% (5/57)	4,9% (2/41)	3% (2/66)	7% (7/100)
	Anpassung SL/EL	6,5% (6/77)	8,3% (5/60)	8,2% (5/61)	9,8% (4/41)	10,6% (7/66)	16% (16/100)

Hinsichtlich der Experten, die gar keinen Forschungs- und Förderbedarf sehen (s. Tab. 28), ergibt sich ein relativ analoges Bild: Im Bereich der Technologieentwicklung als der am wichtigsten eingeschätzten Forschungs- und Förderkategorien ist die Anzahl derjenigen, die keinen Forschungs- und Förderbedarf sehen bei allen Technologien vergleichsweise gering (unter 10%). Im Hinblick auf die Grundlagenforschung ist der Anteil der Experten, die keinen Forschungs- und Förderbedarf sehen, im Bereich der Dienstleistungen (D11) mit 20% am höchsten. Kein Forschungs- und Förderbedarf mit Bezug auf die „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ wird am ehesten auf dem Gebiet der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (D10) und der Dienstleistungen (D11) gesehen. Der Anteil von Exper-

ten, die keinen Forschungsbedarf im Bereich „Demonstration und Marketing“ sehen, ist im Bereich der Metallgewinnung (D08) am höchsten (12,3%).

Marktpotenziale

Wie auch in anderen Technologiegruppen zeigt sich, dass die Marktpotenziale der ausgewählten Technologien vornehmlich in den Industrieländern (s. Abb. 64, blaue Kurve) gesehen werden. Die Einschätzung des Marktpotenzials in Schwellenländern (rote Kurve) liegt über dem Durchschnitt, während das Marktpotenzial in den Entwicklungsländern als eher unterdurchschnittlich eingeschätzt wird. Eine Ausnahme stellt die Metallgewinnung (D08) dar. Hier liegen die Marktpotenziale der Industrie- und Schwellenländer eng beieinander und auch das Marktpotenzial in den Entwicklungsländern wird als überdurchschnittlich hoch angesehen.

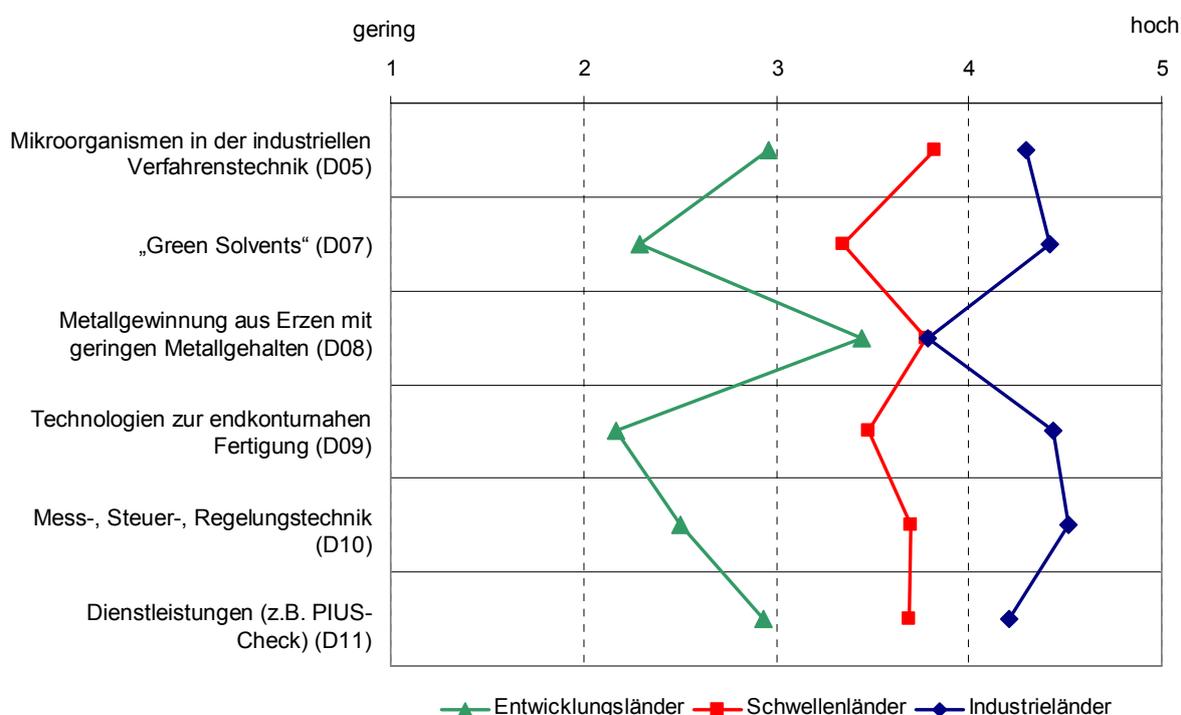


Abb. 64: Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Hemmnisse

Die Häufigkeit der Nennungen wesentlicher Hemmnisse, die einem erfolgreichen Einsatz der ausgewählten Technologien am Standort Deutschland entgegenstehen, ergibt ein etwas heterogeneres Bild als in den anderen Technologiegruppen (s. Tab. 29). Allerdings werden auch hier die „ungelösten technischen Probleme“ als ein bedeutendes Hemmnis angesehen. Ebenso wird „fehlenden FuE-Kapazitäten bei klei-

neren und mittleren Unternehmen“ und „unzureichenden Erfolgsaussichten für die Unternehmen“ eine wichtige Rolle zugesprochen.

Tab. 29: Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)

	Mikroorganismen in der industriellen Verfahrenstechnik (D05)	„Green Solvents“ (D07)	Metallgewinnung aus Erzen mit geringen Metallgehalten (D08)	Technologien endkonturnahe Fertigung (D09)	Mess-, Steuer-, Regelungstechnik (D10)	Dienstleistungen (z.B. PIUS-Check) (D11)
Kontraproduktive politische Regelungen	11	3	5	0	2	18
Fehlende gesellschaftliche Akzeptanz	12	3	7	0	4	19
Bisher ungelöste technische Probleme	51	47	35	24	32	20
Fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU	39	30	22	24	41	49
Unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten	30	25	27	17	22	42
Unzureichende Vernetzung von Unternehmen und Forschung	19	15	12	13	23	27
Anzahl der Experten (die in dem jeweiligen Technologiebereich Hemmnisse sehen)	68	61	53	41	56	80

Häufiger als in anderen Technologiegruppen wird jedoch die „unzureichende Vernetzung der auf einem Gebiet tätigen Unternehmen und Forschungseinrichtungen“ als eine durchaus ernst zu nehmende Behinderung eingeschätzt. Eine Ausnahme bildet wiederum der Dienstleistungssektor (D11). Hier werden die „unzureichenden Erfolgsaussichten der Unternehmen“ als größtes Hemmnis genannt, gefolgt von „unzureichender Vernetzung“ und gleichrangig an dritter Stelle „kontraproduktiven politischen Regulierungen“, „fehlender gesellschaftlicher Akzeptanz“ und „bisher ungelösten technischen Problemen“.

Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich

Auch in dieser Technologiegruppe wird die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich relativ positiv beurteilt (s. Abb. 65). Bei allen Technologiebereichen mit Ausnahme der Metallgewinnung (D08) ist der Anteil der Experten, die Deutschland in

einer „überdurchschnittlichen“ oder sogar „herausragenden“ Stellung (grün) sehen, größer als der Anteil derer, die Deutschland eine „unterdurchschnittliche“ oder sogar „unbedeutende“ Rolle (orange, rot) zuweisen. Bei der Metallgewinnung (D08) ist allerdings die Zahl derjenigen, die Deutschlands Stellung für „unterdurchschnittlich“ oder „unbedeutend“ halten, deutlich größer als die Zahl deren, die Deutschland in einer führenden Rolle zuweisen. Hier ist auch der Anteil der Befragten, die zu dieser Frage eine neutrale Position (weiß) bezogen haben, am höchsten.

Die industrielle Forschung und das Unternehmens-Know-how (IF) einerseits und die öffentlichen Forschung (ÖF) andererseits werden bei den meisten Technologien als ziemlich gleichrangig eingeschätzt. Nur bei der Metallgewinnung aus Erzen (D08) und der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (D10) werden die industrielle Forschung und das Unternehmens-Know-how als geringfügig überlegen angesehen.

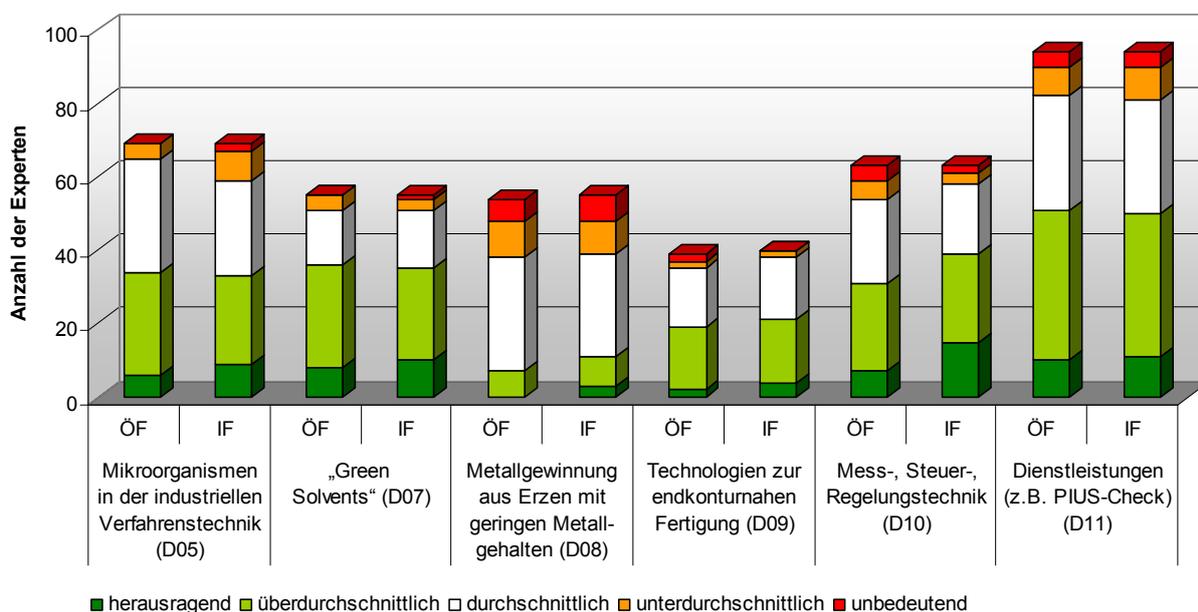


Abb. 65: Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

5.4.2 Ergebnisse des Expertenworkshops

Von den Workshop-Teilnehmern wurden Dienstleistungen zur Optimierung von Produktionsprozessen unter dem Aspekt der Rohstoffeffizienz (D11) als einer der interessantesten und zukunftsreichsten Bereiche in dieser Technologiegruppe eingeschätzt. Um sich am Standort Deutschland überhaupt halten zu können, müssten Unternehmen heute mehr anbieten als nur Produkte. Produktdesign, Produktion, Dienstleistungen und Beratung müssten verknüpft und als ein ganzheitlicher Prozess gesehen werden, der von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung reiche. Auf dem Gebiet der Dienstleistungen sollten neue Elemente hinzukommen, etwa Beratung

zum Technologietransfer und zur Umsetzung des bestehenden Know-hows. Hilfreich wären auch Dienstleistungen, die in einem frühen Entwicklungsstadium ansetzen, z.B. Software-Lösung für die chemische Industrie, welche die Vorhersage von Prozessabläufen und Materialeigenschaften einschließen. Ebenso sollten neue Geschäftsmodelle (z.B. Leasing) einbezogen und deren Umsetzungspotenziale ausgelotet werden, etwa im Bereich des „Chemical-Leasing“.

Analog zur Technologiegruppe 1 wurde die zu starke Fokussierung auf einzelne Technologien kritisiert. Der Ansatz der Studie sei zu kleinteilig, um eine ganzheitliche Bewertung von Prozessen und neuen Technologien zu erlauben. Eine solche Gesamtsicht sei jedoch sowohl aus gesellschaftlicher Perspektive als auch für die Unternehmen relevant, um ihnen die Möglichkeit zu eröffnen, betriebs- und branchenübergreifend neue Partner zu finden. So sollte z.B. der Schwerpunkt nicht auf „Green Solvents“ (D07) gelegt werden, sondern das Thema weitergefasst werden, im Sinne von „Green Chemistry“ oder „Dream Reactions“. Dies würde neben lösungsmittelfreien bzw. -armen Reaktionen den ganzen Komplex technologischer Optionen für die Mikroverfahrenstechnik und die Katalysatorforschung, die Entwicklung neuer atomeffizienter Synthesewege mit möglichst hoher Selektivität, hoher Energieeffizienz, weniger Abfall, hohen Raum-Zeit-Ausbeuten und geringerem Aufbereitungsaufwand, sowie für die Reaktortechnik zur Kontrolle von Temperatur, Druck, Verweilzeit und Konzentration unter extremen Bedingungen einschließen. Vorbild für einen solchen Förderschwerpunkt könnte u.U. das 2007 von der DBU initiierte Forschungscluster „Novel Process Windows“ sein.

Eine ähnliche Kritik wurde mit Bezug auf Technologien zur endkonturnahen Fertigung (D09) geübt. Zwar wurde betont, dass Near-Net-Shape-Verfahren insbesondere im Bereich spanender und umformender Prozesse zukünftig noch ein hohes Potenzial hätten, dennoch sollte das Thema weitergefasst werden im Sinne des „produktionsintegrierten Umweltschutzes“. Darunter sollten alle technologischen Optionen subsumiert werden, die darauf zielen die verschiedenen Facetten des Herstellungsprozesses (Urformen, Umformen, Trennen, Trocknen, Entfetten, Fügen, Oberflächenveredlung etc.) unter Rohstoffaspekten zu optimieren.

Wie schon bei der Diskussion der Technologiegruppe 1 wurde von den Workshop-Teilnehmern die Notwendigkeit betont, den Technologietransfer zu verstärken. Die Prinzipien rohstoffeffizienter Produktionsverfahren seien in vielen Fällen bekannt, aber bei der Umsetzung gebe es prozesstechnische Probleme. Ebenso wichtig wie die Förderung von FuE-Projekten sei deshalb die Unterstützung eines kontinuierlichen Technologietransfers. Gefordert wurde, neben den Industrie- und Handelskammern, regionale Kontaktstellen einzurichten, in den geeignete Ansprechpartner dauerhaft zur Verfügung ständen; dazu müssten entsprechende Personalstellen geschaffen werden. Als Beispiel wurde die von der RWTH Aachen gegründete Akade-

mie genannt, welche die Funktion habe, die Unternehmen über aktuelle technologische Entwicklungen zu unterrichten und bei der Umsetzung des bestehenden Know-hows im Betrieb zu beraten. In Deutschland gebe es zwar auf nationaler Ebene das Netzwerk „Ressourceneffizienz“ und die Initiative „Cleaner Production“, aber noch keine zentrale, öffentlich geförderte Dachorganisation. In diesem Zusammenhang wurde darauf hingewiesen, dass sowohl das BMU als auch das BMBF die Bedeutung des Technologietransfers erkannt hätten. Der Projektträger Karlsruhe bereite derzeit zusammen mit dem VDMA die Etablierung einer Transferplattform vor, um die Zugänglichkeit zu Forschungsergebnissen zu verbessern.

Mit Bezug auf die Metallgewinnung (D08) wurde in Einklang mit den Ergebnissen der Expertenumfrage ein erhebliches Forschungs- und Förderdefizit in Deutschland konstatiert. Moniert wurde von den Workshop-Teilnehmern, dass die Kompetenzen im Bereich der Bergbautechniken und Metallurgie, in dem Deutschland früher eine führende Rolle gespielt habe, in den vergangenen Jahren zunehmend abgebaut worden seien. Heute ständen sowohl im Hochschulsektor als auch unternehmensseitig nur noch geringe FuE-Kapazitäten zu Verfügung. Es müsse daher eine politische Entscheidung getroffen werden, ob man diese Kompetenzen erhalten oder aufgeben wolle. Die Frage, ob festgestellte FuE-Mängel ausgeglichen werden sollten oder nicht, war wie auch in anderen Workshops grundsätzlich umstritten. Einerseits wurde die Auffassung vertreten, dass Deutschland nicht auf allen Gebieten führend sein könne und man deshalb „die Stärken stärken“ und die Schwächen in Kauf nehmen sollte. Andererseits wurde gefordert, zumindest Kernkompetenzen zu erhalten, die bei Bedarf ausgebaut werden könnten. Im Hinblick auf das Gebiet der Metallurgie plädierten die Workshop-Teilnehmer mehrheitlich für einen Erhalt bzw. einen Ausbau der Kompetenzen. Dies vor allem, weil die Metallurgie als Querschnittstechnologie gesehen wurde, deren Grundkenntnisse und Verfahren in verschiedenen Branchen nutzbar seien und insbesondere auch die Basis für die Erschließung von Wertstoffen aus Abfällen bildeten.

Politischer Handlungsbedarf angesichts bestehender Defizite wurde außerdem auch bezüglich der Elektrochemie konstatiert. Auch hier sahen es die Workshop-Teilnehmer mehrheitlich als notwendig an, die Forschungs- und Förderaktivitäten zu intensivieren, um zu verhindern, dass Deutschland auf diesem zukunftsweisenden Gebiet ins Hintertreffen gerate.

5.5 Technologiegruppe 4: Förderung der Kreislaufwirtschaft

Auswahl der Technologiebereiche

Durch eine konsequente Umsetzung des Kreislaufgedankens in der Güterproduktion ließe sich eine wesentliche Steigerung der Rohstoffproduktivität erreichen. Die Idee des „Design for Recycling“ sollte möglichst schon im Produktentstehungsprozess zum Tragen kommen und bereits dort die Weichen in Richtung auf eine umweltverträgliche Wiederverwertung und Abfallentsorgung stellen.

Unter dem Druck ordnungspolitischer Vorgaben hat sich die deutsche Abfallwirtschaft bereits weitgehend in Richtung auf eine ressourcenschonende Kreislaufwirtschaft entwickelt. Angesichts der zunehmenden Knappheit von Primärrohstoffen tritt jedoch die Erschließung der im Abfall enthaltenen Wertstoffe als neue Rohstoffquelle mehr und mehr in den Mittelpunkt des Interesses („Urban Mining“). Aufgrund der großen Bedeutung, die einer Förderung der Kreislaufwirtschaft sowohl in Fachkreisen als auch in der öffentlichen Debatte zugemessen wird, wurden sieben Technologiebereiche in die Befragung einbezogen.

D17	Recyclinggerechtes Design von Produkten (z.B. Modularisierung, Einsatz trennbarer Verbindungen)
D18	Verbesserung der Nachrüstbarkeit technischer Produkte (Integration neuer oder zusätzlicher Funktionen in bestehende Produkte), mit dem Ziele deren Nutzungsdauer zu verlängern (Upgrading)
D19	Technologien zur Schadstoffabscheidung aus Behandlungsrückständen
D20	Technologien zur Sortierung und Aufbereitung von Sekundärrohstoffen für hochwertige Verwertungsmaßnahmen
D21	Effiziente Technologien zur Trennung und Rückgewinnung von Metallen aus Abfällen
D22	Technologien zur hochwertigen Wiederverwendung von Abbruchmaterialien aus dem Bausektor
D23	Technologien zur Qualifizierung von Sekundärbrennstoffen

5.5.1 Ergebnisse der Expertenumfrage

Zukünftige Bedeutung der ausgewählten Technologiebereiche für die Lösung der Rohstoffproblematik

Wie Abb. 66 zeigt, bestätigt die Umfrage die hohe Relevanz der Kreislaufwirtschaft. Fast allen Technologien in dieser Technologiegruppe wird hohe (orange) oder sehr hohe Bedeutung (rot) im Hinblick auf die Lösung der Rohstoffproblematik zuerkannt. Nur ein vergleichsweise geringer Anteil der Befragten weisen den ausgewählten Technologien nur „eingeschränkte“ (gelb) oder gar „keine Bedeutung“ (weiß) zu. Am deutlichsten ist diese Skepsis im Hinblick auf die Nachrüstbarkeit technischer Produkte (D18), die Wiederverwendung von Abbruchmaterialien aus dem Bausektor (D22) und die Qualifizierung von Sekundärrohstoffen (D23). Bei diesen drei Technologiebereichen ist allerdings auch der Anteil derjenigen, die eine Bewertung nicht für möglich halten (schwarz) am höchsten.

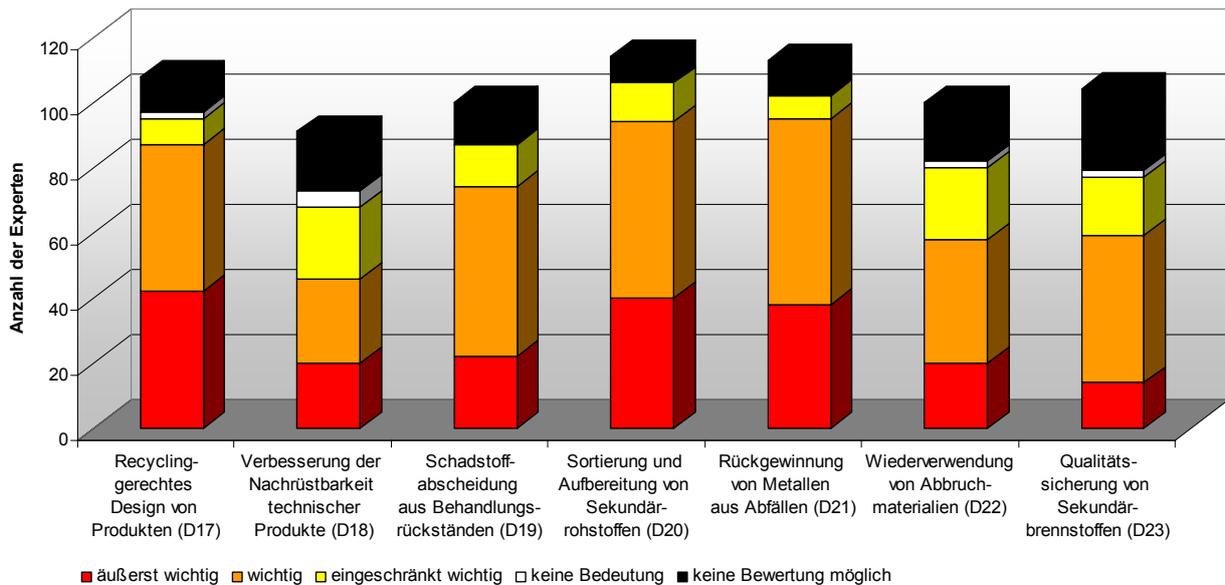


Abb. 66: Einschätzung der zukünftigen Bedeutung dieser Technologiebereiche zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

Positive und negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche

Als Vorteile aller hier ausgewählten Technologien zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit von Produkten und zur Nutzung von Sekundärrohstoffen werden generell die Schonung der Rohstoffvorräte sowie die Vermeidung der mit der Rohstoffextraktion verbundenen Emissionen und Landschaftsveränderungen betrachtet. Weitere Vorteile werden in der Reduktion des Abfallaufkommens, der Einsparung von Ent-

sorgungskosten und der Vermeidung zusätzlichen Landverbrauchs für Deponien gesehen.

Negative Auswirkungen auf andere Umweltbereiche werden in Folge des hohen Energieverbrauchs der Wiederaufarbeitungsprozesse (CO₂-Ausstoß, Klima) und der Möglichkeit von Kontaminationen im Recyclingprozess (Schadstoffeinträgen in Luft, Böden und Gewässer) befürchtet. Als weiterer Nachteil wird der mit dem Recycling verbundene hohe Transportaufwand angeführt, der zu einem Anwachsen der Verkehrsströme führen kann (CO₂-Ausstoß, Klima). Insbesondere bei der Wiederverwendung von Abbruchmaterialien aus dem Bausektor wird die Gefahr der Schadstoffverschleppung in neue Bauteile gesehen, die u.U. zu einer gesundheitlichen Belastung der Nutzer führen kann.

Mit Blick auf die *Verbesserung der Nachrüstbarkeit technischer Produkte* (D18) wird vor allem die mangelnde Akzeptanz dieses Ansatzes in einem konsumorientierten Wirtschaftssystem hervorgehoben. Eine erfolgreiche Umsetzung dieses Konzepts würde einen grundlegenden Umdenkungsprozess in der Gesellschaft erfordern: weg von der Wegwerfgesellschaft. Neben dem fehlenden Problembewusstsein der Konsumenten werden die Schnelligkeit des technischen Fortschritts, der Nachrüstung unrentabel macht sowie die fehlende Standardisierung von Schnittstellen als weitere Hemmnisse betrachtet.

Als Vorteile des *Einsatzes von Sekundärbrennstoffen* (D23) werden die Schonung der fossilen Energieressourcen sowie die Einsparung von Deponieraum genannt, denen als Nachteil eine u.U. erhöhte Emissionsbelastung gegenübersteht. Befürchtet wird außerdem, dass die Nutzung von Abfällen als Sekundärbrennstoffe die Vermeidung von Rückständen oder deren stoffliche Verwertung behindert.

Forschungsbedarf/Förderbedarf

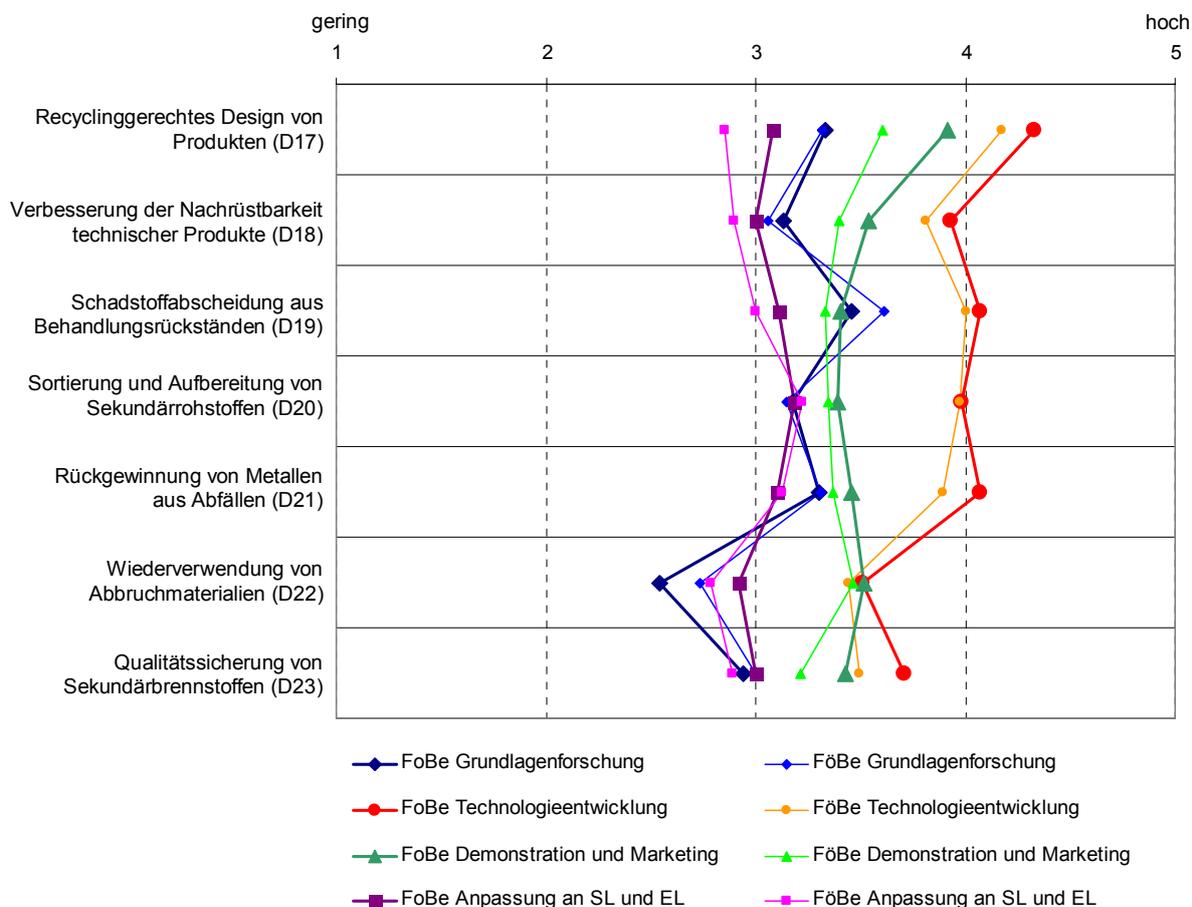


Abb. 67: Einschätzung des Forschungsbedarfs (FoBe) und des Bedarf an öffentliche Förderung (FöBe) im Vergleich (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

Wie Abb. 67 zeigt, wird Forschungsbedarf in erster Linie im Bereich der Technologieentwicklung (rote Kurve) gesehen, gefolgt von „Demonstration und Marketing“ (grüne Kurve). Der Bedarf an Grundlagenforschung (blaue Kurve) sowie der Bedarf an Forschung zur „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ (violette Kurve) wird als weniger vordringlich eingeschätzt. Am geringsten wird der Bedarf an Grundlagenforschung bei Technologien zur Wiederverwendung von Abbruchmaterialien aus dem Bausektor (D22) sowie zur Qualitätssicherung von Sekundärbrennstoffen (D23) betrachtet und liegt hier noch unter dem „Anpassungsbedarf“.

Wie die Abbildung weiter zeigt, besteht, wie in den anderen Technologiegruppen auch, eine enge Korrelation zwischen Forschungs- und Förderbedarf, wobei der Bedarf an öffentlicher Förderung in der Regel geringfügig unter dem Forschungsbedarf liegt. Lediglich bei der Schadstoffabscheidung aus Behandlungsrückständen (D19)

und bei der Wiederverwendung von Abbruchmaterialien aus dem Bausektor (D22) wird der Förderbedarf im Bereich der Grundlagenforschung höher eingeschätzt als der Forschungsbedarf.

Tab. 30: Nennungen in der Kategorie „kein Bedarf“ (absolute Nennungen / Gesamtzahl der Antworten)

		D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23
Förderbedarf	Grundlagenfor.	7,3% (6/82)	12,1% (7/58)	4,4% (3/68)	8% (7/87)	3,6% (3/84)	11,8% (8/68)	12% (8/69)
	Technologieentw.	2,4% (2/84)	3,3% (2/60)	1,4% (1/71)	2,2% (2/90)	2,4% (2/85)	5,8% (4/69)	6% (4/69)
	Demo u. Marketing	6% (5/84)	10,2% (6/59)	11,8% (8/68)	9,1% (8/88)	8,4% (7/83)	10,1% (7/69)	10% (7/68)
	Anpassung SL/EL	11,9% (10/84)	14% (8/57)	13,2% (9/68)	8% (7/87)	13,6% (11/81)	13,6% (9/66)	20% (13/66)
Forschungsbedarf	Grundlagenfor.	6% (5/85)	8,5% (5/59)	1,4% (1/69)	5,6% (5/89)	2,4% (2/85)	7,4% (5/68)	7% (5/69)
	Technologieentw.	1,2% (1/86)	3,2% (2/62)	0% (0/72)	0% (0/91)	0% (0/85)	1,4% (1/70)	4% (3/69)
	Demo u. Marketing	4,8% (4/84)	6,7% (4/60)	5,7% (4/70)	4,5% (4/88)	3,7% (3/82)	7,2% (5/69)	10% (7/68)
	Anpassung SL/EL	10,8% (9/83)	13,8% (8/58)	10,1% (7/69)	9,1% (8/88)	8,5% (7/82)	9% (6/67)	17% (11/66)

Wie die Tab. 30 zeigt, ist die Anzahl der Experten, die keinen Forschungs- und Förderbedarf sehen, vor allem im Hinblick auf die Forschung zur „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ relativ hoch (zwischen 8 und 20%). Keinen Bedarf an Grundlagenforschung sehen jeweils um die 12% der Befragten bezüglich der Verbesserung der Nachrüstbarkeit technischer Produkte (D18), der Wiederverwendung von Abbruchmaterialien aus dem Bausektor (D22) und der Qualitätssicherung von Sekundärbrennstoffen (D23). Bei der Technologieentwicklung ist der Anteil derjenigen, die keinen Forschungs- und Förderbedarf sehen, mit 0 bis 6% vergleichsweise gering. Auch mit Bezug aus „Demonstration und Marketing“ liegt der Anteil unter 12%.

Marktpotenziale

Wie in den anderen Technologiegruppen werden auch hier die Marktpotenziale der ausgewählten Technologien vornehmlich in den Industrieländern (Abb. 68, blaue Kurve) gesehen, relativ dicht gefolgt von den Schwellenländern (rote Kurve), während die Marktpotenziale in den Entwicklungsländern (grüne Kurve) deutlich geringer eingeschätzt werden. Das geringste Marktpotenzial haben nach Einschätzung der Experten in allen Länderkategorien die Technologien zur Wiederverwendung von Abbruchmaterialien aus dem Bausektor (D22). Ein vergleichsweise hohes Marktpotenzial wird dagegen wiederum in allen Länderkategorien der Rückgewinnung von Metallen aus Abfällen (D21) zugeschrieben.

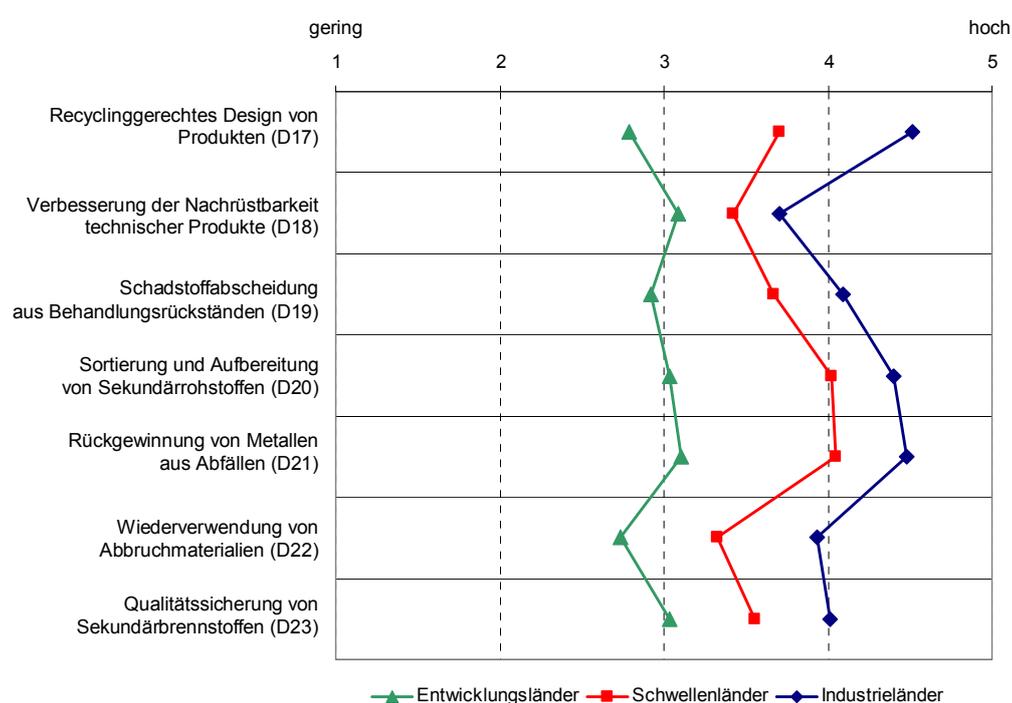


Abb. 68: Einschätzung des Marktpotenzials in den jeweiligen Ländertypen (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt)

Hemmnisse

Ähnlich wie in anderen Technologiegruppen werden auch hier als die wesentlichen Hemmnisse, die einem erfolgreichen Einsatz dieser Technologien am Standort Deutschland entgegenstehen, in erster Linie die folgenden drei genannt: 1) bisher ungelöste technische Probleme, 2) fehlende FuE-Kapazitäten bei kleineren und mittleren Unternehmen und 3) unzureichende oder zu unsichere Erfolgsaussichten für die Unternehmen (s. Tab. 31). Eine deutliche wichtigere Rolle als Hemmnis spielt jedoch die „fehlende gesellschaftliche Akzeptanz“, insbesondere im Hinblick auf die Nachrüstbarkeit technischer Produkte (D18) sowie auf die Qualifizierung von Sekun-

därbrennstoffen. Auch der Behinderung durch „kontraproduktive politische Regulierungen“ (Baurecht, technische Normung) wird hier sehr viele größere Bedeutung zugemessen als in anderen Technologiegruppen, vor allem bezüglich der Aufbereitung von Sekundärrohstoffen (D20) und der Wiederverwendung von Abbruchmaterialien aus dem Bausektor (D22).

Tab. 31: Hemmnisse am Standort Deutschland (Die Zahlen entsprechen der Häufigkeit der Nennungen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren: rote Felder = höchste Anzahl; dunkelgelbe Felder = zweithöchste Anzahl; hellgelbe Felder = dritthöchste Anzahl)

	Recyclinggerechtes Design (D17)	Nachrüstbarkeit technischer Produkte (D18)	Schadstoffabscheidung aus Behandlungsrückständen (D19)	Sortierung und Aufbereitung von Sekundärrohstoffen (D20)	Rückgewinnung von Metallen aus Abfällen	Wiederverwendung von Abbruchmaterialien (D22)	Qualitätssicherung von Sekundärbrennstoffen (D23)
Kontraproduktive politische Regelungen	15	11	13	26	14	19	10
Fehlende gesellschaftliche Akzeptanz	19	22	4	26	10	17	19
Bisher ungelöste technische Probleme	38	22	40	43	48	23	27
Fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU	46	18	41	42	42	23	27
Unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten	44	35	33	48	38	34	30
Unzureichende Vernetzung	17	10	11	18	16	12	8
Anzahl der Experten (die in dem jeweiligen Technologiebereich Hemmnisse sehen)	76	48	67	81	77	55	57

Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich

Die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich zeigt ein etwas weniger positives Bild als in anderen Technologiegruppen (s. Abb. 69). Der Anteil der Befragten, die Deutschland im Mittelfeld (weiß) platzieren, ist hier größer, ebenso der Anteil, der Deutschland in einer „unterdurchschnittlichen“ oder sogar „unbedeutenden“ Position (orange, rot) sieht; evident ist dies vor allem bei der Verbesserung der Nachrüstbarkeit technischer Produkte (D18) und bei der Wiederverwendung von Abbruchmaterialien aus dem Bausektor (D22). Bei den anderen Technologien ist dagegen der Anteil

derjenigen, die Deutschland eine „überdurchschnittliche“ oder sogar „herausragende“ Position (grün) zubilligen, deutlich größer als die Zahl derer, die Deutschland eine „unterdurchschnittliche“ oder „unbedeutende“ Rolle zuweisen.

Die industrielle Forschung und das Unternehmens-Know-how (IF) werden gegenüber der öffentlichen Forschung (ÖF) bei den meisten Technologien als leicht überlegen eingeschätzt. Lediglich im Hinblick auf das Recyclinggerechte Design von Produkten werden öffentliche und industrielle Forschung als ziemlich gleichwertig betrachtet.

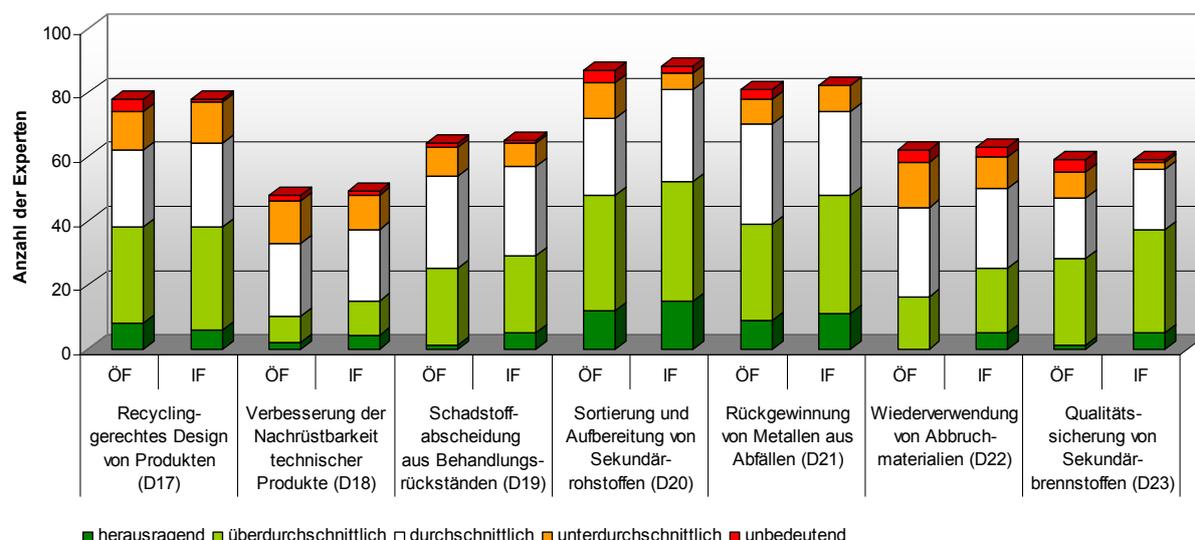


Abb. 69: Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich (Die Höhe der Säulen gibt jeweils die Anzahl der Experten wieder, die zu einem Technologiebereich Stellung genommen haben.)

5.5.2 Ergebnisse des Expertenworkshops

Verschiedene Teilnehmer des Workshops äußerten Verwunderung über die geringe Bedeutung, die dem Bereich der Abfallwirtschaft in der Umfrage zugemessen wurde; sie steht im Ranking der schriftlich befragten Experten sowohl aus nationaler wie aus globaler Perspektive an letzter Stelle (s. Abb. 4, S. 21). Diese Positionierung wird nach Ansicht der Workshop-Teilnehmer dem weltweiten Problemdruck im Abfallbereich nicht gerecht. Im Hinblick auf die Behandlung / Verbrennung / Verwertung von Abfällen, die unter dem Aspekt der CO₂- und CH₄-Emissionen auch sehr klimarelevant sei, bestehe auf globaler Ebene erheblicher Nachholbedarf. Für die deutsche Abfalltechnik, die weltweit anerkannt sei, ergäben sich dadurch gute Vermarktungschancen. Dabei müsse insbesondere auch der Lowtech-Bereich berücksichtigt werden, der in Schwellen- und Entwicklungsländern ein großes Marktpotenzial habe. Bemängelt wurde, dass das Thema Abfallwirtschaft in Deutschland derzeit weit unten auf der politischen Agenda angesiedelt werde. Hierzulande seien zwar im internationalen Vergleich bereits viele Probleme gelöst, dennoch ließen sich durch eine Inten-

sivierung der Forschungstätigkeit im Bereich Stoffstrommanagement und Kreislaufschließung noch große Fortschritte erzielen.

Ein generelles Problem der stofflichen Nutzung von Abfällen wurde in dem hohen Energieverbrauch der Wiederaufbereitungsprozesse gesehen. Daraus ergebe sich ein Zielkonflikt zwischen dem Klimaschutzziel und der politischen Forderung nach Erhöhung der Recyclingraten und der Kreislaufführung von Materialien. Zudem verstärke die Wiedernutzung von Wertstoffen aus Abfällen das Risiko der Dissipation und der Schadstoffanreicherung in der Umwelt. Als notwendig wurde daher eine Forcierung der ganzheitlichen Betrachtung und Bewertung der Stoff- und Energieflüsse über alle Lebensphasen eines Produkts hinweg erachtet.

In Einklang mit den Ergebnissen der Umfrage wurde die Behinderung der Nutzung von Sekundärmaterialien durch kontraproduktive politische Regulierungen beklagt. Dies habe zur Konsequenz, dass in vielen Bereichen, z.B. im Deponiebau, Primärrohstoffe eingesetzt würden, obwohl es technisch möglich und ökologisch sinnvoll wäre, Sekundärmaterialien zu verwenden. Ein Hemmnis für das hochwertige Recycling von Abbruchmaterialien aus dem Hochbau wurde außerdem in dem Transportaufwand und den hohen Kosten der Aufbereitung gesehen. Daraus folge, dass die Nutzung von Recyclingprodukten keine Kostenersparnis gegenüber neuen Baustoffen biete. Es gebe zwar einzelne Beispiele für den gezielten Rückbau, z.B. die Wiederverwendung von demontierten Betonfertigteilen (aus „Plattenbauten“) im Garagen- und Einfamilienhausbau; ein Durchbruch für den Einsatz von Sekundärrohstoffen im Hochbau sei bisher jedoch nicht gelungen. Als weiteres Hemmnis neben den hohen Kosten wurden die erheblichen Vorbehalte von Bauunternehmen und Verbänden gegen Recyclingprodukte angeführt, die vor allem auf das Problem der Haftung sowie der Gewährleistung von Qualitätskriterien und deren Überprüfung zurückgeführt wurden.

Nach übereinstimmender Auffassung der Workshop-Teilnehmer wird das Recyclingdefizit im Bausektor durch die wachsende Verwendung von Verbundmaterialien künftig noch zunehmen. Die heute eingesetzten Kompositwerkstoffe wurden als die „Altlasten von morgen“ bezeichnet, für die es bisher noch keine Verwertungstechniken gebe. Vor allem für energetisch optimierte Häuser sei die Forderung nach Recyclingfähigkeit von Baukonstruktionen derzeit nicht erfüllbar. Für die kommenden Jahre wurde daher sowohl FuE-Bedarf als auch Regelungsbedarf konstatiert. Voraussetzung für eine Kreislaufschließung im Baubereich sei eine Verbesserung des Informationsflusses über Produkte und Werkstoffeigenschaften. Aufgrund der langen Lebensdauer von Gebäuden bestehe eine große zeitliche Differenz zwischen dem Inverkehrbringen von Bauprodukten und ihrer Entsorgung bzw. Weiterverwendung. Um diese Lücke zu schließen, sei eine Kennzeichnung und Charakterisierung der Produkte und ihrer Inhaltsstoffe notwendig. Wünschenswert sei eine Zusammenfassung

dieser Informationen in produktbegleitenden Informationssystemen. Mit REACH (**R**egistration, **E**valuation, **A**uthorisation of **C**hemicals) sei im europäischen Maßstab ein erster Ansatz auf Stoffebene gemacht worden, der u.U. als Vorbild für Bauprodukte dienen könnte. Eine andere Möglichkeit der Informationsweitergabe könnte vielleicht die Transpondertechnik (RFID = **R**adio-**F**requency-**I**dentification) bilden.

Die im Fragebogen verwendete Formulierung „Design vor Recycling“ sollte nach Auffassung der Workshop-Teilnehmer weiter gefasst werden im Sinne eines „ökologischen Designs“. Dies würde nicht nur den Aspekt der Recyclingfähigkeit beinhalten, sondern auf eine Gesamtoptimierung von Produkten unter dem Gesichtspunkt der lebenszyklusübergreifenden Umweltverträglichkeit, Energie- und Rohstoffeffizienz ausgerichtet sein. Infolge der EuP-Richtlinie der EU (2005/32/EC - Directive for energy using products) werde die umweltgerechte Gestaltung von Produkten in den kommenden Jahren zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die Unternehmen, vor allem die kleinen und mittleren seien darauf schlecht vorbereitet. Während die Großindustrie in der Lage sei, auf die neuen Anforderungen angemessen zu reagieren, seien mittelständische Unternehmen meist in die Zulieferungskette eingebunden und hätten somit wenige Einflussmöglichkeiten. KMU seien daher auf Beratung und Dienstleistungen angewiesen. In diesem Zusammenhang wurde auf das Workshop-Konzept JUMP (**J**a zur **U**mweltgerechten **P**roduktgestaltung) der Effizienz-Agentur Nordrhein-Westfalen verwiesen, das die Umsetzung dieses Konzepts in kleinen und mittleren Unternehmen zum Thema hat.

Eine Verlängerung der Nutzungsdauer technischer Produkte durch Verbesserung der Reparaturfähigkeit und Nachrüstbarkeit (Integration neuer oder zusätzlicher Funktionen in bestehende Produkte) wurde zwar in der Theorie als ein vielversprechender Ansatz zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität betrachtet, der sich jedoch in der Praxis, vor allem mit Blick auf den Konsumgüterbereich, nicht bewährt habe. FuE-Projekte zur Verlängerung der Nutzungsdauer auf dem Gebiet der Werkzeug- / Spritzgusstechnik hätten gezeigt, dass die finanziellen Vorteile dieses Konzepts relativ gering seien. Die Nachrüstung bestehender Produkte erfordere die Definition von Schnittstellen, was mit zusätzlichen Kosten für den Unternehmer verbunden sei. Aufgrund der Beschleunigung der Innovationszyklen und des Preisverfalls technischer Geräte, insbesondere im Bereich der IuK-Technik, sei eine Nachrüstung auf den aktuellen Stand für den Konsumenten in der Regel teurer als der Neukauf des gesamten Produkts. Weder für Unternehmen noch für Konsumenten gebe es daher einen ökonomischen Anreiz zur Unterstützung dieses Ansatzes.

Ähnliches gelte im Hinblick auf die Reparatur. Der Reparaturbedarf vieler technischer Geräte sei in den letzten Jahren kontinuierlich gesunken, damit auch die Reparaturneigung des Konsumenten. Zudem sei die Reparaturfähigkeit infolge der technologischen Entwicklung, z.B. infolge der Miniaturisierung bei vielen Produkten erschwert

oder nicht mehr gegeben. In einem Hochlohnland wie Deutschland seien Reparaturen zudem unter Umständen teurer als Neukauf. Hinzu komme, dass in einer am technischen Fortschritt orientierten Gesellschaft die Einstellung vorherrsche, dass neue Produkte grundsätzlich alten vorzuziehen seien. Hier wäre also eher ein Bewusstseinswandel erforderlich, der von der Politik unterstützt werden müsste. In der aktuellen Situation scheine die Politik jedoch eher gegenläufige Anreize schaffen zu wollen. So sei ein Konjunkturprogramm, das den KFZ-Neukauf subventioniere, mehr dazu angetan, das jahrelang geförderte Bewusstsein einer Verantwortung gegenüber der Umwelt wieder einzureißen, als zu einem sparsamen Umgang mit Ressourcen anzuregen. Weitgehende Einigkeit bestand unter den Teilnehmern, dass die Bedeutung der Nutzungsphase unter dem Aspekt der Rohstoffproduktivität bisher unterschätzt worden sei. In diesem Zusammenhang wären neben der Verlängerung der Nutzungsdauer noch andere verhaltensbezogene Ansätze wie Verzicht / Suffizienz oder Intensivierung der Nutzung durch Sharing, Pooling, Leasing und Contracting zu berücksichtigen. In diesem Bereich wurde ein vermehrter Bedarf an soziologischen, sozial-ökologischen und sozial-psychologischen Studien konstatiert.

Im Gegensatz zum Konsumgüterbereich wurden Reparatur und Nachrüstung im Hinblick auf Investitionsgüter als eine Option eingeschätzt, die aufgrund von Wirtschaftlichkeitsüberlegungen von großer Relevanz sei. So hätten z.B. Chemieanlagen im Verlauf ihres gesamten Lebenszyklus von 40 bis 50 Jahren mehrere Nachrüstungsschleifen hinter sich, im Rahmen derer sie modernisiert, rationalisiert, adaptiert und optimiert würden, um sich verändernden Anforderungen gerecht werden zu können. Wachsende Bedeutung komme auch modularen Anlagenkonzepten zu, die dem Betreiber sowohl eine kostengünstige Adaption an den technischen Fortschritt ermöglichen als auch eine Anpassung der Kapazitäten an die aktuelle Marktentwicklung erlauben.

5.6 Technologiegruppenübergreifende Ergebnisse des Workshops

Im Cluster „Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft“ wurden überwiegend Technologien ausgewählt, die sich noch in einem relativ frühen Entwicklungsstadium befinden, d.h. Technologien bei denen derzeit weder die technische Machbarkeit noch die wirtschaftlichen Gewinnaussichten für die Unternehmen sichergestellt sind. Vor diesem Hintergrund wird das recht einheitliche Muster bei der Nennung der relevanten Hemmnisse, die einem erfolgreichen Einsatz der Technologien am Standort Deutschland entgegenstehen, nachvollziehbar. In allen vier Technologiegruppen werden als die wesentlichsten Hemmnisse, in erster Linie die folgenden drei genannt: Bisher ungelöste technische Probleme, fehlende FuE-Kapazitäten bei kleineren und mittleren Unternehmen und unzureichende oder unsichere Erfolgsaussichten der Unternehmen. Bei den „reifen“ Technologien in diesem Cluster,

wie etwa Dienstleistungen zur Optimierung von Produktionsprozessen unter dem Aspekt der Rohstoffeffizienz (D11), Aufbereitung von Sekundärrohstoffen (D20), Wiederverwendung von Abbruchmaterialien aus dem Bausektor (D22) und Qualitätssicherung von Sekundärrohstoffen (D23) spielen dagegen andere Hemmnisse, vor allem kontraproduktive politische Regulierungen oder fehlende gesellschaftliche Akzeptanz eine durchaus wichtige Rolle.

Im Vergleich zu anderen Clustern wurde hier der Schwerpunkt auf Hightech-Technologien gelegt, während der Bereich des Lowtech von untergeordneter Bedeutung war. Dies erklärt, warum die Marktpotenziale der ausgewählten Technologien vorwiegend in den Industrieländern gesehen werden. Eine gewisse Ausnahme bildet die Herstellung von Bulkchemikalien in biotechnologisch optimierten Pflanzen (D02), bei der das Marktpotenzial in den Industrieländern als deutlich geringer eingeschätzt wird und nahe dem der Schwellenländer liegt. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis könnte sein, dass in den Industrieländern mit Widerstand der Bevölkerung gegen den Anbau solcher Pflanzen gerechnet wird, den man in Schwellenländern weniger erwartet. Eine weitere Ausnahme stellt die Metallgewinnung aus Erzen mit geringem Metallgehalt (D08) dar. Auch hier werden die Marktpotenziale in den Industrieländern als deutlich geringer bewertet, während die der Schwellenländer- und Entwicklungsländer als überdurchschnittlich hoch eingeschätzt werden. Mit Bezug auf Deutschland lässt sich dieses Resultat zum einem mit den geringen Erzvorkommen begründen, zum anderen mit dem sowohl in der Umfrage als auch im Workshop monierten Abbau der Kompetenzen im Bereich der Bergbautechnik und Metallurgie. Die dritte Technologie, der in den Industrieländern nur geringe Marktchancen eingeräumt werden, ist die Verbesserung der Nachrüstbarkeit technischer Produkte (D18). Als Grund wird die fehlende ökonomische Attraktivität dieses Ansatzes sowohl aus Sicht der Unternehmen als auch aus Sicht der Konsumenten angeführt, vor allem was den Konsumgüterbereich anbetrifft.

Deutliche Abweichungen in der Bewertung zwischen der schriftlichen Expertenbefragung und der Diskussion mit den Teilnehmern des Workshops ergaben sich hauptsächlich hinsichtlich der Einschätzung des Forschungs- und Förderbedarfs für „Demonstration und Marketing“. In der Befragung wurde diesem Bereich mit Ausnahme weniger Technologien (rohstoffeffizienten Betonbauweisen (D16), Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (D10), Dienstleistungen (D11), Wiederverwendung von Abbruchmaterialien aus dem Bausektor (D22) eher untergeordnete Bedeutung zugewiesen. Dagegen hoben die Workshop-Teilnehmer übereinstimmend hervor, dass die Verbreitung von Forschungsergebnissen und deren Umsetzung in die praktische Anwendung ebenso wichtig sei wie die Technologieentwicklung selbst. Insbesondere mit Blick auf KMU sei die Unterstützung eines kontinuierlichen Ergebnis- und Technologietransfers unentbehrlich, um das Informationsdefizit kleiner und mittlerer Be-

triebe auszugleichen und ihre Zurückhaltung bei der Investition in neue Technologien zu überwinden.

Teil III
Zusammenfassende Interpretation der Ergebnisse

1 Einführung

In Teil I des Berichtes wurden die Ziele, der Hintergrund und der methodische Ansatz des Projektes beschrieben. Teil II ist der ausführlichen Ergebnisdarstellung gewidmet. Dabei wurden die Ergebnisse der schriftlichen Befragung aufbereitet und die Diskussion der entsprechenden Workshops dokumentiert. Teil II hat somit vornehmlich deskriptiven Charakter.

In Abgrenzung und Ergänzung dazu legt Teil III des Berichts den Schwerpunkt auf eine fokussierte Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse im Hinblick auf die Projektziele. Dabei sollen auch Erkenntnisse aus dem State-of-the-Art-Report (Schippel et al. 2008) aufgegriffen werden, dessen Erstellung im Mittelpunkt der ersten Phase des Projekts stand, und der die Basis für die Auswahl von Technologien für die schriftliche Befragung bildete. Ebenso wird auf wichtige Aussagen aus den Workshops und insbesondere auf Unterschiede zwischen der Workshopdiskussion und den Befragungsergebnissen eingegangen. So erfolgt eine integrative Aufbereitung der Ergebnisse, welche die verschiedenen methodischen Bausteine des Projekts nutzt. Im Mittelpunkt stehen aber immer die Ergebnisse der Umfrage, die den empirischen Kern des Vorhabens bilden.

Ähnlich wie bei Teil II dieses Berichts orientiert sich auch die Gliederung von Teil III am Aufbau des Fragebogens. Zunächst werden die Ergebnisse aus den einzelnen Clustern betrachtet (Kapitel 1 bis 4), dem schließt sich in Kapitel 5 eine handlungsfeldübergreifende Analyse an.

In Teil II wurde bereits deutlich, dass sich im Bereich Umwelttechnologien eine Reihe viel versprechender Technologien identifizieren lassen, die in ihrem Umweltnutzen und in den Marktpotenzialen teilweise nur sehr schwer vergleichbar sind. Um aber aus den Projektergebnissen handlungsorientierte Schlussfolgerungen abzuleiten, ist das Setzen von Prioritäten unumgänglich. Teil III mündet deshalb in die Benennung von Prioritätsfeldern (Kapitel 7, S. 273), die sich aus deutscher Perspektive für eine öffentliche Förderung im Bereich Umwelttechnologien besonders anbieten. Dabei kann sowohl Grundlagenforschung und Technologieentwicklung im Vordergrund stehen, wie auch der Transfer von Technologien und Know-how in die Praxis, beispielsweise über Demonstrations- und / oder- Vernetzungsaktivitäten. Die Auswahl der Prioritätsfelder lässt sich aus den Projektergebnissen begründen. Besondere Bedeutung kommt dabei den Potenzialen zur Lösung von Umweltproblemen, den Marktpotenzialen sowie der Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich zu.

2 Wassermanagement

Abb. 70 bezieht sich auf die im Fragebogen für alle Technologiebereiche gestellte Frage „Wie würden Sie die zukünftige Bedeutung dieser Technologien für die Lösung von Wassermanagementproblemen einschätzen“. In der Abbildung sind die Antwortkategorien „äußerst wichtig“ und „wichtig“ zusammengefasst und in Prozent dargestellt. Beachtet werden muss, dass die Vergleichbarkeit der Technologiebereiche schon durch die unterschiedlichen Aggregationsebenen (teilweise sehr spezielle Einzeltechnologien, teilweise sind ganze Technologiefelder abgefragt) und durch die stark unterschiedliche Anzahl antwortender Personen mit variierendem fachlichen Hintergrund eingeschränkt ist. Dennoch gibt die Abbildung einen Eindruck von der Streubreite der geschätzten Problemlösungskapazität. Technologien, bei denen sich jeweils über 80% der Antwortenden für „äußerst wichtig“ und „wichtig“ entschieden haben, sind in rot dargestellt.

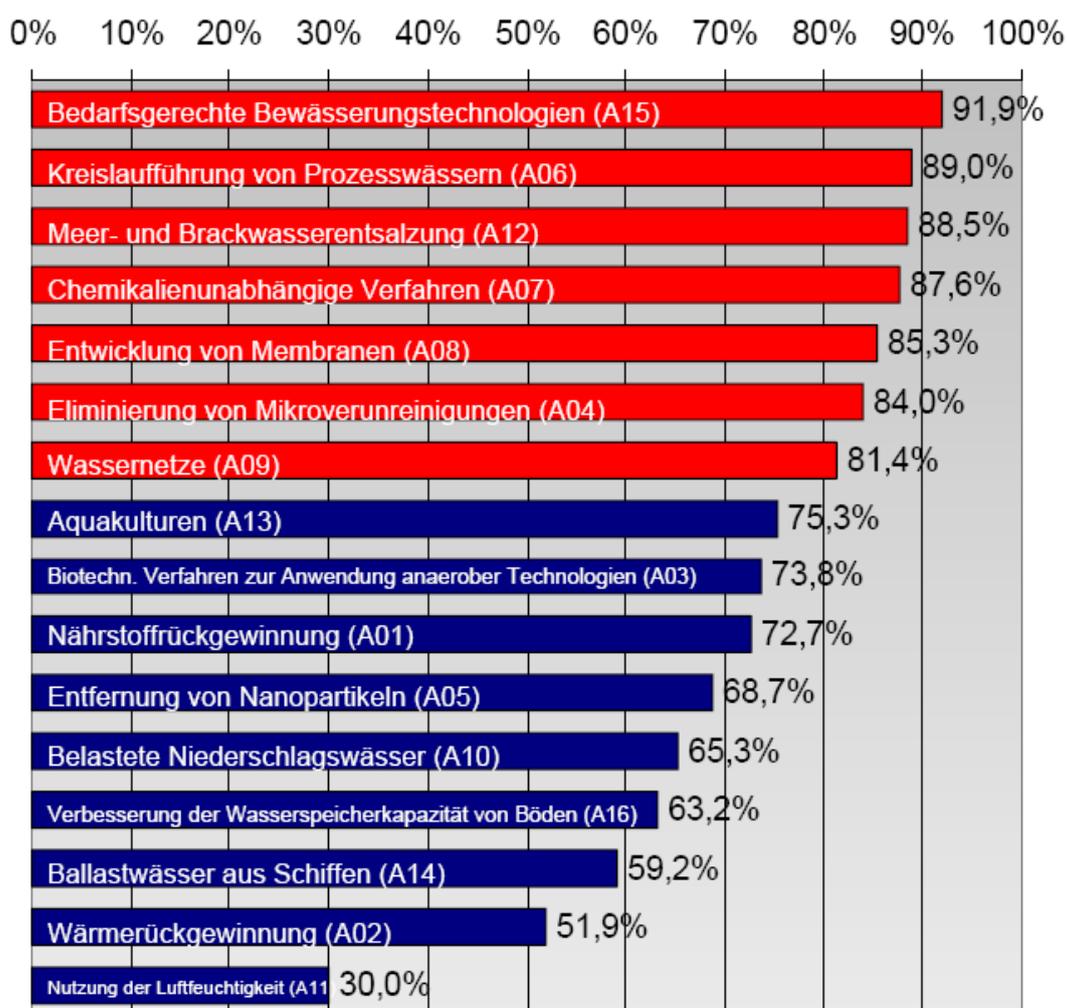


Abb. 70: Ranking der Technologien im Cluster Wassermanagement nach „Bedeutung“ (Nennungen in Prozent, „äußerst wichtig“ und „wichtig“ kumuliert)

An erster Stelle stehen bei solch einem Ranking Bedarfsgerechte Bewässerungstechnologien (A15), die Kreislaufführung von Prozesswässern (A06) und die Meer- und Brackwasserentsalzung (A12). Die mit Abstand geringste Problemlösungskapazität wird bei den Technologien zur Nutzung der Luftfeuchtigkeit aus der Atmosphäre gesehen (s. Abb. 70).

Ein Blick auf die in der Befragung geschätzten Marktpotenziale (s. Abb. 71) zeigt, dass diese – im Unterschied zu den Clustern Rohstoffe/Kreislaufwirtschaft sowie Klimaschutz/Luftreinhaltung – nicht grundsätzlich in den Industrieländern am höchsten eingeschätzt werden. Vielmehr wird für einige Technologien auch in Schwellenländern und Entwicklungsländern das Potenzial am höchsten eingeschätzt. Gerade für die Technologiebereiche Bedarfsgerechte Bewässerungstechnologien (A15), Meer- und Brackwasserentsalzung (A12) und Verbesserung der Wasserspeicherkapazität von Böden (A16) scheint dieser Befund gut nachvollziehbar und deckt sich mit den Darstellungen im State-of-the-Art-Report (Schippl et al. 2008) zu diesem Projekt.

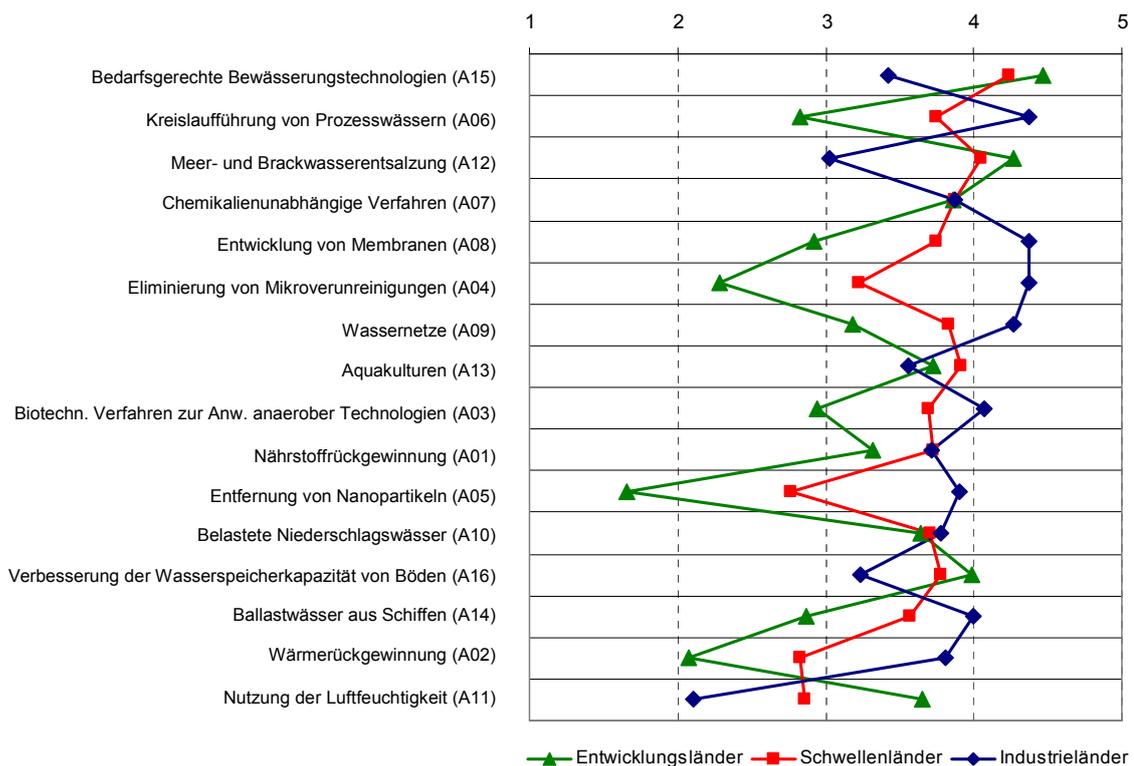


Abb. 71: Geschätzte Marktpotenziale für das Cluster Wassermanagement (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt)

Schaut man auf die für das gesamte Handlungsfeld Wassermanagement aggregierten Hemmnisse, so zeigt sich, dass „ungelöste technische Probleme“ als häufigstes Hemmnis genannt werden, dicht gefolgt von den „unzureichenden ökonomischen

Erfolgsaussichten“. Mit deutlichem Abstand nach oben und unten folgen dann „fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU“. Recht häufig wird auch noch die „unzureichende Vernetzung von Forschung und Unternehmen“ genannt, während die „kontraproduktiven politischen Rahmenbedingungen“ sowie die „fehlende gesellschaftliche Akzeptanz“ seltener genannt werden als vielleicht zu erwarten gewesen wäre.

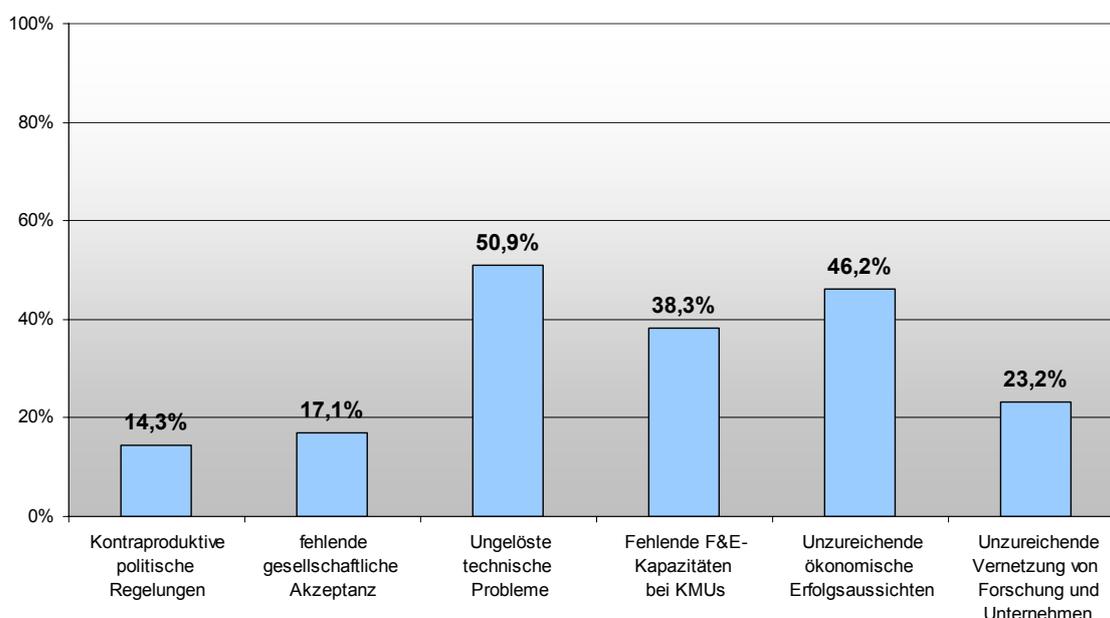


Abb. 72: Hemmnisse im Cluster Wassermanagement. (Durchschnitt der relativen Nennungen über alle Technologiebereiche im Cluster Wassermanagement.)

Vergleicht man die von den schriftlich befragten Experten zugesprochene zukünftige Bedeutung der Technologien (s. Abb. 70, S. 209) mit der Position Deutschlands (s. Abb. 73), fällt einem, bis auf eine Ausnahme, die weitgehende Parallelität des Ranking auf. Bei den Technologien mit hohem Problemlösungspotenzial ist auch die Position Deutschlands im Bereich der industriellen und öffentlichen Forschung herausragend. Lediglich die bedarfsgerechten Bewässerungstechnologien (A15) und die Aquakulturen (A13) fallen aus dem Rahmen. Diese Ergebnisse sind aber nicht verwunderlich, da zum einen bei den bedarfsgerechten Bewässerungstechnologien Israel (fast) eine monopolartige Marktposition innehat und zum anderen die Aquakulturen nach Aussagen der Workshop-Teilnehmer „kein Thema für Deutschland, sondern eher für andere Länder mit mehr Küstenlänge wie z.B. Norwegen“ seien. Die Workshop-Teilnehmer sahen aber aufgrund des zukünftigen Rückgangs der Fischbestände eine Intensivierung in diesem Bereich als notwendig an.

Ob es sinnvoll ist, in derartige Technologiesektoren verstärkt vorzudringen und die Position Deutschlands zu verbessern, ist umstritten. Im Workshop „Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft“ wurde die Auffassung vertreten, lieber „Stärken zu stärken und Schwächen in Kauf zu nehmen“. Die von den Experten konstatierte hohe Bedeutung von Bedarfsgerechten Bewässerungstechnologien mit über 90% (s. Abb. 70, S. 209) sollte aber bei weiteren Überlegungen bedacht werden.

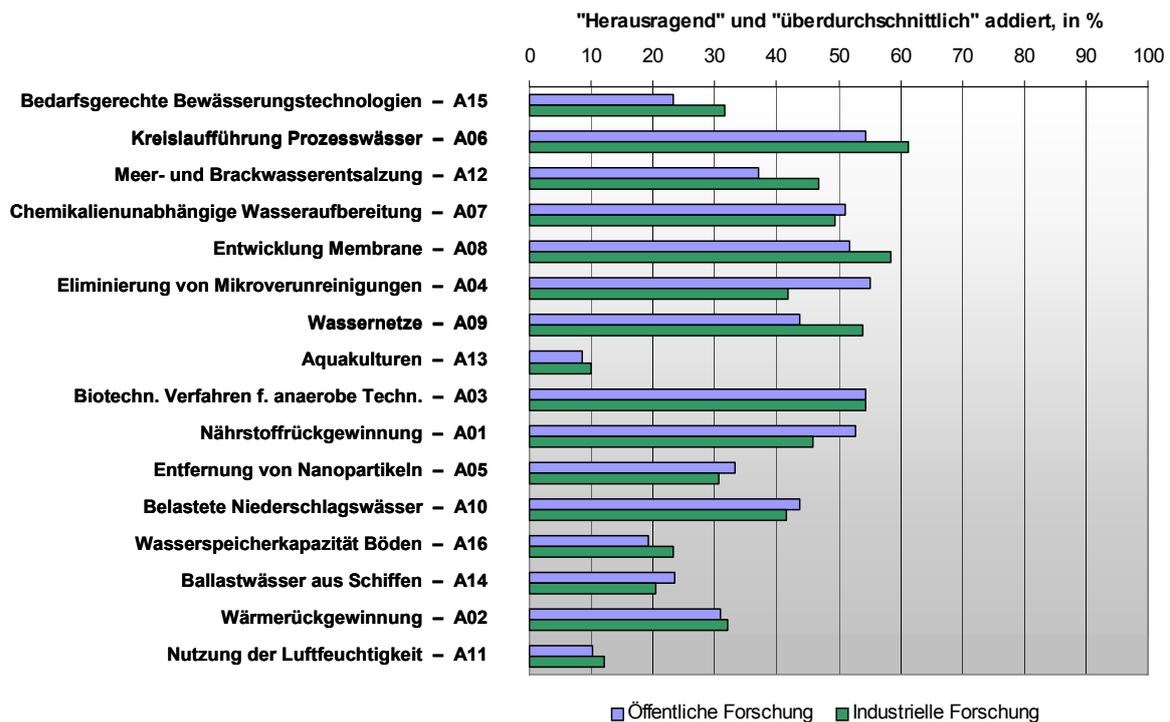


Abb. 73: Wassermanagement: Position Deutschlands im internationalen Vergleich gerankt nach der industriellen Forschung (die höchsten beiden Kategorien sind aggregiert und in Prozent dargestellt)

Betrachtet man die Abb. 73. im Vergleich zu den Clustern Klimaschutz / Luftreinhaltung (vgl. Abb. 78, S. 224 und Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft (vgl. Abb. 90, S. 255), so zeigt sich, dass die Nennungen der Kategorien „herausragend“ und „überdurchschnittlich“ im Bereich Wassermanagement prozentual geringer sind. Im Bereich Wassermanagement gehen die Werte bis max. 60%, während die beiden höchsten Kategorien in den beiden angesprochenen Clustern von bis zu 70% der Experten angekreuzt wurde.

Die Ergebnisse der Befragung und des Workshops lassen den Schluss zu, dass generell die wichtigsten Technologien im Bereich der „Abwasserbehandlung“, der „Wasseraufbereitung“ und der „Reduktion des Wasserverbrauchs“ identifiziert wurden. Da das Projektteam vor der nicht so einfachen Aufgabe stand, eine geringe Anzahl aus der großen Zahl der im Zwischenbericht gesammelten Technologien aus-

wählen zu müssen, wurden in den Workshops zu Recht fehlende Technologien angesprochen. Diese Technologien oder Themenbereiche wurden jedoch nicht übersehen, sondern sind lediglich in der Priorität zurückgesetzt worden. Ihnen wurde im State-of-the-Art-Report (Schippel et al. 2008) angemessener Platz eingeräumt. Auch die von den Experten kritisierte Fokussierung der Befragung rein auf Technologiebereiche und die klar geforderte Einbettung der Technologien in Komplettlösungen war im Zwischenbericht angesprochen worden.

Im Rahmen der Diskussion des Workshops wurde ausdrücklich auf die hohe Relevanz der Technologien zur Eliminierung von Mikroverunreinigungen (z.B. Arzneimittelrückstände) (A04) hingewiesen, die auch schon durch die Experten-Befragung bestätigt war. Besonders mit Bezug auf einen zukünftigen demographischen und sozialen Wandel in den Gesellschaften der Industrieländer erschien dem Projektteam die Technologie als unbedingt diskussionswürdig. In einer alternden Bevölkerung wird der Verbrauch von Medikamenten zunehmen und somit Pharmaka und deren Abbauprodukte vermehrt in die Abwässer gelangen. Mit den bisherigen Stand-der-Technik-Abwasseraufbereitungsverfahren können derartige Stoffe nicht ausreichend aus dem Abwasser entfernt werden. Dadurch entsteht nach unserer Einschätzung ein hoher Forschungsbedarf, der durch ein entsprechend breit angelegtes Programm des BMBF unterstützt werden könnte.

Darüber hinaus wurde die Abkehr von zentralen Wasserver- und Abwasserentsorgungssystemen zu (semi-)dezentralen Systemen vielstimmig geäußert. Bei den konventionellen, zentralen Systemen wären lange Zeiträume und ein hoher Finanzmittelbedarf bei der Implementierung notwendig. Daneben besteht die Gefahr, dass früh fertig gestellte Teile der Ver- und Entsorgungssysteme bereits wieder reparaturbedürftig sind, wenn an anderen Stellen die Infrastruktur erst in Betrieb geht. Semizentrale Systeme müssten, nach Aussage der Experten, mit anderen Systemen wie z.B. Wasserzuführung, Nährstoffzufuhr, Stoffströmen, Abwasser- und Abfallwirtschaft verzahnt werden. Daneben wiesen die Experten darauf hin, dass dezentrale Anlagen eine schwierige Organisation v.a. in Megacities nach sich ziehen und zudem die entsprechende Ausbildung von Fachkräften gewährleistet sein müsse. Dies deckt sich mit unserer bereits im Zwischenbericht dargestellten Ansicht, dass deutsche Anbieter verstärkt Gesamtpakete – abgestimmt mit den verantwortlichen Institutionen – auf dem internationalen Parkett präsentieren müssen.

Klar wurde auch, dass ein Paradigmenwechsel hin zu einer nachhaltigen Nutzung der Ressource Wasser durch eine ökoeffiziente Nutzung von Regenwasser und Abwasser und die Mehrfachnutzung und Kreislaufführung von Wasser anzustreben sei.

Nachstehend ist für die drei Technologiegruppen im Handlungsfeld Wasserressourcenmanagement die Bedeutung für die Lösung von Umweltproblemen der einzelnen Technologiebereiche in Abhängigkeit von unserer, auf Basis des Zwischenberichtes,

der Expertenbefragung und des Workshops vorgenommenen Einschätzung des Entwicklungsstandes abgebildet.

Die folgende Abbildung (s. Abb. 74) zeigt sehr deutlich durch die vergleichende Darstellung des jeweiligen Entwicklungsstandes der Technologiebereiche, dass besonders bei Technologiegruppe 1 „Abwasserbehandlung“ (Mikroverunreinigungen (A04), Nährstoffrückgewinnung (A01), Anaerobe Technologien (A03) und der Entfernung von Nanopartikeln (A05) noch viel Bedarf an Grundlagenforschung besteht. Im Gegensatz dazu bedarf es bei den anderen beiden Technologiegruppen mit Ausnahme der Entwicklung von Membranen, die dauerhaft gegen Biofilmbewuchs geschützt sind (A08), keiner Grundlagenforschung mehr. Klar wird auch, bei welchen Technologien die Experten „Anpassungsbedarf an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländern“ sehen. Dies lässt im Schluss den Vergleich mit dem Marktpotenzial zu. Bei Technologien, bei denen die Experten das Marktpotenzial in Schwellen- und Entwicklungsländern eher gering einschätzten, wird auch der Förderbedarf gering bewertet. In diesen Bereichen ist von einer Förderung, die auf eine Eroberung von Leadmärkten abzielt, durch die öffentliche Hand demnach abzusehen. Insgesamt gibt die Darstellung demnach gute Hinweise auf den Forschungsbedarf und damit auf den Förderbedarf.

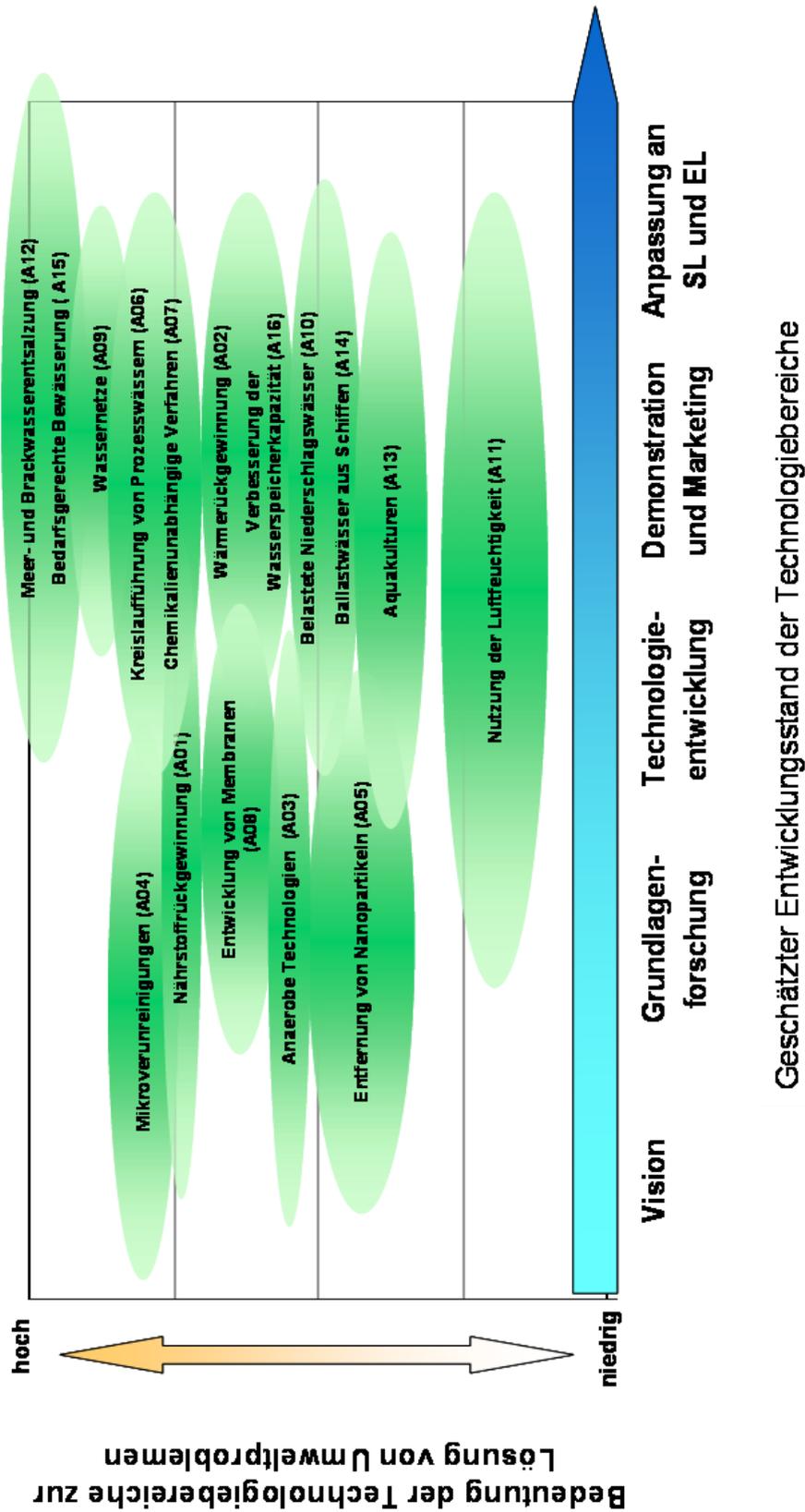


Abb. 74: Einschätzung von Entwicklungsstand und Bedeutung der ausgewählten Wassertechnologiebereiche für die Lösung von Umweltproblemen (die Einschätzung erfolgt auf Basis des Zwischenberichts, der Befragung und des Workshops)

Aus den Ergebnissen der Experten-Befragung und dem durchgeführten Experten-Workshop in Kombination mit eigenen Literaturrecherchen und Interviews mit Experten ergeben sich abschließend nachstehende, teilweise stichwortartig formulierte, Schlussfolgerungen für das Wasserressourcenmanagement:

1. Demographischer und sozialer Wandel in den Gesellschaften der Industrie führt zur deutlichen Abnahme der Bevölkerung. Dies bringt eine Erhöhung des Anteils alter Menschen und eine Verringerung des Anteils der Erwerbstätigen mit sich. In einer alternden Bevölkerung wird der Verbrauch von Medikamenten zunehmen und somit Pharmaka und deren Abbauprodukte vermehrt in die Abwässer gelangen. Mit den bisherigen Stand-der-Technik-Abwasseraufbereitungsverfahren können derartige Stoffe nicht ausreichend aus dem Abwasser entfernt werden. Hinzukommt, dass die bestehenden Abwassersysteme verschiedene Abwasserströme mischen, was zu schlechteren Wirkungsgraden in den Kläranlagen führt. Dadurch entsteht nach unserer Einschätzung ein hoher Forschungsbedarf, der durch ein entsprechend breit angelegtes Programm des BMBF unterstützt werden könnte. Zudem sollten die gesetzlichen Anforderungen an die Behandlung von Abwässern an die veränderte Situation angepasst werden.
2. Daneben sollte ein Schwerpunkt die zukünftige Entwicklung von urbanen Räumen und ihrem Umland sein. Es muss beantwortet werden, wie mit schrumpfenden Städten („Shrinking Cities“), aber auch mit schnell wachsenden Räumen und „Megacities“ umzugehen ist. In diesem Bereich fehlen noch nachhaltige Lösungen. Es sind beispielsweise neue Ver- und Entsorgungskonzepte und flexible Wasserinfrastrukturen zu entwickeln. Hierzu könnte der Einsatz von modularen Systemen, (semi-) dezentralen Systemen oder auch der Umbau von Kanalsystemen für flexible Durchflüsse untersucht werden.
3. Entsprechende Ansätze sind erkennbar, aber zukünftig muss Wasserressourcenmanagement noch stärker in eine ganzheitliche Sichtweise von Prozessen und Kreisläufen eingebettet werden. Wasser ist ein Querschnittsthema, bei dem Aspekte des Bodenschutzes, der Landwirtschaft, gesundheitliche Perspektiven, der Einfluss des Klimawandels und das Thema Energie integriert und kombiniert beachtet werden sollten. Ein Denken in Prozessen, ein Schließen von Stoffkreisläufen und ein Handeln über die Grenzen von Wasserressourcenschutz hinaus ist entscheidend. Zum Beispiel muss bei der Weiterentwicklung von Membrantechniken oder der Meerwasser- und Brackwasserentsalzung ebenfalls die Erhöhung der Energieeffizienz durch den Einsatz regenerativer Energien berücksichtigt werden. Zu Oberflächenwasser / Grundwasser bzw. zur Aufbereitung von Abwasser gehört auch immer der Schutz des Bodens. Dies macht neben dem angesprochenen weiten Prozessverständnis auch eine Kombination von Techno-

logien aus verschiedenen Bereichen, also prozessintegrierte Techniken, notwendig.

Um diese Integration zu erreichen und zu Systemlösungen bzw. Gesamtkonzepten zu kommen, sollte noch viel stärker zusammengearbeitet werden. Es muss durch entsprechende Rahmenbedingungen eine institutionelle Zusammenführung in der Forschung angesteuert werden. Wie auch in anderen Studien immer betont wird (vgl. BMU, UBA 2008) ist nach wie vor eine Verbesserung der Zusammenarbeit von Wirtschaft und Forschung anzustreben; „Networking“ kann in diesem Bereich noch stärker betrieben werden.

4. Anstreben eines Paradigmenwechsels hin zu einer nachhaltigen, ökoeffizienten Nutzung von Wasser: Wasser unterschiedlicher Qualitäten muss als ökonomisch nutzbare Ressource verstanden werden. In diesem Bereich kommen z.B. Technologien zur Nutzung von Regenwasser und Abwasser-ReUse und zur Mehrfachnutzung und Kreislaufführung von Wasser zum Tragen. Dezentral implementiert könnten diese Technologien nahe am eigentlichen Nutzungsprozess verwendet werden und eine an der intendierten Nutzung orientierte Wasserqualität bereitstellen. Darüber hinaus besitzt das Regenwassermanagement aufgrund seines Lowtech-Charakters und wegen der geringen Größe gute Exportchancen (UBA 2007).
5. Generelles Umdenken in der kommunalen Wasserwirtschaft: Die kommunale Wasserwirtschaft ist bis heute ein reines Durchflusssystem, im Gegensatz zu einer Teilstrombehandlung im Bereich der industriellen Wasserwirtschaft. Zudem hängt die kommunale Wasserwirtschaft dem hohen technischen Standard der Industrie beim Umgang mit Wasser hinterher. Die immer noch vorherrschende Trennung von Wasserver- und Abwasserentsorgung mit ihrer rigiden und langfristigen Struktur sollte überdacht werden und in neue Ent- und Versorgungssystemkonzepte münden.

In diesem Zusammenhang sollte auch der traditionelle Anschluss- und Benutzungszwang für leitungsgebundene Einrichtungen (gilt für Deutschland bzw. alle Länder mit derartigen Rahmenbedingungen) aufgelöst werden. Dieser hemmt z.B. den Einsatz von neuartigen, nachhaltigen und differenzierenden (semi-)dezentralen Konzepten. Hinzu kommt die monopolartig betriebene Wasserver- und Abwasserentsorgung, die die Notwendigkeit von Innovationen durch fehlenden Wettbewerb reduziert. Dies führt eventuell zu einer unzureichenden Wettbewerbsfähigkeit von deutschen Wassertechnologieunternehmen auf internationalen Märkten. (Semi-)dezentrale Systeme könnten den Wettbewerb und damit auch eine höhere Innovationsgeschwindigkeit begünstigen, weil diese Konzepte einen direkten Wettbewerb verschiedener Anbieter um die Haushalte implizieren würden.

6. Ein Mitdenken von Technologiefeldern, aus denen die hybride³ Wassertechnologie Komponenten bezieht, ist unabdingbar. Der wassertechnologische Fortschritt wird zu einem großen Maß vom technologischen Fortschritt im Komponentenbereich für die Wassertechnologien getrieben. Z.B. stellt die Werkstofftechnologie neue Werkstoffe und Wirkstoffe her (z.B. Oberflächenbeschaffenheit von Membranen) und aufgrund der Miniaturisierung sind zunehmend onlinefähige On-site-/In-situ-luK-Komponenten verfügbar (z.B. Direct-Push-Verfahren).
7. Themenkomplex Klimaänderungen und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft: Durch den Klimawandel wird es neben veränderten Hochwasserereignissen und Dürren vielerorts zu einer deutlichen Veränderung der Niederschlagsverhältnisse kommen und es wird damit zu rechnen sein, dass Starkniederschläge zunehmen werden. Aus diesem Grund sollten z.B. Kanalnetze überdacht und wenn notwendig, an die Klimaänderungen adaptiert werden. Durch Niedrigwasserperioden können zum einen die Wasserqualität der Gewässer und zum anderen auch die Gewässerstände beeinflusst werden, was wiederum Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung haben kann. Wegen der Vielzahl von möglichen Auswirkungen und der Bandbreite der Prozesse im natürlichen Wasserhaushalt ist es absolut notwendig einen langfristigen Aktionsplan, der auf fundierten Erkenntnissen beruht, aufzustellen. Diese Forderung führt zu einer Vielzahl von systemübergreifenden Themen für Grundlagenforschung, Technologieentwicklung usw., die auch numerische Simulationen und Modelle (Regionalisierung hydrologischer, klimatologischer/meteorologischer und gekoppelter Modelle, Unsicherheiten etc.) einschließen. Diese sind für die „Qualität“ von zukünftigen Entscheidungen von erheblicher Bedeutung und sollten gezielt gefördert werden.
8. Es werden zukünftig auf dem Weltmarkt keine standardisierten Lösungen, sondern anforderungs- und problemkonforme, aber flexible und modulare Lösungen in Kombination mit Dienstleistungen (Betreibermodelle u.Ä.) nachgefragt werden. An diese veränderte Nachfragesituation sollte sich auch eine erfolgreiche FuE-Agenda anpassen.
9. Abkehr von der strikten Trennung von Technologie und „Umfeld“: Technologien spielen an sich nur eine sekundäre Rolle und der Erfolg der deutschen Unternehmen hängt von den Akteuren „außen herum“ ab. Das heißt, dass die Einbettung von Technologien in entsprechende Governance-Strukturen entscheidend ist. Akteure müssen auf allen Ebenen mitgenommen werden, womit Fragen transdisziplinären Charakters und keine Black-Box-Technologien oder –Projekte bedeutsam werden. Unerlässlich sind Capacity-Building, optimale Strukturen vor

³ hybrid: Wassertechnologien kombinieren Technologien aus anderen Bereichen wie der Energietechnologie, Biotechnologie usw.

Ort und Schulung der einheimischen Arbeiter, eine regelmäßige Prüfung der Anforderungen sowie als einfachstes Mittel Anleitungen in verschiedenen Landessprachen.

10. Die Problematiken und „Hemmnisse“ sind in vielen Entwicklungsländern grundsätzlich anders gelagert als in Industrieländern. In diesen Regionen kommen beispielsweise Akzeptanzprobleme z.B. bei der Nährstoffnutzung und beim Kreislaufsystem oder auch die Anpassung von Technologien an die Höhenlage von Städten z.B. in Südamerika und in heißen Klimaten hinzu. Diese Themen sollten verstärkt in den Blickpunkt gerückt, Technologien auch in sozioökonomische Kontexte eingebracht und evtl. Auswirkungen auf Technologien und notwendige Anpassungen untersucht werden. Vor dem Hintergrund einer starken Exportorientierung wäre es wünschenswert, absehbare Entwicklungen, die für die Nachfragestruktur relevant sind, besser heraus zu arbeiten (z.B. zunehmender Wassermangel in vielen urbanen Zentren in Schwellen- und Entwicklungsländern).
11. Speziell für Entwicklungsländer ist die Entstehung von Abwasser, d.h. die Verschmutzung von Wasser zu vermeiden und die wirtschaftliche Entwicklung vom Wasserverbrauch zu entkoppeln. In diesem Zusammenhang erfordern die Identifikation geeigneter technologischer Alternativen sowie die Sammlung von praktischen Erfahrungen intensive Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen. In diesem Kontext spielt auch wieder die unter Punkt 9 genannte Einbettung in das lokale Umfeld eine wichtige Rolle, z.B. ist in diesem Fall die Bereitschaft der Bevölkerung umzudenken, unerlässlich.
12. Ausbau von deutschen Botschaften als Technologiebasen: Durch die Demonstration können innovative, für den jeweiligen Standort interessante, einsetzbare Produkte, Verfahren und Dienstleistungen qualitativ und umfassend propagiert und darüber informiert werden. Darüber hinaus bedarf es aber auch in Deutschland weiterer Referenz- und Pilotprojekte.
13. Auf Basis des State-of-the-Art-Reports, der Expertenumfrage und des Workshops können weitere förderungswürdige und entwicklungsfähige Wassertechnologien und beachtenswerte Themen des Wasserressourcenmanagements identifiziert werden:
 - Bedarfsgerechte Bewässerungstechnologien und deren intelligente Steuerung („precision irrigation“)
 - Wärmerückgewinnung aus Abwasser oder Grauwasser
 - Neue biotechnische Verfahren zur Anwendung anaerober Technologien bei der Abwasserbehandlung mit z.B. Biogasgewinnung und -nutzung

- Filtertechniken auf Basis der Membran- und Biotechnologie mit z.B. längerer Lebensdauer und geringerer Anfälligkeit der Membranen
- Aquakulturen mit einfachen und robusten Kreislauftechnologien in modularen Produktionsanlagen
- Technologien zur Aufbereitung von Ballastwässern aus Schiffen
- Virtuelles Wasser: Die Untersuchungen sollten auf einen künftig sparsameren Wasserverbrauch zielen. Hierzu muss transparent gemacht werden, dass z.B. wasserintensive und exportorientierte Agrarnutzung in Trockenregionen der Erde ökologisch nicht sinnvoll ist. Deutschland exportiert virtuelles Wasser und importiert virtuelles Wasser vor allem in Agrarprodukten, so braucht Deutschland 20.000 Liter Wasser, um ein Kilo Kaffee zu produzieren und 10 Liter für ein Blatt Papier. Deutschland gehört zu den „Top Ten“ der Nettoimporteure von virtuellem Wasser. Da zu erwarten ist, dass durch die zunehmende Globalisierung der virtuelle Wassergebrauch noch zunehmen wird, sind hier Forschungen anzustreben, wie durch eine nachhaltige Nutzung die weltweiten Wasserressourcen zu sichern sind.

3 Klimaschutz und Luftreinhaltung

Generell hat sich gezeigt, dass von den Experten dem Handlungsfeld Klimaschutz durchweg eine hohe Bedeutung zugemessen wird. Am deutlichsten machen dies die Ergebnisse der im allgemeinen Teil der schriftlichen Befragung gestellten Fragen zum globalen und nationalen Problemdruck in den sieben Handlungsfeldern, wobei dem Klimaschutz nach Wassermanagement der größte Problemdruck zugewiesen wird (s. Abb. 4, S. 21). Der Problemdruck im Handlungsfeld Luftreinhaltung wurde hingegen deutlich niedriger eingestuft, besonders auf der nationalen Ebene. Insbesondere die Workshop-Diskussion lieferte eine Reihe Gründe, die unterstreichen, dass die Bedeutung dieses Handlungsfeldes möglicherweise unterschätzt wird, weil andere Probleme, wie der Klimawandel, das mediale und politische Interesse auf sich ziehen.

Probleme der Luftreinhaltung stellen, so einige Workshop-Teilnehmer, nachweislich eine unmittelbare Bedrohung für die Gesundheit auch in den Industrienationen dar, im Gegensatz zu der bisher – zumindest in Deutschland – oft eher abstrakten Bedrohung durch den Klimawandel.

Abb. 75 bezieht sich auf die im Fragebogen für alle Technologiebereiche gestellte Frage „Wie würden Sie die zukünftige Bedeutung dieser Technologien für die Lösung von Klimaschutzproblemen / Luftqualitätsproblemen einschätzen“. In der Abbildung wurden die Antwortkategorien „äußerst wichtig“ und „wichtig“ zusammengefasst und in Prozent dargestellt. Beachtet werden muss, dass die Vergleichbarkeit der Technologiebereiche schon durch die unterschiedlichen Aggregationsebenen (teilweise sehr spezielle Einzeltechnologien, teilweise sind ganze Technologiefelder abgefragt) und durch die stark unterschiedliche Anzahl antwortender Personen mit variierendem fachlichen Hintergrund eingeschränkt ist. Dennoch gibt die Graphik einen Eindruck von der Streubreite der geschätzten Problemlösungskapazität. Technologien, bei denen sich jeweils über 80% der Antwortenden für „äußerst wichtig“ und „wichtig“ entschieden haben, sind in rot dargestellt. Das Ranking zeigt, dass die Technologiebereiche aus dem Handlungsfeld Klimaschutz die oberen Bereiche einnehmen. Doch auch einige Technologien aus dem Bereich Luftreinhaltung zeigen hier sehr hohe Einschätzungen im Hinblick auf ihre Problemlösungskapazität.

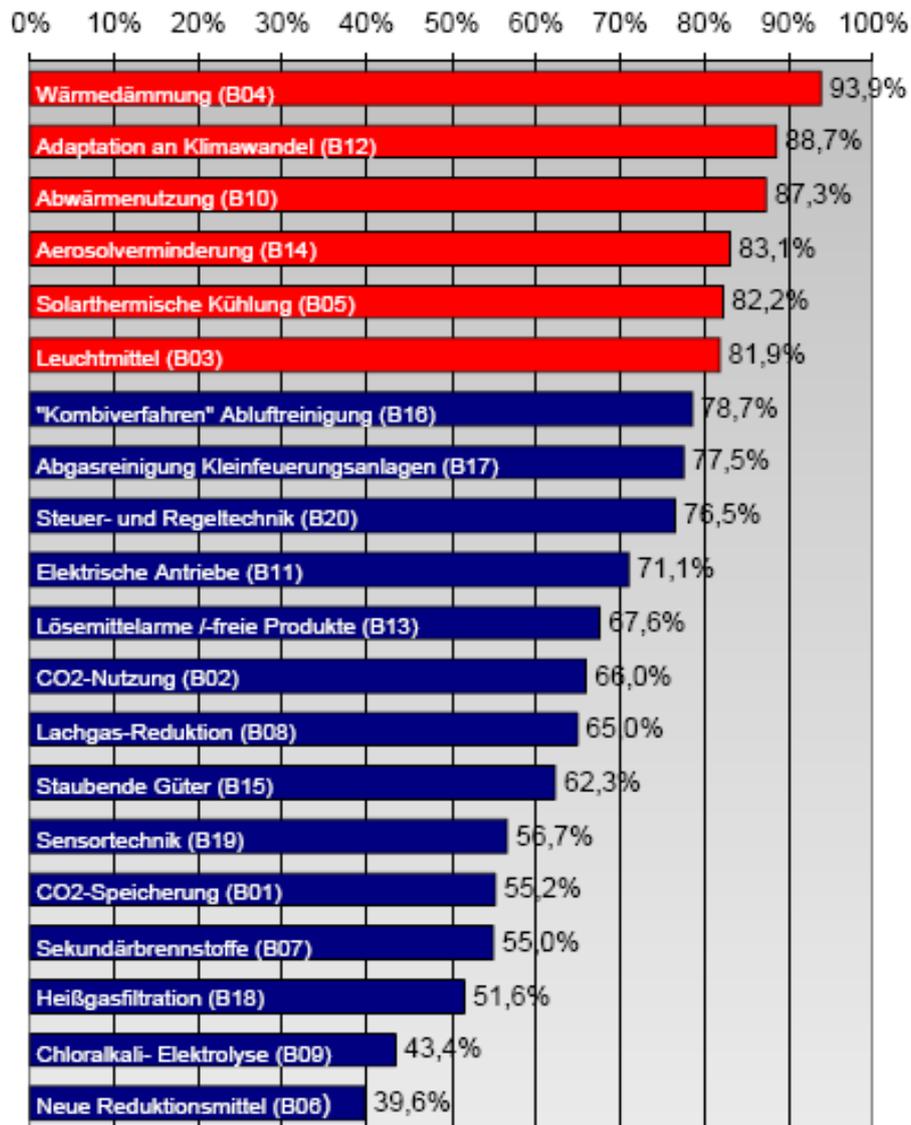


Abb. 75: Ranking der Technologien im Cluster Klimaschutz/Luftreinhaltung nach „Bedeutung“ (Nennungen in Prozent, „äußerst wichtig“ und „wichtig“ kumuliert)

Abb. 76 zeigt die geschätzten Marktpotenziale über das gesamte Handlungsfeld. Dabei zeigt sich, dass die Höhe der geschätzten Marktpotenziale eng mit dem wirtschaftlichen Entwicklungsstand korreliert. Mit lediglich einer Ausnahme (B12: Anpassung an den Klimawandel) werden die höchsten Marktpotenziale in den Industrieländern gesehen, gefolgt von den Schwellen- und den Entwicklungsländern. Generell wird dabei das Marktpotenzial in den Industrieländern als gut bis sehr gut angesetzt, Werte unter 4 sind selten. Auch die Werte der Technologiebereiche die im Ranking der Bedeutung schlechter abschnitten (vgl. Abb. 75) sind nicht deutlich unter dem Mittelwert von 4.

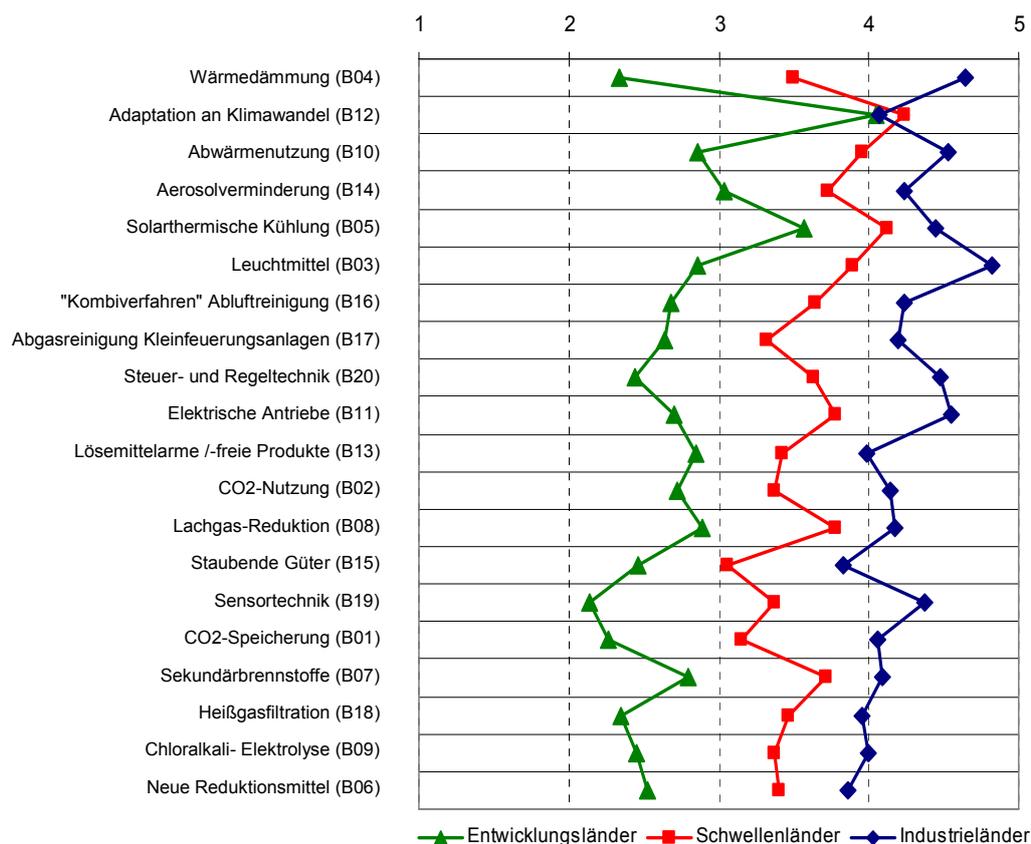


Abb. 76: Geschätzte Marktpotenziale für das Cluster Klimaschutz / Luftreinhaltung (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt)

Bei den Hemmnissen (s. Abb. 77) fällt auf, dass über das gesamte Cluster Klimaschutz/Luftreinhaltung gesehen „ungelöste technische Probleme“ als Hemmnis dominieren, gefolgt von „fehlende FuE-Kapazitäten bei KMU“ und „unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten“. Die anderen drei Kategorien erhalten deutlich weniger Nennungen, wobei besonders die relativ geringe Anzahl an Nennungen bei „kontraproduktiven politischen Rahmenbedingungen“ und „fehlende gesellschaftliche Akzeptanz“ zunächst erstaunen mag. Es wäre zu vermuten, dass viele der genannten Technologiebereiche stark regulierungsabhängig sind. Beispielsweise würde CCS nur auf Druck existierender oder antizipierter politischer Regulierungen eingesetzt werden, da erst solche Regulierungen ökonomische Erfolgsaussichten eröffnen. Somit lässt sich argumentieren, dass durch die Nennung des Hemmnisses „unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten“ zumindest indirekt auch die politischen Rahmenbedingungen als Hemmnis angesprochen sind.

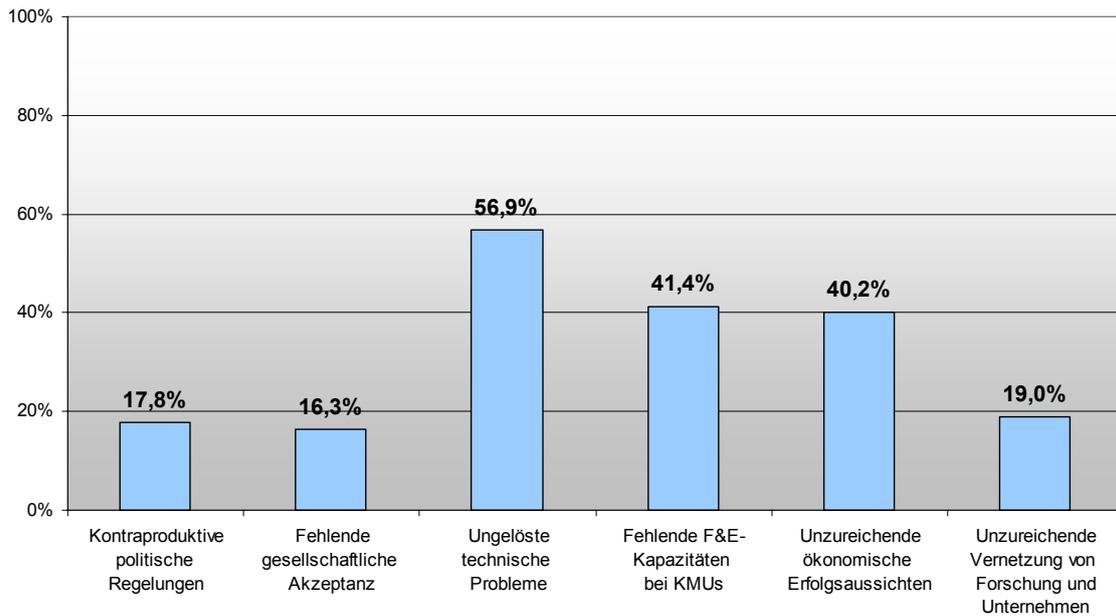


Abb. 77: Hemmnisse im Cluster Klimaschutz / Luftreinhaltung. (Durchschnitt der relativen Nennungen über alle Technologiebereiche im Cluster Klimaschutz / Luftreinhaltung.)

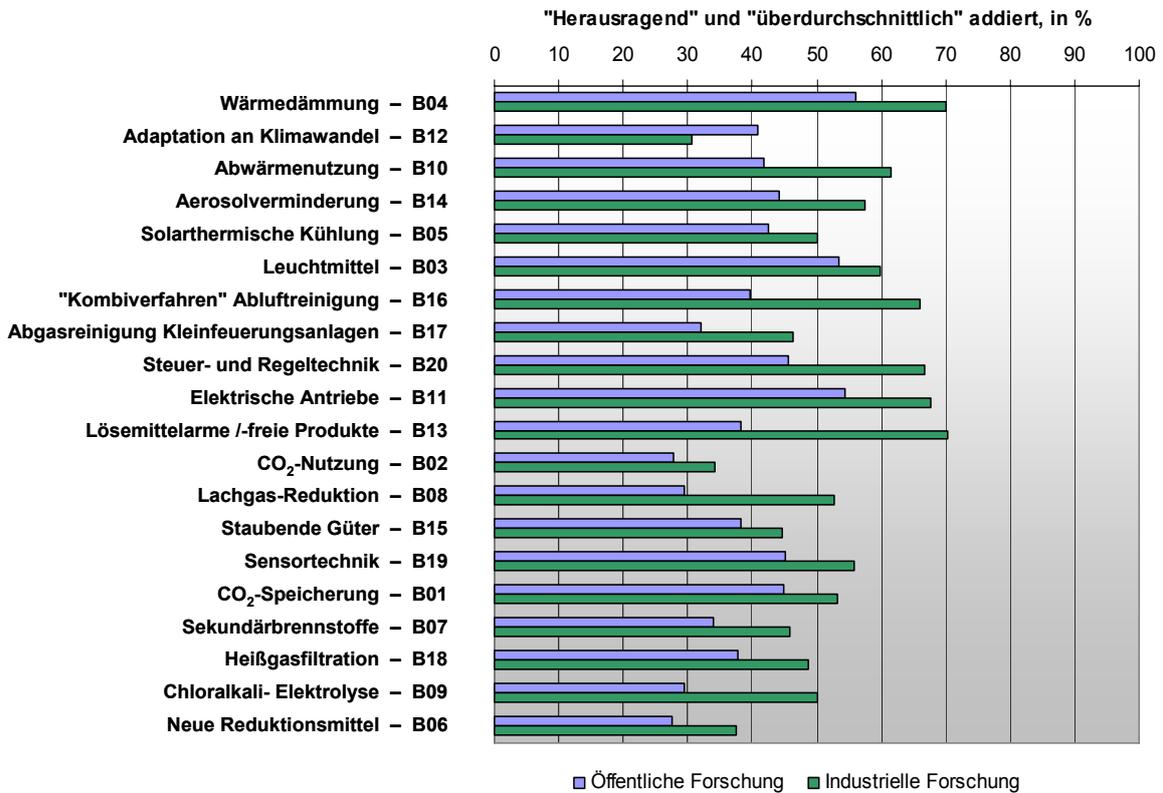


Abb. 78: Klimaschutz / Luftreinhaltung: Position Deutschlands im internationalen Vergleich (gerankt nach der industriellen Forschung; die höchsten beiden Kategorien sind aggregiert und in Prozent dargestellt)

In Abb. 78 ist die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich dargestellt, dabei wurde das Ranking nach Bedeutung übernommen, die Technologien mit der größten Zustimmung hinsichtlich der Problemlösungskapazität stehen also oben. Es fällt auf, dass Technologien die im Hinblick auf die Stellung Deutschland bei der industriellen Forschung 60% und mehr positive Einschätzungen bekommen, in der oberen Hälfte der Liste stehen. Besonders die Wärmedämmung (B04) und die elektrischen Antriebe (B11) wie auch die Leuchtmittel erreichen sowohl bei der industriellen als auch bei der öffentlichen Forschung gute Werte. Bei der industriellen Forschung sind zudem "Lösemittelarme- / freie Produkte" (B13), "Steuer- und Regeltechnik" (B20) sowie die "Kombiverfahren Abluftreinigung" (B16) hervorzuheben - alle aus dem Handlungsfeld Luftreinhaltung. Ein Vergleich mit den anderen Clustern zeigt, dass die Technologien bei Wassermanagement sowie bei Bodenschutz / Biodiversität bezüglich der Stellung Deutschlands weniger positiv eingeschätzt werden.

Die Ergebnisse unterstützen zum einen die häufige genannte gute Stellung Deutschlands in den Bereichen Klimaschutz und Luftreinhaltung. Es wird aber auch deutlich, dass das nicht für alle „interessanten“ Technologiebereiche gelten muss. Ebenfalls verdeutlicht die Graphik, dass es einen Unterschied macht, ob im Hinblick auf die Stellung Deutschlands nach der öffentlichen oder nach der industriellen Forschung gefragt wird. Beide Werte verhalten sich teilweise sehr unterschiedlich. Die industrielle Forschung wird in der Regel als deutlich besser eingeschätzt als die öffentliche.

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus den einzelnen Technologiebereichen zusammenfassend analysiert. Ein Blick auf die Ergebnisse zeigt zunächst

- generell eine recht hohe Übereinstimmung zwischen Workshop-Ergebnissen und Ergebnissen der Befragung; allerdings gab es auch einige deutliche Abweichungen;
- generell eine hohe Zustimmung zu den meisten ausgewählten Technologiebereichen in der Befragung und in den Workshops,
- deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Technologiegruppen hinsichtlich der Anzahl der Experten, die die Fragen in der Befragung beantwortet haben.

3.1 Technologiegruppe 1: CO₂-Behandlung und Klimafolgen

Die höchste Bedeutung wurde in dieser Gruppe dem Technologiebereich Adaptation an den Klimawandel (B12), zugewiesen. Diese These umspannt ein sehr weites Feld von technologischen Ansätzen mit sehr unterschiedlichem Forschungs- und Förderbedarf und vielseitigen Anwendungsbereichen, auch in Entwicklungsländern. Sie wurde in das Sample bewusst in dieser allgemeinen Form aufgenommen, um sie für grobe Vergleiche den Mitigations-Technologien gegenüber stellen zu können. Die hohe Zustimmung zu diesem Technologiebereich kann als zwar eher allgemeines,

aber dennoch sehr starkes Plädoyer für eine umfassende Forschung und deren Förderung in diesem Feld fest gehalten werden. Etwas konkretisiert wird diese Aussage durch die Bewertung der Adaptations-Technologien in anderen Handlungsfeldern (besonders: Wassermanagement, aber auch Bodenschutz sowie Erhalt von Natur und Biodiversität).

Technologien zur Speicherung von CO₂ (B01) wurden sowohl in der Befragung, als auch in den Workshops sehr unterschiedlich bewertet, was der im State-of-the-Art-Report dokumentierten kontroversen Diskussion in der Literatur entspricht. Insgesamt wurde der Technologiebereich im Hinblick auf die Problemlösungskapazität oft kritisch eingeschätzt. Besonders im Workshop wurde eine CCS-Anwendung nur in Deutschland oder auch den westlichen Ländern als nicht ausreichend im Kampf gegen den Klimawandel angesehen. Die Marktpotenziale in Schwellen- und Entwicklungsländern wurden aber sehr skeptisch gesehen. Gefordert wurde eine entsprechende Begleitforschung im Sinne einer umfassenden Technikfolgenabschätzung, die auch Fragen der Akzeptanz, der Risikokommunikation und der Partizipation bei einer Standortauswahl einschließt. Daran anschließend sollte die Marktforschung stärker auf Analysen in den Zielländern selbst gestützt werden. Zudem sollte die CCS-Forschung verstärkt in ein breiteres Forschungskonzept eingebettet sein, das alternative Wege der CO₂-Verwertung berücksichtigt und vergleichend bewertet.

Dies wird durch die Ergebnisse für Technologien zur industriellen Nutzung von CO₂ (B02) unterstrichen. Auch wenn die Potenziale für eine Verwertung des abgefangenen CO₂ (z.B. über Algen) vorsichtig betrachtet wurden, schätzen die befragten Experten die Bedeutung dieses Technologiebereiches doch als relativ hoch ein und ebenso den entsprechenden Forschungsbedarf. Neben den Industrieländern wird hier auch für die Schwellenländer ein vergleichsweise hohes Marktpotenzial gesehen.

3.2. Technologiegruppe 2: Emissionsreduktion bei Gebäuden

Deutlich weniger kontrovers waren die Ergebnisse in dieser Gruppe. Wie bereits im State-of-the-Art-Report wurde auch in der Befragung und in den Workshops eine hohe Problemlösungskapazität konstatiert. Allen vier Technologiebereichen zur Emissionsreduktion bei Gebäuden („Cleaner Buildings“) wird eine hohe bis sehr hohe Relevanz bei der Bewältigung der Klimaschutz- und Luftqualitätsprobleme beigemessen. Im Hinblick auf die Forschungsförderung wurde der größte Bedarf im gesamten Cluster bei der Technologieentwicklung und besonders im Bereich Demonstration und Marketing gesehen, was sich als sehr starkes Plädoyer für anwendungsorientierte Forschungsprojekte lesen lässt. Das gilt für alle vier Technologiebereiche, besonders aber für die solarthermische Kühlung und die Wärmedämmung.

Wärmedämmung (B04) hat bei der Problemlösungskapazität die höchste Position im gesamten Cluster. Es wird von einem sehr hohen Marktpotenzial in den Industrieländern ausgegangen, was sich mit den Ergebnissen anderer Studien deckt (BMU / UBA 2007). In den Workshops wurde die große Bedeutung klar unterstrichen, aber auch betont, dass nicht allein Dämmmaterialien im Mittelpunkt stehen sollten, sondern dass das Gebäude als Ganzes zu betrachten wäre. Zudem können die technischen Potenziale nur ausgeschöpft werden, wenn die Nutzer richtig mit den Technologien umgehen bzw. die Technologien auf das Nutzerverhalten hin optimiert sind. Die Schnittstelle Mensch-Technik spielt eine wichtige Rolle. In der Befragung wurde auch die Stellung Deutschlands besonders im Bereich industrieller Forschung als klar überdurchschnittlich eingeschätzt.

Der Anteil für Beleuchtungszwecke am Gesamtenergieverbrauch in Deutschland wird mit ca. 10% angegeben (BMBF 2007a, 40) – diese Zahl bezieht sich allerdings nicht nur auf den Gebäudebereich. Damit könnte die extrem hohe Einschätzung des Marktpotenzials in Industrieländern für Energieeffiziente Beleuchtungssysteme (B03) erklärt werden. Zudem wird die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich bei diesem Technologiebereich deutlich positiv bewertet. Hinsichtlich der Solarthermischen Kühlung (B05) wird in der Literatur vielfach im Zusammenhang mit dem Klimawandel von einem wachsenden sommerlichen Kühlbedarf auch in Mitteleuropa ausgegangen. Auffällig ist zudem das vergleichsweise sehr hohe Marktpotenzial für Schwellen- und auch für Entwicklungsländer. Die Ergebnisse wurden durch die Workshop-Diskussion bestätigt. Bei den Hemmnissen werden „ungelöste technische Probleme“ häufig genannt. Auffällig ist die häufige Nennung von „fehlender gesellschaftlicher Akzeptanz“ bei den neuartigen Leuchtmitteln und Beleuchtungssystemen. Wie im Workshop diskutiert, scheint sich die Akzeptanz hier weniger auf die Risiken (s.o. CCS) sondern auf die Qualität der Technologie, d.h. des Lichtes zu beziehen, sowie auf die Entsorgungsproblematik (Quecksilber).

Bei Abgasreinigungssystemen für Kleinfeuerungsanlagen (B17) wurde im Workshop besonders auf den starken Zuwachs an privaten Kleinfeuerungsanlagen hingewiesen. Weiter wurde betont, dass neben End-of-Pipe-Lösungen einer optimierten Verbrennung eine wichtige Rolle zukäme. Hier spielt auch wieder die Schnittstelle „Mensch-Technik“ eine wichtige Rolle.

3.3. Technologiegruppe 3: Prozessspezifische Lösung zu Emissionsreduktion

Die Problemlösungskapazität der in dieser Gruppe zusammengefassten Technologiebereiche wurde in den Workshops und der Befragung als deutlich geringer als bei den anderen Technologiegruppen eingestuft. Auch der Forschungsbedarf wurde

durchgehend vergleichsweise als niedrig angesehen. Zudem fällt auf, dass die Technologien in dieser Gruppe von relativ wenig Experten durchgängig bearbeitet wurden. Das lässt sich zumindest teilweise damit erklären, dass nach speziellen industriellen Prozessen gefragt wurde, weshalb für die Beantwortung der Fragen einen recht hohen Grad an Spezialwissen nötig war. Dies wird auch dadurch unterstrichen, dass die etwas allgemeiner formulierten Technologiebereiche zu den Sekundärbrennstoffen (B07) und den Lösemittelarmen Produkten (B13) mehr Antworten erhalten haben als die anderen drei Technologiebereiche.

Der Lachgaszersetzung in der Adipin- und Salpetersäureproduktion (B08) wird in der Literatur ein großes Reduktionspotenzial zugeschrieben (McKinsey 2007b), was durch die Befragungsergebnisse und auch die Workshop-Diskussion nicht vollständig bestätigt wird. Dass der Chloralkali-Elektrolyse (B09) und dem Einsatz neuer Reduktionsmittel bei der Stahlerzeugung (B06) vergleichsweise wenig Bedeutung zugemessen wird, mag ebenfalls mit der prozessspezifischen Formulierung dieser Technologiebereiche erklärt werden. Die Workshop-Teilnehmer sahen allerdings das Problemlösungspotenzial der Chloralkali-Elektrolyse als deutlich höher an als es das Ergebnis der Befragung suggeriert. Auch der Bedarf an Forschung und Technologieentwicklung für das in komplexe Verarbeitungsstrukturen eingebundene Grundverfahren der chemischen Industrie wurde als relativ hoch bewertet. Auch die Stahlindustrie trägt mit signifikantem Anteil zu den industriellen CO₂-Emissionen in Deutschland bei (McKinsey 2007b berechnet 16,4% für 2004). Neue Reduktionsmittel in der Eisen- und Stahlindustrie (B06) wurden aber weder in der Befragung noch in den Workshops allzu optimistisch bewertet. Vorhandene Reduktionsmittel werden nach Verfügbarkeit eingesetzt, neue Reduktionsmittel seien nicht in Sicht. Wasserstoff ist derzeit nicht in ausreichender Menge verfügbar und würde eventuell auch in anderen Anwendungsbereichen klimaschonend eingesetzt werden können, diskutiert werden bekanntlich die mobile und die stationäre Energieversorgung. Weitere CO₂-Minderungen müssten den gesamten Prozess berücksichtigen und eine Modifikation des Verfahrens selbst anstreben.

Bzgl. der Sekundärrohstoffe in industriellen Hochtemperaturprozessen (B07) fällt die vergleichsweise häufige Nennung der Hemmnisse „fehlender gesellschaftlicher Akzeptanz“ und „kontraproduktiven politischen Rahmenbedingungen“ auf. Generell wurde hier von einem hohen Regelungsbedarf ausgegangen, weitere technologische Durchbrüche sind kaum zu erwarten. Im Hinblick auf die Lösemittelarmen Produkte (B13) betonten die Workshopteilnehmer, dass es sich um sehr unterschiedliche Anwendungen handeln kann und der Forschungsbedarf nur auf die genaue Anwendung bezogen ermittelt werden könne. Sehr auffällig ist, dass die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich für die industrielle Forschung eine sehr positive Einschätzung erfährt, es wurde der zweitbeste Wert im gesamten Sample erreicht. Dies kann

als deutlicher Hinweis auf große angebotsseitige Potenziale in Deutschland interpretiert werden.

3.4 Technologiegruppe 4: Emissionsreduktion in industriellen Prozessen / Integrierte Ansätze mit Querschnittscharakter

Den in dieser Gruppe zusammengefassten Technologien wurde wieder eine erheblich höhere Problemlösungskapazität zugeschrieben. Die Abwärmenutzung in industriellen Prozessen (B10) erhält auffallend großen Zuspruch, das gilt sowohl für die Befragung als auch für die Workshops. Die Marktpotenziale in den Industrie- und auch Schwellenländern werden als hoch eingeschätzt, die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich wird positiv bewertet. Schon in der Befragung wurde der größte Forschungsbedarf bei der Technologieentwicklung sowie bei „Demonstration und Marketing“ gesehen. Das wurde in den Workshops durch die Aussage unterstrichen, dass die relevante Technik im Grunde vorhanden wäre, es bedürfe also der Umsetzung bzw. der Anpassung an die jeweilige Situation. Dabei handele es sich oft auch um ein organisatorisches Problem. In der Befragung wurde zudem die Hoffnung geäußert, die öffentliche Förderung der Umsetzung könnte zum einen zu einer Senkung der Kosten sowie auch zur Entwicklung von Konzepten der Niedertemperaturwärmenutzung (z.B. Nahwärmenetzen) führen.

Die Bedeutung elektrischer Antriebe (B11) wird in der Befragung und den Workshops relativ hoch bewertet. Hier müsste der Stromverbrauch mehr als Kostenfaktor wahrgenommen werden, um vorhandene Potenziale auszuschöpfen bzw. bereits existierende Technologien zum Einsatz zu bringen. Dies gilt, wie die schriftliche Umfrage zeigt gerade auch für KMU. Die industrielle Forschung in Deutschland wird im internationalen Vergleich sehr positiv wahrgenommen. Die Marktpotenziale werden in den Industrieländern sehr hoch eingeschätzt. Dies alles spricht gerade aus deutscher Sicht dafür, der Erschließung dieser Potenziale noch mehr Aufmerksamkeit zukommen zu lassen. Forschungs- und Förderbedarf wird, wie auch bei der Steuer- und Regeltechnik (B20), vorwiegend bei Technologieentwicklung sowie bei Demonstration und Marketing gesehen.

Der Einsatzbereich kostengünstiger Sensoren zur Echtzeitmessung von Zusammensetzungen und Konzentration gasförmiger Stoffe (B19) umfasst z.B. die Datenerhebung zur Steuerung von Prozessen, zur Überwachung und Steuerung einer Abgasreinigung, aber auch die Überwachung der Luftqualität in Klimaanlage u.Ä., und die Möglichkeit umgehend (z.B. bei Terrorangriffen) zu warnen sowie einen entsprechenden Schutzmechanismus in Gang zu setzen. Dieser Technologiebereich wurde in der Workshop-Diskussion wichtiger eingeschätzt als in der Befragung, wobei im Workshop das Thema breiter diskutiert wurde und nicht wie in der Befragung auf gasförmige Stoffe eingeschränkt war.

3.5 Technologiegruppe 5: Emissionsreduktion in industriellen Prozessen / Additive Ansätze mit Querschnittscharakter

Die in dieser Gruppe zusammengefassten Technologien wurden im Hinblick auf ihre Bedeutung für die Lösung von Problemen in den Bereichen Klimaschutz und Luftreinhaltung unterschiedlich bewertet. Die Aerosol-Minderung (B14) wurde in der Befragung, aber besonders auch im Workshop, als sehr bedeutend eingestuft, was insbesondere an den mit Aerosolemissionen verbundenen Gesundheitsgefährdungen liegt. Forschungsbedarf wurde in verschiedenen Bereichen gesehen. Es wurde betont, dass nicht nur die Abscheidung, sondern besonders auch die Messtechnik eine wichtige Rolle spiele. Weiter sind Bildungsmechanismen, Zusammensetzung, biologische Wirksamkeit und Wirkungszusammenhänge vielfach unbekannt. Durch öffentlich geförderte Grundlagenforschung erhoffen sich die Experten weitere Erkenntnisse der Wirkungsmechanismen. Noch wichtiger erscheint die Technologieentwicklung. Die Position Deutschlands im internationalen Vergleich wird in diesem Bereich zumindest für die industrielle Forschung sehr positiv gesehen.

Relative große Bedeutung wurde zudem den Kombinierten Verfahren zur Abluftreinigung (B16) zugeschrieben, Forschungsbedarf wurde hier vor allem in der Technologieentwicklung gesehen. Die Technologien zur Verminderung oder Vermeidung von Arbeitsplatz- / Umgebungsbelastungen beim Umschlag staubender Güter, insbesondere kleinster Partikel (B15) wurden als weniger bedeutend eingestuft. Auch wenn der Entwicklungsstand der Abluft- / Abgasreinigung in Deutschland als gut gilt, werden der Kombination verschiedener Einzelverfahren in einem Aggregat (B16) weiterhin gute Zukunftschancen eingeräumt, insbesondere auch für kleinere Anwendungen an dezentralen Anlagen. Ein hoher Nachholbedarf wird in den Schwellenländern gesehen. Die Bedeutung der Heißgasfiltration (B18) wurde kritisch diskutiert, u.a. wegen der großen ungelösten technischen Probleme und der bisher sehr hohen Kosten. Das entspricht auch den Ergebnissen der schriftlichen Befragung.

Auf Basis dieser Ergebnisse wurden aus dem Bereich Klimaschutz und Luftreinhaltung die folgenden Prioritätsfelder ausgegliedert, die in Kapitel 6 beschrieben werden:

- Technologien zur Adaptation an den Klimawandel
- Vergleichende Analyse von CCS und CO₂-Nutzung unter dem Aspekt eines integrierten CO₂-Management
- „Cleaner Buildings“: anwendungsorientierte und integrierte Forschung
- Abwärmennutzung in industriellen Prozessen
- Erhöhung der Effizienz elektrischer Antriebe in industriellen Prozessen

- Vermeidung / Verminderung klima- und luftschadstoffrelevanter Aerosolemmissionen

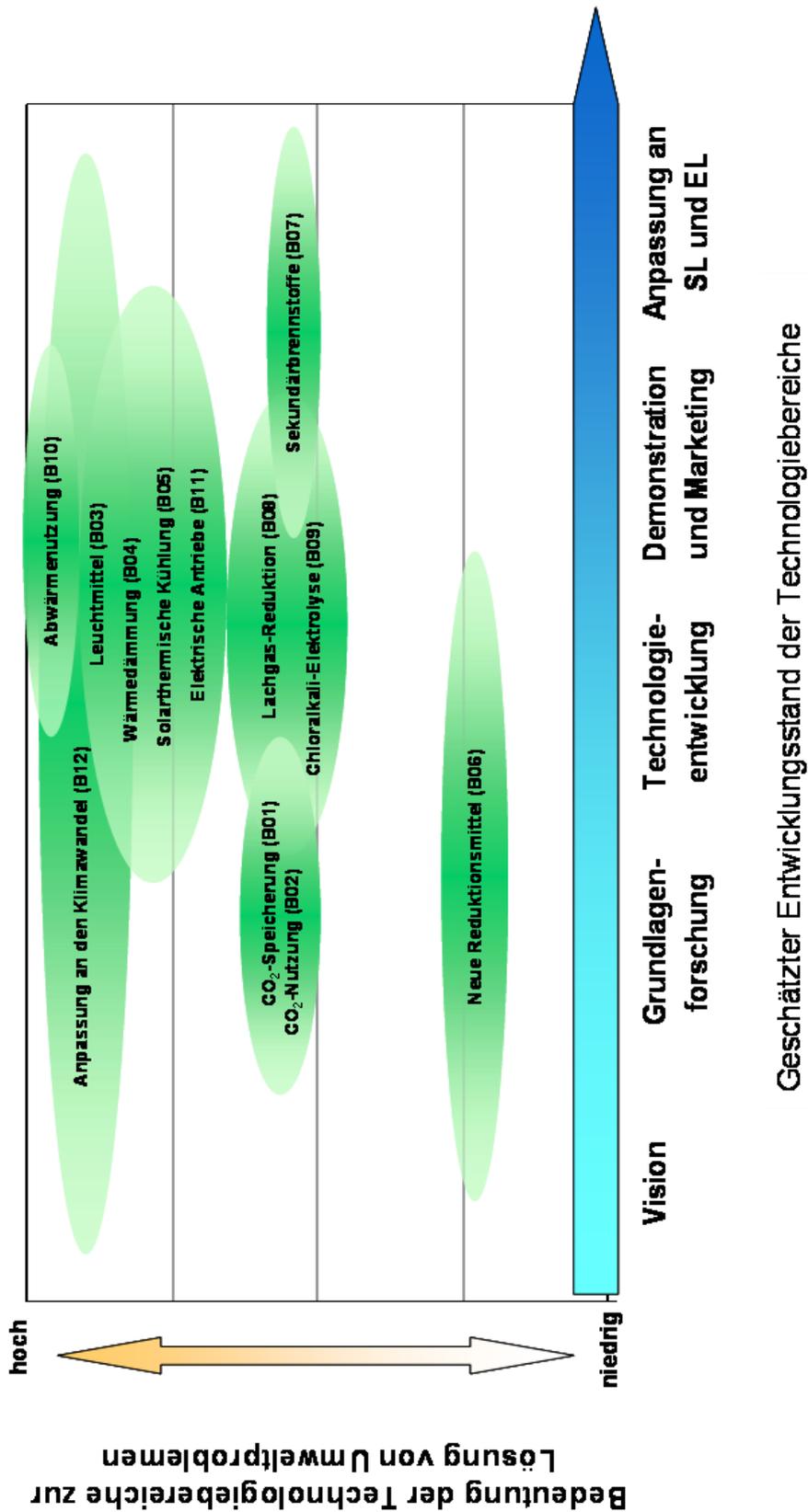


Abb. 79: Klimaschutz: Einschätzung von Entwicklungsstand und Bedeutung für die Lösung von Umweltproblemen (die Einschätzung erfolgte auf Basis des Zwischenberichts, der Befragung und des Workshops)

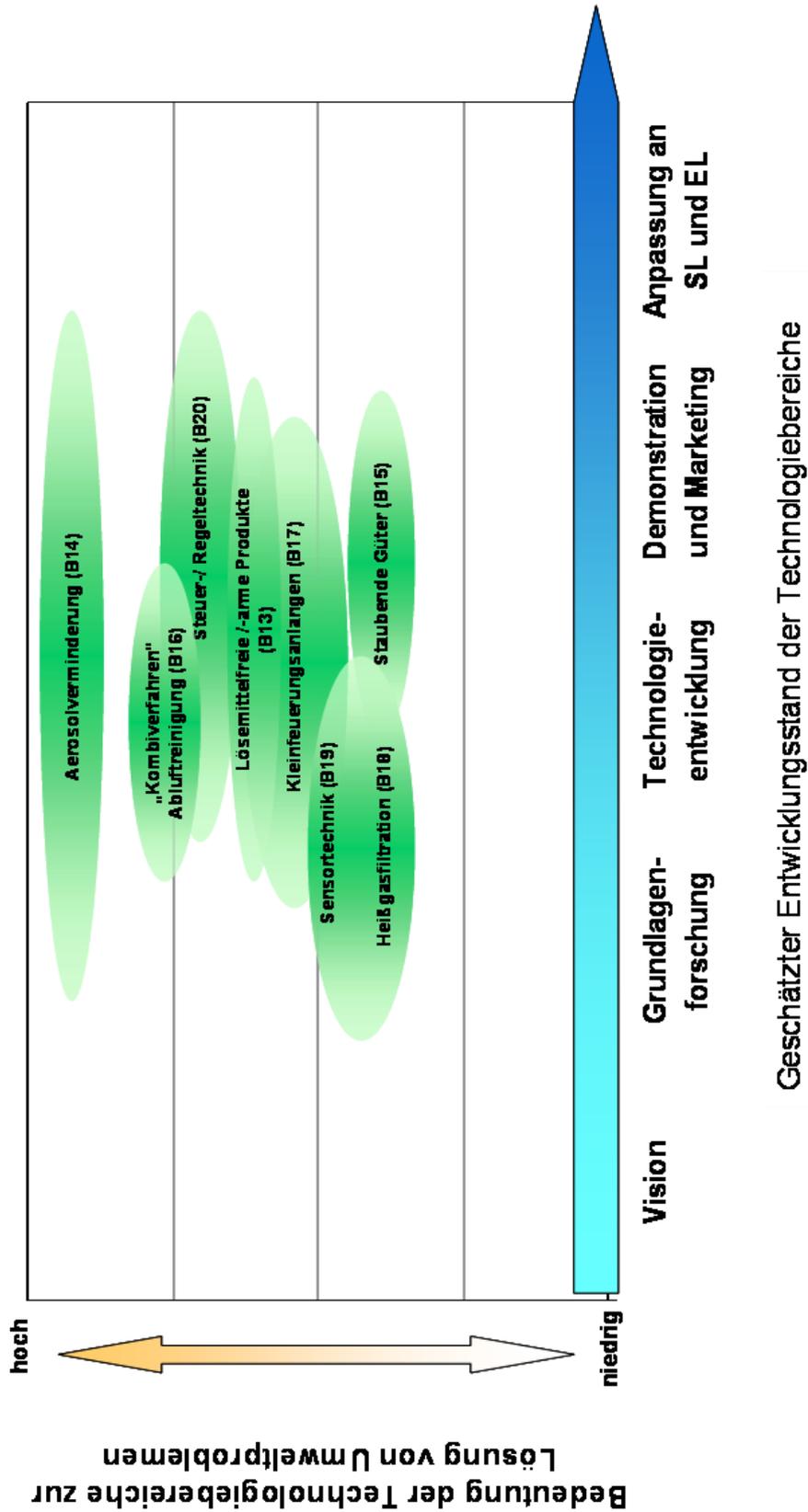


Abb. 80: Luftreinhaltung: Einschätzung von Entwicklungsstand und Bedeutung für die Lösung von Umweltproblemen (die Einschätzung erfolgte auf Basis des Zwischenberichts, der Befragung und des Workshops)

4 Bodenschutz / Erhalt von Biodiversität und Naturschutz

In diesem Cluster wurden die beiden Handlungsfelder Bodenschutz sowie Erhalt von Biodiversität und Naturschutz zusammengefasst. Das ist zunächst inhaltlich begründbar. Hinzu kommt, dass eine symmetrische Strukturierung des Fragebogens zur besseren Orientierung und Verständlichkeit erforderlich war. Inhaltlich sind die zahlreichen Überschneidungen zwischen Bodenschutz / Erhalt von Biodiversität und Naturschutz offensichtlich und in der Ökosystemforschung vielfach adressiert (Stichworte sind: Standortfragen wie z.B. Salztoleranz, Wasserhaushalt der Böden, Kontaminationen, Pflanzen als Erosionsschutz und zur Verbesserung der Bodenqualität). Dies gilt natürlich nur für terrestrische und nicht für aquatische Ökosysteme. Diese Überschneidungen wurden bei der Auswertung der Diskussion der Ergebnisse im Workshop immer wieder deutlich.

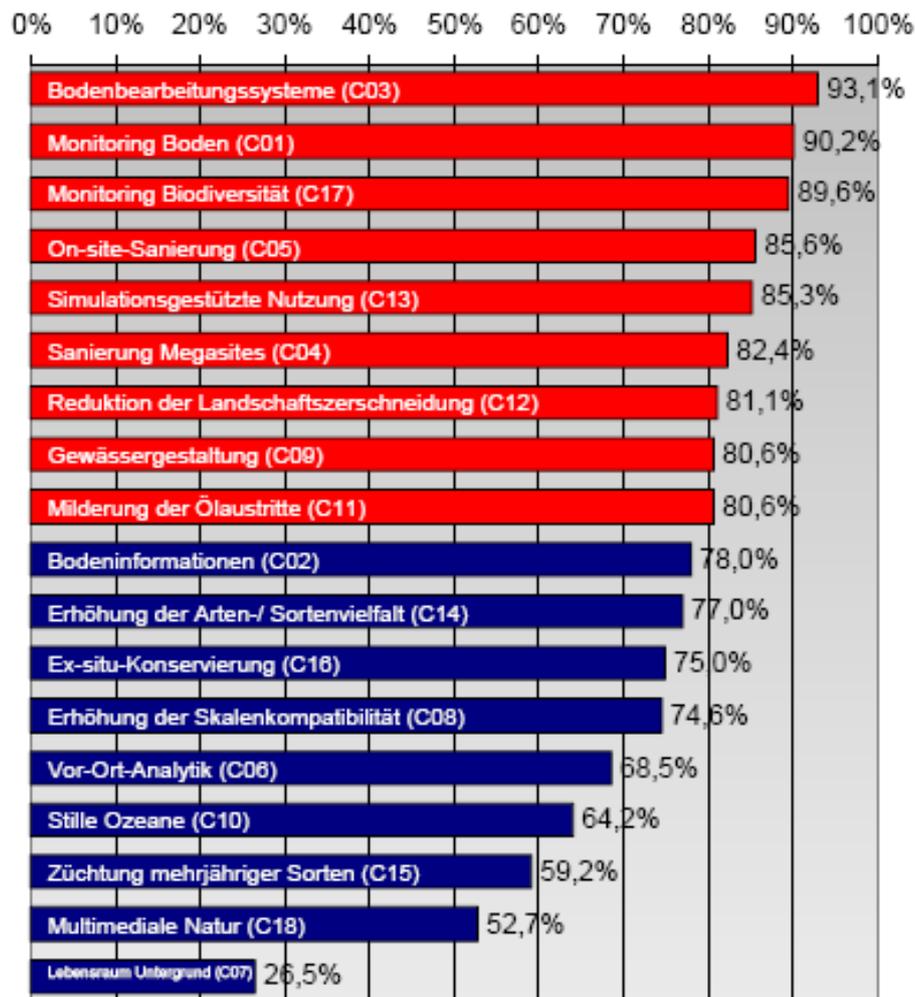


Abb. 81: Ranking der Technologien im Cluster Bodenschutz / Erhalt der Biodiversität / Naturschutz nach „Bedeutung“ (Nennungen in Prozent, „äußerst wichtig“ und „wichtig“ kumuliert)

Abb. 81 bezieht sich auf die im Fragebogen für alle Technologiebereiche gestellte Frage „Wie würden Sie die zukünftige Bedeutung dieser Technologien für die Lösung von Bodenschutzproblemen/Naturschutzproblemen einschätzen?“. In der Abbildung wurden die Antwortkategorien „äußerst wichtig“ und „wichtig“ zusammengefasst und in Prozent dargestellt. Beachtet werden muss, dass die Vergleichbarkeit der Technologiebereiche durch die unterschiedlichen Aggregationsebenen (teilweise sehr spezielle Einzeltechnologien, teilweise sind ganze Technologiefelder abgefragt) eingeschränkt ist. Dennoch gibt die Abbildung einen Eindruck von der Streubreite der geschätzten Problemlösungskapazität. Technologien, bei denen sich jeweils über 80% der Antwortenden für „äußerst wichtig“ und „wichtig“ entschieden haben, sind in rot dargestellt.

Es wird deutlich, dass neben den Bodenbearbeitungssystemen (C03) vor allem Technologien, die dem Monitoring, der Modellierung und der Simulation von Veränderungen und Prozessen dienen, sehr hoch in ihrer Bedeutung eingestuft wurden. Die Streuung der Werte ist hoch. Während die höchsten Bewertungen über 90% erreichen, liegen die Verfahren zur Züchtung mehrjähriger Sorten (C15) sowie die Multimedialen Verfahren zur Darstellung, Simulation und Archivierung von Natur (C18) zwischen 50 und 60%. Etwas abgeschlagen mit nur ca. 27% finden sich Technologien zur Verlagerung von Siedlungs- und Verkehrsflächen in den Untergrund (C07). Diesen wurde, so Kommentare in der Befragung, zahlreiche negative Auswirkungen zugeschrieben, wie z.B. auf den Wasserhaushalt und die Bodenbiologie, Grundwasserbeeinträchtigungen, Verhinderung der Versickerungsfähigkeit und Störungen der Bodenfunktionen. Mehrheitlich wird darin eine „Verlagerung der Probleme in den Untergrund“ gesehen, die zudem mit hohen Kosten verbunden ist und neue Entsorgungsprobleme (Bodenaushub) aufwirft.

Die Abb. 82 zeigt die Marktpotenziale über das gesamte Cluster. Generell erreichen die Marktpotenziale keine so hohen Werte wie in den anderen Clustern. Bei den beiden Technologiegruppen, denen die größte Bedeutung zur Lösung von Umweltproblemen zugeschrieben wurde: Standortangepassten Bodenbearbeitungssystemen (C03) sowie dem Großflächigen Boden-Monitoring (C01), werden in der schriftlichen Befragung die größten Marktpotenziale in den Schwellenländern gesehen: bei fast allen anderen Technologiebereichen liegen diese dagegen in den Industrieländern. Dies gilt auch für den in Abb. 81 ebenfalls sehr hoch gerankten Technologiebereich Monitoring Biodiversität (C17).

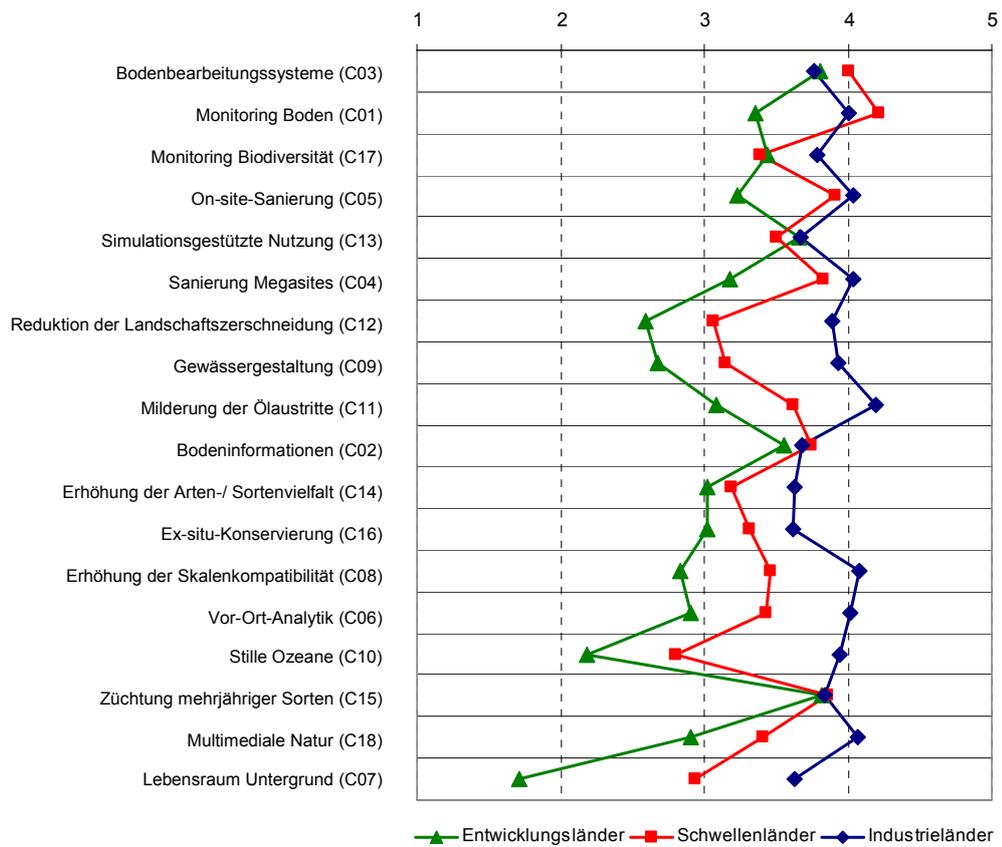


Abb. 82: Bodenschutz und Erhalt der Biodiversität / Naturschutz: Geschätzte Marktpotenziale (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt.)

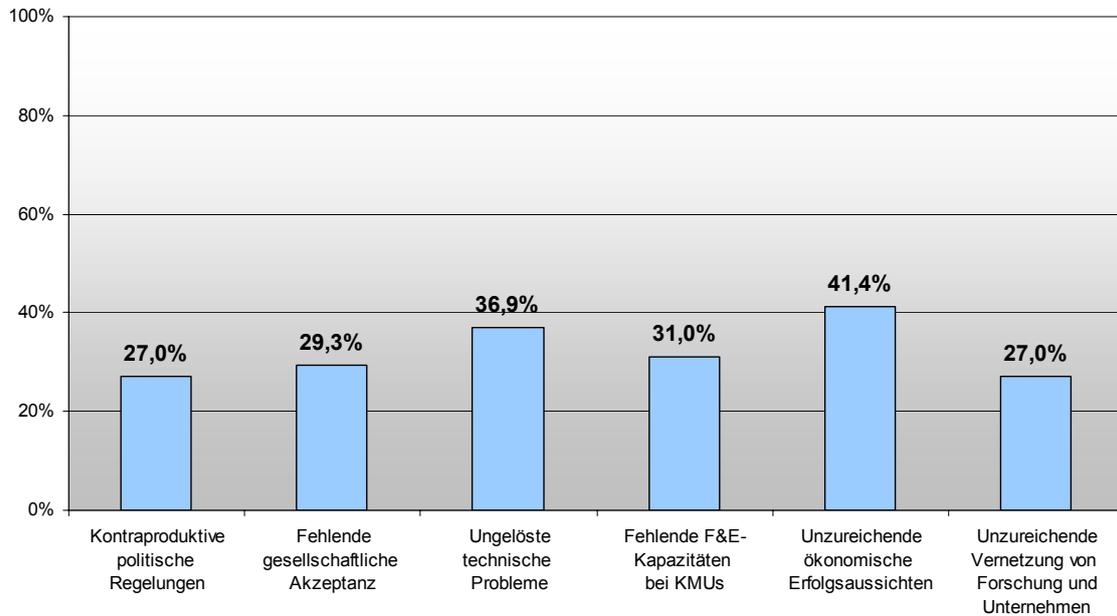


Abb. 83: Hemmnisse im Cluster Bodenschutz/ Erhalt von Biodiversität/ Naturschutz. Durchschnitt der relativen Nennungen über alle Technologiebereiche im Cluster Bodenschutz/ Erhalt von Biodiversität/ Naturschutz.

Einen Überblick über die für dieses Cluster aggregierten Hemmnisse gibt Abb. 83. Hier zeigt sich eine etwas andere Verteilung als bei den anderen Clustern. Grundsätzlich sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Hemmniskategorien bzgl. der Anzahl der Nennungen relativ klein – die Werte variieren zwischen 27 und 41% Nennungen. Zudem werden „ungelöste technische Probleme“ deutlich seltener angeführt als bei den anderen Kategorien. Mit 41,4% Nennungen sind „unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten“ das am häufigsten genannte Hemmnis.

Abb. 84 zeigt die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich. Bei der Stellung der öffentlichen Forschung werden hier zum Teil deutlich bessere Werte erreicht als bei der industriellen Forschung. Gerade bei den als wichtig erachteten Monitoring-Technologien wird die öffentliche Forschung als stark eingeschätzt.

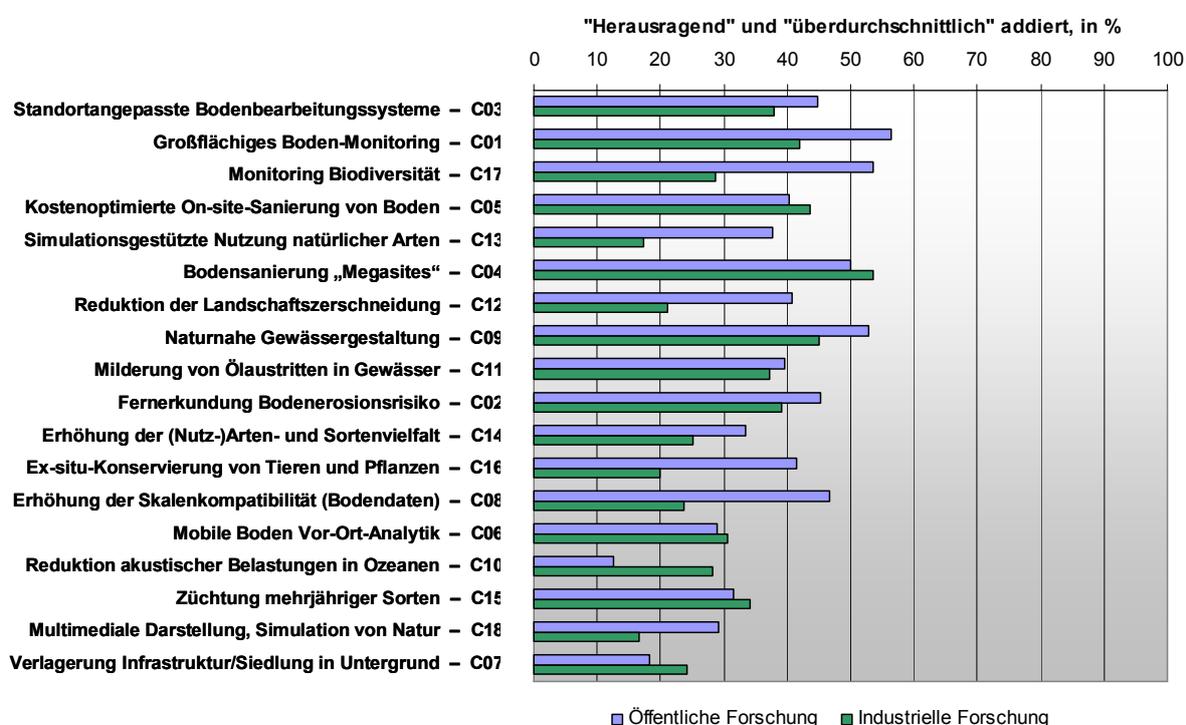


Abb. 84: Bodenschutz und Erhalt von Biodiversität / Naturschutz: Position Deutschlands im internationalen Vergleich gerankt nach Bedeutung (Die höchsten beiden Kategorien sind aggregiert und in Prozent dargestellt.)

Vergleicht man die von den schriftlich befragten Experten zugesprochene zukünftige Bedeutung der Technologien zur Lösung von Bodenschutzproblemen (Abb. 81) mit der Position Deutschlands (s. Abb. 84), fällt wiederum die weitgehende Parallelität des Ranking auf. Bei den Technologien mit hoher Bedeutung ist auch die Position Deutschlands im Bereich der industriellen und öffentlichen Forschung herausragend. Lediglich bei der Simulationsgestützten Nutzung natürlicher Arten (C13) unterscheiden sich die Einschätzungen der Experten bei der Betrachtung der industriellen For-

schung und dem Unternehmens-Know-how. Die Simulationsgestützte Nutzung natürlicher Arten (C13) liegt bei der vergleichenden Einschätzung der industriellen Forschung auf dem vorletzten Rang (s. Abb 84). Generell kann man aber sagen, dass öffentliche und industrielle Forschung, die „richtigen“ Technologiefelder behandeln, d.h. solche, denen ein hohes Problemlösungspotenzial für die Zukunft zukommt.

Betrachtet man die Abb. 84. im Vergleich zu den Clustern Klimaschutz / Luftreinhaltung (vgl. Abb. 78, S. 224) und Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft (vgl. Abb. 90, S. 255), so zeigt sich, dass die Nennungen der Kategorien „herausragend“ und „überdurchschnittlich“ im Bereich Bodenschutz prozentual geringer sind. Im Bereich Bodenschutz gehen die Werte bis gut 50%, während die beiden höchsten Kategorien in den beiden anderen Clustern von bis zu 70% der Experten angekreuzt wurde.

Im Folgenden werden die Ergebnisse wieder nach Technologiegruppen getrennt zusammengefasst. Die ersten beiden Technologiegruppen beziehen sich auf den Bodenschutz, während die Technologiegruppen 3 und 4 die Technologiebereiche zu Biodiversität/Naturschutz abdecken.

4.1 Technologiegruppen 1 und 2: Monitoring/Bodenanalytik und Nachhaltige Bodenschutzkonzepte

Auch im Bereich Bodenschutz mussten auf Basis des State-of-the-Art-Reports (Schippl et al. 2008) aus einer Vielfalt an Technologien einige viel versprechende ausgewählt werden. Die Auswahl der acht Technologiebereiche für die beiden Gruppen „Technologien des Monitoring und der Analytik“ und der „Nachhaltigen Bodenschutzkonzepte“ wurde im Workshop nicht weiter in Frage gestellt. Allerdings wurde von den Teilnehmern des Workshops angemerkt, dass ihrer Ansicht nach die Themengebiete Versalzung und Versauerung in der Technologiegruppe fehlten, weil z.B. die Versalzung durch regelmäßige Überflutungen in Ländern wie Bangladesh oder Thailand eine wichtige Rolle spiele. Zudem wurde das Thema Küstenschutz vermisst, welches im Zuge der Klimaänderung eines der zentralen Herausforderungen sei, da sich gute Böden oft in küstennahen Bereichen befänden. Diese beiden Themenbereiche wurden jedoch bereits im State-of-the-Art-Report abgehandelt. Dem Thema Versalzung wurde sogar ein eigenes Kapitel gewidmet. Das Thema Küstenschutz fiel aufgrund des gewählten Projektzuschnitts in das Handlungsfeld „Klimaschutz“.

Im Rahmen der Workshop-Diskussion wurde auf die hohe Relevanz der Monitoringtechnologien (C01) und fernerkundungsbasierten Verfahren zur Bereitstellung flächendeckender Bodeninformationen (C02) hingewiesen. Dies deckt sich mit der Einschätzung der schriftlich befragten Experten, die diesen Technologiebereichen eine hohe Bedeutung zur Lösung der Bodenschutzproblematiken zuwiesen und einen

hohen Bedarf an Forschung (besonders Grundlagenforschung und Technologieentwicklung) und Förderung durch die öffentliche Hand attestierten. Zudem gaben die Experten in der Umfrage an, dass die Bereitstellung belastbarer Daten über Status und Dynamik natürlicher Systeme zum Erkenntnisgewinn über die komplexen Vorgänge und Zusammenhänge in der Natur beitrage und die Prognosesicherheit vergrößere. Ihrer Ansicht nach seien belastbare Informationen außerdem eine unabdingbare Voraussetzung für jede Art von umweltpolitischen Maßnahmen, Plänen und Programmen, die allen Umweltbereichen zu gute kämen. Hinzu kommt ihre Bedeutung zur Erarbeitung von sachlichen, räumlichen und zeitlich definierten Umweltqualitätszielen, z.B. von Böden (Vorsorgewerte) und Gewässern und das Erkennen von Belastbarkeitsgrenzen („Critical Loads“) von Schutzgütern.

Die Teilnehmer des Workshops führten allerdings an, dass bislang eine mangelhafte Koordination und Standardisierung der Datenerhebung und des Datenmanagements auf der Ebene des Bundes, der Länder und der europäischen Union ein zielführendes Monitoring hemme bzw. sogar verhindere. Besonders auf europäischer Ebene würden noch weitgehend Vorgaben fehlen. Darüber hinaus werden bereits auf Bundesebene vorhandene Regelungen nicht strikt in Anwendung gebracht. Als weiteres Hemmnis wurde der Mangel an gut ausgebildeten Fachkräften, die dieses Monitoring bspw. taxonomisch leisten könnten angeführt. Wesentliches Hemmnis ist aber das Fehlen eines einheitlichen Zielsystems. Die Experten waren sich einig, dass die Formulierung eines solchen, die Aufgabe der Politik sei. Daneben konstatierten die Experten hohen Forschungs- und Förderbedarf besonders im Bereich der Grundlagenforschung.

Neben diesen Angaben führten die Experten an, dass Deutschland in manchen, die Agrartechnik betreffenden Bereichen, als Entwicklungsland anzusehen sei. Als Hemmnisse für den Einsatz von Technologien der konservierenden Bodenbewirtschaftung wurden fehlende Anreizsysteme und mangelnde Anforderungen in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) genannt. Darüber hinaus wäre eine stärkere Ausnutzung biologischer Systeme wichtig, wobei die wachsenden Ansprüche an die Nahrung (Menge / Art) zu bedenken seien.

Weiteren Forschungs- und Förderbedarf sahen die Experten vor allem bezüglich exakter und detaillierter Prognosen im Zuge der Auswirkung des Klimawandels z.B. auf die durch Erosion gefährdeten Gebiete.

Nachstehend ist für die zwei Technologiegruppen im Handlungsfeld Bodenschutz die Bedeutung der einzelnen Technologiebereiche für die Lösung von Umweltproblemen in Abhängigkeit von unserer, auf Basis des Zwischenberichtes, der Expertenbefragung und des Workshops vorgenommene Einschätzung des Entwicklungsstandes abgebildet.

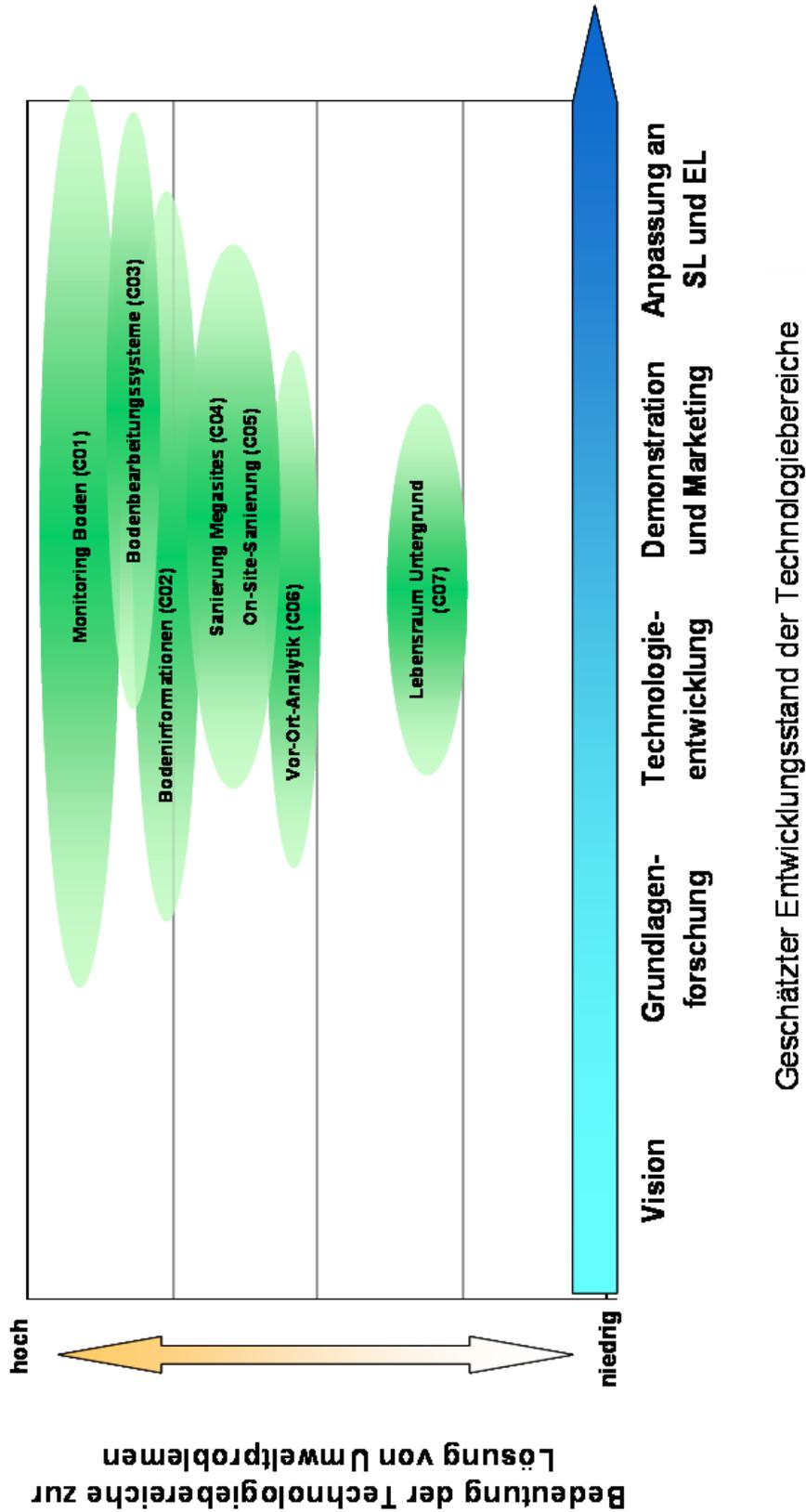


Abb. 85: Bodenschutz: Einschätzung von Entwicklungsstand und Bedeutung für die Lösung von Umweltproblemen (die Einschätzung erfolgte auf Basis des Zwischenberichts, der Befragung und des Workshops)

Die Darstellung (s. Abb. 85) zeigt, dass für keinen der diskutierten Technologiebereiche in den Technologiegruppen „Monitoring und Analytik“ und „Nachhaltige Bodenschutzkonzepte“ Bedarf an Grundlagenforschung gesehen wird. Für die Technologien, denen zum größten Teil ein hohes Problemlösungspotenzial zugeschrieben wird, besteht eher Bedarf an Technologieentwicklung, „Demonstration und Marketing“ und teilweise Bedarf an „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“.

Aus den Ergebnissen der Experten-Befragung und dem durchgeführten Experten-Workshop in Kombination mit eigenen Literaturrecherchen und Interviews mit Experten ergeben sich abschließend nachstehende Schlussfolgerungen für den Bodenschutz:

1. Wechselwirkungen zwischen dem Klimawandel und den Veränderungen des Bodenzustandes wie Effekte auf den Nährstoff- und Wasserkreislauf sowie veränderte Bodenbildungsprozesse sind sehr komplexer Natur und noch nicht in ihrer Gesamtheit verstanden. Besondere Aufmerksamkeit sollte dabei zukünftig verstärkt auf einem integrierten Prozessverständnis liegen. Hierbei sollten Interaktionen zwischen Atmosphäre und Landoberfläche, aber auch sozioökonomische Aspekte einbezogen werden. Es geht dabei nicht ausschließlich um akademisches Erkenntnisinteresse sondern um die Schaffung einer verbesserten Basis für politisches Handeln.
2. Ein verbessertes Monitoring ist von großer Bedeutung für das unter 1. angesprochene Prozessverständnis. Zukünftig von entscheidender Bedeutung ist die Erhebung (Messung) und Verfügbarmachung belastbarer Daten. Hier ist eine Optimierung und die Erweiterung bestehender Monitoringprogramme erforderlich, z.B. sind die bestehenden Bodendauerbeobachtungsflächen weiter auszubauen. Dazu gehören auch terrestrische Observatorien, die eine integrierte Beobachtung terrestrischer Systeme ermöglichen. Wichtig sind daneben Aspekte wie Zeitechtheit, hierarchische Schichtung und Flächendichte. Daneben müssen die Daten aus dem Monitoring entscheidungsleitend sein und auf dieser Basis Zielgrößen definiert werden. In diesem Themenbereich besteht noch hoher Bedarf an Grundlagenforschung, an Technologieentwicklung und an staatlicher Unterstützung von Langzeituntersuchungen (> 30 Jahre). Zudem müssen im Kontext eines verbesserten Monitorings auch innovative Messtechnologien (Entwicklung und Integration geophysikalischer und nicht-invasiver Messverfahren für z.B. „Precision Farming“) weiterentwickelt werden.
3. Um bestehende Ressourcen wie Nährstoffe und Wasser effizient nutzen zu können und die Ökosystemleistung von Agrarökosystemen zu beurteilen und zu sichern, müssen Fragen der Landnutzung und des Landnutzungsmanagements durch entsprechende FuE-Programme beantwortet werden. Es bietet sich bei-

spielsweise an, Landnutzungskonkurrenzen und deren Folgen zunächst verstärkt über Szenarien verständlich zu machen (auch der Verlust an fruchtbaren Böden durch die Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr). Künftig wird infolge des demographischen Wandels, der Klimaveränderung und einer veränderten Energiepolitik (verstärkter Einsatz von Biomasse zur Energiebereitstellung) der Forschung zur Anpassung der Agrarproduktion an die veränderten Bedingungen eine zunehmende Bedeutung zukommen. Hierzu gehört auch die Untersuchung der Erfolgsaussichten und der Erforderlichkeit von politischen Rahmenbedingungen. Dabei geht es auch um Forschung zu Anbausystemen für multifunktionale Bodennutzungen wie z.B. die Kombination von Biomasse- und Nahrungsmittelproduktion („Food Crops“ versus „Energy Crops“) oder „Agro-Forestry“ und die Folgenforschung der Biomassenutzung.

4. Global statt Regional: Aufgrund der weltweiten Verbreitung, vor allem der Degradation und eines raschen und „gründlichen“ Exports der Bodenprobleme durch die geophysikalische, biochemische und zivilisatorische Fernwirkung, sind bei entsprechenden Forschungen globale Gesichtspunkte einzubeziehen und eine integrierte Betrachtung durch die Politik zu fordern. Darüber hinaus sollten durch die Dringlichkeit der rasch zunehmenden Bodendegradation FuE-Programme zu diesen Bodenproblemen weiter im Blickpunkt bleiben.
5. Global, aber trotzdem standortangepasst: Durch regional unterschiedliche Landnutzungskonzepte, regionale bzw. lokale Klimaänderungen usw. ist die Entwicklung standortangepasster Konzepte z.B. von Bodenbewirtschaftungssystemen (Bodenbearbeitung, Fruchtfolgengestaltung etc.) verstärkt erforderlich. Zu diesem Themenbereich gehören auch die Weiterentwicklung von Technologien und Konzepten des „Precision Farming“ und Verfahren der konservierenden Bodenbewirtschaftung (nachhaltige Nutzungskonzepte).
6. Künftig bedarf es auch Grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung zu neuen methodischen Ansätzen, um bestehende Lücken zwischen räumlichen und zeitlichen Skalen wie Feld-, Beobachtungs-, Prozess- und Modellskala zu schließen. Darüber hinaus ist eine Kombination von experimentellen und Modellansätzen anzustreben, z.B. müssen für eine aussagekräftige Modellierung von Fließprozessen in der ungesättigten Bodenzone unter anderem die hydraulischen Eigenschaften des Bodens bekannt sein, welche mit Laborexperimenten bestimmt werden.
7. Für einen zielgerichteten Bodenschutz ist es außerdem notwendig, die gesetzlichen Rahmenbedingungen für den Kreislaufgedanken in der Flächennutzung und den vorsorgenden Bodenschutz zu erweitern. Die aktuelle Bodenschutzgesetzgebung ist viel zu sehr auf Altlasten fixiert. Durch diese notwendige Erarbei-

tung weiterer und neuerer Vorsorgewerte wird zusätzlicher Forschungsbedarf erzeugt.

8. Ein weiteres Themengebiet sind die Sanierungs- und Rekultivierungstechnologien besonders von großskaligen und komplex kontaminierten Standorten, den so genannten *Megasites* und hier speziell die biologische Bodensanierung z.B. durch Remediation, Natural Attenuation und innovative Dekontaminationsverfahren wie Radiofrequenz-Erwärmung, Nano-Iron oder kolloidale Aktivkohle.

4.2 Technologiegruppe 3: Naturschutz, indirekte Nutzenaspekte

Allen in dieser Gruppe zusammengefassten Technologien wurde von den schriftlich und mündlich befragten Experten ein hohes Problemlösungspotenzial bescheinigt. Die Auswahl der Technologien wurde nicht in Frage gestellt

Auch wenn alle Technologien in dieser Gruppe aussichtsreiche Ansätze darstellen, um die Verhältnisse im Bereich Naturschutz / Biodiversität zu verbessern, bleibt festzuhalten, dass sie sich in ihrem Charakter und ihrer Zielrichtung erheblich voneinander unterscheiden. Während Technologien zur Milderung der umweltschädlichen Wirkungen von Ölaustritten (C11) als stark Artefakt-fokussierte Technologien, die ihre Wirkung ‚End-of-pipe‘ im Nachgang von Havarien entfalten, sehr konkret auf den Schutz der lokalen Natur und Biodiversität ausgerichtet sind, versuchen Technologien zur Reduktion der Landschaftszerschneidung (C12), bei denen ein konzeptuelles, planerisches Moment im Vordergrund steht, Natur und Biodiversität großflächig und prospektiv zu schützen. Die beiden Technologiebereiche sind von daher nur eingeschränkt miteinander vergleichbar. In einem ähnlichen Verhältnis stehen Technologien zur Reduktion der akustischen Belastung mariner Ökosysteme (C10) und Technologien zur naturnahen Gewässergestaltung (C09) zueinander.

Technologien zum Monitoring der Vielfalt von Arten und Ökosystemen (C17) verknüpfen dagegen beide Komponenten in einem Technologiebereich und zeichnen sich zudem durch die große Bandbreite möglicher Anwendungen aus. Monitoring kann sowohl die Überwachung einzelner Individuen mittels angebrachter Sendeeinheiten, als auch die satellitengestützte Bestandsaufnahme ganzer Kontinente umfassen. Das Bestimmen und Auszählen von Arten per Hand ist genauso Bestandteil des Monitoring wie die in der Entwicklung befindlichen Hightech-Geräte zum DNA-Barcoding.

Um sowohl die Verbreiterung des Wissens über den Zustand von Natur, Arten und Ökosystemen, als auch, darauf aufbauend, die Generierung von Orientierungswissen zur Unterstützung politischer Entscheidungen zu ermöglichen, sind neben der Entwicklung z.B. kleiner und robuster technischer Geräte auch die Normierung der Verfahren der Datenerhebung, der Aufbau umfassender Überwachungsnetze, ein adä-

quates Datenmanagement, die Archivierung und Re-Interpretation bereits erhobener Daten sowie ihre einheitliche und zielführende Aufarbeitung von großer Bedeutung. Die Frage, welche politischen Entscheidungen unterstützt werden sollen und welches Wissen dafür benötigt wird, schlägt unmittelbar auf die zur Anwendung kommenden Verfahren und technischen Geräte durch. Ebenso beeinflusst der Stand der technischen Machbarkeit unmittelbar die Art der Überwachungsnetze, der Datennormierung und der zwischenstaatlichen Kooperationen. Auf diese enge Kopplung von Artefakt- und Sozialtechniken im Bereich Monitoring wurde im Verlauf der Untersuchung vielfach hingewiesen.

Bei den beiden „reifen“ Technologiebereichen in dieser Gruppe der Naturnahen Gewässergestaltung (C09) und der Reduktion der Landschaftszerschneidung (C12), die seit Jahrzehnten Gegenstand der Forschung, aber auch politischer Debatten sind, steht die mangelnde großräumige Umsetzung im Mittelpunkt der Kritik. Ein Indiz dafür ist der Umstand, dass im Unterschied zu allen anderen Technologien dieser Gruppe der höchste Forschungs- und Förderbedarf im Bereich „Demonstration und Marketing“ gesehen wird. Technische Probleme spielen dagegen weder als Hemmnis noch als Forschungsfrage eine bedeutende Rolle. Die als Haupthemmnisse genannten „kontraproduktiven politischen Regelungen“, gefolgt von „fehlender gesellschaftlicher Akzeptanz“ und „unzureichenden ökonomischen Erfolgsaussichten“, unterstreichen das Umsetzungsdefizit und machen die Lösung zu einem Politikum. Bei beiden handelt es sich um Infrastrukturbereiche die wichtige Bausteine eines flächendeckenden Natur- und Biodiversitätsschutzes sind, und als solche klar in den Verantwortungsbereich der öffentlichen Hand verwiesen werden.

Vor allem von den Workshop-Teilnehmern wurde die große Relevanz beider Technologiebereiche für den Erhalt von Natur und Biodiversität in Schwellen- und Entwicklungsländer herausgehoben. Der weltweite Verlust an naturnahen Flächen durch Industrialisierungs- und Infrastrukturprojekte wurde als eine der größten Bedrohungen der Biodiversität angesehen und ein nachhaltiges Flächenmanagement im globalen Maßstab gefordert. Wachsender Wohlstand, zunehmende Güterproduktion und Mobilität sowie ein extrem steigender Energiebedarf, der oft über große Staudammprojekte gedeckt werden soll, rücken den naturnahen Wasserbau und die Reduktion der Flächenzerschneidung gerade dort in den Fokus, wo ein umfangreicher Ausbau der Infrastruktur ansteht. Den politischen Willen vorausgesetzt, ließen sich solche Infrastrukturmaßnahmen in Schwellen- und Entwicklungsländern oftmals noch lebensraum- und naturverträglich ausgestalten, während in den Industrieländern eher versucht werden müsste, die „ökologische Fehler“ der Vergangenheit mit großem finanziellen Aufwand wieder zu beheben.

Die Reduktion der akustischen Belastung mariner Ökosysteme (C10) befindet sich als Innovationsfeld noch in einem sehr frühen Entwicklungsstadium. Dies belegen die

Umfrageergebnisse, die einen hohen Bedarf an Grundlagenforschung und Technologieentwicklung konstatieren, und gleichzeitig „bisher ungelöste technische Probleme“ als Hauptthema nennen. Ähnlich gelagert sind die Technologien zur Minderung von Ölaustritten (C11). Im Unterschied zu C10 wird hier der Schwerpunkt des Forschungs- und Förderbedarfs noch deutlicher in der Technologieentwicklung und weniger in der Grundlagenforschung angesiedelt.

Wie in vielen anderen Clustern dieser Befragung werden die relativ höchsten Marktpotenziale der diskutierten Technologien in den Industrieländern gesehen, gefolgt von den Schwellenländern. Aufgrund der Besonderheiten des Handlungsfeldes „Erhalt von Biodiversität und Naturschutz“ sind diese Einschätzungen jedoch eher als grobe Orientierung für potenzielle Einsatzgebiete zu werten. Sehr viel stärker als in anderen Handlungsfeldern der Umweltpolitik hängen die Wirtschaftlichkeit und damit das Marktpotenzial der hier behandelten Technologien von staatlichen Rahmenbedingungen, internationalen Vereinbarungen und öffentlicher Förderung ab. Dies demonstriert die häufige Nennung von „unzureichenden ökonomischen Erfolgsaussichten“ als wesentliches Hemmnis für den erfolgreichen Einsatz der Technologien am Standort Deutschland. Die Leistungen von Natur und Biodiversität stellen zwar einen hohen, auch ökonomischen Wert dar, der jedoch dem realen Marktgeschehen weitgehend entzogen ist. Ebenso kann man von allen Technologien dieser Gruppe sagen, dass sie von hoher ökonomischer Relevanz sind, weil sie dazu beitragen, die „konsumptiven“ und „nicht konsumptiven“ Werte von Natur und Landschaft zu bewahren, indem sie Umweltschäden verhindern, Arten erhalten, Lebensraum für Flora und Fauna schaffen und Ökosystemleistungen stützen. Gleichwohl sind sie einer direkten marktwirtschaftlichen Verwertung nur in geringem Maße zugänglich.

Noch expliziter als in anderen Handlungsfeldern rieten die Workshop-Teilnehmer von einer Fokussierung der Förderung auf einzelne Technologiebereiche ab und empfahlen stattdessen, die Berücksichtigung des Natur- und Biodiversitätsschutzes obligatorisch in andere Fördervorhaben im Umweltbereich zu integrieren, zumindest soweit dies im Einzelfall sinnvoll und möglich erscheint. So ließen sich z.B. Technologien zur Reduktion der akustischen Belastung mariner Ökosysteme (C10) entweder als technische Anwendungsbeispiele an die Forschung zu marinen Ökosystemen anschließen oder als einen zu berücksichtigenden naturschützerischen Belang in die Forschung zu effizienten Antriebs- und Sondierungstechniken integrieren.

4.3 Technologiegruppe 4: Kulturelle Biodiversität, direkte Nutzenaspekte

Hinsichtlich ihres Problemlösungspotenzials wurden die in dieser Gruppe zusammengefassten Technologien sehr unterschiedlich eingeschätzt. Hohe Relevanz wurde den Technologien zur arterhaltenden simulationsgestützten Nutzung (C13) zugeschrieben. Mit der Nutzung natürlicher Tier- und Pflanzenbestände greift der Mensch

in Ökosysteme ein, oft ohne genaue Kenntnis möglicher ökologischer Konsequenzen. Im Zuge steigender Weltbevölkerung und wachsenden Wohlstands auf der einen und den Folgen des Klimawandels auf der anderen Seite wird allgemein davon ausgegangen, dass sich der Problemdruck weiter verschärfen wird. Diskussionen über die Tragkapazität von Ökosystemen und deren „Messbarkeit“ haben eine lange Tradition. Wie die Untersuchungsergebnisse zeigen, wird von einer besseren Modellierung und Simulation der Populationsdynamiken ein besseres Prozessverständnis erwartet, auf das entsprechende Nutzungskonzepte abgestimmt werden könnten. Neben den informationstechnischen Voraussetzungen, die solche Modellierungen ermöglichen, sind Daten über Populationen und Ökosysteme in Zustand und Dynamik notwendige Voraussetzungen für eine erfolgreiche Anwendung von den im Technologiebereich (C13) zusammen gefassten Technologien. Dies unterstreicht wiederum die Dringlichkeit eines Ausbaus der Aktivitäten im Bereich Monitoring (s. C17).

Kommen im Sektor der international geregelten Hochseefischerei bereits solche Verfahren zur Anwendung, so erfolgt die Nutzung vieler anderer natürlich vorkommender Tiere und Pflanzen gänzlich ohne Simulation ökosystemarer Zusammenhänge. Hier könnte die Entwicklung von entsprechenden Simulationstools und Expertensystemen zielführend sein. Die Spannweite der Systeme könnte von robusten und einfachen Tools bis hin zu detaillierten, hochkomplexen und stark wissensbasierten Modellierungen der Populationsdynamik (bspw. von Fischbeständen unter Berücksichtigung des evolutionären Drucks durch die Befischung) sein.

In der Befragung wurde ein relativ hoher Forschungsbedarf im Hinblick auf Grundlagenforschung aber auch bzgl. Technologieentwicklung und „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ gesehen. Globale Marktpotenziale werden durchaus konstatiert, wenn auch nicht in sonderlich hohem Umfang. Hemmnisse werden weniger im technischen Bereich gesehen. Die Förderung dieser Technologien wird generell eher als öffentliche Aufgabe eingeschätzt.

Techniken und Verfahren zur Erhöhung der Arten- und Sortenvielfalt bei Nutztieren und -pflanzen (C14) werden hinsichtlich ihrer Problemlösungskapazität ebenfalls als wichtig eingeschätzt. Mit diesen Technologien oft unmittelbar verbunden ist eine Vielfalt an Anbauverfahren und -techniken, Erwerbs- und Lebensformen, letztlich auch eine Vielfalt an Kulturlandschaften und damit auch an Lebensräumen für Flora und Fauna, welche oft in Konkurrenz zu andern Flächennutzungen stehen. Angesichts des bereits erfolgten dramatischen Rückgangs kultureller Biodiversität, weit verbreiteter Monokulturen und den globalen Herausforderungen durch Bevölkerungszunahme, Wohlstandswachstum und Klimawandel ist die relativ hohe Bedeutung, die diesem Technologiebereich zugemessen wurde, nachvollziehbar. Er umfasst eine Vielzahl von Einzeltechniken und Verfahren. Diese reichen von den gängigen Züch-

tungsstrategien über mikrobiologische Analytik bis hin zu gentechnischen Veränderungen.

Der Bedarf an Forschung und Förderung wurde nicht allzu hoch eingeschätzt. Bei „Demonstration und Marketing“ sahen viele Experten kaum einen Bedarf an öffentlicher Förderung (ähnlich wie bei C13). Die Marktpotenziale werden eher zurückhaltend bewertet. Sehr auffällig war die relativ häufige Nennung von „kontraproduktiven politischen Regelungen“, „fehlender gesellschaftlicher Akzeptanz“ und „unzureichenden ökonomischen Erfolgsaussichten“ als Hemmnisse, was verdeutlicht, dass gesellschaftliche und politische Aspekte für den erfolgreichen Einsatz eine gewichtige Rolle spielen.

Die Züchtung mehrjähriger Sorten (C15) stellt in gewisser Weise einen Spezialfall von (C14) dar. Die Ergebnisse der Befragung und des Workshops zeigen zunächst, dass eine Bewertung und Einschätzung dieses Technologiebereichs vergleichsweise schwer fällt. Relativ viele Experten gaben in der Befragung an, dass eine Bewertung nicht möglich sei, die Zustimmung war vergleichsweise gering. Als eine Erklärung für dieses Ergebnis wiesen die Workshop-Teilnehmer auf mögliche Ertragseinbußen durch den Einsatz mehrjähriger Sorten hin. Der Forschungsbedarf wird vor allem im Bereich Grundlagenforschung gesehen. Generell gilt es zunächst die Potenziale und Folgen dieser Technologie genauer zu untersuchen, um dann entsprechende Fördermaßnahmen daran auszurichten. Die Schnittpunkte zu den Forschungsbereichen Boden, Wasser und Ressourcen dürfen dabei nicht aus dem Blick geraten.

Die Ex-Situ-Konservierung (C16) erlangt als ultima ratio des Biodiversitätserhalts ebenfalls große Bedeutung. Auch hier kann es – angesichts des rasanten Verlustes an Natur und Biodiversität – nicht darum gehen entweder Lebensformen In-Situ- oder Ex-Situ zu erhalten. Beides müsste parallel erfolgen. Einschätzungen aus dem State-of-the-Art-Report haben sich insofern bestätigt, dass es durchaus noch der Grundlagenforschung und der Überwindung technischer Probleme bedarf, um eine dauerhafte Konservierung erfolgreich und effizient zu etablieren. Die geschätzten Marktpotenziale rangieren eher im Mittelfeld, mit den besten Werten in den Industrieländern und niedrigen Werten in den Entwicklungsländern. Hemmnisse sind in erster Linie ökonomischer Art, aber auch technische Probleme werden genannt.

Der einzige Technologiebereich, der im Handlungsfeld Biodiversität und Naturschutz sehr kontrovers diskutiert wurde, waren die Multimedialen Verfahren zur Darstellung und Simulation von Natur (C18). Die Problemlösungskapazität dieses Technologiebereiches wurde von vielen Experten bezweifelt, in Abb. 81 (s. S. 234 „Bedeutung“) liegt der Wert mit 53% sehr niedrig. Dennoch sahen die schriftlich befragten Experten in den Industrieländern relativ hohe Marktpotenziale, was allerdings nicht für Schwellen- und Entwicklungsländer gilt.

Auch hier kann es keinesfalls um ein „Entweder-Oder“ gehen, also Natur und Biodiversität entweder physisch oder virtuell zu erhalten. Sicherlich darf virtuelle Natur nicht als Surrogat einer physischen Natur dienen, was häufig als Einwand gegen diese Technologie angeführt wurde. Positiv gesehen, eröffnen die neuen Medien jedoch (technische) Möglichkeitsräume, die sich auch im Sinne des Erhalts von Natur und Biodiversität nutzen lassen. Vorteil einer virtuellen Natur ist, dass sie orts- und zeit-unabhängig erfahrbar ist. Zudem lassen sich Prozesse oder Zusammenhänge darstellen, welche dem Betrachter in ihrer Komplexität, Größe oder Kleinheit sowie ihrer zeitlichen und räumlichen Ausdehnung ansonsten schwer erschließbar wären. Als Beispiel wurde die Zeitrafferdarstellung eines sich entwickelnden Waldökosystems angeführt. Die Technik könnte außer der Sensibilisierung für ökosystemare Zusammenhänge und der Umweltbildung auch dem Erkenntnisgewinn dienen. Vorstellbar wäre auch, „Virtuelle Natur“ zur Unterstützung von Entscheidungen bspw. in der Raumplanung oder der Wasserwirtschaft zu nutzen, und somit Abwägungsprozesse durch die Einbeziehung erlebbar gemachter naturwissenschaftlicher Erkenntnisse zu verbessern. Letztere Option wurde in der Workshopdiskussion sehr positiv gesehen.

Insgesamt stellt sich das Handlungsfeld „Erhalt von Biodiversität und Naturschutz“ als politisch dominiertes Feld dar, das stark durch staatliche Akteure auf nationaler und internationaler Ebene geprägt wird. Aus diesem Grunde spielt hier die öffentliche Förderung eine gewichtige Rolle.

Um die mittlerweile seit Jahrzehnten geführte Debatte um den ökonomischen Wert der Biodiversität voranzutreiben, müssten letztlich die einzelnen Wertkomponenten (Vielfalt der Arten, genetische Vielfalt, Vielfalt der Lebensräume und Landschaften) einer monetären Bewertung zugänglich gemacht werden. Ein wesentliches Hindernis liegt in der unzureichenden naturwissenschaftlichen und ökonomischen Wissensbasis sowie in der mangelnden Kopplung beider. Für eine tragfähige Monetarisierung des Ökologischen gilt es, stabile Antworten auf grundsätzliche, aber keineswegs neue Fragen zu finden: Wie ist der Zustand der jeweiligen Ökosysteme einzuschätzen? Wie ist der genaue Zusammenhang zwischen der Stabilität von Ökosystemen und ihrer Biodiversität? Welche Funktion haben Ökosystemleistungen für das menschliche Leben und Wirtschaften? Nach welchen Verfahren soll eine monetäre Bewertung von Ökosystemleistungen erfolgen?

Der Erhalt von Natur und Biodiversität erfolgt weitgehend über den schonenden Umgang mit den Umweltmedien Wasser, Boden und Luft. Klimaschutz und Ressourcenschonung tragen ebenfalls wesentlich dazu bei. Eine Zielerreichung und Lösung der Probleme in diesen Handlungsfeldern würde die Situation im Handlungsfeld Biodiversität / Naturschutz deutlich verbessern. Das Handlungsfeld lässt sich somit im Umweltbereich als Querschnittsthema par excellence auffassen. Jeder in den ande-

ren Handlungsfeldern vorgestellte Technologiebereich trägt mittelbar (mehr oder weniger) zum Erhalt von Natur und Biodiversität bei.

Inzwischen ist allgemein anerkannt, wie wichtig es ist, Nutzung und Erhalt von Natur und Biodiversität miteinander in Einklang zu bringen. So stellt die *naturnahe Gewässergestaltung* (C09) ein klassisches Konzept des nutzungsbezogenen Natur- und Biodiversitätserhalts dar. Seine Relevanz gründet erstens im Ansetzen an Lebensräumen als dem zentralen Hebel des Natur- und Artenschutzes, zweitens in der Kopplung von Nutzung (Verkehr, Wasserkraft, Tourismus, etc.) und Schutz und drittens in der Berücksichtigung von Ökosystemleistungen. Allerdings fehlt es nach wie vor an einem handlungsleitenden Prozessverständnis, das durch die oben genannten Monitoring- und Modellierungsaktivitäten besser erfasst und dargestellt werden könnte.

Ein weiteres flächenprägendes Element stellt die Land- und Forstwirtschaft dar. Die landwirtschaftliche Gestaltung unserer Lebensräume gewinnt durch die aktuellen globalen Trends der Klimaänderung, des Bevölkerungs- und Wohlstandswachstums und der enorm ansteigenden energetischen wie stofflichen Nutzung von Biomasse an Brisanz. Die BMBF-Fördermaßnahmen „Nachhaltiges Landmanagement“, „Nachhaltiges Flächenmanagement“ (REFINA), „Nachhaltige Waldwirtschaft“ und „Integriertes Wasserressourcen-Management“ beziehen die Aspekte von Naturschutz und Erhalt der Biodiversität ein und greifen die Forderung nach Integration von Schutz und Nutzung auf. Das Pendant zu den terrestrischen Landschaften bilden die aquatischen, insbesondere die marinen Lebensräume, die ebenfalls zunehmend unter Druck geraten. Langfristig wird man aber auch hier nicht umhin können, umfassende, ganzheitliche Schutz und Nutzungskonzepte zu forcieren.

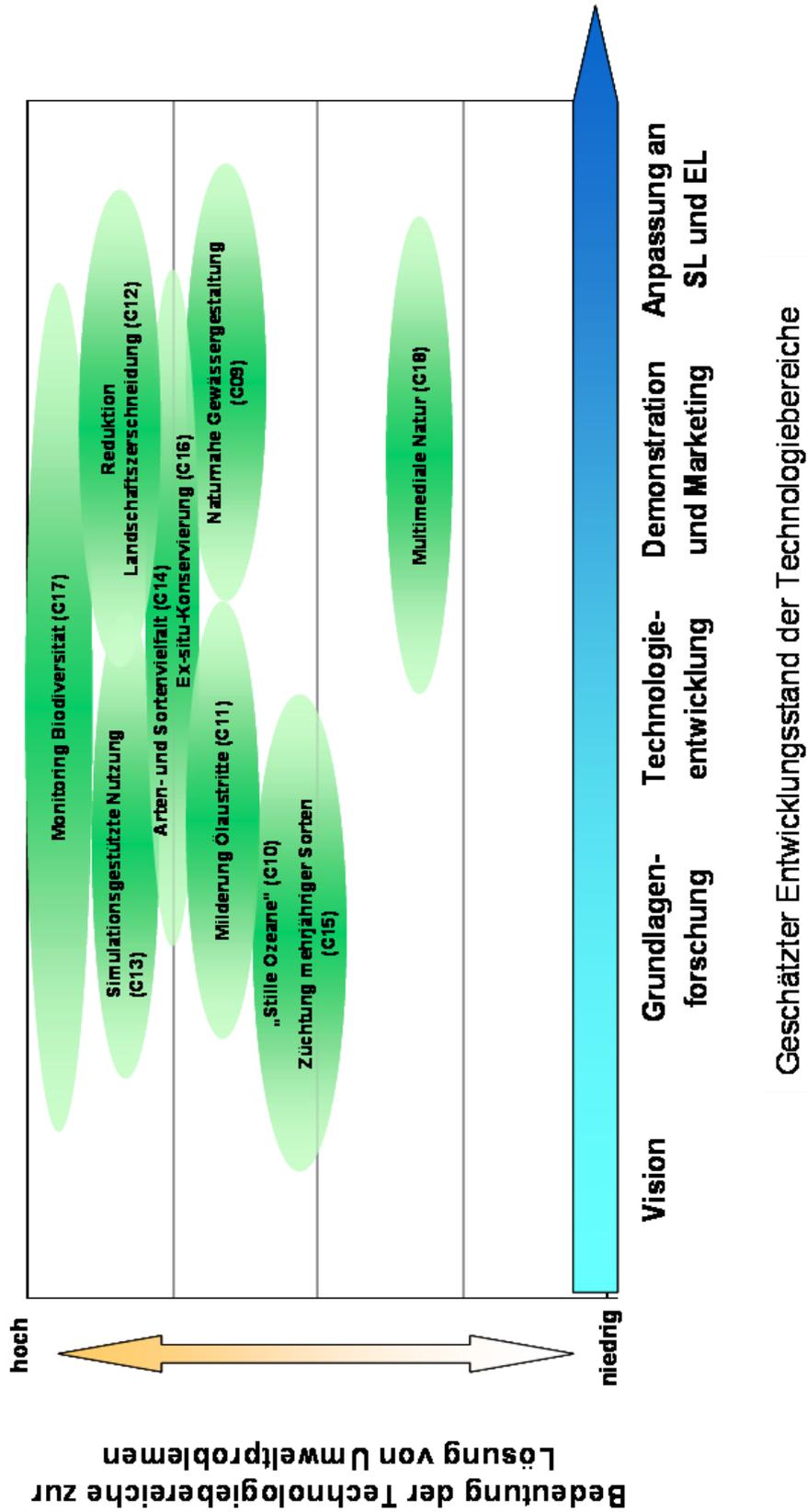


Abb. 86: Erhalt von Biodiversität und Naturschutz: Einschätzung von Entwicklungsstand und Bedeutung für die Lösung von Umweltproblemen (die Einschätzung erfolgte auf Basis des Zwischenberichts, der Befragung und des Workshops)

5 Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft

Die Ergebnisse der Befragung und des Workshops bestätigten die hohe Relevanz, die dem Thema „Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft“ zugemessen wird. Wie die Auswertung des Allgemeinen Teils der Umfrage zeigt (s. Abb. 4, S. 21), wurde der globale Problemdruck lediglich im Bereich Klimaschutz und Wassermanagement als noch höher eingestuft. Bei einer nationalen Betrachtungsweise rückt die Lösung der Rohstoffproblematik sogar auf Platz zwei. Dementsprechend wurde auch der öffentlichen Förderung von Technologien zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität die zweithöchste Priorität (nach Technologien zum Klimaschutz) eingeräumt (s. Abb. 5, S. 22).

Diese Beurteilung dürfte auch in Anbetracht des aktuellen Verfalls der Rohstoffpreise keine Korrektur erfahren. Vielmehr haben die Versorgungsengpässe der letzten Jahre dazu beigetragen, die Sensibilität der Akteure für die Frage der Rohstoffsicherheit nachhaltig zu erhöhen. Deutlich geworden ist, dass viele Rohstoffe tatsächlich nur bedingt verfügbar sind, da ihre Vorkommen in gar nicht so ferner Zukunft zur Neige gehen. Deutlich geworden ist aber auch, dass die Versorgung, abgesehen von der absoluten Knappheit bestimmter Materialien (z.B. von strategischen Metallen), mit hohen Risiken verbunden sein kann, da ihre Förderung auf wenige Abbaugelände mit zum Teil instabilen politischen Verhältnissen konzentriert ist. Schließlich ist das Problembewusstsein für die Umweltbelastungen, die mit einem hohen Rohstoffverbrauch einhergehen, geschärft worden, zumal Erkundung und Abbau von Rohstoffen zunehmend in ökologisch besonders sensible Gebiete vordringen. Daraus folgt, dass die Verbesserung der Rohstoffproduktivität ein vordringliches politisches Ziel bleibt, unabhängig von der aktuellen Preisentwicklung an den Rohstoffmärkten. Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass innovative Technologien, die darauf ausgerichtet sind, Einsparpotenziale beim Rohstoffeinsatz zu nutzen, in den kommenden Jahren mit erheblichen Wachstumschancen rechnen können.

Im Gegensatz zur Lösung der Rohstoffproblematik wurde der Problemdruck im Bereich des Abfallmanagements in der Befragung am geringsten von allen sieben Handlungsfeldern bewertet, sowohl in globaler wie auch in nationaler Perspektive (s. Abb. 4, S. 21). Analog dazu wurde auch der Bedarf an öffentlicher Förderung in Deutschland auf den letzten Platz verwiesen (s. Abb. 5, S. 22). Dieses Ranking stieß bei den Teilnehmern des Workshops jedoch auf vehemente Kritik. Anders als die schriftlich befragten Experten sahen sie den weltweiten Problemdruck im Abfallbereich als hoch an und konstatierten bei der Behandlung / Verbrennung / Verwertung von Abfällen erheblichen Nachholbedarf auf der globalen Ebene, zumal dieses Handlungsfeld unter dem Aspekt der CO₂- und CH₄-Emissionen als sehr klimarelevant eingeschätzt wurde. Für die weltweit als führend anerkannten deutschen Abfalltech-

nologien beständen große Marktpotenziale in Schwellen und Entwicklungsländern, insbesondere im Bereich der Lowtech. Moniert wurde generell, dass das Thema Abfallwirtschaft in Deutschland derzeit weit unten auf der politischen Agenda angesiedelt sei, und die Ansicht vertreten, dass sich durch eine Intensivierung der Forschungstätigkeit bezüglich Stoffstrommanagement und Kreislaufschließung noch große Fortschritte erzielen ließen. Angesichts der zunehmenden Knappheit von Primärrohstoffen wurden vor allem die Verbesserung der Stofftrennverfahren, die Optimierung der Materialeigenschaften der aus Abfällen gewonnenen Sekundärrohstoffe sowie deren Aufbereitung für höherwertige Verwendungszwecke als wichtige Felder künftiger technologischer Entwicklung betrachtet.

Abb. 87 bezieht sich auf die im Fragebogen für alle Technologiebereiche gestellte Frage „Wie würden Sie die zukünftige Bedeutung dieser Technologien für die Lösung

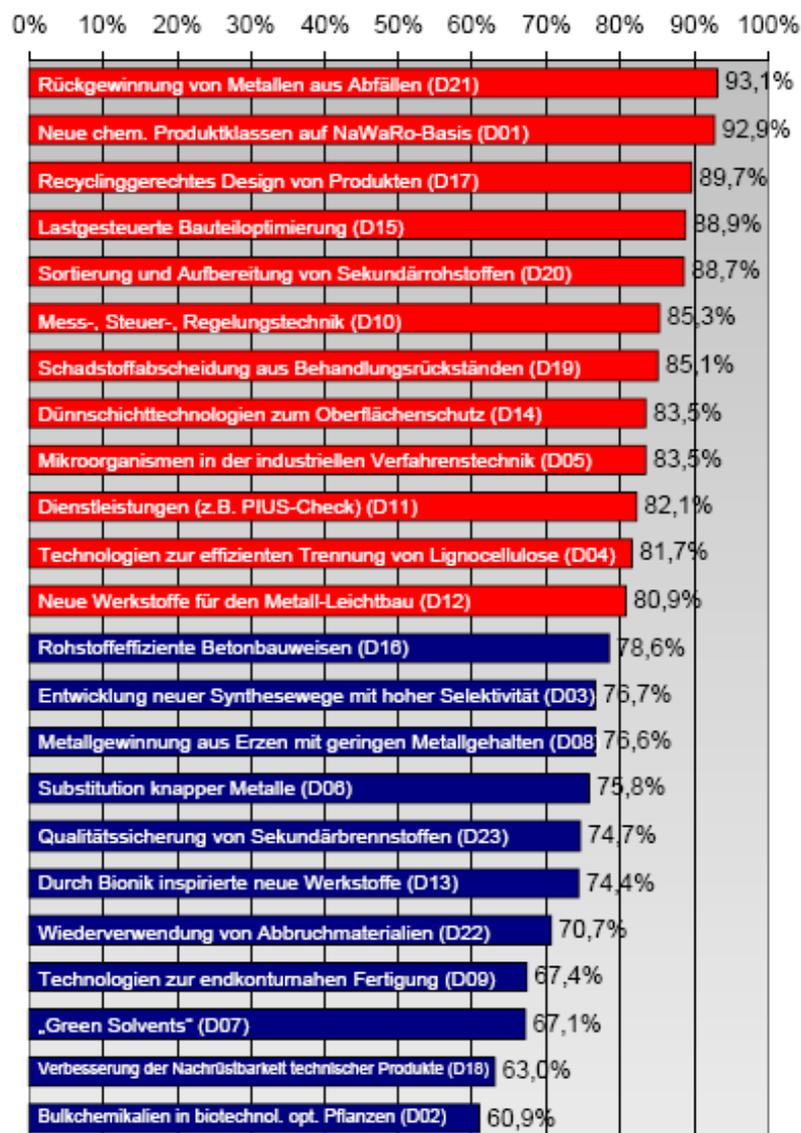


Abb. 87: Ranking der Technologien im Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft nach „Bedeutung“ (Nennungen in Prozent, „äußerst wichtig“ und „wichtig“ kumuliert)

von Ressourcenproblemen einschätzen?“. Zu berücksichtigen ist, dass die Vergleichbarkeit der Technologiebereiche schon durch die unterschiedlichen Aggregatsebenen (teilweise sehr spezielle Einzeltechnologien, teilweise ganze Technologiefelder) und durch die stark unterschiedlichen Grundgesamtheiten antwortender Personen eingeschränkt ist. Dennoch gibt die Abbildung einen Eindruck von der Streubreite der geschätzten Problemlösungskapazität. Technologien, bei denen sich jeweils über 80% der Antwortenden für „äußerst wichtig“ und „wichtig“ entschieden haben, sind in rot dargestellt. Wie die Abb. 87 zeigt, ist die Anzahl der Technologien, deren Bedeutung über 80% der Befragten als „äußerst wichtig“ und „wichtig“ eingeschätzt haben, höher als in anderen Clustern. Kein Wert liegt unter 60%.

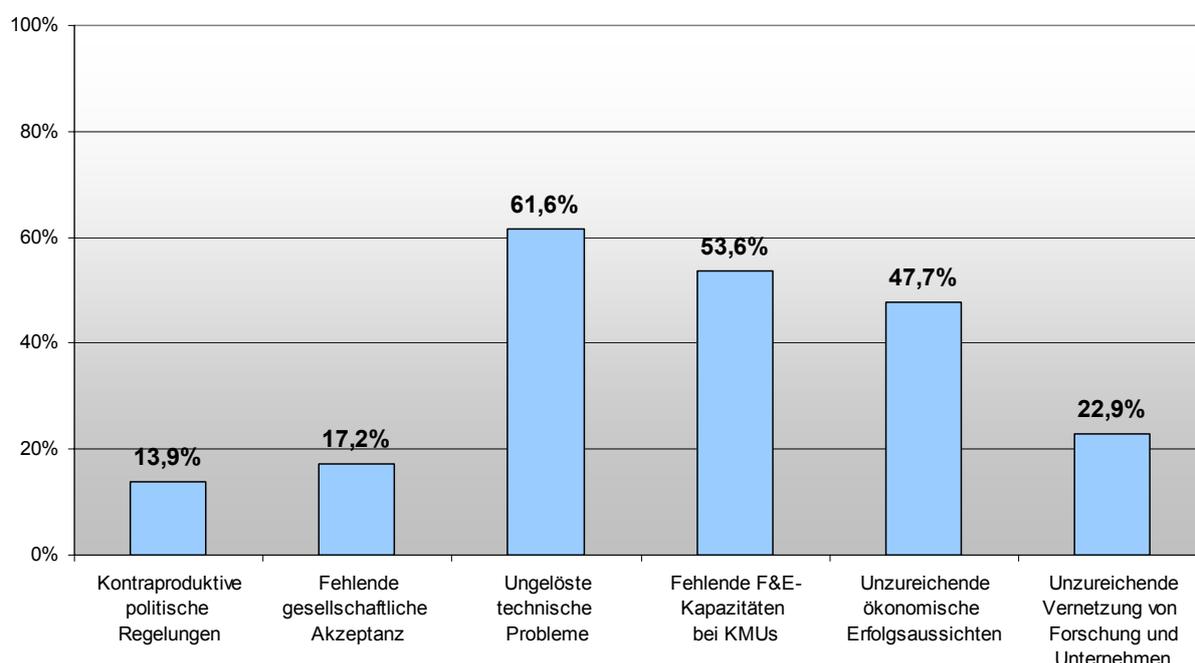


Abb. 88: Hemmnisse im Cluster Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft. Durchschnitt der relativen Nennungen über alle Technologiebereiche im Cluster Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft.

Im Cluster „Erhöhung der Rohstoffproduktivität/ Kreislaufwirtschaft“ wurden überwiegend Technologien ausgewählt, die sich noch in einem relativ frühen Entwicklungsstadium befinden, d.h. Technologien bei denen derzeit weder die technische Machbarkeit noch die wirtschaftlichen Gewinnaussichten für die Unternehmen sichergestellt sind. Vor diesem Hintergrund wird das recht einheitliche Muster bei der Nennung der relevanten Hemmnisse, die einem erfolgreichen Einsatz der Technologien am Standort Deutschland entgegenstehen, nachvollziehbar. In allen vier Technologiegruppen werden als die wesentlichsten Hemmnisse, in erster Linie die folgenden drei genannt: „bisher ungelöste technische Probleme“, „fehlende FuE-Kapazitäten bei kleineren und mittleren Unternehmen“ und „unzureichende oder unsicher Erfolgsaussichten der Unternehmen“. Bei den „reifen“ Technologien in diesem Cluster,

wie etwa Dienstleistungen zur Optimierung von Produktionsprozessen unter dem Aspekt der Rohstoffeffizienz (D11), Aufbereitung von Sekundärrohstoffen (D20), Wiederverwendung von Abbruchmaterialien aus dem Bausektor (D22) und Qualitätssicherung von Sekundärbrennstoffen (D23) spielen dagegen andere Hemmnisse, vor allem „kontraproduktive politische Regulierungen“ oder „fehlende gesellschaftliche Akzeptanz“ eine durchaus wichtige Rolle.

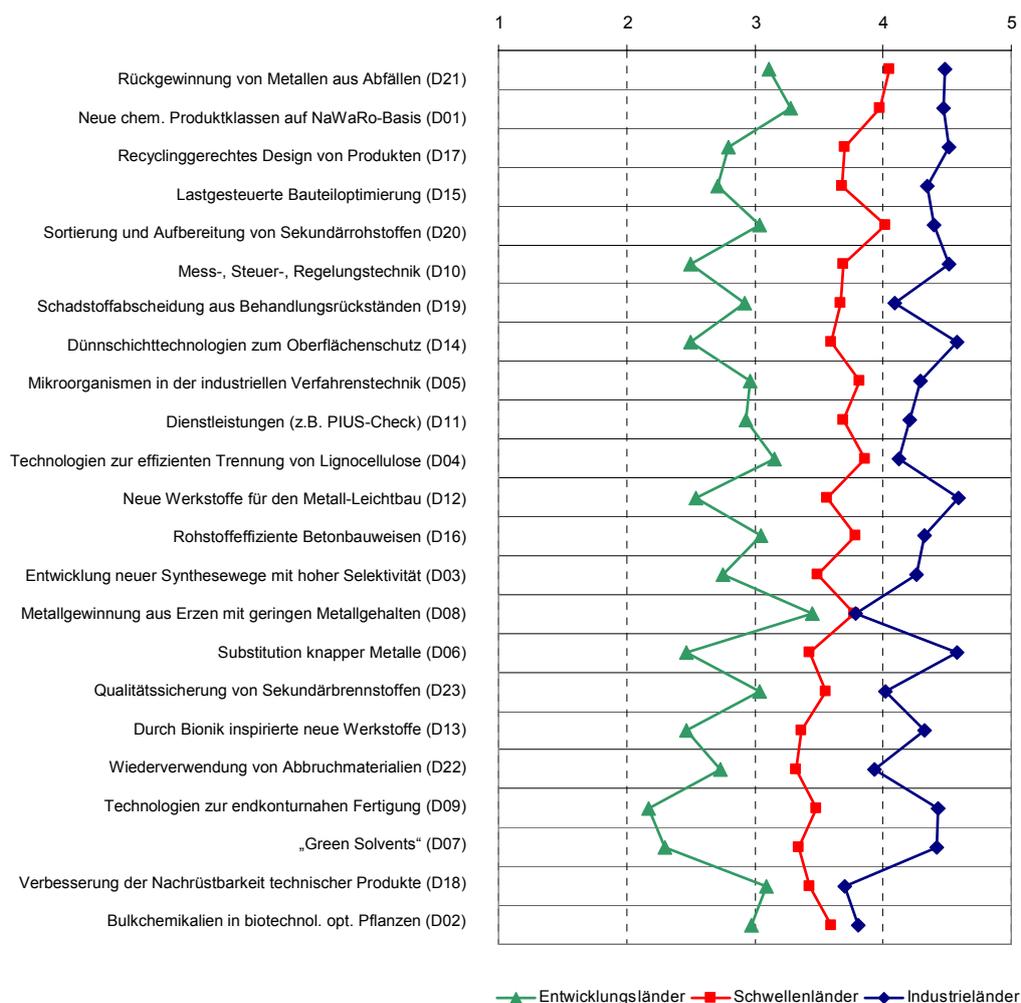


Abb. 89: Rohstoffproduktivität und Kreislaufwirtschaft: Geschätzte Marktpotenziale (Die Antworten sind als gewichtetes Mittel auf einer Skala von hoch (5) bis gering (1) dargestellt)

In diesem Cluster wurde der Schwerpunkt auf Hightech-Technologien gelegt, während der Bereich des Lowtech von untergeordneter Bedeutung war. Dies erklärt, warum die Marktpotenziale (s. Abb. 89) der ausgewählten Technologien vorwiegend in den Industrieländern gesehen werden. Eine Ausnahme stellt die Metallgewinnung aus Erzen mit geringem Metallgehalt (D08) dar. Die Marktpotenziale in den Industrieländern werden als deutlich geringer und die der Schwellenländer- und Entwicklungsländer als überdurchschnittlich hoch eingeschätzt. Mit Bezug auf Deutschland lässt

sich dieses Resultat zum einem mit der weitgehenden Einstellung des Erzabbaus begründen, zum anderen mit dem sowohl in der Umfrage als auch im Workshop monierten Abbau der Kompetenzen im Bereich Bergbautechnik und Metallurgie. Geringe Marktchancen in Industrieländern werden auch der Verbesserung der Nachrüstbarkeit technischer Produkte (D18) eingeräumt. Als Grund wird die fehlende ökonomische Attraktivität dieses Ansatzes sowohl aus Sicht der Unternehmen als auch aus Sicht der Konsumenten angeführt, vor allem was den Konsumgüterbereich anbetrifft.

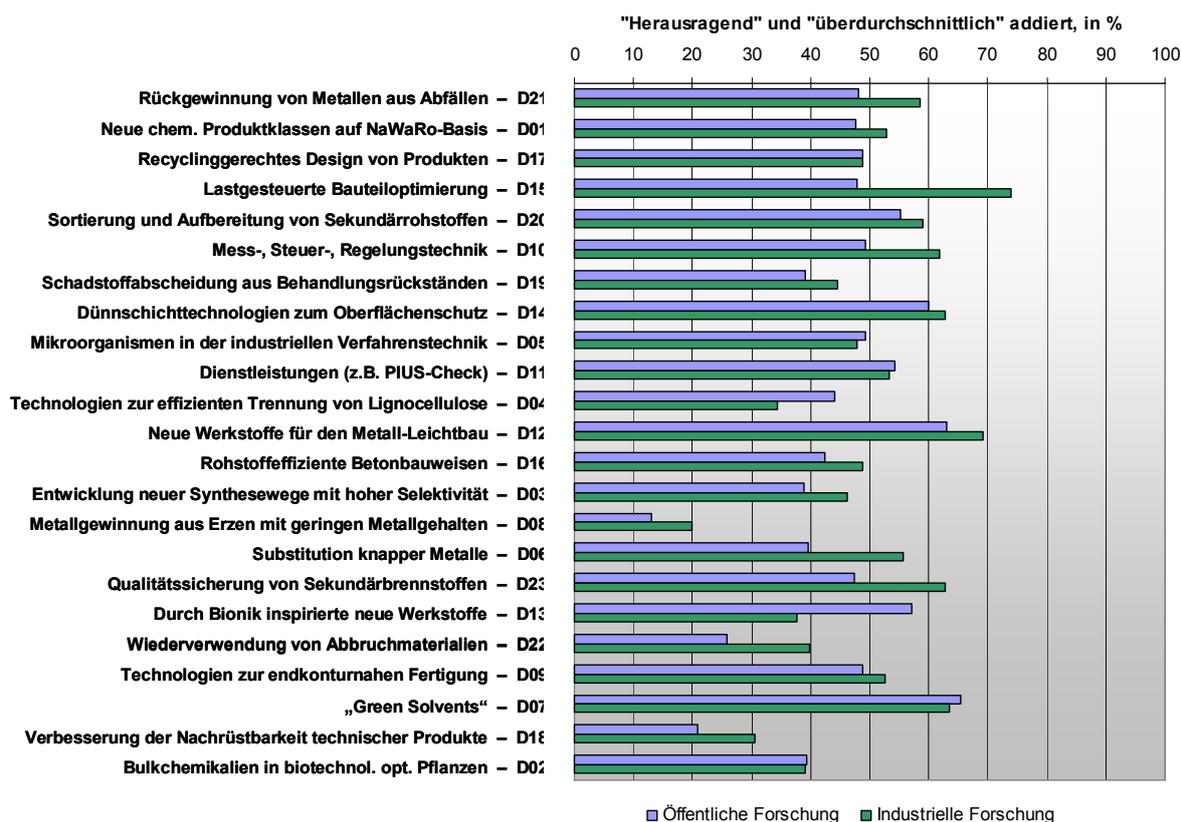


Abb. 90: Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft: Position Deutschlands im internationalen Vergleich gerankt nach der industriellen Forschung (die höchsten beiden Kategorien sind aggregiert und in Prozent dargestellt)

Abb. 90 zeigt die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich, wobei die 23 Technologiebereiche wiederum nach dem ihnen zugeschriebenen Problemlösungspotenzial gerankt sind. Mit Ausnahme der Metallgewinnung aus Erzen mit geringem Metallgehalt (D08) wird die Stellung Deutschlands generell recht positiv bewertet, wobei bei einigen Technologien ein hoher Prozentsatz der Befragten (50-70%) die Position Deutschlands für überdurchschnittlich oder sogar herausragend hält. Anders als z.B. im Cluster „Wassermanagement“, stimmt jedoch das Ranking nach der Exzellenz der deutschen Forschung nicht mit dem Ranking nach dem Problemlösungspotenzial der Technologien überein. Das heißt, die deutsche Forschung ist nicht un-

bedingt auf dem Gebiet derjenigen Technologien exzellent, denen die größte Bedeutung zur Bewältigung der Rohstoffproblematik zugemessen wird. Diese Kritik wird allerdings dadurch gemildert, dass generell allen Technologien in diesem Cluster von den Befragten eine hohe Relevanz (von über 60%) bescheinigt wurde (s. Abb. 87, S. 252). Bei den meisten Technologien werden die industrielle Forschung und das Unternehmens-Know-how als der öffentlichen Forschung überlegen eingeschätzt; dieses gilt insbesondere für die lastgesteuerte Bauteiloptimierung (D15), den Metall-Leichtbau (D12), die Substitution knapper Metalle (D06) und die Qualitätssicherung von Sekundärrohstoffen. Dagegen hat die öffentliche Forschung bei „Green Solvents“ (D07), beim Einsatz von Mikroorganismen in der industriellen Verfahrenstechnik (D05), bei Technologien zur effizienten Trennung von Lignocellulose, bei Dienstleistungen (D11) und vor allem auf dem Gebiet der Bionik (D13) einen deutlichen Vorsprung.

Im Folgenden werden für die vier Technologiegruppen im Cluster „Erhöhung der Rohstoffproduktivität/Kreislaufwirtschaft“ wesentliche Ergebnisse der Umfrage und des Workshops zusammengefasst.

5.1 Technologiegruppe 1: Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe

In dieser Gruppe waren Technologien zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe zusammengefasst. Nach den Ergebnissen der Umfrage wurde der Erschließung neuer chemischer Produktklassen auf NaWaRo-Basis (D01) die höchste Bedeutung zur Lösung der Rohstoffproblematik zugeschrieben. Auch der Entwicklung neuer Synthesewege mit hoher Selektivität (D03) und der effizienten Trennung von Lignocellulose (D04) wurde ein relativ hohes Problemlösungspotenzial bescheinigt, während die Herstellung von Bulkchemikalien in biologisch optimierten Pflanzen (D02) nur auf geringe Zustimmung stieß. Gegen letztere wurden erhebliche Bedenken geäußert, wobei insbesondere der Einsatz gentechnisch manipulierter Pflanzen wegen der Risiken des Gentransfers und der möglichen Vermischung mit Nahrungsmitteln innerhalb der Prozesskette als problematisch eingeschätzt wurde. Forschungs- und Förderbedarf wurde bei allen Technologien dieser Gruppe vornehmlich im Bereich der Grundlagenforschung und der Technologieentwicklung gesehen. Die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich wurde positiv beurteilt, d.h. die Anzahl der Experten, die Deutschland in einer überdurchschnittlichen oder sogar herausragenden Position sehen, war weitaus größer als die Zahl derer, die Deutschland eine unterdurchschnittliche oder sogar unbedeutende Rolle zuweisen.

Als Vorteile der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe werden generell die Schonung fossiler Energieträger und die Verringerung der Abhängigkeit von Rohölimporten betrachtet. Positive Auswirkungen auf andere Umwelthandlungsfelder werden durch die Reduktion des CO₂-Ausstoßes (Klimaschutz), die Verringerung schäd-

licher Abfall- und Nebenprodukte (Abfallwirtschaft) sowie durch die Vermeidung von Ölexplorationen in sensiblen Gebieten (Naturschutz) erwartet. Negative Auswirkungen werden im Hinblick auf die Inanspruchnahme weiterer Flächen für den Anbau nachwachsender Rohstoffe (Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion, drohende Abholzung wertvoller Regenwälder), die Gefahr der Ausweitung von Monokulturen sowie des damit verknüpften höheren Einsatzes von Düngemitteln und Pestiziden (Gewässer-, Bodenbelastung) sowie eines Rückgangs der Biodiversität befürchtet.

Die Einschätzung der schriftlich befragten Experten wurde durch den Workshop im Großen und Ganzen bestätigt. Kritisiert wurde allerdings die durch die Projektkonzeption bedingte strikte Trennung von stofflicher und energetischer Nutzung. Beide Nutzungsoptionen sollten als Einheit gesehen werden, um die Synergiepotenziale einer gekoppelten Biomassenutzung ausschöpfen zu können. Deutschland habe bei den Verfahren zur Erzeugung von Synthesegas aus trockener Biomasse (Bioliq, Choren) eine international führende Position erreicht, die ausgebaut werden sollte. Beide Verfahren könnten sowohl zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe als auch zur Produktion chemischer Grundstoffe eingesetzt werden und seien vor allem deshalb aussichtsreich, weil sie biogene Abfallstoffe (Waldrestholz, Stroh, Heu, Baumschnitt) als Ausgangsmaterial einsetzen könnten und somit nicht in Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion treten. Parallel zur Biomassevergasung sollte das Konzept der integrierten Bioraffinerie forciert werden, mit dem Ziel, die Syntheseleistung der Natur zu einem möglichst großen Teil zu nutzen, also die komplexen molekularen Strukturen der Pflanzen weitestgehend in Produkte zu konvertieren. Eine wesentliche Voraussetzung dafür wurde allerdings in der Entwicklung bzw. Weiterentwicklung von biotechnologischen und chemischen Konversionsverfahren mit hoher Selektivität gesehen. Als dritter Pfad sollte die Biomasseproduktion aus Algen weiterverfolgt werden, nicht nur unter dem Aspekt der CO₂-Verwertung, sondern mit Blick auf die Erschließung neuer Rohstoffquellen.

Um die Energiebilanz der Biomassenutzung zu verbessern, müssten die thermodynamischen Kreisläufe insgesamt betrachtet und alle Potenziale ausgeschöpft werden, also z.B. die anfallenden Abfallströme aus der stofflichen Nutzung energetisch weiterverwendet werden, entweder thermisch zur Erzeugung elektrischer Energie bzw. Prozessdampf oder zur Herstellung von Synthesegas (Kaskadennutzung). Gefordert wurde die Entwicklung eines ressortübergreifenden integrierten Gesamtkonzepts zur Förderung der stofflich- / energetischen Biomassenutzung, in dem sich die einzelnen Technologien im Hinblick auf die Optimierung des Outputs sinnvoll ergänzen. Ein solches Gesamtkonzept müsste auch Technikfolgen adressieren, wie Flächennutzungskonflikte, Preissteigerung von Agrarprodukten, Verlust wertvoller Regenwälder, Rückgang der Biodiversität infolge von Monokulturen etc., die nach An-

sicht der Workshop-Teilnehmer in den bisherigen Förderstrategien zu wenig berücksichtigt worden seien.

Neben der Empfehlung, den Schwerpunkt der Forschungsförderung weniger auf einzelne Technologien zu legen, sondern stattdessen eine Optimierung des Gesamtprozesses der Biomassenutzung anzustreben, wurde eine stärker produktbezogene Forschung eingefordert. Um neue Märkte erschließen zu können, sei es aus Sicht der Unternehmen notwendig der Frage nachzugehen, welche Anwendungen für neue Stoffe bzw. Produkte in Frage kommen.

5.2 Technologiegruppe 2: Materialforschung und neue Werkstoffe

Diese Gruppe war auf Technologien fokussiert, die auf eine Verringerung des Materialinputs pro Produkteinheit ausgerichtet sind. Den meisten von ihnen wurde in der schriftlichen Umfrage ebenso wie im Workshop große Relevanz bescheinigt, sowohl im Hinblick auf die Lösung der Rohstoffproblematik als auch im Hinblick auf die Erschließung neuer Marktpotenziale. Hohe Problemlösungskapazität wurde übereinstimmend Dünnschichttechnologien zum Oberflächenschutz (D14), Neuen Werkstoffen für den Metall-Leichtbau (D12) sowie der Lastgesteuerten Bauteiloptimierung (D15) zugeschrieben. Angeregt wurde allerdings die Technologiebereiche weiter zu fassen, also den Schwerpunkt nicht nur auf den Metall-Leichtbau zu legen, sondern alle Kompositmaterialien mit geringem Gewicht einzubeziehen. Ebenso sollte die Fragestellung nicht auf Dünnschichttechnologien zugespitzt, sondern die Funktionalisierung von Oberflächen generell zum Thema gemacht werden. Auf beiden Gebieten wurde Deutschland im internationalen Vergleich eine überdurchschnittliche oder sogar führende Rolle zuerkannt.

Abweichungen zwischen den Ergebnissen der Umfrage und des Workshops zeigten sich bezüglich der Substitution knapper Metalle durch Rohstoffe mit höherer Reichweite (D06). Während dieser Technologiebereich in der Umfrage eher im unteren Teil der Bedeutungsskala rangierte, wurde er von den Workshop-Teilnehmern als ein aussichtsreiches Thema für die Zukunft betrachtet, dessen Entwicklung erst am Anfang stehe (z.B. Substitution von Nickel in Edelstahl, an der derzeit gearbeitet werde).

Die Problemlösungskapazität der durch Bionik inspirierten neuen Werkstoffe (D13) war vor allem in der schriftlichen Umfrage umstritten. Es wurden sehr konträre Standpunkte vertreten, die von „Man kann viel Geld damit verschwenden, also keine öffentliche Förderung (außer Grundlagenforschung)“ bis zu „Ich habe den Eindruck, als ob hier erneut eine Zukunftstechnologie in Deutschland verschlafen wird“ reichen. Von den Befürwortern werden bionischen Lösungen neben einer höheren Material- und Energieeffizienz generell positive Auswirkungen auf andere Umweltbereiche (Luft, Klima, Wasser, Boden, Biodiversität) zugeschrieben, die von den Gegnern

bestritten werden. Was die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich anbetrifft, fällt auf, dass die öffentliche Forschung als der industriellen deutlich überlegen eingeschätzt wurde, während bei allen anderen Technologien in dieser Gruppe die industrielle Forschung und das Unternehmens-Know-how als geringfügig positiver bewertet wurden. Dieses Ergebnis ist insofern plausibel, als die wissenschaftliche Bionikforschung bisher vorwiegend auf den universitären Bereich konzentriert ist. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Umfrage wurde von den Workshop-Teilnehmern moniert, dass es in Deutschland im Forschungsfeld Bionik bisher nur wenige Arbeitsgruppen und zu wenig Nachwuchswissenschaftler gebe. Es sei zwar vergleichsweise einfach, Forschungsgelder zu akquirieren, bionische Forschung sei jedoch mit einem hohen Erfolgsrisiko verbunden, da nur ca. 10 bis 20% der Forschungsergebnisse auch tatsächlich in die Anwendung gelangten. Vor diesem Hintergrund wurde es als notwendig angesehen, sowohl die Basis für die Forschungsleistung (Anzahl der auf diesem Gebiet tätigen Wissenschaftler) zu verbreitern als auch neue Studiengänge einzurichten.

Das geringste Potenzial im Hinblick auf die Lösung der Rohstoffproblematik wurde dem Bereich der Rohstoffeffizienten Betonbauweisen (D16) zugeschrieben. Ein Grund wurde in der Struktur des Bausektors gesehen, die als durch kleine und mittlere Unternehmen geprägt, eher handwerklich orientiert, traditionell und wenig an visionärer Forschung interessiert, charakterisiert wurde. Ein weiteres Hemmnis wurde in dem fehlenden Problembewusstsein der Bevölkerung für die Umweltbelastung durch Baustoffe gesehen. In Anbetracht der Langlebigkeit von Bauwerken und einer zurückgehenden Bevölkerungszahl in Deutschland sei in den kommenden Jahren mit einer rückläufigen Neubautätigkeit zu rechnen. Gefragt seien daher in erster Linie Modernisierungslösungen sowie Konzepte zur Anpassung der bestehenden Bausubstanz an sich wandelnde Nutzerbedürfnisse. Im Gegensatz zu Deutschland wurde für Schwellenländer mit stark wachsender Bevölkerung und hohem Zuwanderungsdruck auf die Städte (Indien, China, Südamerika) ein großer Bedarf an Neubauten konstatiert. Mit einer Trendwende zu rohstoffeffizienten Bauweisen wird jedoch auch hier nicht gerechnet, da das Problembewusstsein der Bevölkerung noch schwächer ausgeprägt sei als in den Industrieländern, die Lebensdauer eines Gebäudes bei der Erstellung keine Rolle spiele und mit sehr kurzen Amortisationszeiträumen kalkuliert werde.

Forschungs- und Förderbedarf wurden bei allen Technologien in dieser Gruppe vornehmlich in Bereich der Technologieentwicklung gesehen, gefolgt von der Grundlagenforschung. Lediglich bezüglich der rohstoffeffizienten Betonbauweisen wurde der Forschungsbedarf im Hinblick auf „Demonstration und Marketing“ höher eingeschätzt als der Bedarf an Grundlagenforschung.

5.3 Technologiegruppe 3: Ressourcenschonende und abfallarme Produktionsprozesse

In dieser Gruppe waren Technologien zusammengefasst, die auf eine Optimierung von Herstellungsprozessen unter dem Aspekt der Rohstoffproduktivität abzielen. Das höchste Problemlösungspotenzial wurde im Rahmen der schriftlichen Befragung der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (D10), dem Einsatz von Mikroorganismen in der industriellen Verfahrenstechnik (D05) sowie Dienstleistungen wie PIUS-Check, Materialflussanalyse, Ökobilanzen etc. (D11) zugesprochen. Technologien zur Metallgewinnung aus Erzen mit geringem Metallgehalt (D08), Technologien zur Endkonturnahen Fertigung (D09) und „Green Solvents“ (D07) rangierten dagegen im unteren Teil der Bedeutungsskala. Forschungs- und Förderbedarf wurde bei den meisten Technologien in erster Linie im Bereich der Technologieentwicklung gesehen, gefolgt von der Grundlagenforschung. Lediglich bei den Dienstleistungen wurde der Forschungsbedarf für „Demonstration und Marketing“ noch höher eingeschätzt als der Bedarf an Technologieentwicklung, und der Bedarf an „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ höher als der Bedarf an Grundlagenforschung. Die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich wurde bei allen Technologien mit Ausnahme der Technologien zur Metallgewinnung aus Erzen mit geringem Metallgehalt (D08) als überdurchschnittlich bewertet.

In dieser Technologiegruppe zeigten sich relativ große Unterscheide in der Einschätzung zwischen der schriftlichen Befragung und dem Workshop. Insbesondere die vergleichsweise geringe Bedeutung, die dem Forschungs- und Förderbedarf für „Demonstration und Marketing“ in der Befragung zugewiesen wurde, stieß bei den Workshop-Teilnehmern auf Unverständnis. Die Verbreitung von Forschungsergebnissen und deren Umsetzung in die Praxis wurden als ebenso wichtig angesehen wie die Förderung von FuE-Projekten selbst. Vor allem mit Blick auf KMU sei eine kontinuierliche Unterstützung des Wissen- und Technologietransfers unverzichtbar, um das Informationsdefizit kleiner und mittlerer Unternehmen auszugleichen und ihre Zurückhaltung bei der Investition in neue Technologien zu überwinden. Es gebe zwar auf nationaler Ebene bereits das Netzwerk „Ressourceneffizienz“ und die Initiative „Cleaner Production“, aber noch keine zentrale, öffentlich geförderte Transferplattform. Angeregt wurde auch, neben den Industrie- und Handelskammern regionale Kontaktstellen einzurichten, in denen geeignete Ansprechpartner dauerhaft zur Verfügung ständen.

Beim Ranking der Technologien nach ihrer Problemlösungskapazität wurden im Workshop Dienstleistungen zur Optimierung von Produktionsprozessen (D11) als eines der aussichtsreichsten Themen für die Zukunft betrachtet. Produktdesign, Produktion, Beratung und Dienstleistungen müssten verknüpft und als ein ganzheitlicher Prozess gesehen werden, der von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung reiche.

Auf dem Gebiet der Dienstleistung müssten zudem neue Elemente hinzukommen, z.B. Software-Lösungen für die chemische Industrie, welche die Vorhersage von Prozessabläufen und Materialeigenschaften einschließen. Ebenso sollten neue Geschäftsmodelle (z.B. Leasing) einbezogen und deren Umsetzungspotenziale ausgelotet werden, etwa im Bereich des „Chemical-Leasing“.

Kritisiert wurde von den Workshop-Teilnehmern die starke Fokussierung des Fragebogens auf einzelne Technologien. Der Ansatz der Befragung sei zu kleinteilig, um eine ganzheitliche Bewertung von Prozessen und neuen Technologien zu erlauben. So sollten z.B. nicht Technologien zur endkonturnahen Fertigung im Mittelpunkt stehen, sondern das gesamte Thema des „produktionsintegrierten Umweltschutzes“. Darunter sollten alle technologischen Ansätze subsumiert werden, die darauf abzielen, die verschiedenen Facetten des Herstellungsprozesses (Urformen, Umformen, Trennen, Trocknen, Entfetten, Fügen, Oberflächenbehandlung etc.) unter Rohstoffaspekten zu optimieren. Ebenso sollte der Fokus nicht auf „Green Solvents“ (D07) gelegt, sondern das Thema weitergefasst werden im Sinne von „Green Chemistry“ oder „Dream Reactions“. Dies würde neben lösungsmittelfreien bzw. -armen Reaktionen den ganzen Komplex technologischer Optionen für die Mikroverfahrenstechnik und die Katalysatorforschung sowie die Entwicklung neuer atomeffizienter Synthesewege mit möglichst hoher Selektivität, hoher Energieeffizienz, weniger Abfall, hohen Raum-Zeit-Ausbeuten und geringerem Aufbereitungsaufwand einschließen. Als ein mögliches Vorbild für einen solchen Förderschwerpunkt wurde das 2007 von der DBU initiierte Forschungscluster „Novel Process Windows“ angesehen.

In Einklang mit den Ergebnissen der Umfrage wurde im Workshop ein erhebliches Forschungs- und Förderdefizit mit Blick auf die Metallgewinnung aus Erzen mit geringem Metallgehalt (D08) konstatiert. Moniert wurde, dass die Kompetenzen im Bereich der Bergbautechniken und Metallurgie, in dem Deutschland früher eine führende Rolle gespielt habe, in den vergangenen Jahren zunehmend abgebaut worden seien. Die Workshop-Teilnehmer plädierten mehrheitlich für einen Erhalt bzw. einen Ausbau dieser Kompetenzen, vor allem weil die Metallurgie als eine Querschnittstechnologie gesehen wurde, deren Grundkenntnisse und Verfahren in verschiedenen Branchen nutzbar seien und insbesondere auch die Basis für die Erschließung von Wertstoffen aus Abfällen bilden.

5.4 Technologiegruppe 4: Förderung der Kreislaufwirtschaft

In dieser Gruppe wurden Technologien zur Umsetzung des Kreislaufgedankens in der Güterproduktion und zur Erschließung der in Abfällen enthaltenen Wertstoffe zusammengefasst. Große Bedeutung im Hinblick auf die Lösung der Rohstoffproblematik wurden in der schriftlichen Befragung der Rückgewinnung von Metallen aus Abfällen (D21), dem Recyclinggerechten Design von Produkten (D17), der Sortierung

und Aufbereitung von Sekundärrohstoffen (D20) sowie der Schadstoffabscheidung aus Behandlungsrückständen (D19) eingeräumt. Als Vorteile dieser Technologien wurden die Schonung der Rohstoffvorräte, die Vermeidung der mit der Rohstoffextraktion verbundenen Emissionen und Landschaftsveränderungen, die Reduktion des Abfallaufkommens, die Einsparung von Entsorgungskosten sowie der Vermeidung zusätzlichen Landverbrauchs für Deponien betrachtet. Diese Ergebnisse wurden durch den Workshop bestätigt. Einschränkend wurde allerdings angemerkt, dass die Wirtschaftlichkeit des Recycling durch den Verfall der Rohstoffpreise derzeit in Frage gestellt sei. Darüber hinaus wurde angeregt, die im Fragebogen verwendete Formulierung „Design for Recycling“ weiter zu fassen im Sinne eines „ökologischen Design“, das nicht nur den Aspekt der Recyclingfähigkeit betrifft, sondern eine Gesamtoptimierung von Produkten im Hinblick auf eine lebenszyklusübergreifende Umweltverträglichkeit, Energie- und Rohstoffeffizienz zum Ziel hat.

Das größte Problem wurde in der Umfrage wie im Workshop in dem mit dem Recycling verbundenen Transportaufwand und dem hohen Energieverbrauch der Wiederaufbereitungsprozesse gesehen, die einen Zielkonflikt zwischen den Klimaschutzziele und der politischen Forderung nach Kreislaufführung von Materialien zur Folge habe. Die Wieder- und Weiterverwendung von Wertstoffen aus Abfällen verstärke außerdem das Risiko der Dissipation und der Schadstoffanreicherung in der Umwelt. Insbesondere bei der Wiederverwendung von Abbruchmaterialien aus dem Bausektor wurde die Gefahr der Schadstoffverschleppung in neue Bauteile gesehen, die u.U. zu einer gesundheitlichen Belastung der Nutzer führen könnte. Als notwendig wurden daher die Forcierung einer ganzheitlichen Betrachtungsweise einschließlich der Nebenfolgen sowie eine Bewertung der Stoff- und Energieflüsse über alle Lebensphasen eines Produkts erachtet.

In Einklang mit den Ergebnissen der Umfrage wurde im Workshop die Behinderung der Nutzung von Sekundärmaterialien durch kontraproduktive politische Regulierungen beklagt. Dies habe zur Konsequenz, dass in vielen Bereichen, z.B. im Deponiebau, Primärrohstoffe eingesetzt würden, obwohl es technisch möglich und ökologisch sinnvoll wäre, Sekundärmaterialien zu verwenden. Ein Hemmnis für das hochwertige Recycling von Abbruchmaterialien aus dem Hochbau wurde außerdem in den hohen Kosten der Aufbereitung gesehen. Die Nutzung von Recyclingprodukten biete daher keinen ökonomischen Vorteil gegenüber neuen Baustoffen. Als weiteres Hemmnis wurden die erheblichen Vorbehalte von Bauunternehmen und Verbänden gegen Recyclingprodukte angeführt, die vor allem auf das Problem der Haftung sowie der Gewährleistung von Qualitätskriterien und deren Überprüfung zurückgeführt wurden.

Das Recyclingdefizit im Bausektor wird nach Ansicht der Experten durch die wachsende Verwendung von Verbundmaterialien künftig noch zunehmen. Die heute vor allem bei der energetischen Optimierung von Häusern eingesetzten Komposit-

Werkstoffe wurden als die „Altlasten von morgen“ bezeichnet, für die bisher keine Verwertungstechniken zu Verfügung ständen. Für die kommenden Jahre wurde daher sowohl FuE-Bedarf als auch Regelungsbedarf gesehen. Als eine wesentliche Voraussetzung für die Kreislaufschließung im Baubereich wurde die Verbesserung des Informationsflusses über Produkte sowie deren Werkstoffeigenschaften und Inhaltsstoffe betrachtet. Wünschenswert sei eine Zusammenführung dieser Informationen in produktbegleitenden Informationssystemen nach dem Vorbild von REACH (**R**egistration, **E**valuation, **A**uthorisation of **C**hemicals).

Das geringste Problemlösungspotenzial in dieser Gruppe wurde in der Umfrage wie im Workshop der Verbesserung der Nachrüstbarkeit technischer Produkte (D18) beschrieben. Eine Verlängerung der Lebensdauer durch die Integration zusätzlicher Funktionen in bestehende Produkte wurde zwar in der Theorie als ein vielversprechender Ansatz zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität betrachtet, der sich jedoch in der Praxis, vor allem mit Blick auf den Konsumgüterbereich, nicht bewährt habe. Jedes Upgrading erfordere die Definition von Schnittstellen, was mit zusätzlichen Kosten für den Unternehmer verbunden sei. Aufgrund der Beschleunigung der Innovationszyklen und des Preisverfalls technischer Geräte, insbesondere im Bereich der IuK-Technik, sei eine Nachrüstung auf den aktuellen Stand auch für den Konsumenten in der Regel teurer als Neukauf. Weder für Unternehmen noch für Konsumenten gebe es daher einen ökonomischen Anreiz zur Unterstützung dieses Ansatzes. Weitgehende Einigkeit bestand darüber, dass die Bedeutung der Nutzungsphase für die Steigerung der Rohstoffproduktivität bisher unterschätzt worden sei. In diesem Zusammenhang müssten neben der Verlängerung der Nutzungsdauer noch andere verhaltensbezogene Ansätze wie Verzicht / Suffizienz sowie Intensivierung der Nutzung durch Sharing, Pooling, Leasing und Contracting berücksichtigt werden. Konstatiert wurde ein vermehrter Bedarf an soziologischen, sozial-ökologischen und sozial-psychologischen Studien in diesem Bereich.

Aufgrund von Wirtschaftlichkeitsüberlegungen wurde die Nachrüstung im Hinblick auf Investitionsgüter, anders als im Konsumgüterbereich, als eine wichtige Option eingeschätzt. So hätten z.B. Chemieanlagen im Verlauf ihres gesamten Lebenszyklus von 40 bis 50 Jahren mehrere Nachrüstungsschleifen hinter sich, im Rahmen derer sie modernisiert, rationalisiert, adaptiert und optimiert würden, um sich verändernden Anforderungen gerecht werden zu können. Wachsende Bedeutung wurde auch modularen Anlagenkonzepten beigemessen, die dem Betreiber sowohl eine kostengünstige Adaption an den technischen Fortschritt, als auch eine Anpassung der Kapazitäten an die aktuelle Marktentwicklung ermöglichen.

Die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich wurde bei allen Technologien dieser Gruppe mit Ausnahme der Wiederverwendung von Abbruchmaterialien aus dem Bausektor (D22) und der Verbesserung der Nachrüstbarkeit technischer Pro-

dukte (D18) als überdurchschnittlich eingeschätzt. Forschungs- und Förderbedarf wurde vor allem auf dem Gebiet der Technologieentwicklung gesehen, gefolgt von dem Bereich „Demonstration und Marketing“.

In der folgenden Abb. 91 wird die Bedeutung der Technologien für die Lösung der Probleme im Cluster Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft in Relation zu dem jeweiligen Entwicklungsstand der Technologien dargestellt.

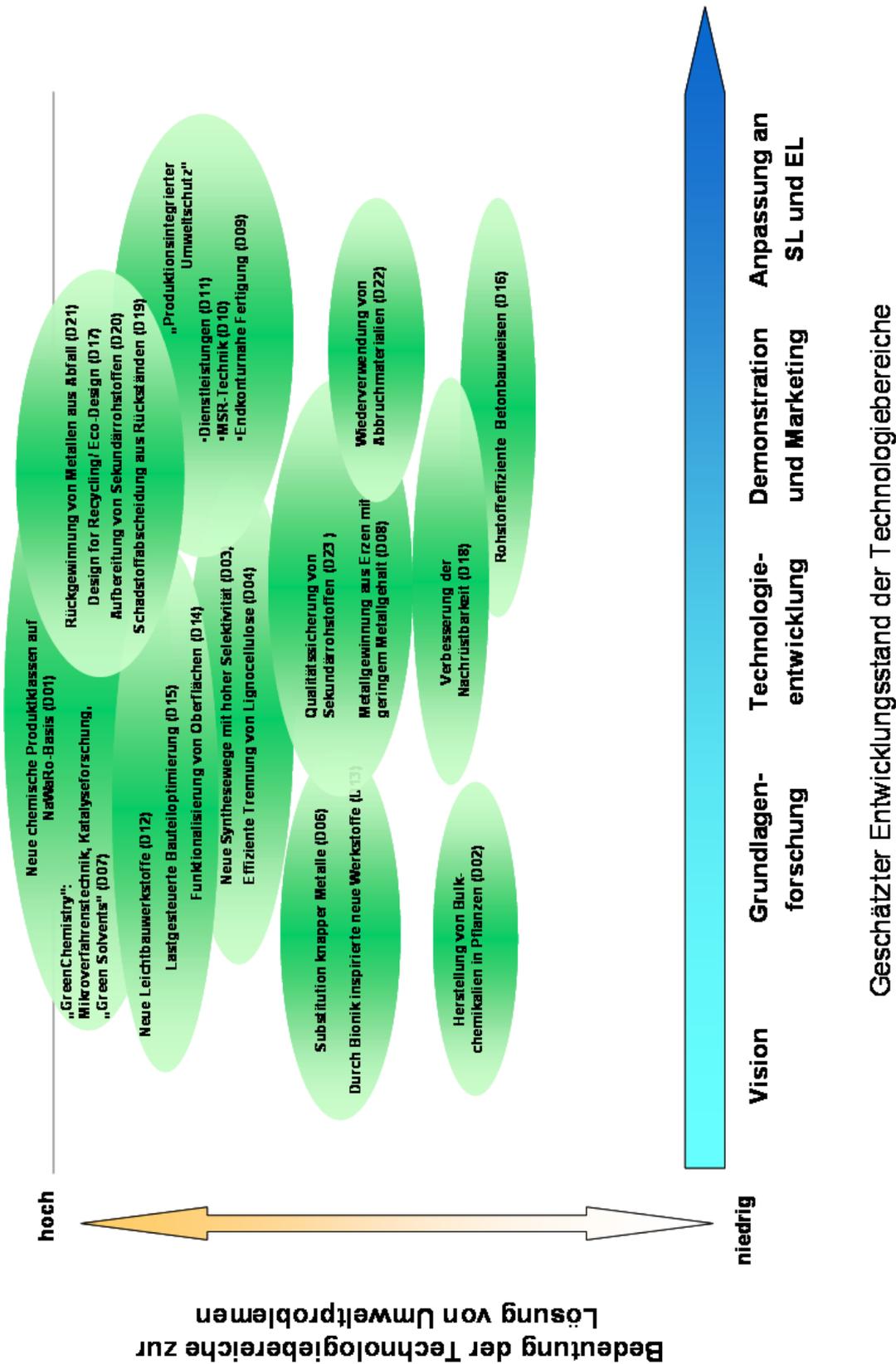


Abb. 91: Materialforschung und neue Werkstoffe: Entwicklungsstand und Bedeutung für die Lösung der Rohstoffproblematik (Einschätzung auf Basis des Zwischenberichts, der Befragung und der Workshops)

6 Allgemeine Aussagen

In den vorhergehenden Kapiteln wurden die Ergebnisse der Befragung und der Workshops getrennt nach den vier Clustern dargestellt und diskutiert. In diesem Kapitel soll nun eine vergleichende Diskussion der Ergebnisse über alle Cluster hinweg erfolgen.

Generell lässt sich sagen, dass sowohl in der Befragung als auch in den Workshops eine große Zustimmung zur Auswahl der Technologiebereiche erkennbar war. An einigen Stellen wurde allerdings die Aggregationsebene der Technologien als zu kleinteilig kritisiert und die Zuordnung zu bestimmten Handlungsfeldern in Frage gestellt. Nur wenige Technologiebereiche wurden als fehlend angesprochen. Die meisten der vermissten Themenbereiche wurden jedoch im Zwischenbericht (Schippl et al. 2008) bereits behandelt, dann aber in ihrer Priorität im Projektkontext zurück gestuft und nicht in die Befragung einbezogen.

Die hohe Zustimmung der Experten zu den ausgewählten Technologiebereichen drückt sich auch darin aus, dass vielen Technologien große Potenziale zur Lösung der jeweiligen Umweltprobleme zugeschrieben wurden. Die in den entsprechenden Kapiteln in den Abbildungen (s. Abb. 70, S. 209, Abb. 75, S. 222, Abb. 81, S. 234 und Abb. 87, S. 252) zur „zukünftigen Bedeutung“ dargestellten Werte bewegen sich meistens über 60%, im Cluster Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft liegt nach dieser Darstellungsform kein Wert unter 60%, obwohl gerade in diesem Cluster die Workshop-Teilnehmer bisweilen die zu starke Fokussierung auf einzelne Technologien monierten und für eine thematisch breitere Formulierung plädierten (z.B. „Green Chemistry“ anstelle von „Green Solvents“). Bei den drei anderen Clustern gibt es „Ausreißer“ nach unten, darunter die „Technologien zur Nutzung der Luftfeuchtigkeit“ (A11) aus dem Bereich der Wassertechnologien und die „Technologien zur Verlagerung von Siedlungs- und Verkehrsflächen in den Untergrund“ (C07) aus dem Bereich Bodenschutz.

Auf das grundsätzliche Problem der Vergleichbarkeit der einzelnen Technologiebereiche sei an dieser Stelle nochmals hingewiesen. So kann vermutet werden, dass relativ breit formulierten Technologiebereichen, die eine ganze Reihe von Einzeltechnologien abdecken, generell ein größeres Problemlösungspotential zugeschrieben wurde als sehr spezifischen Einzeltechnologien. Trotz dieser methodisch kaum zu vermeidenden Unschärfe ist diese Frage von großer Bedeutung für das Vorhaben, da erst durch ihre Beantwortung klar wird, inwieweit ein Technologiebereich zur Lösung von Umweltproblemen beiträgt und damit als „Umwelttechnologie“ im eigentlichen Sinne bezeichnet werden kann.

Im Hinblick auf den Forschungs- und Förderbedarf waren die Antworten in allen Handlungsfeldern über die vier Kategorien Grundlagenforschung, Technologieentwicklung, „Demonstration und Marketing“ sowie „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ verteilt. Der Bedarf an Technologieentwicklung wurde dabei in allen Clustern häufig relativ hoch eingeschätzt. Bei Klimaschutz / Luftreinhaltung wurde zudem Demonstration und Marketing in vielen Fällen als wichtig eingeschätzt. Beim Bodenschutz fällt auf, dass weniger der Grundlagenforschung, als vielmehr „Demonstration und Marketing“ hohe Bedeutung beigemessen wurde. Der Forschungsbedarf zur „Anpassung an die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer“ wurde bei mehreren Wasser-Technologien bemerkenswert hoch eingeschätzt.

Besonders im Cluster „Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft“ finden sich auch Technologien mit stark visionärem Charakter (z.B. Herstellung von Bulkchemikalien in biotechnologisch optimierten Pflanzen). Generell standen aber sehr langfristig ausgerichtete, visionäre Entwicklungen nicht im Mittelpunkt der Technologieauswahl, da der Zeithorizont mit dem Jahr 2020 als Orientierung kurzfristiger angelegt war. Betrachtet man den Unterschied in der Einschätzung des Forschungsbedarfs und des Förderbedarfs, so zeigt sich, dass beide Werte häufig eng beieinander liegen. Es kommt jedoch auch mehrfach vor, dass die Experten den öffentlichen Förderbedarf deutlich geringer einschätzten als den Forschungsbedarf, und damit andeuteten, dass im jeweiligen Bereich industrielle Forschung zwar erforderlich und wichtig ist, ihre Förderung aber nicht unbedingt als eine Aufgabe der öffentlichen Hand betrachtet wird. Am häufigsten zeigten sich deutliche Abweichungen zwischen Forschungs- und Förderbedarf in der Kategorie „Demonstration und Marketing“.

Bezüglich der Marktpotenziale zeigt Abb. 92 die Technologiebereiche, denen über alle Cluster hinweg die größten Marktchancen im gewichteten Mittel zugeschrieben wurden. Dem Aufbau der Frage entsprechend, ist dabei nach Industrieländern, Schwellenländern und Entwicklungsländern unterschieden. Zudem sind die Technologien farblich nach dem Cluster, dem sie zugehören, gekennzeichnet. Dabei wird deutlich, dass die höchsten Marktpotenziale in den Industrieländern bei Technologien aus den Clustern Klimaschutz/ Luftreinhaltung (gelb unterlegt) und Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft (rosa unterlegt) gesehen werden. Dies lässt sich damit erklären, dass hier vornehmlich Hightech-Lösungen zur Geltung kommen, die auf die Märkte in hoch technisierten Gesellschaften zugeschnitten sind. Keine dieser Technologien findet sich bei den Schwellenländern oder bei den Entwicklungsländern unter den ersten acht.

Nr.	Marktpotenzial in Industrieländern		Marktpotenzial in Schwellenländern		Marktpotenzial in Entwicklungsländern
1	B03 – Leuchtmittel	1	A15 – Bedarfsgerechte Bewässerung	1	A15 – Bedarfsgerechte Bewässerung
2	B04 – Wärmedämmung	2	B12 – Adaptation an den Klimawandel	2	A12 – Meer- und Brackwasserentsalzung
3	D12 – Werkstoffe für den Metall-Leichtbau	3	C01 – Großflächiges Boden-Monitoring	3	B12 – Adaptation an den Klimawandel
4	D14 – Dünnschicht-technologien	4	B05 – Solarthermische Kühlung	4	A16 – Wasserspeicherkapazität Böden
5	D06 – Substitution knapper Metalle	5	D21 – Metallrückgew. aus Abfällen	5	A07 – Chemikalienunabhängige Wasseraufb.
6	B11 – Elektrische Antriebe	6	A12 – Meer- u. Brackwasserentsalzung	6	C15 – Züchtung mehrjähriger Sorten
7	B10 – Abwärmenutzung	7	D20 – Sortierung u. Aufbe.v. Sekundärrohstoffen	7	C03 – Standortangepasste Bodenbearbeitung
8	D10 – Mess-, Steuer-, Regeltechnik	8	C03 – Standortangepasste Bodenbearbeitung	8	A13 – Aquakulturen

Abb. 92: Einschätzung der Marktpotenziale in den jeweiligen Ländertypen: Ranking nach gewichteten Mitteln über alle Technologiebereiche der Befragung (Blau= Wassermanagement, Gelb= Klimaschutz/ Luftreinhaltung, Grün= Bodenschutz/ Erhalt der Biodiversität/ Naturschutz, Rosa= Erhöhung der Rohstoffproduktivität/ Kreislaufwirtschaft)

Im Gegensatz dazu dominieren unter den ersten acht Technologiebereichen in den Entwicklungsländern die Technologien aus dem Bereich Wassermanagement (blau unterlegt). Erklären lässt sich dies durch die Trinkwasserknappheit und die agrarisch geprägten Wirtschaftssysteme in vielen Entwicklungsländern. Ebenfalls unter den ersten acht sind zwei Technologiebereiche aus dem Cluster Bodenschutz / Erhalt von Biodiversität und Naturschutz zu finden, was verständlich wird, wenn man bedenkt, dass in diesen Ländern die „hot spots“ der Biodiversität liegen und die Boden-degradation bereits ein erschreckendes Ausmaß erreicht hat.

Bei den Schwellenländern sind alle Cluster unter den ersten acht Technologiebereichen vertreten, allerdings mit unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen. Während bei den Industrieländern im Cluster Klima/ Luftreinhaltung Technologien im Vordergrund stehen, bei denen es um den Aspekt der Energieeinsparung geht (Leuchtmittel, Wärmedämmung, Elektromotoren, Abwärmenutzung), liegt der Fokus in den Schwellenländern auf Technologien zu Adaption an den Klimawandel und zur solarthermischen Kühlung. Zwischen den Schwellen- und Entwicklungsländern gibt es Überlappungen bei den Technologien zur bedarfsgerechten Bewässerung, die in beiden Länderkategorien an Platz eins stehen und der Meer und Brackwasserentsal-

zung. In beiden Fällen handelt es sich um Technologien zur Bewältigung des vorrangigen Problems der Wasserknappheit. Dies bestätigt die auch aus anderen Ergebnissen der Studie gezogene Schlussfolgerung, dass in vielen Fällen diejenigen Technologien die besten Marktchancen haben, denen auch das höchste Problemlösungspotenzial zugeschrieben wird.

Zu den Marktpotenzialen lässt sich weiter sagen, dass verschiedene Studien eine weltweit deutlich wachsende Nachfrage nach Umweltschutzgütern belegen (vgl. BMU 2007a und 2007b, UBA, BMU 2008; NIW et al. 2006). Die Ergebnisse aus den verschiedenen Phasen des Projektes demonstrieren, dass nicht nur eine ökonomische, innovationsorientierte Perspektive diese Aussage stützt, sondern auch eine rein problemorientierte Betrachtung. Ein Blick auf zahlreiche ökologische Problemlagen mit ihren Einflussfaktoren und Implikationen verdeutlicht, dass der Einsatz von Umwelttechnologien eine unverzichtbare Voraussetzung für eine Verbesserung der Lebenssituation und eine stabile wirtschaftliche Entwicklung darstellt. Das bedeutet, dass auch angesichts der aktuellen Wirtschaftskrise, die zunächst die Wirtschaftlichkeit einiger Umwelttechnologien in Frage zu stellen scheint (z.B. von Recyclingtechnologien vor dem Hintergrund stark gefallener Preise für Primärrohstoffe), zumindest mittelfristig von einem steigenden Bedarf an Umweltschutzgütern ausgegangen werden kann.

Die Einschätzung von Marktpotenzialen ist, wie bei allen Studien dieser Art, hinsichtlich ihrer Vergleichbarkeit und Aussagekraft zu relativieren. So ist zu berücksichtigen, dass breit formulierte Technologiebereiche, die aufgrund ihres Zuschnitts facettenreicher sind, generell eher in der Lage sind große Marktpotenziale zu erzielen als spezifische Einzeltechnologien. Weiter kann die Nachfrageseite sehr unterschiedlich aussehen. Bei den Anwendern kann es sich um Firmen, staatliche Institutionen oder auch private Konsumenten handeln. Hinzu kommt, dass die vorgenommene Abschätzung eine weitere methodische Schwäche vieler Schätzverfahren zu Marktpotenzialen im Bereich Umwelttechnologien nicht überwinden kann: die starke Angebotslastigkeit der Methode. Es werden nur deutsche Experten zu einem globalen und entsprechend vielschichtigen Problemkontext befragt. Eine explizite Analyse der Nachfragestruktur direkt in den Zielländern bleibt aus. Dennoch geben die Ergebnisse wichtige Anhaltspunkte und Hinweise, in welchen Bereichen eine vertiefende Analyse aus deutscher Perspektive besonders sinnvoll erscheint.

Hinweise auf nachfrageseitige Faktoren und Entwicklungspotenziale könnte eine detailliertere Betrachtung der nicht-technischen Seite von Technik, d.h. der gesellschaftlichen Einbettung von Technik, liefern. Wie eingangs erwähnt, wurde in dieser Studie entsprechend der Aufgabestellung der Schwerpunkt auf die weitere Entwicklung der Technik selbst gelegt, dabei gleichwohl anstrebend, die nicht-technischen Anteile adäquat zu berücksichtigen. Da dies aufgrund begrenzter Kapazitäten nicht umfassend möglich war, könnte es die Aufgabe zukünftiger Aktivitäten sein. Dies

korrespondiert mit der sowohl in der Befragung als auch in den Workshops häufiger erhobenen Forderung nach einer intensiveren Berücksichtigung der Schnittstelle Mensch-Technik einerseits sowie nach integrativen Ansätzen auch im Sinne einer umfassenden Technikfolgenabschätzung andererseits, wie sie für verschiedene Technologien explizit angeregt wurde.

Zudem bilden nationale politische Ziele hinsichtlich des Umgangs mit der natürlichen Umwelt sowie entsprechende europäische und internationale Verpflichtungen oder Absichtserklärungen den normativen Hintergrund für den wissenschaftlich technischen Fortschritt und entsprechende Programme zur Vorsorgeforschung in diesem Bereich. Für zukünftige Arbeiten könnte es sich anbieten, diesem – für die Ableitung von Handlungsoptionen, Prioritätensetzungen und Empfehlungen zentralen – Aspekt eine eigenständige Bedeutung zu geben.

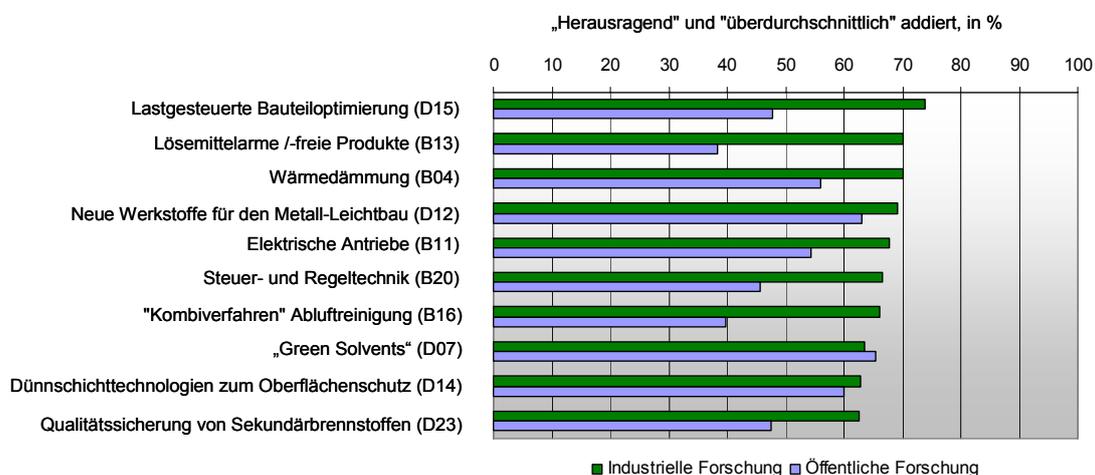


Abb. 93: Position Deutschlands im internationalen Vergleich (Top 10, gerankt nach industrieller Forschung; Aggregation der besten zwei Kategorien)

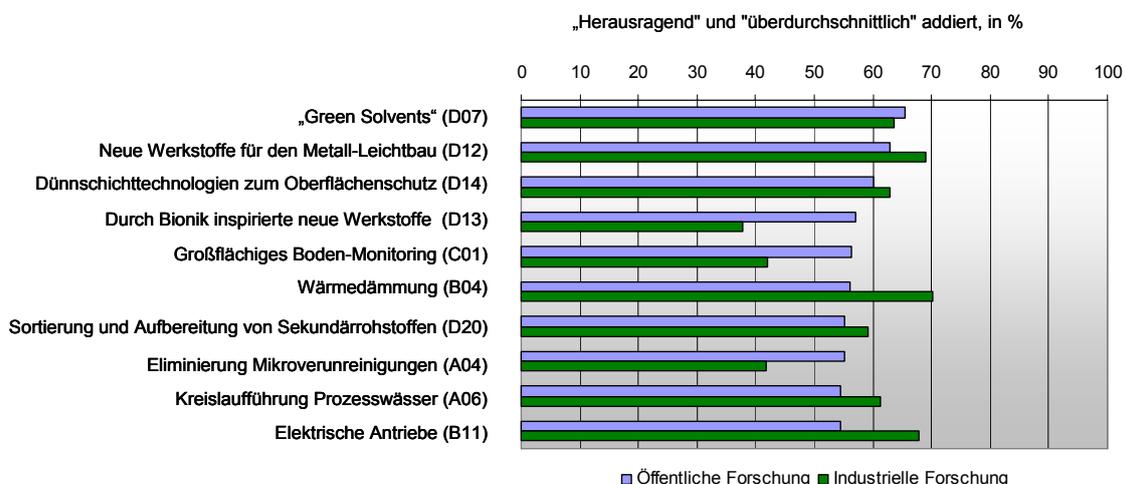


Abb. 94: Position Deutschlands im internationalen Vergleich (Top 10, gerankt nach öffentlicher Forschung; Aggregation der besten zwei Kategorien)

Abb. 93 und Abb. 94 zeigen die 10 Technologiebereiche, die im Hinblick auf die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich am höchsten bewertet wurden, einmal gerankt nach der Exzellenz der industriellen Forschung (s. Abb. 93) und einmal gerankt nach der Exzellenz der öffentlichen Forschung (s. Abb. 94). In den „Top Ten“ der industriellen Forschung sind alle aufgeführten Technologien ausnahmslos aus den beiden Clustern Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft und Klimaschutz / Luftreinhaltung. Das Bild gleicht dem Ranking nach Marktpotenzialen in den Industrieländern in Abb. 92 (s. S. 268). Dadurch wird deutlich, dass einigen Technologien, bei denen Deutschland eine starke Stellung einnimmt, gleichzeitig ein hohes Problemlösungspotenzial und große Marktchancen in den Industrieländern zugeschrieben werden. Diese Technologiebereiche sind bei der Diskussion der Ergebnisse in den einzelnen Clustern hervorgehoben und in die Prioritätsfelder aufgenommen worden. Bildet man die Hierarchie nach Exzellenz der öffentlichen Forschung, verändert sich die Reihenfolge und es sind auch einige Technologiebereiche aus den Handlungsfeldern Bodenschutz und Wassermanagement vertreten. Mehrere Technologien sind sowohl bei der industriellen Forschung als auch bei der öffentlichen Forschung unter den „Top Ten“.

Betrachtet man die Hemmnisse über alle Cluster hinweg (s. Abb. 95 und vgl. in einer anderen Darstellungsvariante Abb. 96), die nach Meinung der Experten einem erfolgreichen Einsatz der ausgewählten Technologien am Standort Deutschland entgegen stehen, so fällt die größte Zahl der Nennungen auf „ungelöste technische Probleme“, gefolgt von „unzureichenden ökonomischen Erfolgsaussichten“ und „fehlenden FuE-Kapazitäten bei KMU“. Die anderen Hemmnisse wurden deutlich seltener genannt. Das mag damit zusammenhängen, dass besonders im Cluster Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft überwiegend Technologien ausgewählt wurden, die sich noch in einem relativ frühen Entwicklungsstadium befinden. Bei diesen Technologien sind somit derzeit weder die technische Machbarkeit noch die wirtschaftlichen Gewinnaussichten für die Unternehmen sichergestellt. Bei den „reifen“ Technologien in diesem Cluster, wie z.B. Aufbereitung von Sekundärrohstoffen spielen dagegen „fehlende gesellschaftliche Akzeptanz“ und „kontraproduktive politische Regelungen“ als Hemmnisse durchaus eine gewichtige Rolle. Die Cluster Klimaschutz / Luftreinhaltung sowie Wassermanagement zeigen eine ähnliche Verteilung wie das Gesamtbild (vgl. Abb. 96). Für das Cluster Bodenschutz / Erhalt von Biodiversität und Naturschutz (s. Abb. 83, S. 236 oder Abb. 96) ergab sich dagegen eine etwas abweichende Verteilung, was sich damit begründen lässt, dass es sich im Großen und Ganzen um „reife“ Technologien handelt, bei denen die Umsetzungsdefizite nicht auf technische Probleme, sondern vorwiegend auf Versäumnisse der Politik und das Desinteresse der Öffentlichkeit für Fragen des Boden-, Natur- und Biodiversitätsschutzes zurückgeführt werden.

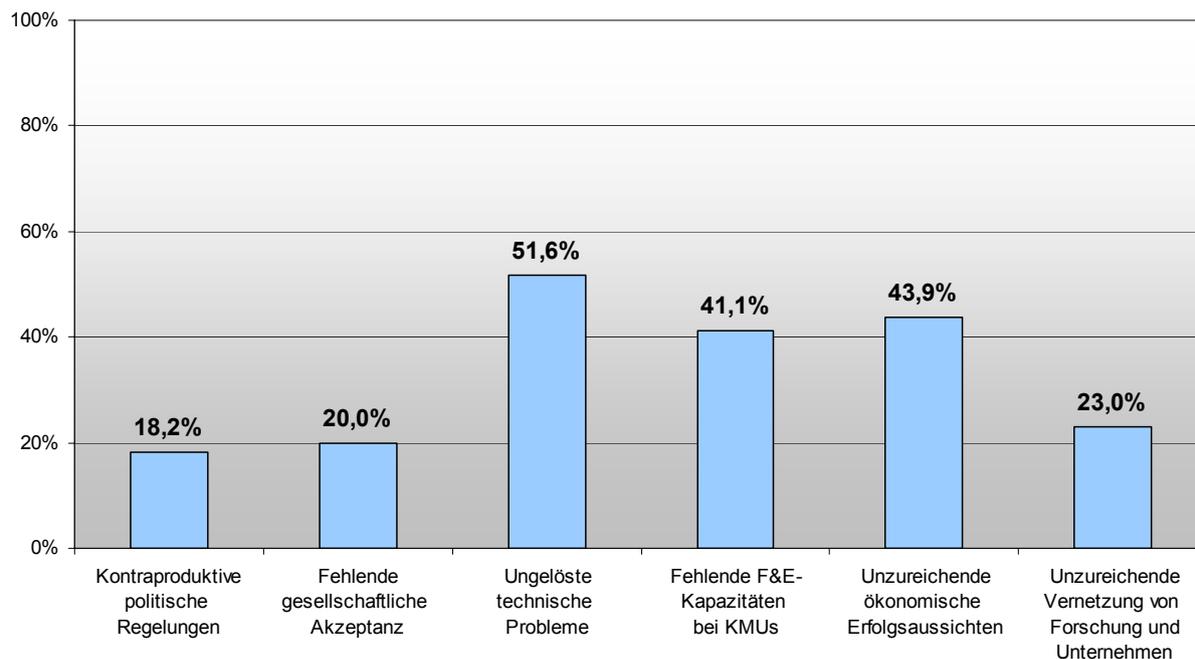


Abb. 95: Hemmnisse insgesamt. Durchschnitt der relativen Nennungen über alle Technologiebereiche über alle Cluster.

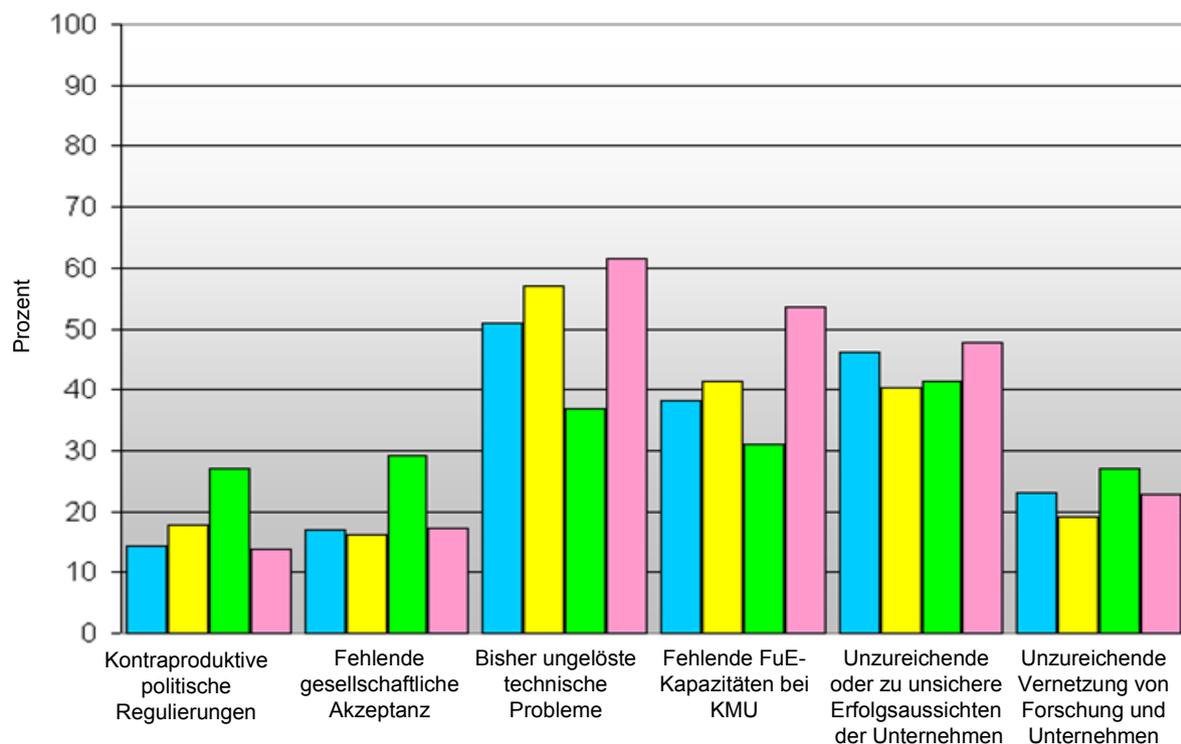


Abb. 96: Hemmnisse insgesamt: Durchschnitt der relativen Nennungen über alle Technologiebereiche und über alle Cluster – in Prozent (Blau= Wassermanagement, Gelb= Klimaschutz / Luftreinhaltung, Grün= Bodenschutz / Erhalt der Biodiversität und Naturschutz, Rosa= Erhöhung der Rohstoffproduktivität / Kreislaufwirtschaft)

7 Prioritätsfelder

Eine handlungsorientierte Fokussierung auf Prioritätsfeldern soll den Abschluss dieses Projekts bilden und damit den Ansatz des Roadmappings aufgreifen. Wie in Teil I, Kapitel 3.2 ausgeführt, wird nicht die Entwicklung vollständiger Zukunftsentwürfe angestrebt, was schon aufgrund der großen inhaltlichen Breite über sieben Handlungsfelder als nicht möglich eingeschätzt wurde. Um klare Handlungsoptionen und Meilensteine für die Entwicklung aufzuzeigen und somit dem Anspruch einer klassischen Roadmap zu genügen, müsste die Betrachtungsebene relativ kleinteilig sein und eher auf der Ebene von Einzeltechnologien angesiedelt werden. Dies für den gesamten Bereich der Umwelttechnik durchzuführen, wäre zu komplex und im Hinblick auf das Ziel, Handlungsorientierung für die Forschungsförderung zu geben, auch nicht zielführend. Für die im Folgenden angeführten Prioritätsfelder wurden daher in Anlehnung an die Empfehlungen der Umfrage und der Workshops Aggregationsebenen gewählt, die je nach Sachverhalt von unterschiedlicher Tiefenschärfe sind.

Wie eingangs beschrieben, ging es in dem Projekt „Roadmap Umwelttechnologien 2020“ um die Herausarbeitung eines auf Expertenwissen beruhenden und methodisch in mehrfachen Validierungsschleifen „objektivierten“ Bildes der weiteren Entwicklung von Umwelttechnologien. In diesem Sinne greifen die Prioritätsfelder in komprimierter Form die Aussagen der Experten zum umweltpolitischen Problemdruck, zu den Marktpotenzialen von Technologien, zu den Umsetzungshemmnissen, zum Forschungs- und Förderbedarf sowie zu den wechselseitigen Abhängigkeiten verschiedener Handlungsfelder auf. Die Prioritätsfelder können somit als Roadmaps „mittlerer Detaillierung“ verstanden werden, die sowohl die Nachfrage- als auch die Angebotsseite berücksichtigen.

Die Fokussierung auf diese Prioritätsfelder bedeutet nicht, dass nicht aufgeführten Technologiebereichen keine große Bedeutung in vielerlei Hinsicht zukäme. Um die hohe Komplexität im Bereich Umwelttechnologien im Hinblick auf eine empirisch gestützte Handlungsorientierung zu optimieren, ist aber das Setzen von Prioritäten unumgänglich.

Prioritätsfeld 1: Technologien zur Adaptation an den Klimawandel

Technologien zur Adaptation an den Klimawandel wurden in der Befragung wie in den Workshops als sehr wichtig eingeschätzt, mit hohem Marktpotenzial sowohl in den Industrie- als auch den Schwellen- und Entwicklungsländern. Allerdings wurde dieser Technologiebereich im Fragebogen bewusst sehr allgemein gehalten, um den

Rahmen dieser Untersuchung nicht zu sprengen. Er umfasst somit eine ganze Reihe sehr verschiedener Anwendungen (Küstenschutz, Züchtung salztoleranter und trockenheitsresistenter Pflanzen etc.), die ihre Potenziale in ganz unterschiedlichen Regionen haben. Bezüglich der Auswirkungen des Klimawandels ergibt sich eine enge Verknüpfung zum Thema Wasserressourcenmanagement. Auch in gemäßigten Regionen wird mit einer deutlichen Veränderung der Niederschlagsverhältnisse gerechnet, die durch häufigere Starkregenereignisse, zunehmende Hochwassergefahren und Dürreperioden gekennzeichnet ist. Dies erfordert eine Anpassung der Wasserver- und -entsorgungssysteme. Lang anhaltende Trockenperioden können sowohl die Gewässerstände als auch auf die Wasserqualität beeinflussen, was wiederum negative Effekte auf die Trinkwasserversorgung und auf die Ökosysteme haben kann. In Anbetracht der Komplexität der Prozesse im natürlichen Wasserhaushalt und der Vielzahl möglicher Auswirkungen wird die Forcierung systemübergreifenden Forschungsaktivitäten im Bereich der Grundlagenforschung und Technologieentwicklung als erforderlich angesehen, die auch numerische Simulationen und Modellierungen (Regionalisierung hydrologischer, klimatologischer und meteorologischer Modelle) einschließen (s. auch Prioritätsfeld 21).

Prioritätsfeld 2: Vergleichende Analyse von CCS und CO₂-Nutzung unter dem Aspekt eines integrierten CO₂-Management

Beide Technologien wurden kontrovers diskutiert, vor allem im Hinblick auf ihr Problemlösungspotenzial und mögliche Marktpotenziale; beide haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile. So wird von CCS eine saubere Kohleverstromung und eine langfristige Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre erwartet, während bei der CO₂-Nutzung technologische Durchbrüche erhofft werden, die einen Einsatz der Technologien in „klimawirksamem“ Umfang ermöglichen. Angeregt wurde von den Experten eine stärker integrierte, vergleichende Betrachtung beider Technologien, wobei weitere Optionen der industriellen CO₂-Nutzung einbezogen werden sollten. Vor allem die Biomasseproduktion aus Algen sollte nicht nur unter dem Gesichtspunkt der CO₂-Verwertung behandelt werden, sondern ebenso unter dem Aspekt der Erschließung neuer Rohstoffquellen für die energetische und stoffliche Nutzung (s. Prioritätsfeld 8). Hier ist mittel- bis langfristig eine ökonomisch getriebene Nutzung, die keiner politischen Anreize bedarf, zumindest theoretisch denkbar. Für beide Technologien wurde Bedarf an weiterer Grundlagenforschung konstatiert, wobei potentielle Anwendungsfelder und -regionen mitbetrachtet werden müssten. Marktpotenziale wurden vorwiegend in den Industrieländern gesehen; von einigen Workshopteilnehmer wurde sogar bezweifelt, dass CCS außerhalb dieser je eingesetzt würde. Um einen wirksamen Beitrag zum Klimaschutz zu erreichen, müsste jedoch sichergestellt sein, dass CCS möglichst flächendeckend, d.h. auch in Schwellen- und Entwicklungsländern realisiert wird. Gefordert wurden daher umfassende Technikfolgenabschätzungen sowohl

zu CCS als auch zur CO₂-Nutzung, in denen z.B. über eine Szenarioanalyse, die Wechselwirkungen zwischen den Technologien bzw. ihren Alternativen und den politischen und sozioökonomischen Rahmenbedingungen in verschiedenen Ländern systematisch betrachtet werden. Dies würde auch eine solidere Basis für die Abschätzung der Marktpotenziale liefern.

Prioritätsfeld 3: „Cleaner Buildings“: anwendungsorientierte und integrierte Forschung

Problemlösungskapazität und Marktpotenziale der hier zusammen gefassten Technologien wurden in der Befragung als hoch eingeschätzt. Die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich wurde sowohl bei den Leuchtmitteln als auch bei der Wärmedämmung als überdurchschnittlich bewertet. Forschungs- und Förderbedarf wurde neben der Technologieentwicklung vor allem im Bereich von Demonstration und Marketing gesehen, was sich als Plädoyer für sehr anwendungsorientierte Forschungsprojekte lesen lässt. Die großen Energieeinsparpotenziale im Gebäudebereich sind seit langem erkannt. Ein breites Portfolio an Technologien und Maßnahmen steht zur Verfügung, viele neue Entwicklungen und Trends sind erkennbar. Obwohl die für die Befragung ausgewählten Einzeltechnologien auch von den Workshopteilnehmern als wichtig eingeschätzt wurden, hoben sie die Bedeutung integrierter Ansätze hervor, die vor allem den vorhandenen Gebäudebestand einbeziehen müssten. Bei der Wärmedämmung müssten außerdem weitere Aspekte berücksichtigt werden, wie z.B. die Luftqualität in Innenräumen (der moderne Mensch verbringt 80% seiner Lebenszeit in geschlossenen Räumen) oder die Optimierung der Mensch-Technik-Schnittstellen (nur wenn die Technologie vom Nutzer optimal eingesetzt wird, kann sie ihr volles Potenzial entfalten). Ein weiteres Problem liegt in dem zunehmenden Einsatz von Kompositmaterialien, die als die „Altlasten von morgen“ bezeichnet wurden. Im Hinblick auf die Entwicklung geeigneter Recyclingtechniken für diese Materialien wurde sowohl FuE- als auch Regelungsbedarf für die Zukunft gesehen.

Prioritätsfeld 4: Abwärmenutzung in industriellen Prozessen

Die Abwärmenutzung aus industriellen Prozessen wurde in der Befragung wie im Workshop als eine wichtige Technologie eingeschätzt, bei der noch erhebliche Effizienzpotenziale zu erschließen sind. Gute Marktchancen wurden sowohl in Industrie- als auch in Schwellenländern gesehen. Die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich bewerten die Experten vor allem im Hinblick auf die industrielle Forschung als überdurchschnittlich. Die Einschätzung des Forschungs- und Förderbedarfs in der Befragung und den Expertenworkshops gibt wichtige Hinweise für die Handlungsebene. Danach liegt der Schwerpunkt neben der Technologieentwicklung ein-

deutig im Bereich „Demonstration und Marketing“. Um das größtes Hemmnis bei der Abwärmenutzung, nämlich die bisher unzureichenden Gewinnaussichten der Unternehmen zu überwinden, müsste eine bessere Koordination, zwischen den Anbietern von Wärme und den potentiellen Abnehmern im Vordergrund stehen. Entscheidende Bedeutung wurde außerdem dem maßgeschneiderten Zuschnitt von Verfahren auf die jeweiligen prozess- und branchenpezifischen Bedingungen zugeschrieben. Im Hinblick auf Wärmespeicher und die Verstromung bei geringeren Temperaturen wurde neben dem Bedarf an Technologieentwicklung teilweise auch noch Bedarf an Grundlagenforschung (z.B. effiziente und raumsparende Speichermedien) gesehen.

Prioritätsfeld 5: Erhöhung der Effizienz elektrischer Antriebe in industriellen Prozessen

Diesem Technologiebereich werden in der Literatur zum Teil hohe Einsparpotenziale attestiert (vgl. McKinsey 2007), deren Realisierungsmöglichkeiten im Workshop eher kritisch eingeschätzt wurden. Dennoch wird dieser Technologiebereich als Prioritätsfeld aufgenommen, da ihm sowohl in Industrie- als auch in Entwicklungsländern gute Marktchancen eingeräumt werden und die Stellung Deutschlands vornehmlich im Bereich der industriellen Forschung sehr positiv beurteilt wurde. Forschungs- und Förderbedarf sahen die Experten in erster Linie in den Bereichen Technologieentwicklung sowie „Demonstration und Marketing“. Ihrer Meinung nach geht es vor allem um einen optimierten Einsatz existierender Technologien, was nicht zuletzt die Entwicklung eines ausgeprägten Problembewusstseins der Anwender hinsichtlich der Energieeffizienz voraussetzen würde. Hervorgehoben wurde die große Bedeutung von Beratungsleistungen, insbesondere für KMU.

Prioritätsfeld 6: Vermeidung / Verminderung klima- und luftschadstoffrelevanter Aerosolemissionen

Während in der schriftlichen Befragung der Problemdruck im Bereich Luftreinhaltung besonders auf nationaler Ebene deutlich geringer eingestuft wurde, als in vielen anderen Handlungsfelder, wurde im Workshop auf die nach wie vor ungelösten Probleme und auf die nachweislichen Gefahren für die menschliche Gesundheit hingewiesen. Besonders Technologien zur Vermeidung / Verminderung klima- und luftschadstoffrelevanter Aerosolemissionen wurden als wichtig eingeschätzt und ihnen (vor allem in den Industrieländern) große Marktchancen eingeräumt. Die Stellung Deutschlands im internationalen Vergleich wurde von vielen als überdurchschnittlich betrachtet. Der Forschungsbedarf wurde als eher breit strukturiert erachtet, wobei hinsichtlich der Bildungsmechanismen, Zusammensetzung, biologische Wirksamkeit und Wirkungszusammenhänge von Aerosolen noch Bedarf an Grundlagenforschung gesehen wurde. Hervorgehoben wurde, das im Rahmen der Reduktion von Luft-

schadstoffemissionen nicht nur die Abscheidung, sondern besonders auch die Messtechnik, eine wichtige Rolle spielt (s. auch Prioritätsfeld 9).

Prioritätsfeld 7: Ressortübergreifendes Gesamtkonzept zur gekoppelten stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse

Der Schwerpunkt der öffentlichen Förderung liegt derzeit auf der energetischen Nutzung von Biomasse, während die stoffliche eher eine randständige Rolle spielt. Den Empfehlungen des Workshops folgend, sollten beide Nutzungsoptionen künftig als Einheit gesehen werden, um die Synergiepotentiale der gekoppelten Biomassenutzung (Kaskadennutzung) auszuschöpfen. Deutschland hat bei den Verfahren zur Herstellung von Synthesegas aus trockener Biomasse (Bioliq, Choren) eine international führende Rolle erreicht, die ausgebaut werden sollte. Beide Verfahren werden vor allem deshalb als aussichtsreich betrachtet, weil sie biogene Abfallstoffe als Ausgangsstoff verwenden können und somit nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion treten; beide können sowohl zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen als auch zur Produktion chemischer Grundstoffe eingesetzt werden. Um die Syntheseleistung der Natur zu einem möglichst großen Teil zu nutzen, sollte parallel zur Biomassevergasung das Konzept der integrierten Bioraffinerie forciert werden. Eine wesentliche Voraussetzung dafür wurde allerdings in der Entwicklung bzw. Weiterentwicklung von biotechnologischen und chemischen Konversionsverfahren mit hoher Selektivität gesehen. Als dritter Pfad sollte die Biomasseproduktion aus Algen weiterverfolgt werden, nicht nur unter dem Aspekt der CO₂-Verwertung, sondern mit Blick auf die Erschließung neuer Rohstoffquellen (s. Prioritätsfeld 2). Schließlich sollte ein Gesamtkonzept zur gekoppelten Biomassenutzung nach Ansicht der Experten verstärkt auch Technikfolgen wie Umweltauswirkungen, Nutzungskonflikte, Preissteigerung von Agrarprodukten etc. adressieren, die in den Förderstrategien bisher zu wenig berücksichtigt worden seien.

Prioritätsfeld 8: „Green Chemistry“

Die Forderung nach einem Ausbau der „Green Chemistry“ hängt eng mit dem zuvor genannten Prioritätsfeld zusammen und umfasst den gesamten Komplex technologischer Optionen für die Mikroverfahrenstechnik und die Katalysatorforschung, für lösungsmittelfrei bzw. -arme Reaktionen sowie für die Entwicklung neuer atomeffizienter Synthesewege mit möglichst hoher Selektivität, hoher Energieeffizienz, weniger Abfall, hohen Raum-Zeit-Ausbeuten und geringem Aufbereitungsaufwand. Große Bedeutung wird in diesem Zusammenhang auch biotechnologischen Verfahren zugemessen, die sich häufig durch höhere Präzision, weniger Produktionsschritte, geringeren Rohstoff- und Energieverbrauch, verminderte Emissionen und niedrigere Produktionskosten auszeichnen. Die Vision ist die einer „nachhaltigen Chemie“, die

eine ökologisch verträgliche, schadstoffarme und ressourcenschonende Versorgung mit Grundchemikalien und daraus hergestellten Produkten gewährleistet.

Prioritätsfeld 9: Produktionsintegrierten Umweltschutz (PIUS)

Unter diesem Thema sollten alle technologischen Ansätze subsumiert werden, die darauf abzielen, die verschiedenen Facetten von Herstellungsprozessen (Urformen, Umformen, Trennen, Trocknen, Entfetten, Kleben, Fügen, Oberflächenbehandlung...) unter Umweltaspekten zu optimieren. Dazu gehören die Reduzierung von Verschnitt, Ausbeuteverlusten und Abfall, z.B. durch den Einsatz von Technologien zur endkonturnahen Fertigung, die betriebsinterne Kreislaufführung von Roh-, Betriebs- und Hilfsstoffen, die Substitution umweltbelastender oder gesundheitsschädlicher Stoffe, die Minimierung des Bedarfs nachgeschalteter Umweltschutztechnologien, die Steigerung der Energieeffizienz sowie die Verringerung des Aufwands für Transport und Lagerung (Logistik). Besondere Bedeutung wurde in diesem Zusammenhang einer Optimierung der Prozessführung durch den Einsatz von MSR-Technik zugewiesen, nicht nur im Hinblick auf die Erhöhung der Energie- und Rohstoffproduktivität, sondern auch auf die Reduktion der Abgas-, Abwasser- und Abfallströme. Deutschland nimmt auf diesem Gebiet traditionell eine führende Position im internationalen Vergleich ein. Als besonders aussichtreiches Thema für die Zukunft werden daneben Dienstleistungen wie PIUS-Check, Ressourcenkostenrechnung, Materialfluss-Analyse, betriebliche Ökobilanzen oder Zero-Loss-Methoden angesehen, die um neue Komponenten, z.B. Software-Lösungen für die chemische Industrie zur Vorhersage von Prozessabläufen und Materialeigenschaften erweitert werden sollten. Dienstleistungen in Kombination mit technologischen Systemlösungen, die an spezifische Anforderungen in den Zielländern angepasst sind, werden große Exportchancen eingeräumt.

Prioritätsfeld 10: Funktionalisierung von Oberflächen

Die Funktionalisierung von Oberflächen (Dünnschichttechnologie, Farben, Lacke, Fungizide, Selbstreinigung etc.) wurde generell als ein zukunftssträchtiger Technologiebereich mit hohem Entwicklungspotenzial eingeschätzt, bei der Deutschland im internationalen Vergleich gut aufgestellt sei. Beschichtungen aller Art ermöglichen eine Entkopplung der Oberflächeneigenschaften und Volumenmaterial, was die Wahlfreiheiten hinsichtlich des Materials erhöht (Auswahl umweltverträglicher oder besonders kostengünstiger Volumenmaterialien wird erleichtert). Sie dienen der Lebensdauerverlängerung der behandelten Produkte und damit sowohl der Werterhaltung als auch der Rohstoffeinsparung. Allein durch Korrosion gehen jährlich signifikante Anteile des BIP verloren, was verdeutlicht, dass Oberflächenbehandlungen auch von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung sind. Als ein weiterer Vorteil dieses

Innovationsbereichs wurde im Workshop hervorgehoben, dass er kleinen und mittleren Unternehmen eine Chance bietet, Nischen zu definieren und zu besetzen.

Prioritätsfeld 11: Materialforschung und neue Werkstoffe

Hierbei handelt es sich um ein umfangreiches Forschungsfeld, das seit Jahren Gegenstand der öffentlichen Förderung ist. Im Rahmen der Studie wurde der Fokus auf solche Werkstoffe und Verfahren gelegt, die eine Erhöhung der Rohstoffeffizienz, also eine Verringerung des Materialinputs pro Produkteinheit ermöglichen. Große Bedeutung wurde der Entwicklung von Werkstoffen für den Leichtbau (Kompositmaterialien mit geringer Masse) sowie der lastgesteuerten Bauteiloptimierung (z.B. Tailored Blanks im Automobilbau) zugesprochen. Auf beiden Gebieten hat Deutschland eine internationale führende Position. Umstritten war der mögliche Beitrag der Bionik zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität. Von den Befürwortern werden bionischen Lösungen neben einer höheren Material- und Energieeffizienz generell positive Auswirkungen auf andere Umweltbereiche (Luft, Klima, Wasser, Boden, Biodiversität) zugeschrieben, die von den Gegnern bestritten werden. Übereinstimmung bestand darüber, dass bionische Forschung mit einem hohen Erfolgsrisiko behaftet ist, da nur 10 bis 20% der Forschungsergebnisse in die Anwendung gelangen, was die Zurückhaltung der Industrie in umfassende Bionik-Projekte zu investieren, erklärt. Mehrheitlich wurde es als notwendig angesehen, sowohl die Anzahl der auf diesem Gebiet tätigen Forschergruppen zu erhöhen als auch im Hinblick auf die Nachwuchsförderung neue Studiengänge einzurichten.

Prioritätsfeld 12: Substitution knapper Metalle

Die Substitution von strategischen Metallen sowie von anderen kritischen oder knappen Legierungselementen durch Rohstoffe mit höherer Reichweite kann als ein weiterer aussichtsreicher Technologiebereich mit hohem Marktpotenzial in den Industrieländern betrachtet werden, in dem vor allem die industrielle Forschung in Deutschland eine überdurchschnittliche Position im internationalen Vergleich einnimmt. Während dieser Bereich bei der schriftlichen Expertenbefragung eher im unteren Teil der Bedeutungsskala rangierte, wurde er von den Workshop-Teilnehmern in Anbetracht hoher Rohstoffpreise und der Tatsache, dass Deutschland bei Metallen fast vollständig von Importen abhängig ist, als ein wichtiges Forschungsfeld der Zukunft angesehen. Treiber für den steigenden Bedarf an metallischen Rohstoffen ist einerseits das Wachstum der Weltwirtschaft, andererseits die technologische Entwicklung. Während bei Massenrohstoffen wie Eisen, Stahl, Kupfer und Chrom eher das Wachstum der Weltwirtschaft die Nachfrage bestimmt, ist bei „Spezialitäten“ (Rohstoffe mit einer Weltproduktion von wenigen 1.000t/ pro Jahr) wie Gallium, Neodym, Indium, Germanium und Scandium eher die technologische Entwicklung, insbesondere im Bereich

der Schlüsseltechnologien ausschlaggebend. Bei Platinmetallen, Tantal, Silber, Titan und Kobalt haben beide Treiber Einfluss auf die Nachfrage. (Angerer et al. 2009). Die Suche nach Substituten ist insbesondere dort von zentraler Bedeutung, wo Rohstoffe eine Schlüsselfunktion für die weitere Entwicklung und Nutzung von Zukunftstechnologien haben und wegen dissipativer Verwendung grundsätzlich oder nicht zu konkurrenzfähigen Preisen recycelt werden können. Die Substitution von Nickel in Edelstahl oder die Substitution von Indium in transparenten leitfähigen Beschichtungen sind Beispiele für eine Entwicklung, die erst am Anfang steht, gerade aus diesem Grund aber stärker in den Fokus öffentlicher Förderprogramme rücken sollte.

Prioritätsfeld 13: Förderung der Kreislaufwirtschaft

Eine Erhöhung der Rohstoffproduktivität durch die Umsetzung des Kreislaufgedankens in der Güterproduktion und die Erschließung der in Abfällen enthaltenen Wertstoffe stellt ebenfalls einen seit langem etablierten FuE-Bereich dar, in dem Deutschland unter dem Druck strikter ordnungspolitischer Vorgaben eine Vorreiterrolle hatte. Die Verbesserung der Stofftrennverfahren, die Optimierung der Materialeigenschaften der aus Abfällen gewonnenen Sekundärrohstoffe und deren Aufbereitung für höherwertige Verwendungszwecke werden nach Ansicht der Experten auch künftig wichtige Felder technologischer Entwicklung bleiben. FuE-Bedarf für die Zukunft wurde insbesondere im Hinblick auf die im Rahmen der Wärmedämmung von Gebäuden zunehmend eingesetzten Kompositmaterialien gesehen, für die bisher keine geeigneten Recyclingverfahren zur Verfügung stehen (s. auch Prioritätsfeld 3). Als größtes Problem wurde generell der hohe Energieverbrauch der Wiederaufbereitungsprozesse betrachtet, der zu einem Zielkonflikt zwischen den Klimaschutzziele und der politischen Forderung nach Kreislaufführung von Materialien führt. In diesem Zusammenhang wurde wiederum der Bedarf an TA-Studien hervorgehoben, die eine ganzheitliche Betrachtung der Stoff- und Energieströme über alle Lebensphasen eines Produkts zum Gegenstand haben.

Prioritätsfeld 14: Entfernung von Mikroverunreinigungen aus Abwässern

Aufgrund des demographischen und sozialen Wandels ist in den Industrieländern mit einem Rückgang und einer Überalterung der Bevölkerung zu rechnen. In einer alternden Bevölkerung wird der Verbrauch von Medikamenten zunehmen und somit Pharmaka und deren Abbauprodukte vermehrt in Gewässer gelangen, was eine Schädigung der Ökosysteme zur Folge hat. Mit den heutigen Abwasseraufbereitungsverfahren können derartige Stoffe nicht hinreichend entfernt werden. Hinzu kommt, dass die heutigen Entsorgungssysteme verschiedene Abwasserströme mischen, was zu schlechteren Wirkungsgraden in Kläranlagen führt. Vor diesem Hintergrund wurde hoher Forschungsbedarf hinsichtlich der Entwicklung von Technolo-

gien und Verfahren zur Eliminierung von Mikroverunreinigungen (Arzneimittelrückstände, hormonell wirkende Substanzen) aus Abwässern gesehen.

Prioritätsfeld 15: Integrierte Infrastruktursysteme für urbane Räume

Als wichtiges Thema für die Zukunft wurde die Entwicklung abgestimmter standortangepasster Infrastruktursysteme zur Wasserver- und Abwasserentsorgung für urbane Räume betrachtet. Dabei geht es sowohl um die Probleme schrumpfender Städte (Notwendigkeit eines Rückbaus der angesichts zurückgehender Einwohnerzahlen überdimensionierter Infrastruktursysteme) als auch um die Probleme von schnell wachsenden Agglomerationsräumen und Megacities, in denen der Ausbau der Versorgungssystemen nicht mit der rapiden Bevölkerungsentwicklung Schritt halten kann. Dezentrale und (semi)zentrale Systeme als Alternative zu zentralen Systemen sollten verstärkt in die Überlegungen einbezogen werden und mit anderen Strukturkomponenten wie Wasserzuführung, Stoff- und Energieströmen, Abwasser- und Abfallwirtschaft verzahnt werden. Als vordringlich wurde nicht die Entwicklung neuer Technologien eingeschätzt, sondern die Anpassung vorhandener Technologien und Verfahren an die jeweiligen örtlichen Gegebenheiten. Im Hinblick auf den Export wurde einerseits die Bedeutung von Demonstrationsanlagen hervorgehoben, andererseits die Notwendigkeit, Kompaktlösungen anzubieten, die mit verantwortlichen Institutionen der Zielländer abgestimmt sind.

Prioritätsfeld 16: Ökoeffiziente Nutzung von Wässern unterschiedlicher Qualität

Um die Wasserversorgung vor allem in ariden Gebieten, aber auch in Megacities auf eine sicherere Basis zu stellen, müssten nach Ansicht der Experten künftig vermehrt Wasserressourcen erschlossen werden, die bisher als nicht nutzbar galten. In diesem Zusammenhang kommen Technologien zur Aufbereitung von Brackwasser, zum Abwasser-Reuse, zur Nutzung von Regenwasser, zur Kreislaufführung von Prozesswässern sowie generell zu Mehrfachnutzung von Wasser zum Tragen, denen insbesondere in Schwellen- und Entwicklungsländern große Marktchancen eingeräumt wurden. Dezentral, d.h. nutzungsnah implementiert, kann mithilfe dieser Technologien eine auf die jeweils intendierte Verwendung abgestimmte Wasserqualität bereitgestellt werden. Ähnlich wie im vorhergehenden Prioritätsfeld wurde die Anpassung vorhandener Technologien an die jeweiligen Verwendungskontexte als prioritär angesehen und die Bedeutung des Wissens- und Technologietransfers betont.

Prioritätsfeld 17: Meerwasserentsalzung mithilfe erneuerbarer Energien

Die Meerwasserentsalzung stellt eine wichtige Option der Trinkwassergewinnung in ariden Gebieten dar, ist aber mit einem hohen Energieverbrauch verbunden. Einer Erhöhung der Energieeffizienz durch den Einsatz erneuerbarer Energien wird daher großes Entwicklungspotenzial für die Zukunft eingeräumt. Forschungsbedarf wird vor allem mit Blick auf entsprechende Speichersysteme gesehen. Als typisches Beispiel wurde der Einsatz der Windenergie angeführt, der die Anlage eines Süßwasserspeichers erfordert, um den kontinuierlich bestehenden Wasserbedarf mit der nur fluktuierend zur Verfügung stehenden Windkraft in Einklang zu bringen.

Prioritätsfeld 18: Bedarfsgerechte Bewässerungssysteme „Precision Irrigation“

Angesichts einer wachsenden Weltbevölkerung und der Ausdehnung der landwirtschaftlichen Flächen sowohl zur Nahrungsmittelproduktion als auch zum Anbau nachwachsender Rohstoffe wurde der weltweiten Implementierung intelligenter Bewässerungssysteme große Bedeutung zugemessen. Während die Marktpotenziale dieser Technologien in der schriftlichen Umfrage vorwiegend in den Schwellen- und Entwicklungsländern gesehen wurden, erwarteten die Workshopteilnehmer in Anbetracht zunehmender Trockenperioden infolge des Klimawandels auch eine wachsende Nachfrage in den Industrieländern. Da die Technologien (z.B. Tröpfchenbewässerung, Nutzung vorgereinigter Abwässer in der Landwirtschaft) im Wesentlichen bekannt sind, wurde kein großer Forschungsbedarf im Bereich der Grundlagenforschung und Technologieentwicklung gesehen, sondern eher die Notwendigkeit eines verstärkten Wissens- und Technologietransfers. Forschungsbedarf wurde vor allem im Hinblick auf szenarienfähige Decision-Support-Systeme konstatiert, um den Entscheidungsträgern alternative Lösungswege, Steuerungsmöglichkeiten und Handlungsoptionen aufzeigen zu können.

Prioritätsfeld 19: Großflächiges Monitoring von Umweltveränderungen und Ökosystemen

Hier geht es neben der deskriptiven Erfassung von Umweltveränderungen um ein großflächiges Monitoring von Ökosystemen als Grundlage für Modellierungen und zur Verbesserung des Prozessverständnisses im Kontext einer „klassischen“ Ökosystemforschung. Über dieses Prozessverständnis lassen sich klarere Angaben zur Tragfähigkeit von Ökosystemen und zu den Auswirkungen von Eingriffen gewinnen. Auf dieser Basis könnten stabile und gleichzeitig handlungsorientierte Kriteriensysteme entwickelt sowie Umweltqualitätsziele festgelegt werden. Die klassische Umwelt-Ökosystemforschung soll somit durch neue technologische Anwendungen und die Vereinheitlichung regionaler, nationaler oder sogar internationaler Mess- und

Klassifizierungsmethoden unterstützt werden. Forschungsbedarf wurde vor allem im Bereich der Grundlagenforschung und der Technologieentwicklung gesehen. Insgesamt sprechen die Ergebnisse der Umfrage und des Workshops für einen breit angelegten Förderansatz, beginnend bei neuen Hightech-Lösungen in der Fernerkundung, Datenverarbeitung und Modellierung über Koordinationsleistungen und die Vereinheitlichung von Messmethoden und Erfassungssystemen bis zur Bestimmung und Klassifizierung von Arten. Gerade für letzteres, so wurde im Workshop beklagt, fehle mitunter der wissenschaftliche Nachwuchs.

Prioritätsfeld 20: Standortangepasste landwirtschaftliche Bodenbearbeitungssysteme

Die Problemlösungskapazität von standortangepassten Bodenbearbeitungssystemen zur Reduktion von Bodenerosion wurde als sehr hoch eingeschätzt. Sowohl in der Befragung als auch im Workshop wiesen die Experten auf den sich verschärfenden Problemdruck infolge Klimawandel, Bevölkerungswachstum, steigendem Lebensstandard und zunehmender Flächennutzungskonkurrenzen hin. Marktpotenziale wurden vorwiegend in Entwicklungsländern gesehen, wobei sehr unterschiedliche Technologien und Konzepte zum Einsatz kommen können. Einfache Maßnahmen, wie das Anpflanzen von Hecken zum Schutz vor Erosion können im Einzelfall ebenso erfolgreich sein wie die Prozessoptimierungen durch Hightech-Lösungen im Sinne eines modernen „Precision farming“. Beim „Precision farming“ spielen wiederum Messtechnik und Analytik eine wichtige Rolle. Im Gegensatz zur schriftlichen Befragung wurde im Workshop die große Bedeutung politischer Regelungen betont, um standortangepasste Bewirtschaftungssysteme auch in Deutschland stärker voran zu bringen.

Prioritätsfeld 21: Sanierungs- und Rekultivierungstechnologien von komplex kontaminierten Standorten (Megsites)

Vor dem Hintergrund der immer noch zunehmenden Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke und wachsender Nutzungskonkurrenzen ist es nicht überraschend, dass Sanierungs- und Rekultivierungstechnologien in der Befragung wie im Workshop eine sehr hohe Problemlösungskapazität zugeschrieben wurde. Die Stellung Deutschlands wird im internationalen Vergleich als gut eingestuft, Marktpotenziale werden vornehmlich in Industrie- und Schwellenländern gesehen. Der hohe Forschungsbedarf im Bereich Technologienentwicklung und die ungelösten technischen Probleme als meist genanntes Hemmnis zeigen den FuE-Bedarf in diesem Feld. Zudem wurden aber auch unzureichende ökonomische Erfolgsaussichten und kontraproduktive politische Rahmenbedingungen relativ häufig als Hemmnis

genannt. Dies kann als Hinweis interpretiert werden, dass sich Handlungsstrategien nicht nur auf den technischen Bereich konzentrieren sollten.

Prioritätsfeld 22: Wasser, Boden, Biodiversität als Querschnittsthemen

Verschiedentlich wurde von den Experten hervorgehoben, dass die Themen Wasserressourcenmanagement, Flächennutzung und Biodiversität stärker integriert behandelt und in eine ganzheitliche Sicht von Prozessen und Kreisläufen eingebettet werden müssten. Es handele sich um ein typisches Querschnittsthema, bei dem Aspekte des Gesundheitsschutzes, der Energieeffizienz, der Ernährungssicherung, der Bereitstellung von Biomasse zur stofflichen und energetischen Nutzung, des Bodenschutzes sowie des Ökosystem- und Artenschutzes zusammenspielen. Berücksichtigt werden müssten zudem die Auswirkungen des Klimawandels, der Luftschadstoffimmissionen, der wachsenden Flächeninanspruchnahme für Siedlungszwecke und der zunehmenden Zerschneidung der Landschaft durch Verkehrswege, auf den Wasserhaushalt, den Bodenzustand und die Artenvielfalt sowie die möglichen Wechselwirkungen. Bei einer integrierten Betrachtung sollten schließlich nicht nur ökologische Fragen, sondern auch ökonomische und soziale Aspekte eine angemessene Rolle spielen. Gefordert wurde diese Zusammenhänge im Rahmen interdisziplinärer Forschungs- und Förderaktivitäten stärker in den Mittelpunkt zu rücken, je nach Fragestellung sowohl in regionalem und nationalem als auch im globalem Maßstab (wie z.B. in der BMBF-Bekanntmachung „Nachhaltiges Landmanagement geschehen“).

Literaturverzeichnis

- Angerer, G.; Erdmann, L.; Marscheider-Weidemann, F.; Scharp, M.; Lüllmann, A.; Handke, V.; Marwede, M. (2009): Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage, ISI-Schriftenreihe Innovationspotenziale, Stuttgart
- Ausfelder, F.; Bazzanella, A. (2008): Diskussionspapier. Verwertung und Speicherung von CO₂. DECHEMA e.V. Oktober 2008
- Bleischwitz, R.; Bringezu, S. (2007): Globales Ressourcenmanagement. Konfliktpotenziale und Grundzüge eines Global Governance-Systems. Stiftung Entwicklung und Frieden (Hrsg.), Policy Paper 27, Bonn
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung, Hrsg.) (2006): Die Hightech-Strategie für Deutschland. Berlin
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung, Hrsg.) (2007a): Optische Technologien – Wirtschaftliche Bedeutung in Deutschland. Eine Studie durchgeführt von Meyer, Arnold; Optech-Consulting. Berlin
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung, Hrsg.) (2007b): Klimaschutz durch Werkstoffinnovationen im Automobilbau – Hochleistungswerkstoffe zur Reduzierung der CO₂-Emissionen. Erste Ergebnisse im Werkstoffprogramm des BMBF. Berlin
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung, Hrsg.) (2008): Kongress Optische Technologien
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit); UBA (Umweltbundesamt) (2007): Umweltpolitische Innovations- und Wachstumsmärkte aus Sicht der Unternehmen, Roland Berger Strategy Consultants im Auftrag des Umweltbundesamtes (Hrsg.). Dessau, Online-Quelle: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3337.pdf>, Stand 14.03.2008
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Hrsg.) (2007b): GreenTech made in Germany. Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland. München
- Brown, N. et al (2000): Contested Futures. A Sociology of Prospective Techno-Science. Burlington/ Ashgate
- Coenen, R., Klein-Vielhauer, S., Meyer, R (1996): Integrierte Umwelttechnik: Chancen erkennen und nutzen. Berlin
- Coenen, R.; Grunwald, A.; Kopfmüller, J. (2003): Nachhaltige Entwicklung und Globaler Wandel – Konsequenzen für die Forschung am Beispiel des Themenfeldes Biodiversität. Karlsruhe
- EuP - Rahmenrichtlinie der EU (2005/32/EC – Directive for energy using products)
- Fleischer, T.; Decker, M.; Fiedeler, U. (2005): Assessing emerging technologies - Methodical challenges and the case of nanotechnologies. Technological Forecasting & Social Change 52(2005), S. 1112-1121

- GSF (Partikelforschung für die Gesundheit in der Helmholtz-Gemeinschaft) (2008): Großes Netzwerk für kleine Teilchen – Aerosolforschung in der GSF. Broschüre (2005) und mündliche Mitteilungen
- Glos, M. (2006): Grußwort anlässlich der Verleihung des R.I.O AWARD 2006. Online verfügbar unter: http://www.aachener-stiftung.de/downloads/RIO_Award_2006.pdf, Stand: 30.03.2009
- Grunwald, A. (2008): Technik und Politikberatung. Philosophische Perspektiven. Suhrkamp Verlag Frankfurt am Main
- Henning, H.-M. (2006): Solarthermische Kühlung und Klimatisierung. Grundlagen, Verfahren und Anwendungen, insbesondere im Mittelmeerraum. http://www.exportinitiative.de/media-/article006028/5_H.M.%20Henning_Fraunhofer%20ISE.pdf, Stand: 14.03.2008
- Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG), Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen vom 27. September 1994; Inkrafttreten: 7. Oktober 1996
- Luhmann (1997): Die Gesellschaft der Gesellschaft. Frankfurt am Main
- McKinsey (2007a): Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland. Studie der McKinsey& Company im Auftrag des Bundesverbandes der deutschen Industrie (BDI), 2007
- McKinsey (2007b): Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland – Sektorbericht Industrie, Studie der McKinsey & Company im Auftrag des Bundesverbandes der deutschen Industrie (BDI)
- NIW (Niedersächsisches Institut für Wirtschaftsforschung); ZEW (Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH); ISI (Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung) (2006): Zur technologischen Leistungsfähigkeit der deutschen Umweltschutzwirtschaft im internationalen Vergleich. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 20-2007. BMBF (Hrsg.), Berlin
- Schippl, J.; Grunwald, A.; Hartlieb, N.; Jörissen, J.; Mielicke, M.; Parodi, O.; Stelzer, V.; Weinberger, N.; Dieckhoff, C. (2008): Roadmap Umwelttechnologien 2020. Zwischenbericht „State of the Art-Report“. Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse. Im Auftrag des BMBF, Karlsruhe
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen (2007): Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten, Berlin
- SusChem (Europäische Technologieplattform Sustainable Chemistry) (2006): F&E-Strategie Chemie und Biotechnologie für gesellschaftliche Bedürfnisfelder. Implementierungsplan für Deutschland
- TA Siedlungsabfall (vom 14. Mai 1993): Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen; Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV), Ausfertigungsdatum: 20.02.2001
- Töpfer, K. (2007): Interview in GAIA 16/1 (2007), S. 8-9
- UBA (Umweltbundesamt) (2007a): Umweltdaten Deutschland Online – Emissionen ausgewählter Luftschadstoffe nach Quellengruppen in Deutschland 1990 bis 2005. <http://www.uba.de>

env-it.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=9253,Stand
11.012008

- UBA (Umweltbundesamt) (2007b): Berichterstattung 2007 unter dem Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverschmutzungen (UN ECE-CLRTAP) – Inventartabelle 2005. Online verfügbar unter: http://www.umweltbundesamt.de/emissionen/archiv/DE_2007_Tables_IV1A_1990_2005.zip, Stand: 30.03.2009
- UBA (Umweltbundesamt) (2007c): Maßnahmen zur Einhaltung der Emissionshöchstmengen der NEC-Richtlinie – Maßnahmen zur weiteren Verminderung der Emissionen an NO_x, SO₂ und NMVOC in Deutschland. Dessau, März 2007, Online verfügbar unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3305.pdf>, Stand 30.03.2009
- UBA (Umweltbundesamt) (2007d): Luftreinhaltung 2010 – Nationales Programm zur Verminderung der Ozonkonzentration und zur Einhaltung der Emissionshöchstmengen. Programm gemäß § 8 der 33. BImSchV und der Richtlinie 2001/81/EG (NEC RL). Dessau, Online verfügbar unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3306.pdf>
- UBA (Umweltbundesamt); BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg.) (2007e): Wirtschaftsfaktor Umweltschutz - Vertiefende Analyse zu Umweltschutz und Innovation, Forschungsprojekt durchgeführt von: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (Berlin), Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (Karlsruhe), Roland Berger Strategy Consultants. Dessau, München, Berlin
- UBA (Umweltbundesamt, Hrsg.) (2007f): Zukunftsmarkt Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) im Auftrag des Umweltbundesamtes, Karlsruhe
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, Hrsg.) (1994): Welt im Wandel: Die Gefährdung der Böden. Jahreshgutachten 1994. Bonn: Economica. Download: www.wbgu.de
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) (1999): Welt im Wandel: Strategien zur Bekämpfung globaler Umweltrisiken. Jahreshgutachten 1998, Berlin, Heidelberg, New York
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) (2005): Welt im Wandel. Armutsbekämpfung durch Umweltpolitik. Berlin, Heidelberg, New York
- Weizsäcker, E.-U. von, Lovins, A., Lovins L. H. (1995): Faktor vier. Doppelter Wohlstand – halbiertes Naturverbrauch. München

Anhang

Anlage 1: Fragebogen allgemeiner Teil

Allgemeine Fragen								
a) Wie schätzen sie den <i>globalen</i> Problemdruck in den nächsten 10 bis 20 Jahren in den folgenden Umwelthandlungsfeldern ein?								
Klimaschutz	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Problemdruck
Luftreinhaltung	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Problemdruck
Wassermanagement	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Problemdruck
Bodenschutz	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Problemdruck
Erhöhung der Rohstoffproduktivität	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Problemdruck
Abfallwirtschaft	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Problemdruck
Erhalt von Biodiversität/Naturschutz	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Problemdruck
b) Wie schätzen sie den Problemdruck in <i>Deutschland</i> in den nächsten 10 bis 20 Jahren in den folgenden Umwelthandlungsfeldern ein?								
Klimaschutz	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Problemdruck
Luftreinhaltung	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Problemdruck
Wassermanagement	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Problemdruck
Bodenschutz	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Problemdruck
Erhöhung der Rohstoffproduktivität	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Problemdruck
Abfallwirtschaft	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Problemdruck
Erhalt von Biodiversität/Naturschutz	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Problemdruck
c) In welchem Umfang sollten Umwelttechnologien in den folgenden Handlungsfeldern zukünftig durch <i>öffentliche Förderprogramme</i> in Deutschland unterstützt werden?								
Klimaschutz	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Förderprogramm
Luftreinhaltung	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Förderprogramm
Wassermanagement	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Förderprogramm
Bodenschutz	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Förderprogramm
Erhöhung der Rohstoffproduktivität	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Förderprogramm
Abfallwirtschaft	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Förderprogramm
Erhalt von Biodiversität/Naturschutz	hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gering	<input type="checkbox"/>	kein Förderprogramm

Anlage 2: Überblick Technologien in Teil A

Teil A: Wassermanagement	
	Wassermanagement
A 1	Technologien zur Nährstoffrückgewinnung aus Abwässern
A 2	Technologien zur Wärmerückgewinnung aus kommunalen Abwässern
A 3	Neue biotechnische Verfahren zur Anwendung anaerober Technologien bei der kommunalen Abwasserbehandlung
A 4	Technologien zur Eliminierung von Mikroverunreinigungen aus Abwässern (z.B. Arzneimittelrückstände und hormonell wirkende Substanzen)
A 5	Technologien und Verfahren zum Rückhalt und zur Entfernung von Nanopartikeln aus Abwässern bei Fertigungsprozessen in der Nanotechnologie
A 6	Neue technologische Ansätze zur Kreislaufführung von Prozesswässern
A 7	Chemikalienunabhängige Verfahren zur Aufbereitung von Wasser für die Trinkwassernutzung
A 8	Entwicklung von Membranen, die dauerhaft gegen Biofilmbewuchs geschützt sind, mit längerer Lebensdauer und geringerer Anfälligkeit
A 9	Technologien zur Systemüberwachung, Detektion von Rohrschäden, zur Zustandsbewertung und Sanierung von Wassernetzen
A 10	Technologien zur Aufbereitung und Nutzung unterschiedlich belasteter Niederschlagswässer
A 11	Technologien zur Nutzung der Luftfeuchtigkeit der Atmosphäre
A 12	Technologien zur Meer- und Brackwasserentsalzung mit regenerativen Energien
A 13	Aquakulturen mit einfachen und robusten Kreislauftechnologien in modularen Produktionsanlagen
A 14	Technologien zur chemikalienunabhängigen Aufbereitung von Ballastwässern aus Schiffen
A 15	Bedarfsgerechte Bewässerungstechnologien und deren intelligente Steuerung („precision irrigation“)
A 16	Technologien zur Verbesserung der Wasserspeicherkapazität von Böden (z.B. Bodenhilfsstoffe)

Anlage 3: Überblick Technologien in Teil B

Teil B: Klimaschutz/Luftreinhaltung	
	Klimaschutz
B 1	Technologien zur dauerhaften Speicherung von CO ₂ (z.B. in geologischen Formationen)
B 2	Technologien und Verfahren zur industriellen Nutzung von CO ₂ (z.B. Photobioreaktoren)
B 3	Energieeffiziente neuartige Leuchtmittel und Beleuchtungssysteme (z.B. LED, OLED)
B 4	Technologien zur Optimierung der Wärmedämmung von Gebäuden (z.B. innovative Wärmedämmstoffe wie nanostrukturierte/nanoporöse Materialien oder Aerogele)
B 5	Technologien zur solarthermischen Kühlung und Klimatisierung von Gebäuden
B 6	Einsatz neuer Reduktionsmittel bei der Eisen- und Stahlerzeugung (z.B. Wasserstoff)
B 7	Technologien zur Verwendung von Sekundärbrennstoffen in industriellen Hochtemperaturprozessen (z.B. in der Stahl- und Zementindustrie)
B 8	Technologien zur Reduktion von Lachgas-Emissionen aus Prozessen der chemischen Industrie
B 9	Technologien zur Erhöhung der Energieeffizienz bei der Chloralkali-Elektrolyse
B 10	Technologien zur Verbesserung der Abwärmenutzung in industriellen Prozessen
B 11	Technologien zur Erhöhung der Effizienz elektrischer Antriebe in industriellen Prozessen
B 12	Konzepte, Verfahren und Technologien zur Adaptation an den Klimawandel (z.B. Hochwasserschutz, Züchtung salztoleranter und trockenheitsresistenter Nutzpflanzen)
	Luftreinhaltung
B 13	Entwicklung lösemittelfreier bzw. -armer Produkte zur Verminderung der Emissionen flüchtiger Kohlenwasserstoffe (NMVOC)
B 14	Technologien zur Verminderung/Vermeidung klima- und luftschadstoffrelevanter Aerosolemissionen
B 15	Technologien zur Verminderung oder Vermeidung von Arbeitsplatz-/Umgebungsbelastungen beim Umschlag staubender Güter, insbesondere kleinster Partikel
B 16	Kombinierte Abluft-/Abgasreinigungsverfahren für verschiedene Luftschadstoffe in kompakter Bauweise ggf. auch zur Nachrüstung bestehender Anlagen
B 17	Wartungsarme, kostengünstige Abgasreinigungssysteme für Kleinfeuerungsanlagen
B 18	Kompakte, wartungsarme Filtersysteme für die Behandlung großer Heißgasströme
B 19	Anwendungsintegrierte kostengünstige Sensorik zur Echtzeitmessung von Zusammensetzung und Konzentration gasförmiger Stoffe
B 20	Steuer- und Regeltechniken zur umweltbezogenen Optimierung von industriellen Produktionsprozessen

Anlage 4: Überblick Technologien in Teil C

Teil C: Bodenschutz und Erhalt der Biodiversität/Naturschutz	
	Bodenschutz
C 1	Konzepte und Technologien zum großflächigen Monitoring von Umweltzustand und Umweltveränderungen auf der Erdoberfläche und zur adäquaten Abbildung natürlicher Systeme
C 2	Fernerkundungsbasierte Verfahren zur Bereitstellung flächendeckender Bodeninformationen für die Beurteilung von Erosionsrisiken
C 3	Standortangepasste landwirtschaftliche Bodenbearbeitungssysteme, welche die Bodenerosion reduzieren
C 4	Technologien und Verfahren zur Sanierung von großskaligen und komplex kontaminierten Standorten (Megasi-tes)
C 5	Kostenoptimierte on-site- und in-situ-Sanierungstechnologien für Boden- und Grundwasserkontaminationen
C 6	Technologien zur mobilen Vor-Ort-Analytik von Böden (z.B. mit Direct-Push-Verfahren)
C 7	Technologien zur Verlagerung von Siedlungs- und Verkehrsflächen in den Untergrund
C 8	Neue methodische Ansätze zur Erhöhung der Kompatibilität von räumlichen (wie Feld-, Beobachtungs- und Prozessskala) und zeitlichen Skalen sowie zwischen Messung und Modell
	Erhalt der Biodiversität / Naturschutz
C 9	Technologien und Maßnahmen zur naturnahen Gewässergestaltung
C 10	Technologien zur Reduktion der akustischen Belastungen mariner Ökosysteme (z.B. lärmarme Schiffsantriebe, lärmarme Sondierungstechniken)
C 11	Technologien zur Milderung der umweltschädlichen Wirkungen von Ölaustritten in Gewässer
C 12	Technologien und Konzepte zur Reduktion der Landschaftszerschneidung durch Verkehrswege
C 13	Techniken und Verfahren zur artnerhaltenden Nutzung natürlich vorkommender Tiere und Pflanzen im Zuge von Fischerei, Jagd und Pflanzensammlung auf der Basis ökosystemarer oder evolutionsbiologischer Simulationen der jeweiligen Populationsdynamik
C 14	Techniken und Verfahren zur Erhöhung der Arten- und Sortenvielfalt bei Nutztieren und -pflanzen (z.B. Rückzüchtungen, alternative Anbauverfahren)
C 15	Verfahren zur Züchtung mehrjähriger Sorten von Nutzpflanzen wie Getreide, Hülsenfrüchte oder Ölsaaten („Natural Systems Agriculture“)
C 16	Konzepte und Techniken zur ex-situ-Konservierung von Tier- und Pflanzenarten (z.B. in Biobanken)
C 17	Technologien zum Monitoring der Vielfalt von Arten und Ökosystemen
C 18	Multimediale Verfahren zur Darstellung, Simulation und Archivierung von Natur („virtuelle Natur“), die ein realitätsnahes Naturerleben ermöglichen (z.B. für Bildungszwecke, zur Unterstützung von Entscheidungsprozessen)

Anlage 5: Überblick Technologien in Teil D

Teil D: Erhöhung der Rohstoffproduktivität/Kreislaufwirtschaft	
	Erhöhung der Rohstoffproduktivität
D 1	Erschließung neuer chemischer Produktklassen auf Basis nachwachsender Rohstoffe mit vergleichbaren Eigenschaften wie erdölbasierte Produkte
D 2	Herstellung von Bulkchemikalien in biotechnologisch optimierten Pflanzen (Anreicherung der gewünschten Inhaltsstoffe in der Pflanze)
D 3	Entwicklung neuer Synthesewege mit hoher Selektivität zur effizienten Umsetzung nachwachsender Rohstoffe unter weitgehendem Erhalt der komplexen Molekülstrukturen
D 4	Technologien zur effizienten Trennung von Lignocellulose in Lignin, Cellulose und Hemicellulose sowie zur Verwertung von Lignin als Ausgangsstoff in der Chemie
D 5	Optimierung des Einsatzes von Mikroorganismen und deren Enzymen in der industriellen Verfahrenstechnik „BioIndustry“ (z.B. Leder-, Textil-, und Papierindustrie)
D 6	Technologien zur Substitution knapper Metalle durch Rohstoffe mit höherer Reichweite (z.B. Ersatz von Indium in transparenten leitfähigen Beschichtungen durch fluor-dotiertes Zinn(IV)-Oxid)
D 7	Einsatz neuer Löse- und Prozesshilfsmittel („Green Solvents“) in industriellen Prozessen (z.B. ionische Flüssigkeiten oder überkritische Fluide)
D 8	Optimierung der Verfahren zur Metallgewinnung aus Erzen mit geringem Metallgehalt (z.B. mit Hilfe der mikrobiellen Erzlaugung)
D 9	Technologien zur endkonturnahen Fertigung (Near-net-shape), z.B. Thixoforming, Pressgießen von ADI-Werkstoffen, Einsatz nano- und feinstdisperser Pulver zur Keramikerstellung
D 10	Mess-, Steuer- und Regeltechniken (MSR) zur Optimierung von rohstoffintensiven Produktionsprozessen
D 11	Dienstleistungen zur Optimierung von Produktionsprozessen unter dem Aspekt der Rohstoffeffizienz (z.B. PIUS-Check, betriebliche Ökobilanz, Materialflussanalyse)
D 12	Optimierung von Werkstoffen für den Metall-Leichtbau (z.B. neue Aluminium- und Magnesiumlegierungen, Metallschäume, Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe)
D 13	Entwicklung neuer materialeffizienter Werkstoffe in Anlehnung an die Konstruktions-, Verfahrens- und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme (Bionik)
D 14	Dünnschichttechnologien zum Schutz von Oberflächen vor Abrieb, Korrosion und Verschmutzung
D 15	Lastgesteuerte Bauteiloptimierung (z.B. Bamtec-Verfahren, Beeplate-System, Tailored Blanks)
D 16	Rohstoffeffiziente Betonbauweisen (z.B. Sandwichbauweise, Schaumbeton, Glasfaserbewehrung im Betonbau)
D 17	Recyclinggerechtes Design von Produkten (z.B. Modularisierung, Einsatz trennbarer Verbindungen)
D 18	Verbesserung der Nachrüstbarkeit technischer Produkte (Integration neuer oder zusätzlicher Funktionen in bestehende Produkte) mit dem Ziel ihre Nutzungsdauer zu verlängern (Upgrading)
	Kreislaufwirtschaft
D 19	Technologien zur Schadstoffabscheidung aus Behandlungsrückständen
D 20	Technologien zur Sortierung und Aufbereitung von Sekundärrohstoffen für hochwertige Verwertungsmaßnahmen
D 21	Effiziente Technologien zur Trennung und Rückgewinnung von Metallen aus Abfällen und Reststoffen

D 22	Technologien zur hochwertigen Wiederverwendung von Abbruchmaterialien aus dem Bausektor
D 23	Technologien zur Qualitätssicherung von Sekundärbrennstoffen

Anlage 6: Fragebogen spezieller Teil

X: Technologien zu X			
d) Wie schätzen Sie Ihre Fachkenntnis bezüglich dieser Technologien ein?			
<input type="checkbox"/> Ich arbeite/publiziere selbst auf diesem Gebiet	<input type="checkbox"/> Ich besitze punktuelle Kenntnisse auf diesem Gebiet		
<input type="checkbox"/> Ich verfolge die Fachdiskussion auf diesem Gebiet kontinuierlich	<input type="checkbox"/> Ich habe keine Fachkenntnisse auf diesem Gebiet		
e) Wie würden Sie die zukünftige Bedeutung dieser Technologien für ... einschätzen?			
<input type="checkbox"/> Äußerst wichtig	<input type="checkbox"/> Wichtig	<input type="checkbox"/> Eingeschränkt wichtig	<input type="checkbox"/> Keine Bedeutung
<input type="checkbox"/> Keine Bewertung möglich			
Haben diese Technologien positive Wirkungen auf andere Umweltbereiche?			
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Keine Bewertung möglich	Wenn ja, welche?
Haben diese Technologien negative Wirkungen auf andere Umweltbereiche?			
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Keine Bewertung möglich	Wenn ja, welche?
f) Für diese Technologien besteht heute Forschungsbedarf im Bereich			
Grundlagenforschung	hoch	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gering <input type="checkbox"/> kein Bedarf
Technologieentwicklung	hoch	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gering <input type="checkbox"/> kein Bedarf
Demonstration und Marketing	hoch	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gering <input type="checkbox"/> kein Bedarf
Anpassung an die Anforderungen von Schwellen- oder Entwicklungsländern	hoch	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gering <input type="checkbox"/> kein Bedarf
g) Für diese Technologien besteht heute Bedarf an öffentlicher Förderung im Bereich			
Grundlagenforschung	hoch	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gering <input type="checkbox"/> kein Bedarf
Technologieentwicklung	hoch	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gering <input type="checkbox"/> kein Bedarf
Demonstration und Marketing	hoch	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gering <input type="checkbox"/> kein Bedarf
Anpassung an die Anforderungen von Schwellen- oder Entwicklungsländern	hoch	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gering <input type="checkbox"/> kein Bedarf
h) Wie schätzen Sie das Marktpotenzial dieser Technologien in den nachfolgend angeführten Ländertypen ein?			
Industrieländer	hoch	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gering <input type="checkbox"/> kein Potenzial
Schwellenländer	hoch	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gering <input type="checkbox"/> kein Potenzial
Entwicklungsländer	hoch	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gering <input type="checkbox"/> kein Potenzial
i) Welche Hemmnisse am Standort Deutschland stehen aus Ihrer Sicht der Entwicklung/dem erfolgreichen Einsatz dieser Technologien entgegen?			
<input type="checkbox"/> Kontraproduktive politische Regulierungen			
<input type="checkbox"/> Fehlende gesellschaftliche Akzeptanz			
<input type="checkbox"/> Bisher ungelöste technische Probleme			
<input type="checkbox"/> Fehlende F&E-Kapazitäten bei kleinen und mittleren Unternehmen			
<input type="checkbox"/> Unzureichende oder zu unsichere Erfolgsaussichten für Unternehmen oder Investoren			
<input type="checkbox"/> Unzureichende Vernetzung der auf diesem Gebiet tätigen Forschungseinrichtungen und Unternehmen			
<input type="checkbox"/> Sonstige?			
j) Wie schätzen Sie bezüglich dieser Technologien die Position Deutschlands im internationalen Vergleich ein?			
Öffentliche Forschungsaktivitäten	herausragend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unbedeutend
Industrielle Forschung/Unternehmens-Know-How	herausragend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unbedeutend
k) Haben Sie noch weitere Anmerkungen zu diesem Technologiebereich?			