



Fraunhofer Institut
System- und
Innovationsforschung

Potenzialanalyse der industriellen, weißen Biotechnologie

Endbericht

**Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und
Forschung (BMBF) im Rahmen der Innovations- und Technik-
analyse (ITA)**

Autoren:

Michael Nusser, Bärbel Hüsing, Sven Wydra

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI)
Breslauer Str. 48, 76139 Karlsruhe

März 2007

Die Studie wurde im Auftrag des BMBF erstellt.

Die Aufgabenstellung wurde vom BMBF vorgegeben.

Das BMBF hat das Ergebnis der Studie dieses Berichts nicht beeinflusst; der Auftragnehmer trägt alleine die Verantwortung.

Autoren:

Dr. Michael Nusser (Projektleitung, Fraunhofer ISI)

Dr. Bärbel Hüsing (Fraunhofer ISI)

Sven Wydra (Fraunhofer ISI)

unter Mitarbeit von

Dr. Thomas Reiß (Fraunhofer ISI) und Prof. Dr. Thomas Hirth (Fraunhofer ICT)

sowie Mitarbeitern weiterer Fraunhofer-Institute

Fraunhofer IGB (Dr. Wolfgang Krischke, Dr. Ulrike Schmid-Staiger)

Fraunhofer IME (Dr. Stefan Schillberg)

Fraunhofer IPA (Hans Lindner)

Fraunhofer IVV (Dr. Michael Menner)

Fraunhofer UMSICHT (Dr. Stephan Kabasci, Dr. Gorge Deerberg)

Fraunhofer WKI (Dr. Stefan Friebe, Claudia Philipp)

und Herrn Dr. Juergen Parrisius (Fraunhofer ICT/JP BioConsulting)

Projektassistenz: Silke Just, Bora Ger und Jens Selt (Fraunhofer ISI)

Ansprechpartner:

Dr. Michael Nusser (Dr. Bärbel Hüsing)

(Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung)

Tel: 0721 – 6809 - 336 (- 210)

Fax: 0721 – 6809 315

E-Mail: michael.nusser@isi.fraunhofer.de (baerbel.huesing@isi.fraunhofer.de)

Inhaltsverzeichnis	Seite
Tabellenverzeichnis	i
Abbildungsverzeichnis	ii
Management Summary	i
0 Zusammenfassung	A
0.1 Ausgangssituation und Zielsetzung der Studie	A
0.2 Markt- und Beschäftigungspotenziale	B
0.3 Stärken und Innovationshemmnisse am IWBT-Standort Deutschland	K
0.3.1 Stärken und Chancen am IWBT-Standort Deutschland	M
0.3.2 Innovationshemmnisse am IWBT-Standort Deutschland	U
0.4 Handlungsempfehlungen zur Stärkung des IWBT- Innovationsstandortes	Y
0.5 Gesamtfazit	MM
1 Einleitung: Zielsetzung, Definition und Methodik	1
1.1 Zielsetzung	1
1.2 Definition industrielle, weiße Biotechnologie	3
1.3 Innovationssystem-Ansatz	4
1.4 Quellen und Methoden	5
1.5 Instrumentarium zur Bewertung der Qualität des IWBT- Innovationsstandortes Deutschland	8
2 Output-, input- und prozessorientierte Innovationssystem- Analyse	13
2.1 Überblick über alle Systembereiche: Stärken und Schwächen des Standortes Deutschland im internationalen Vergleich	13

2.2	Systembereich 1: Wissensbasis.....	24
2.2.1	Bedeutung der technologischen Wissensbasis für das IWBT-Innovationssystem	24
2.2.2	Empirische Projektergebnisse	25
2.2.2.1	Aktuelle und zukünftige Bedeutung verschiedener Forschungs- und Technologiebereiche	25
2.2.2.2	Bedeutung einzelner Forschungs- und Technologiebereiche	40
2.2.2.2.1	Rohstoffauswahl und -aufbereitung.....	40
2.2.2.2.2	Screening nach neuen Enzymen und Mikroorganismen	46
2.2.2.2.3	Mikrobielle Genomik und Bioinformatik	49
2.2.2.2.4	Metabolic Engineering und Modellierung	52
2.2.2.2.5	Enzymdesign und -optimierung.....	54
2.2.2.2.6	Biokatalyse: Prozessdesign	57
2.2.2.2.7	Fermentationsprozesse.....	63
2.2.2.2.8	Produktaufarbeitung (Downstream Processing).....	64
2.2.2.2.9	Produkt- und Anwendungsentwicklung	64
2.2.2.2.10	Integration von Bioprozessen in ein Gesamtkonzept, Bioraffineriekonzepte	65
2.2.2.3	Qualität der Grundlagenforschung	68
2.2.2.4	Qualität der angewandten Forschung	69
2.2.2.5	Qualität der Forschungsförderung.....	70
2.2.2.6	Humanressourcen-Pool.....	73
2.2.3	Forschung: Publikationen und Patente als outputorientierte Indikatoren für die Leistungsfähigkeit der Wissensbasis und Wissensgenerierung.....	77
2.2.3.1	Methodisches Vorgehen.....	78
2.2.3.2	Wissenschaftliche Publikationen: Länderspezifische Entwicklungstendenzen hinsichtlich Niveau und Spezialisierung.....	81
2.2.3.3	Patente: Länderspezifische Entwicklungstendenzen hinsichtlich Niveau und relevanter Akteurstypen.....	85
2.2.3.4	Zusammenfassung Publikations- und Patenanalysen.....	92

2.3	Systembereich 2: Nationaler und grenzüberschreitender Wissens- und Technologietransfer.....	94
2.3.1	Bedeutung des Wissens- und Technologietransfers für das IWBT-Innovationssystem	94
2.3.2	Empirische Projektergebnisse.....	94
2.3.2.1	Wissensfluss zwischen öffentlichen FuE-Institutionen	94
2.3.2.2	Wissens- und Technologietransfer zwischen öffentlicher und industrieller FuE	95
2.4	Systembereich 3: Diffusion von neuem Wissen in industrielle FuE-Prozesse und Entwicklung international wettbewerbsfähiger Produkte.....	98
2.4.1	Bedeutung industrieller FuE-Aktivitäten für die Umsetzung von neuem Wissen in marktfähige Produkte.....	98
2.4.2	Empirische Projektergebnisse.....	99
2.4.2.1	FuE-Humanressourcen	99
2.4.2.2	FuE-Investitionen und Verfügbarkeit von „risikofreudigem“ Risikokapital	99
2.4.2.3	Kommerzielle Verwertung von Forschungsergebnissen	102
2.4.2.4	Gründungs- und Wachstumsdynamik von (jungen) Technologieunternehmen	103
2.5	Systembereich 4: Marktattraktivität	110
2.5.1	Bedeutung der Marktattraktivität für den IWBT-Innovationsstandort.....	110
2.5.2	Empirische Projektergebnisse.....	111
2.5.2.1	Art der wirtschaftlichen Potenziale	111
2.5.2.2	Gefährdungspotenziale	113
2.5.2.3	Marktvolumen und Marktwachstum.....	114
2.5.2.4	Umsatzvolumen in verschiedenen Ländern	114
2.5.2.5	Aktuelle und zukünftige wirtschaftliche Bedeutung in verschiedenen Anwendungsfeldern	117
2.5.2.6	Biotechnische Verfahren, Produkte bzw. Produktgruppen in relevanten Anwendungsfeldern und Branchen.....	122
2.5.2.6.1	Chemische Industrie	122
2.5.2.6.2	Lebensmittel- und Getränkeherstellung	143

2.5.2.6.3	Umwelttechnik	146
2.5.2.6.4	Textilherstellung und -veredelung	146
2.5.2.6.5	Lederherstellung.....	152
2.5.2.6.6	Papier-/Zellstoff	153
2.5.2.6.7	Bergbau/ Rohstoffgewinnung	155
2.5.2.6.8	(Bio-) Energie und (Bio-) Kraftstoffe	156
2.5.2.6.9	Fahrzeugbau	160
2.5.2.6.10	Landwirtschaft	160
2.5.2.6.11	Forstwirtschaft, Holzbe- und -verarbeitung.....	161
2.6	Systembereich 5: Vernetzung von Akteuren	162
2.6.1	Bedeutung der Vernetzung für ein funktionierendes IWBT-Innovationssystem	162
2.6.2	Empirische Projektergebnisse	163
2.6.2.1	Beweggründe für Kooperationen.....	163
2.6.2.2	Kooperationsaktivitäten in verschiedenen Tätigkeitsfeldern	165
2.6.2.3	Intensität und Struktur von Kooperationen	172
2.6.2.4	Internationalisierungsgrad von Kooperationen	175
2.6.2.5	Kritische Erfolgsfaktoren für Kooperationen	178
2.7	Systembereich 6: Rahmenbedingungen	180
2.7.1.1	Rechtliche und politische Rahmenbedingungen	180
2.7.1.2	(Lohn-)Kosten -, Produktivitäts- und Unternehmenssteuerniveau	184
2.7.1.3	Verbraucherakzeptanz	185
3	Aktuelle und zukünftige Beschäftigungspotenziale der industriellen, weißen Biotechnologie	187
3.1	Untersuchungsdesign und Methodik	187
3.1.1	Konzept zur Messung der Beschäftigungseffekte der IWBT	187
3.1.2	Szenarienanalysen.....	194
3.2	Direkte Beschäftigungswirkungen bei der Bereitstellung von IWBT-Wissen („IWBT Bereitstellung“)	197

3.2.1	Arbeitsplätze in öffentlichen Forschungseinrichtungen	197
3.2.2	Arbeitsplätze in der privaten Wirtschaft.....	201
3.2.2.1	Arbeitsplätze in den Biotech-KMU	201
3.2.2.2	Arbeitsplätze bei den IWBT-Ausstattern	202
3.2.2.3	Abschätzung der Beschäftigung 2025 IWBT Bereitstellung	203
3.2.3	Zusammenfassung direkte Brutto-Beschäftigungseffekte in den Teilsegmenten IWBT Bereitstellung	204
3.3	Direkte Beschäftigungseffekte in den Anwenderindustrien („IWBT Anwendung“).....	205
3.3.1	Forschungsdesign.....	205
3.3.2	Charakterisierung von Anwendungsfelder der IWBT in verschiedenen Branchen	207
3.3.3	Methodik zur Bestimmung der Szenarienannahmen für die Anwenderbranchen	213
3.3.4	Anwenderbranchen: Direkte Brutto- Beschäftigungseffekte.....	217
3.4	Beschäftigungswirkungen in den vorgelagerten Sektoren („IWBT Vorleistung“)	218
3.5	Haupttreiber für die Beschäftigungseffekte	223
3.6	Gesamtübersicht aller Beschäftigungseffekte 2004 und 2025	229
3.6.1	Brutto-Beschäftigungseffekte 2004 und 2025	229
3.6.2	Qualifikationsspezifische Beschäftigungseffekte 2004.....	244
4	Innovationsfördernde und innovationshemmende Faktoren und Maßnahmen zur Stärkung des IWBT- Innovationsstandortes Deutschland	253
4.1	Innovationsfördernde Erfolgsfaktoren	254
4.1.1	Innovationsfördernde Erfolgsfaktoren mit Bezug zu Wertschöpfungsstufen	254
4.1.2	Übergeordnete innovationsfördernde Erfolgsfaktoren.....	260
4.2	Branchenübergreifende Innovationshemmnisse	261

4.3	Branchenspezifische Innovationshemmnisse.....	269
5	Forschungsbedarf und Forschungsförderung.....	273
5.1	Forschungsbedarf aus Branchensicht.....	273
5.2	Forschungsbedarf mit Bezug zu den Forschungs- und Technologebereichen.....	279
5.3	Nationale und internationale Fördermaßnahmen.....	283
5.3.1	Förderprogramme in Deutschland.....	283
5.3.1.1	Förderprogramme auf Bundesebene.....	283
5.3.1.2	Förderprogramme auf Landesebene.....	286
5.3.1.3	Kritische Würdigung.....	286
5.3.2	Internationale Förderaktivitäten.....	288
5.3.3	Internationale Beispiele für IWBT-Programme.....	291
6	Handlungsempfehlungen zur langfristigen Stärkung der industriellen, weißen Biotechnologie in Deutschland.....	295
7	Anhang.....	319
7.1	Anhang A.1: Modellbeschreibung des Fraunhofer Input- Output-Modells ISIS.....	319
7.2	Anhang A.2: Beschreibung Szenarienannahmen für 2025 zu Wachstum und Strukturwandel.....	325
7.3	Anhang A.3: Akteure, die an der schriftlichen Befragung und den Experteninterviews teilnahmen.....	330
8	Literatur.....	331

Tabellenverzeichnis	Seite
Tabelle 0.1: IWBT-Umsatzanteile 2004 und 2025 in wichtigen Anwenderbranchen (in Prozent bezogen auf den Produktionswert der Gesamtbranche).....	C
Tabelle 0.2: Zusammenfassung der direkten und indirekten Brutto-Beschäftigungswirkungen der IWBT in Deutschland in den Szenarien für die Jahre 2004 und 2025	J
Tabelle 1.1: Charakterisierung der verwendeten Analyseinstrumente: Quellen- und Methoden-Mix	6
Tabelle 1.2: Schriftliche Befragung: Tätigkeitsfelder der Unternehmen	7
Tabelle 1.3: Schriftliche Befragung: Tätigkeitsfelder der Forschungseinrichtungen	7
Tabelle 2.1: Wichtige technologische Entwicklungen, Prozesse und Fragestellungen.....	32
Tabelle 2.2: Technologische Herausforderungen	36
Tabelle 2.3: Produktion und Nutzung von Biomasse weltweit.....	40
Tabelle 2.4: Natürlich vorkommende Biodiversität an Mikroorganismen und Enzymen und ihre Nutzung in industriellen Prozessen	46
Tabelle 2.5: Laufende und abgeschlossene Totalsequenzierungen der Genome von Mikroorganismen	49
Tabelle 2.6: Übersicht über ausgewählte Bioraffinerien in Europa	67
Tabelle 2.7: Eckdaten der deutschen Biotech-Kern-Branche (enge Definition)*	107
Tabelle 2.8: Eckdaten der deutschen Biotech-Kern-Branche (weite Definition)	107
Tabelle 2.9: Beteiligungskapitalinvestitionen in Deutschland 1999 bis 2005	108
Tabelle 2.10: Überblick über Chemikalien, die durch etablierte oder mögliche biotechnische Verfahren hergestellt werden können	126
Tabelle 2.11: Charakteristika der Feinchemikalienproduktion.....	138
Tabelle 2.12: Grundlegende Unterschiede in der Produktion von Fein- und Bulkchemikalien	140

Tabelle 2.13:	Übersicht über derzeit biotechnisch aus Biomasse hergestellte Massenchemikalien	140
Tabelle 2.14:	Einsatzbereiche von Enzymen in der Lebensmittel- und Getränkeproduktion.....	145
Tabelle 2.15:	Charakteristika der Stoffwechselprozesse, die an der biologischen Wasserstofferzeugung beteiligt sein können	158
Tabelle 2.16:	Hauptgründe für öffentliche Forschungseinrichtungen, FuE-Kooperationen durchzuführen.....	164
Tabelle 2.17:	Hauptgründe für Unternehmen, mit öffentlichen Forschungseinrichtungen zu kooperieren	164
Tabelle 2.18:	Hauptgründe für Unternehmen, mit anderen Unternehmen zu kooperieren	164
Tabelle 3.1:	Berücksichtigung technologiebedingter Beschäftigungseffekte	192
Tabelle 3.2:	Personal an Hochschulinstituten mit biotechnologischer Forschung (Basis: StaBu-Koeffizient 1992) (in Tausend).....	199
Tabelle 3.3:	Personal an außeruniversitären Forschungseinrichtungen mit biotechnologischer Forschung im Jahr 2004	200
Tabelle 3.4:	Biotech-KMU Deutschland: Beschäftigtenzahlen 1995-2004 (in Tsd.).....	202
Tabelle 3.5:	Direkte Brutto-Beschäftigungseffekte 2004 und 2025 in den Teilsegmenten der IWBT Bereitstellung (in Tausend)	204
Tabelle 3.6:	Anwenderbranchen: Szenarienannahmen IWBT-Umsatzanteile 2004 und 2025 (in % bezogen auf den Produktionswert der Gesamtbranche)	215
Tabelle 3.7:	Direkte Brutto-Beschäftigungseffekte 2004 und 2025 in den Anwenderbranchen (in Tausend).....	218
Tabelle 3.8:	Vorgehensweise bei der Ermittlung der Vorleistungsstrukturen für die einzelnen IWBT-Teilsegmente	221
Tabelle 3.9:	Zusammenfassung der direkten und indirekten Brutto-Beschäftigungswirkungen der IWBT in Deutschland, Szenarien für die Jahre 2004 und 2025	233
Tabelle 3.10:	Berufliche Qualifikationsprofile in den „IWBT-Teilsegmenten“ im Jahr 2004	246
Tabelle 3.11:	Fächerspezifische Prognose Hochschulabsolventen bis 2010 (in 1000).....	251

Tabelle 5.1:	Förderschwerpunkte, differenziert nach Forschungs- und Technologiebereichen	280
Tabelle A-1:	Sektorgliederung des Fraunhofer Input-Output-Modells (ISIS) in der disaggregierten Version (71 Wirtschaftssektoren).....	323
Tabelle A-2:	Prognos-Studie Erwartete Wachstumsraten für wichtige IWBT-Sektoren 2005-2020.....	329

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abbildung 0.1: Konzept zur Analyse der IWBT-Beschäftigungseffekte	F
Abbildung 0.2: Sektorale Aufteilung der vorgelagerten Beschäftigungseffekte 2004 in den IWBT-Segmenten IWBT Bereitstellung und IWBT Anwendung	K
Abbildung 0.3: Stärken, Schwächen, Risiken und Chancen der industriellen, weißen Biotechnologie am Standort Deutschland	L
Abbildung 1.1: Faktoren und Netzwerke im IWBT-Innovationssystem	5
Abbildung 1.2: Kriteriensystematik zur Bewertung eines Innovationsstandortes	10
Abbildung 1.3: Bedeutung wichtiger IWBT-Standortfaktoren für die weitere Entwicklung der industriellen, weißen Biotechnologie in Deutschland	11
Abbildung 2.1: Bewertung von Standortfaktoren für das Jahr 2005.....	14
Abbildung 2.2: Bewertung von Standortfaktoren im Vergleich zu den wichtigsten Konkurrenzländern	15
Abbildung 2.3: Aktuelle und zukünftige Bedeutung verschiedener Forschungs- und Technologiebereiche für Großunternehmen	26
Abbildung 2.4: Aktuelle und zukünftige Bedeutung verschiedener Forschungs- und Technologiebereiche für kleine und mittelständische Unternehmen.....	27
Abbildung 2.5: Aktuelle und zukünftige Bedeutung verschiedener Forschungs- und Technologiebereiche für Forschungseinrichtungen.....	28
Abbildung 2.6: Sukzessive Verringerung der Verfahrensschritte in der biotechnischen Ethanolproduktion ausgehend von lignocellulosehaltigen Substraten in den letzten Jahrzehnten	63
Abbildung 2.7: Konzept einer Bioraffinerie.....	67
Abbildung 2.8: Qualität der Grundlagenforschung	68
Abbildung 2.9: Qualität der angewandten Forschung.....	70
Abbildung 2.10: Qualität der öffentlichen Forschungsförderung in verschiedenen Forschungs- und Technologiebereichen	72
Abbildung 2.11: Mitarbeiterstruktur bei den verschiedenen Akteuren.....	75

Abbildung 2.12: Schwierigkeiten bei der Rekrutierung von Mitarbeitern mit bestimmten Qualifikationsprofilen in Unternehmen	75
Abbildung 2.13: Schwierigkeiten bei der Rekrutierung von Mitarbeitern mit bestimmten Qualifikationsprofilen in Forschungseinrichtungen	76
Abbildung 2.14: Anteil junger Wissenschaftler (24-34 Jahre) je 100 000 Beschäftigte im internationalen Vergleich	77
Abbildung 2.15: Entwicklung des Publikationsaufkommens in der IWBT von 1995-2004 (1995=100)	82
Abbildung 2.16: Entwicklung der Länder(-regionen) Anteile an den weltweiten Publikationen in der IWBT 1995-2004	83
Abbildung 2.17: Anteil IWBT-Publikationen im Vergleich zum gesamten Publikationsaufkommen (1995-2004).....	84
Abbildung 2.18: Anteil IWBT-Publikationen im Vergleich zum gesamten Biotechnologie-Publikationsaufkommen (1995-2004).....	85
Abbildung 2.19: Patentaufkommen in der IWBT 1995-2004 (1995 = 100).....	87
Abbildung 2.20: Entwicklung der Länderanteile am weltweiten Patentaufkommen in der in der IWBT 1995-2004	88
Abbildung 2.21: Anteil der IWBT relevanten Patentanmeldungen am Gesamtaufkommen in den Jahren 1995 bis 2004	89
Abbildung 2.22: Anteil der IWBT relevanten Patentanmeldungen am Gesamtaufkommen in der Biotechnologie 1995 -2004	90
Abbildung 2.23: Anteil der IWBT relevanten Patentanmeldungen am Gesamtaufkommen im relevanten Industriebereich	92
Abbildung 2.24: Innovationsquellen zur Ideenlieferung für neue oder zur Umsetzung laufender Innovationsprojekte (Forschungseinrichtungen).....	96
Abbildung 2.25: Innovationsquellen zur Ideenlieferung für neue oder zur Umsetzung laufender Innovationsprojekte (Unternehmen).....	97
Abbildung 2.26: Innovationshemmende Faktoren in den Unternehmen	100
Abbildung 2.27: Innovationshemmende Faktoren in den Forschungseinrichtungen	101
Abbildung 2.28: Beurteilung hinsichtlich der kommerziellen Verwertung von Forschungsergebnissen	102
Abbildung 2.29: Gegenwärtige wirtschaftliche IWBT-Potenziale.....	112

Abbildung 2.30: Umsatzvolumen 2004 in verschiedenen Ländern	115
Abbildung 2.31: Entwicklung Umsatzvolumen 2000-2005 in verschiedenen Ländern	116
Abbildung 2.32: Entwicklung Umsatzvolumen 2006-2010 in verschiedenen Ländern	117
Abbildung 2.33: Aktuelle und zukünftige wirtschaftliche Bedeutung in verschiedenen Anwendungsfeldern (Großunternehmen)	119
Abbildung 2.34: Aktuelle und zukünftige wirtschaftliche Bedeutung in verschiedenen Anwendungsfeldern (kleine und mittelständische Unternehmen KMU)	120
Abbildung 2.35: Aktuelle und zukünftige wirtschaftliche Bedeutung in verschiedenen Anwendungsfeldern (Forschungseinrichtungen)	121
Abbildung 2.36: Überblick über Chemikalien, die aus den Hauptbestandteilen von Biomasse durch etablierte oder mögliche biotechnische Verfahren hergestellt werden können	125
Abbildung 2.37: Kumulative Anzahl von Biotransformationsverfahren, die bis 2002 im industriellen Maßstab implementiert wurden	125
Abbildung 2.38: Überblick über die aufeinander folgenden Verfahrensschritte bei der Textilherstellung (textile Kette).....	149
Abbildung 2.39: Bedeutung verschiedener Tätigkeitsfelder im Jahr 2005 (Unternehmen).....	165
Abbildung 2.40: Bedeutung verschiedener Tätigkeitsfelder im Jahr 2005 (Forschungseinrichtungen)	166
Abbildung 2.41: Bedeutung verschiedener Tätigkeitsfelder in den Jahren 2006-2010 (Unternehmen).....	167
Abbildung 2.42: Bedeutung verschiedener Tätigkeitsfelder in den Jahren 2006-2010 (Forschungseinrichtungen)	168
Abbildung 2.43: Wichtigkeit Kooperationen in den verschiedenen Tätigkeitsfelder im Jahr 2005 (Unternehmen).....	169
Abbildung 2.44: Wichtigkeit Kooperationen in den verschiedenen Tätigkeitsfelder im Jahr 2005: Forschungseinrichtungen im Vergleich zu Unternehmen.....	169
Abbildung 2.45: Bedeutung von Kooperationen in verschiedenen Tätigkeitsfeldern in den Jahren 2006-2010 (Unternehmen und Forschungseinrichtungen).....	170

Abbildung 2.46: Bedeutung von Kooperationen in verschiedenen Tätigkeitsfeldern in den Jahren 2006-2010 (Forschungseinrichtungen).....	171
Abbildung 2.47: Häufigkeit von aktEURsspezifischen Kooperationsformen im Jahr 2005 (Unternehmen und Forschungseinrichtungen).....	173
Abbildung 2.48: Häufigkeit von aktEURsspezifischen Kooperationsformen im Zeitraum 2006-2010 (Unternehmen und Forschungseinrichtungen).....	174
Abbildung 2.49: Häufigkeit von Kooperationen mit Partnern aus anderen Ländern im Jahr 2005 (Unternehmen und Forschungseinrichtungen).....	176
Abbildung 2.50: Häufigkeit von Kooperationen mit Partnern aus anderen Ländern im Zeitraum 2001-2005 (Unternehmen und Forschungseinrichtungen).....	177
Abbildung 2.51: Häufigkeit von Kooperationen mit Partnern aus anderen Ländern im Zeitraum 2005-2010 (Unternehmen und Forschungseinrichtungen).....	178
Abbildung 3.1: Konzept zur Analyse der Beschäftigungseffekte der IWBT.....	188
Abbildung 3.2: Schematische Darstellung Mikro-Makro-Brücke bei der Analyse der Beschäftigungswirkungen der IWBT	193
Abbildung 3.3: IWBT-Teilsegmente: Importanteile 2004	225
Abbildung 3.4: IWBT-Teilsegmente: Arbeits- bzw. Beschäftigungsintensitäten in 2004 (in Erwerbstätige pro Million € inländischer Produktionswert)	226
Abbildung 3.5: IWBT-Teilsegmente: Indirekte Beschäftigungsmultiplikatoren in 2004 zur Bewertung vorgelagerter Beschäftigungseffekte in Zulieferersektoren	227
Abbildung 3.6: Sektorale Aufteilung der vorgelagerten Beschäftigungseffekte 2004 in den IWBT-Segmenten IWBT Bereitstellung und IWBT Anwendung	235
Abbildung 3.7: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2025 für das Teilsegment Universitäten und außeruniversitäre FuE-Einrichtungen.....	236
Abbildung 3.8: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2025 für das Teilsegment IWBT-KMU	237

Abbildung 3.9: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2025 für das Teilsegment IWBT-Ausstatter	238
Abbildung 3.10: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2025 für das Teilsegment Pharmabranche.....	239
Abbildung 3.11: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2025 für das Teilsegment Chemieindustrie	241
Abbildung 3.12: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2025 für das Teilsegment Lebensmittelindustrie	242
Abbildung 3.13: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2025 für das Teilsegment Landwirtschaft.....	243
Abbildung A-1: Schema einer Input-Output-Tabelle (inkl. Arbeitskoeffizienten).....	320

Management Summary

Investitionen in zukunftsfähige innovative Spitzentechnologien sind für ein hoch entwickeltes und rohstoffarmes Land wie Deutschland wichtig, um sich dauerhaft im internationalen Wettbewerb zu behaupten. In diesem Kontext werden der industriellen, weißen Biotechnologie (IWBT), die die Nutzung biotechnologischer Verfahren in der industriellen Produktion umfasst, große Potenziale zur Entwicklung neuer oder verbesserter Prozesse, Produkte und Dienstleistungen zugesprochen.

Die wichtigsten Anwendungsfelder der IWBT liegen aktuell und zukünftig in den Bereichen der Chemie- (u. a. Fein-/Spezialchemikalien und Bio-Kraftstoffe), Lebensmittel/Getränke- und Pharmaindustrie. Bei den IWBT-Absatzmärkten handelt es sich um dynamische Wachstumsmärkte mit dauerhaft stabilen Wachstumsraten, die z. T. deutlich über den durchschnittlichen Wachstumsraten der jeweiligen Branchen liegen. Im Jahr 2004 beruhen in der Chemieindustrie 4-6 % des Umsatzes auf der IWBT, in der Pharmabranche 3-5 % und in der Lebensmittelindustrie 9-23 %. Bis zum Jahr 2025 wird in allen Anwenderbranchen der durch die IWBT getriebene Umsatzanteil deutlich ansteigen, in einzelnen Branchen wie der Chemie- und Pharmaindustrie um das 2,5- bis 3-fache. Die wirtschaftlichen Potenziale der IWBT werden vor allem in der Entwicklung neuer und der Verbesserung existierender Produkte und Dienstleistungen, der Einführung neuer und Verbesserung bestehender Prozesse und Verfahrensabläufe, der Ressourcenschonung und Verminderung von Umweltbelastungen sowie der Senkung von Material- und Energiekosten gesehen. Allerdings sollten die Erwartungen an die IWBT nicht zu hoch und vor allem nicht zu kurzfristig, sondern vielmehr langfristig angesetzt werden. Denn die Diffusion der IWBT wird sich, wie bei industriellen Produktionsprozessen häufig der Fall, eher graduell über mehrere Jahre und nicht schlagartig vollziehen („Evolution statt Revolution“).

An diese IWBT-Marktpotenziale sind Beschäftigungspotenziale in Deutschland geknüpft: In 2004 ergeben sich direkte Beschäftigungspotenziale in Höhe von 88.300 – 205.000 Brutto-Erwerbstätigen, die vor allem in den Anwenderbranchen (Chemie-, Pharma- und Lebensmittelindustrie) entstehen. Noch größer als die direkten Effekte sind die Beschäftigungswirkungen in den vorgelagerten Zulieferersektoren (z. B. Maschinen- und Anlagenbau); die Vorleistungseffekte in den Anwenderbranchen belaufen sich beispielsweise in 2004 auf 154.200 – 362.000 Brutto-Erwerbstätige. Bis 2025 werden die Beschäftigungseffekte insbesondere in den Anwenderbranchen stark ansteigen, im Bereich der Pharma- und Chemieindustrie zum Teil um das 2,5- bis 3-fache.

Die Untersuchungsergebnisse zu den Stärken, Schwächen, Risiken und Chancen sind in der nachfolgenden Abbildung zusammengefasst: Vor allem die starke technologische Wissensbasis mit einer gut ausdifferenzierten Forschungsinfrastruktur, die gut

ausgebildeten Arbeitskräfte sowie die zum Teil international sehr wettbewerbsfähigen industriellen Anwenderbranchen bieten viele Chancen, um im Bereich der IWBT künftig im internationalen Wettbewerb eine zentrale Rolle zu spielen. Allerdings sind auch einige Schwächen und Risiken zu konstatieren, u. a. eine mangelnde Politikkoordination, eine unzureichende Anzahl an Demonstrationsanlagen, eine geringe Investitionsbereitschaft bei vielen industriellen Akteuren sowie zukünftige Engpässe beim qualifizierten Personal. Diese Innovationshemmnisse sollten möglichst abgebaut werden.

Abbildung IWBT- Standort Deutschland: Stärken, Schwächen, Risiken, Chancen

<p style="text-align: center;">Stärken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Technologische Wissensbasis • Gute, ausdifferenzierte Forschungsinfrastruktur • Aktuell gute Verfügbarkeit hoch qualifizierten Personals • Breite industrielle Basis mit allen wichtigen Anwenderindustrien; international wettbewerbsfähige Anwenderbranchen • Großer inländischer Markt, Zugang zu großen Exportmärkten • Guter Wissenstransfer und gute Vernetzung der Innovationsakteure 	<p style="text-align: center;">Chancen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Großen technologischen Wissenspool (u.a. Patente) nutzen • Vorhandene IWBT-FuE-Infrastruktur weiter ausbauen, dabei langjährige Erfahrungen in der Biotechnologie-Förderpolitik nutzen • Interdisziplinäre akademische Ausbildung ausbauen • Bestehende Kooperationen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft qualitativ verbessern • Öffentliche Akzeptanz der IWBT im Bereich industrielle Weiterverarbeitung gegeben
<p style="text-align: center;">Innovationshemmnisse/ Schwächen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anwendungsorientierung der Forschung • Existenz von Demonstrationsanlagen/ Pilotprojekten • Geringe Risiko-/ Investitionsbereitschaft bei vielen industriellen Akteuren behindert Technologieadoption • Rechtliche Rahmenbedingungen (z.T. abhängig von Anwenderbranche): u.a. hohe Komplexität und Regelungsdichte bei mangelnder Passfähigkeit 	<p style="text-align: center;">Risiken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zukünftig Engpässe bei hoch qualifiziertem Personal • Zu wenig koordinierte Innovationspolitik • Pfadabhängigkeiten und Innovationsbarrieren

Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Will man den IWBT-Standort Deutschland dauerhaft international wettbewerbsfähiger machen, reichen punktuelle Maßnahmen nicht aus. Vielmehr ist ein ganzheitlicher systemischer Ansatz erforderlich, der alle relevanten angebots- und nachfrageseitigen Faktoren sowie deren Vernetzung entlang der gesamten IWBT-Wertschöpfungskette adäquat berücksichtigt und fördert. Dies umfasst neben der systematischen Weiterentwicklung der technologischen Wissensbasis, um bestehende technologische Probleme aus dem Weg zu räumen, auch eine Verbesserung der Effizienz des Wissens- und Technologietransfer (z. B. durch eine erhöhte Personalmobilität und Gründungsdynamik), eine Reduzierung bestehender technologischer und wirtschaftlicher Unsicherheiten (z. B. durch Demonstrationsanlagen und Pilotprojekte) sowie eine Stärkung von IWBT-Clustern/Netzwerken (z. B. durch Evaluations-/Verbesserungsprozesse auf Basis festgelegter Erfolgsgrößen). Nur durch gemeinsame und aufeinander abgestimmte Kraftanstrengungen aller IWBT-Innovationsakteure können die Innovations-, Wachstums- und Beschäftigungspotenziale der IWBT am Standort Deutschland zukünftig voll ausgeschöpft werden.

0 Zusammenfassung

0.1 Ausgangssituation und Zielsetzung der Studie

Investitionen in zukunftsfähige innovative Spitzentechnologien sind für ein hoch entwickeltes und rohstoffarmes Land wie Deutschland wichtig, um sich dauerhaft im internationalen Wettbewerb zu behaupten. Die Biotechnologie spielt als Schlüsseltechnologie in mehreren Branchen eine wichtige Rolle im Innovations- und Wachstumsprozess. In diesem Kontext werden der industriellen, weißen Biotechnologie (IWBT) große Potenziale zur Entwicklung neuer oder verbesserter Prozesse, Produkte und Dienstleistungen zugesprochen. Damit verbunden wird die Erwartung, dass neue Märkte entstehen und die Wettbewerbsfähigkeit wichtiger Anwenderbranchen wie z. B. der Pharma-, Chemie- und Lebensmittelindustrie dauerhaft gestärkt wird. Hierdurch können neue Arbeitsplätze geschaffen und bestehende gesichert werden.

Die industrielle, weiße Biotechnologie umfasst die Nutzung biotechnologischer Verfahren in der industriellen Produktion (vgl. Kap. 1.2 zur IWBT-Definition). Hierbei werden Biokomponenten, d. h. Mikroorganismen, Zellkulturen, Enzyme und pflanzliche Produktionssysteme zum Auf-, Um- oder Abbau von Substanzen in technischen Prozessen eingesetzt, die in entsprechenden industriellen Anlagen ablaufen. Relevante Prozess- und Produktinnovationen betreffen Bulk-, Fein- und Spezialchemikalien, Futtermitteladditive, Agrar- und Pharmavorprodukte (z. B. chirale Wirkstoffvorstufen), Hilfsstoffe für verarbeitende Industrien, Bioanalytik, technische Enzyme und Bioenergieträger wie Ethanol, Biogas und Wasserstoff. Neben ihrem Potenzial zur Bereitstellung innovativer Produkte und Prozesse kann die IWBT auch einen Beitrag zur nachhaltigen Umgestaltung von Produktionsprozessen leisten, da biotechnische Verfahren zur Stoffproduktion und -umwandlung – im Gegensatz zur klassischen Chemie – unter milden Bedingungen, in wässrigen Medien und mit hoher Selektivität und Spezifität ablaufen. Zudem entfalten biotechnische Verfahren ihre besonderen Stärken dort, wo es um die Umwandlung von Naturstoffen, also regenerativen Rohstoffen, geht. Damit birgt die IWBT zudem das Potenzial, fossile Rohstoffe durch eine regenerative Rohstoffbasis zu ersetzen. Zudem kann der Einsatz von Biokatalysatoren wegen ihrer besonderen Eigenschaften in industriellen Produktionsprozessen dazu beitragen, den Wirkungsgrad und die Ausbeute zu erhöhen, den Rohstoff- und Energieverbrauch zu senken, die Entstehung nicht erwünschter Neben- und Kuppelprodukte und Emissionen zu minimieren und den Einsatz giftiger oder nicht abbaubarer Stoffe zu verringern. Dies kann auch einen Beitrag zur Standortsicherung und Erhöhung der Lebensqualität leisten.

Vor dem Hintergrund steigender Rohölpreise und des Klimawandels gewinnt die nachhaltige Gestaltung von Industrieprozessen seit Jahren zunehmend an Bedeutung.

Ziel der Studie „Potenzialanalyse der industriellen, weißen Biotechnologie“ ist es, ausgehend von einer Innovationssystem-Perspektive, ein differenziertes Gesamtbild der Innovations-, Markt- und Beschäftigungspotenziale dieses Feldes zu erarbeiten. Dabei sollen relevante technische, ökonomische, gesellschaftliche sowie internationale Dimensionen berücksichtigt werden. Auf Basis dieser Potenzialanalyse sowie der Analyse von Innovationshemmnissen und Innovationstreibern sollen Handlungsempfehlungen für verschiedene Akteursgruppen in Politik, Industrie, und Wissenschaft zur Stärkung des IWBT-Innovationsstandortes Deutschland abgeleitet werden. Folgende Fragen stehen im Fokus der Untersuchungen:

- Welche Markt- und Beschäftigungspotenziale existieren im Bereich der IWBT?
- Wie attraktiv ist der IWBT-Standort Deutschland, d. h. welche Stärken und Innovationshemmnisse liegen vor und welche Chancen und Risiken ergeben sich hieraus?
- Welche Handlungsoptionen stehen den Akteuren aus Politik, Wissenschaft und Wirtschaft zur Verfügung, um den IWBT-Standort Deutschland sowie dessen Unternehmen und Forschungsinstitutionen international wettbewerbsfähiger zu machen?

0.2 Markt- und Beschäftigungspotenziale

Die Erforschung, Entwicklung, Zulassung, Herstellung und Vermarktung von Methoden, Prozessen, Produkten und Dienstleistungen der IWBT sind sehr forschungs- und wissensintensiv. Dies erfordert hohe Anfangsinvestitionen und einen zeit- und kostenintensiven Kompetenzaufbau. Damit Unternehmen bereit sind, diese kostenintensiven Investitionen auf sich zu nehmen, bedarf es einer attraktiven Marktsituation, die dauerhaft hohe Umsätze erwarten lässt, damit sich die Investitionen amortisieren können. Die Ergebnisse zur Nachfrageseite zeichnen ein positives Bild (vgl. Kap. 2.5.2 und 3.3).

Marktpotenziale in den wichtigsten Anwenderbranchen

Die wichtigsten Anwendungsfelder der IWBT liegen aktuell und zukünftig in den Bereichen Chemie (u. a. Fein-/Spezialchemikalien und Bio-Kraftstoffe), Lebensmittel/Getränke, Pharma und künftig Landwirtschaft (durch Umstellung auf Biomasserohstoffbasis). Tabelle 0.1 zeigt, dass die IWBT bereits heute schon, vor allem aber in der Zukunft einen bedeutenden Beitrag zur Wirtschaftsleistung in diesen Anwenderbranchen leistet (vgl. Kap. 3.3):¹ So beruhen im Jahr 2004 in der Chemieindustrie 4-6 % des

¹ Da – wie in neuen Technikfeldern auf Grund fehlender bzw. unvollständiger Marktdaten üblich – die tatsächliche IWBT-Marktdurchdringung bereits 2004, vor allem aber 2025 mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist, werden die Umsatzanteile in Tabelle 0.1 mit Unter- und Obergrenze im Sinne eines „wahrscheinlichen Korridors“ angegeben. Die Grenzen in 2004 sind dabei zu verstehen als „pessimistische und optimistische IWBT-Marktanteilsab-

Umsatzes auf der IWBT, in der Pharmabranche 3-5 % und in der Lebensmittelindustrie 9-23 %. Bis zum Jahr 2025 wird in allen Anwenderbranchen der durch die IWBT getriebene Umsatzanteil deutlich ansteigen, in einzelnen Branchen wie der Chemie- und Pharmaindustrie um das 2,5-fache. Damit handelt es sich bei den IWBT-Absatzmärkten um dynamische Wachstumsmärkte mit dauerhaft stabilen Wachstumsraten, die z. T. deutlich über den durchschnittlichen Wachstumsraten der jeweiligen Branchen liegen. Dies zeigen die Studienergebnisse sowohl für die Zeiträume 2001 bis 2005, 2006 bis 2010 als auch für die Entwicklungen bis 2025. Im Gegensatz zu kürzlich veröffentlichten Marktstudien², die aktuell von einem noch größeren Markt sowie zukünftig von einem stärkeren Wachstum des IWBT-Marktes insbesondere in der Chemie bis 2010 ausgehen, weisen jedoch alle im Rahmen dieser Studie erhobenen Informationen konsistent darauf hin, dass sich der technologische Wandel, wie bei industriellen Produktionsprozessen häufig der Fall, auch bei der IWBT eher graduell über mehrere Jahre und nicht schlagartig vollziehen wird („Evolution statt Revolution“).

Tabelle 0.1: IWBT-Umsatzanteile 2004 und 2025 in wichtigen Anwenderbranchen (in Prozent bezogen auf den Produktionswert der Gesamtbranche)³

Anwenderbranchen	IWBT-Umsatzanteil 2004	IWBT-Umsatzanteil 2025
Szenariowerte Chemie	4-6 %	11-21 %
Szenariowerte Pharma *	3-5 %	9-17 %
Szenariowerte Lebensmittel	9-23 %	20-35 %
Szenariowerte Landwirtschaft (GVO)	0 %	1-2 %

Quelle: Fraunhofer ISI 2006 (* Nur Pharmavorprodukte, d. h. ohne Biopharmazeutika)

Weitere wichtige Anwendungsfelder der IWBT liegen in den Bereichen FuE-Dienstleistungen und Bio-Energie. Die Anwendungsfelder mit mittlerer Bedeutung sind Bulkchemikalien (vor allem in 2025), Anlagenbau, Textil, Leder, Papier sowie auf Grund der

schätzung“. Die Unter- und Obergrenzen 2025 können als „langsame und schnelle Diffusion“ bzw. Marktdurchdringung der IWBT interpretiert werden.

² Deutsche Bank Research 2007; EuropaBio 2003; Festel et al. 2005, Bachmann et al. 2004, McKinsey 2003 und 2006.

³ Entsprechend der verwendeten IWBT-Definition (vgl. Kap. 1.2) werden in der Landwirtschaft nur die „Prozesse auf dem Acker“ (auf Basis gentechnisch veränderte Organismen) für industrielle Prozesse berücksichtigt, nicht aber diejenigen zur Herstellung von Nahrungsmitteln. Die größeren Bandbreiten in der Lebensmittelindustrie ergeben sich u. a. auf Grund einer größeren Varianz im Antwortverhalten (vgl. Kap. 3.6.1).

Umstellung der Rohstoffbasis auf Biomasse die Forstwirtschaft/Holzbe- und -verarbeitung. Die Anwendungsfelder mit geringerer Bedeutung sind Bergbau/Rohstoffgewinnung (Bioleaching) sowie der Fahrzeugbau, wo zum einen Biotreibstoffe eine wesentliche Rolle spielen, zum anderen aber auch z. B. biobasierte Innenraum-Formteile zum Einsatz kommen können. Die Bedeutung der IWBT wird in allen diesen Anwendungsfeldern bis 2025 deutlich zunehmen (vgl. Kap. 2.5.2.5 und 2.5.2.6).

Wichtige IWBT-Produktgruppen in den verschiedenen Anwenderbranchen

In der Chemieindustrie kann der IWBT eine besondere Bedeutung bei der Herstellung chiraler Substanzen und bei der Umsetzung von Naturstoffen beigemessen werden. Vor allem bei den Enzymen, Aminosäuren, Reagenzien für Diagnostik und Analytik sowie Wasch- und Reinigungsmitteln, sowie zukünftig bei den 1-wertigen Alkoholen, Fettsäuren und -derivaten, Monomeren für Polymere, Geruchsstoffen und Aromen, und Agrochemikalien kann die IWBT einen wichtigen Beitrag leisten für die Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Chemiebranche. Gering ist die Bedeutung der IWBT hingegen z. B. bei der Herstellung von Farben und Lacken sowie Schmierstoffen. Wichtige Produktgruppen in der Pharmaindustrie, in denen die IWBT wesentliche Beiträge zur Entwicklung und Vermarktung neuer Verfahren und Produkte leisten kann, sind Nukleinsäuren, Peptone und Proteinderivate.

Da sich viele Ursprünge der Biotechnologie in der Lebensmittel- und Getränkeherstellung finden, sind biotechnische Ansätze in diesem Industriezweig traditionell weit verbreitet. Produktgruppen, bei denen die IWBT eine entscheidende Rolle spielt, sind vor allem Starterkulturen, Hefe, Joghurt, fermentierte Milchgetränke und sonstige fermentierte Getränke, Milchbestandteile, Käse, Zucker und Zuckerderivate, alkoholische Getränke sowie Frucht- und Gemüsesäfte. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass IWBT-Neuentwicklungen auf Grund der geringen Gewinnspannen und der geringen Forschungsintensität der Lebensmittelindustrie vor allem in vorgelagerten Zulieferersektoren stattfinden.⁴ Dies sind insbesondere die Chemische Industrie sowie der Anlagen- und Maschinenbau. Seit mehreren Jahren lässt sich in der Lebensmittelindustrie beobachten, dass Unternehmen auf Grund der geringen Margen oft eine Spezialisierungsstrategie auf hocheffiziente Produktionsverfahren unter Nutzung modernster Technik oder eine Fokussierungsstrategie auf Marktsegmente mit überdurchschnittlichen Wachstumsraten bzw. Gewinnspannen, wie z. B. bei naturbelassenen Lebensmittel oder aber Lebensmittel mit gesundheitlichem Zusatznutzen (Functional Food) verfolgen. Bei beiden Strategien kann die IWBT wesentliche Beiträge zur Umsetzung leisten.

⁴ Ähnliches gilt z. B. auch für die Papier-/Zellstoff-, Textil- und Lederindustrie.

Voraussetzungen für die Realisierung der Marktpotenziale:

Damit sich die IWBT-Marktpotenziale realisieren lassen, müssen sich die IWBT-Prozesse, -Produkte und -Dienstleistungen im Wettbewerb am Markt durchsetzen. D. h., die IWBT muss komparative Wettbewerbsvorteile gegenüber traditionellen Technologien aufweisen. Die Untersuchungen zeigen (vgl. Kap. 2.5.2.1), dass die größten wirtschaftlichen Potenziale der IWBT vor allem in der Entwicklung neuer und der Verbesserung existierender Produkte und Dienstleistungen, der Einführung neuer und Verbesserung bestehender Prozesse und Verfahrensabläufe, der Ressourcenschonung und Verminderung von Umweltbelastungen sowie der Senkung von Material- und Energiekosten gesehen werden. Eine Senkung der Personalkosten, eine Beschleunigung von Prozessen und damit verbundene Zeitersparnisse sowie eine erhöhte Flexibilität werden mit der Einführung und zunehmenden Anwendung der IWBT nicht bzw. nur in geringem Umfang erwartet.

Marktpotenziale in verschiedenen Regionen

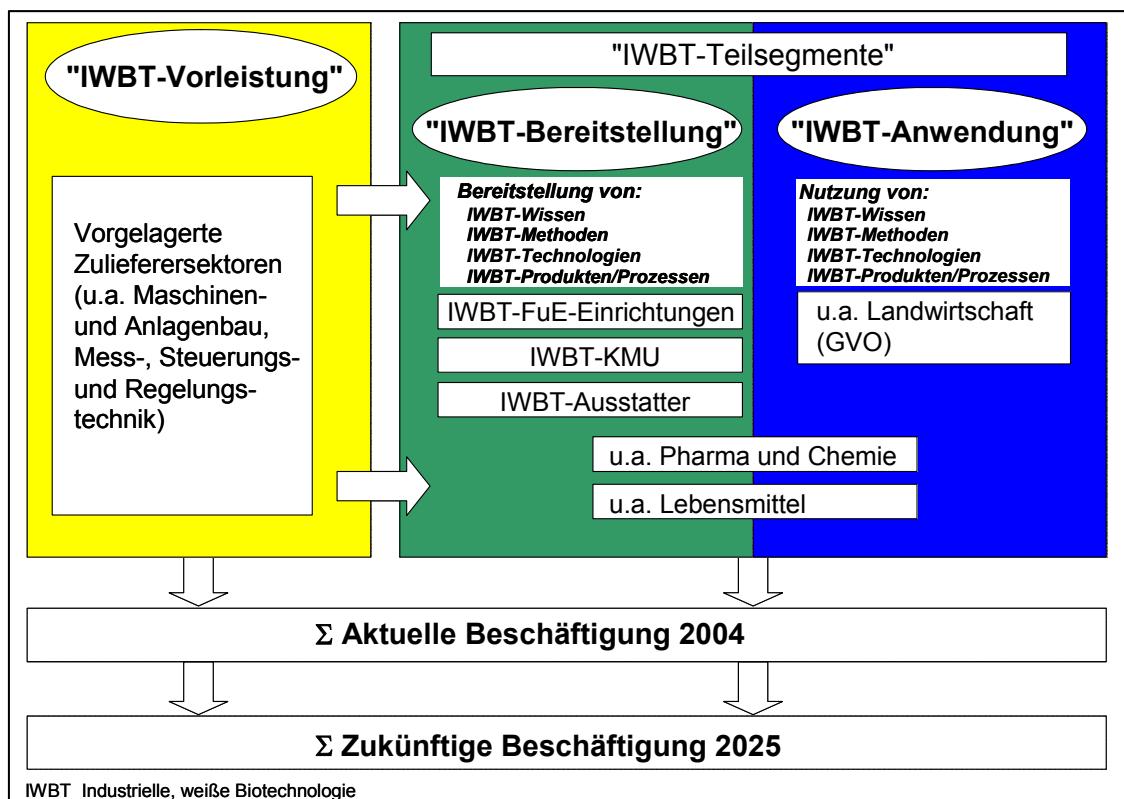
Hinsichtlich der regionalen Absatzmarktpotenziale zeichnen die Untersuchungen folgendes Bild (vgl. Kap. 2.5.2.4 und 2.1): Deutschland ist 2004 mit 40 % (KMU) und 48 % (Großunternehmen) mit Abstand der wichtigste Absatzmarkt. Somit unterscheiden sich kleine und mittlere Unternehmen (KMU) und Großunternehmen in Deutschland hinsichtlich der Zusammensetzung ihrer Absatzmärkte nicht gravierend. Die Marktgröße und das zukünftige Marktwachstum stellen in Deutschland im Vergleich zu den wichtigsten Konkurrenzländern kein Innovationshemmnis dar. Allerdings werden bereits 2004 über 50 % des Umsatzes im Ausland erzielt. An der Spitze steht hier die EU (ca. 25 %), gefolgt von den USA (ca. 15-20 %). Die asiatischen Länder spielen derzeit mit einem Umsatzvolumen von rund 10 % noch eine untergeordnete Rolle. Die sonstigen Länder (insb. Südamerika und Kanada) machen in der Regel einen Umsatzanteil von 3 bis 5 % aus. Die Untersuchungen zeigen zudem, dass die Umsätze in den Jahren 2000 bis 2005 in allen betrachteten Ländern gestiegen sind und auch in den Jahren 2006 bis 2010 in allen Ländern weiter steigen werden. In Deutschland ist allerdings der geringste Umsatzzuwachs zu erwarten.

Beschäftigungspotenziale

An die IWBT-Marktpotenziale sind entsprechende Beschäftigungspotenziale in Deutschland geknüpft. Die Studie liefert zum ersten Mal eine Gesamtschau der aktuel-

len und künftigen IWBT-Beschäftigungspotenziale (Abb. 0.1):⁵ Dabei wird zum einen der Kernbereich der IWBT berücksichtigt, zu dem Universitäten und Forschungseinrichtungen, Biotechnologie-KMU sowie die IWBT-Ausstatter zählen. Zudem werden auch die wichtigsten IWBT-Anwenderbranchen (Chemie, Pharma, Lebensmittel, Landwirtschaft) berücksichtigt sowie Vorleistungseffekte in den Zulieferersektoren einbezogen. Entsprechend der verwendeten IWBT-Definition werden die Beschäftigungseffekte in der Pflanzenzüchtung und Umweltbiotechnik nicht berücksichtigt.

Abbildung 0.1: Konzept zur Analyse der IWBT-Beschäftigungseffekte



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

⁵ Für die Berechnung der Beschäftigungseffekte wurde das Fraunhofer ISIS-Modell eingesetzt, dessen Kern aus einem Input-Output Modell besteht, bei dem die deutsche Volkswirtschaft in 71 Produktions- und Dienstleistungssektoren unterteilt wird (vgl. Kap. 3.1).

Die direkten Brutto-Beschäftigungseffekte⁶ der Teilbereiche IWBT-Bereitstellung (Kernbereich) und IWBT-Anwendung sowie deren vorgelagerte (indirekten und investitionsinduzierten) Beschäftigungseffekte in den Zuliefersektoren (IWBT-Vorleistung) sind in Tabelle 3.9 zusammenfassend dargestellt. Einige Summenwerte können nicht ausgewiesen werden, da sich aus methodischer Sicht das Problem von Doppelzählungen ergibt. Bei den ausgewiesenen Erwerbstätigen handelt es sich um Erwerbstätige in Vollzeitäquivalenten. Die Untersuchungsergebnisse zeichnen für 2004 und 2020 folgendes Bild: 2004 ergeben sich direkte Beschäftigungspotenziale in Höhe von 88.300 – 205.000 Brutto-Erwerbstätigen. Davon entfallen 5.500 – 6.900 auf die IWBT-Bereitstellung. Deutlich größer sind die Effekte in den Anwenderbranchen mit 82.800 – 198.100 Erwerbstätigen. Noch größer als die direkten Effekte sind die Beschäftigungswirkungen in den Zuliefersektoren. Die Vorleistungseffekte in den Anwenderbranchen belaufen sich beispielsweise 2004 auf 154.200 - 362.000 Brutto-Erwerbstätige. Die Vorleistungseffekte bei der IWBT-Bereitstellung sind hingegen etwa gleich groß wie die direkten Effekte (5.200 – 6.800 Erwerbstätige). Bis 2025 werden die Beschäftigungseffekte vor allem in den Anwenderbranchen stark ansteigen (zum Teil um das 2-fache); dies hängt mit der zunehmenden Marktdurchdringung der IWBT-Prozesse, -Produkte und -Dienstleistungen zusammen (vgl. Tabelle 0.1). Die direkten Beschäftigungseffekte in den IWBT-Anwenderbranchen belaufen sich in 2025 auf 154.800 – 274.700, die IWBT-Vorleistungseffekte zeigen sogar ein Potenzial von 298.700 – 536.300 Beschäftigten.

Die detaillierten Beschäftigungseffekte in den IWBT-Teilsegmenten der Bereitstellung und Anwendung zeichnen folgendes Bild:

IWBT-Bereitstellung: Die größte Beschäftigungswirkung geht in 2004, wenn man die Vorleistungseffekte (IWBT-Vorleistung) hinzurechnet, mit rund 6.500 – 9.500 Erwerbstätigen von den Universitäten und außeruniversitären FuE-Einrichtungen aus, gefolgt von den IWBT-Ausstattern mit ca. 2.800 Beschäftigten (vgl. Kap. 3.2 und 3.6.1). Demgegenüber ist die Beschäftigungswirkung von kleinen und mittelständischen IWBT-Unternehmen – auch unter Berücksichtigung der Vorleistungseffekte – mit etwa 1.300 Beschäftigten vergleichsweise gering. Hinsichtlich der Größenrelationen ergibt sich für das Jahr 2025 ein ähnliches Bild: Etwa 7.600 – 11.100 Erwerbstätige können den Universitäten und außeruniversitären FuE-Einrichtungen, ca. 3.200 – 4.000 Beschäftigte

⁶ Die Brutto-Beschäftigungseffekte umfassen die positiven Wirkungen aus dem Zuwachs bei der IWBT-Bereitstellung und IWBT-Anwendung sowie die daran gekoppelten Vorleistungseffekte (IWBT-Vorleistung). Analysen zu negativen Beschäftigungseffekten, z. B. auf Grund einer geringeren Verwendung konventioneller (petrochemiebasierte) Produkte, wurden im Rahmen des Projektes nicht durchgeführt (vgl. Kapitel 3.1).

den IWBT-Ausstattem, und etwa 1.400 – 1.900 Beschäftigte den kleinen und mittelständischen IWBT-Unternehmen zugerechnet werden.

IWBT-Anwendung: Ein erheblich größeres Beschäftigungspotenzial ergibt sich aus der Nutzung der Biotechnologie in wichtigen Anwenderbranchen (vgl. Kap. 3.3 und 3.6.1). Als Dateninput für die Input-Output-Modellberechnungen in den Anwenderbranchen werden die Nachfrageimpulse verwendet, die sich aus der Bewertung der aktuellen und zukünftigen „IWBT-Umsatzanteile“ ergeben (vgl. Tabelle 0.1).⁷ Die größten Beschäftigungspotenziale ergeben sich in der Lebensmittelindustrie. Hier können, wenn man die Vorleistungseffekte hinzurechnet, zwischen 192.900 – 493.000 Erwerbstätige mit der Nutzung der Methoden, Prozesse oder Produkte der IWBT in Verbindung gebracht werden. Danach folgt die Chemie mit etwa 37.000 – 55.500 Erwerbstätigen. Die Beschäftigungswirkung in der Pharmaindustrie ist geringer (rund 7.000 – 11.600 Beschäftigte), da die verwendete IWBT-Definition nur Pharmavorprodukte (z. B. chirale Vorstufen) umfasst. Hinsichtlich der Größenrelationen ergibt sich für das Jahr 2025 ein ähnliches Bild: Rund 326.000 – 570.500 Erwerbstätige können der Lebensmittelindustrie zugerechnet werden, gefolgt von der Chemiebranche mit etwa 99.300 – 189.600 Erwerbstätigen vor der Pharmaindustrie (rund 20.100 – 38.000 Beschäftigte). Die Potenziale in der Landwirtschaft, wo laut IWBT-Definition nur „GVO-Prozesse auf dem Acker“ für industrielle Zwecke berücksichtigt wurden (vgl. Tabelle 0.1), liegen 2025 bei ca. 8.100 – 12.900 Beschäftigten.

IWBT-Vorleistung: Durch ihre Investitionstätigkeiten (z. B. Bau von Gebäuden) und Ausgaben für Vorleistungskäufe (z. B. FuE-Dienstleistungen) induzieren die Akteure der Teilsegmente IWBT-Bereitstellung und IWBT-Anwendung zusätzliche indirekte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte in den vorgelagerten Zulieferersektoren (vgl. Kap. 3.4). Die Bedeutung der vorgelagerten Beschäftigungseffekte ist in Summe sowohl in 2004 als auch in 2025 größer als die direkten Beschäftigungswirkungen der IWBT (vgl. Kap. 3.6.1). Dieser Befund bestätigt den gewählten methodischen Ansatz dieser Studie, da bei konventioneller Vorgehensweise ohne Berücksichtigung der indirekten Beschäftigungseffekte in den Zulieferersektoren die Beschäftigungseffekte der IWBT systematisch unterschätzt worden wären.

Allerdings gibt es große Unterschiede zwischen den einzelnen IWBT-Teilsegmenten. Bei den IWBT-KMU, den IWBT-Ausstattem sowie in der Landwirtschaft dominieren die

⁷ Die Beschäftigungsanalysen bilden nur die „erste Ebene der direkten Anwendersektoren“ (Pharma, Chemie, Lebensmittel, Landwirtschaft) ab. Die nachgelagerten Anwendersektoren der „zweiten, dritten etc. Ebene“ (z. B. Leder-, Textil-, Papier-, Zellstoffindustrie, die meist IWBT-Chemievorleistungsgüter nutzen) werden nicht berücksichtigt (vgl. Kap. 3.3.3).

direkten Beschäftigungseffekte, d. h. die vorgelagerten Effekte weisen eine geringere Bedeutung auf. In den Anwenderbranchen spielen die Vorleistungseffekte eine wichtige Rolle, die sich beispielsweise in der Chemie oder in der Lebensmittelindustrie auf das Doppelte bis Dreifache der direkten Beschäftigungswirkungen belaufen. In der Pharmaindustrie sowie den Universitäten/FuE-Einrichtungen sind die direkten und vorgelagerten Beschäftigungswirkungen in etwa gleich hoch.

Tabelle 0.2: Zusammenfassung der direkten und indirekten Brutto-Beschäftigungswirkungen der IWBt in Deutschland in den Szenarien für die Jahre 2004 und 2025

	Direkte Brutto-Erwerbstätige (in Tsd.)		IWBt Vorleistung: Indirekte/ induzierte Brutto- Erwerbstätige (in Tsd.)		Brutto-Erwerbstätige gesamt (in Tsd.)	
	2004	2025	2004	2025	2004	2025
Szenarien (Summe 1+2)	88,3 – 205,0	161,1 – 283,3	n.v. *	n.v. *	n.v. *	n.v. *
1. IWBt-Bereitstellung	5,5 - 6,9	6,3 – 8,6	5,2 - 6,8	6,0 – 8,4	n.v. *	n.v. *
- Universitäten/FuE-Einrichtungen	3,0 – 4,4	3,5 – 5,1	3,5 – 5,1	4,1 – 6,0	6,5 – 9,5	7,6 – 11,1
- IWBt-KMU	0,8	0,9 – 1,1	0,5	0,6 – 0,7	1,3	1,4 – 1,9
- IWBt-Ausstatter	1,7	1,9 – 2,4	1,2	1,3 – 1,7	2,8	3,2 – 4,0
2. IWBt-Anwendung	82,8 – 198,1	154,8 – 274,7	154,2 – 362,0	298,7 – 536,3	n.v. *	n.v. *
- Pharmaindustrie	3,4 – 5,7	8,5 – 16,1	3,6 – 6,0	11,6 – 21,9	7,0 – 11,6	20,1 – 38,0
- Chemiebranche	9,8 – 14,7	20,6 – 39,3	27,2 – 40,8	78,7 – 150,2	37,0 – 55,5	99,3 – 189,6
- Lebensmittel	69,6 – 177,7	120,7 – 211,2	123,4 – 315,2	205,3 – 359,3	192,9 – 493,0	326,0 – 570,5
- Landwirtschaft (GVO) **	0	5,0 – 8,0	0	3,1 – 4,9	0	8,1 – 12,9

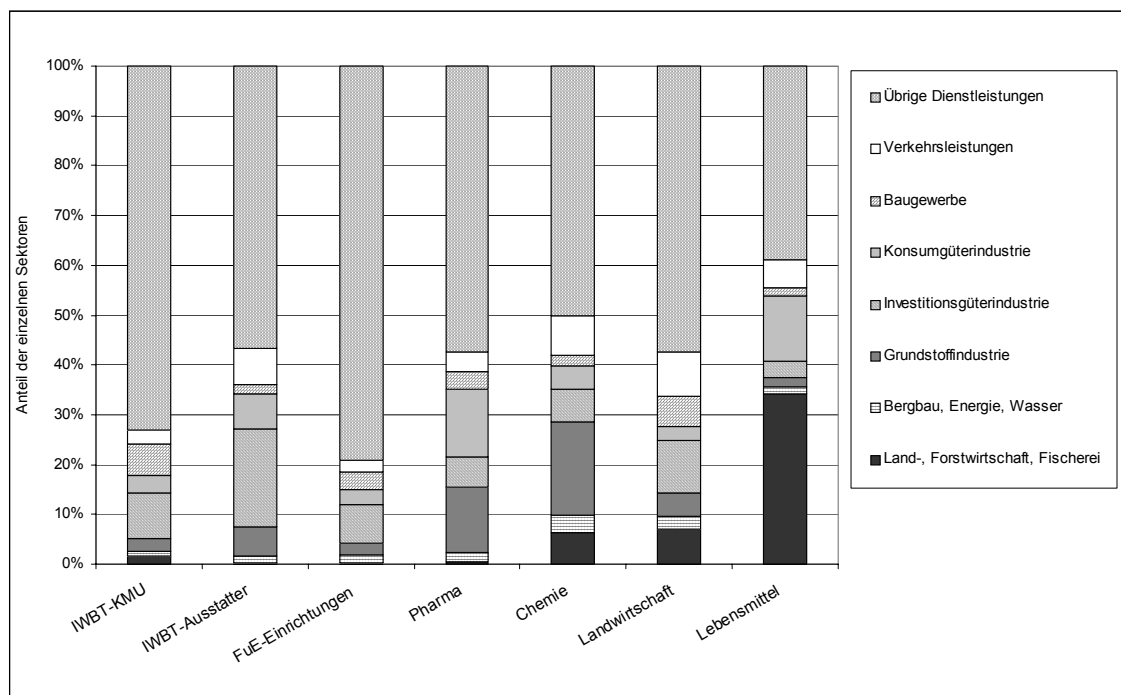
Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006 (Rundungsfehler möglich). n.v. * = nicht verfügbar, da Problem der Doppelzählung

** Laut IWBt-Definition werden nur die „GVO-Prozesse auf dem Acker“ für industrielle Prozesse berücksichtigt (nicht aber diejenigen GVO-Prozesse zur Herstellung von Nahrungsmitteln sowie die Nicht-GVO-Prozesse). GVO = gentechnisch veränderte Organismen

Zum Problem der Doppelzählungen: Bestimmte Summenwerte werden nicht ausgewiesen, da sie methodisch bedingt z. T. erhebliche Doppelzählungen beinhalten und daher irreführend wären. Am **Gesamt-Summenwert IWBt-Vorleistung** (IWBt-Bereitstellung plus IWBt-Anwendung) soll dies illustriert werden: Die Anwenderbranchen (z. B. Pharma- und Chemiebranche) beziehen Biotechnologie-basierte Vorleistungsgüter von IWBt-KMU (z. B. industrielle Enzyme) oder IWBt-Ausstattern (z. B. Bauteile für Laborgeräte). Die Logik des Input-Output-Modells arbeitet mit „Mehrfachrunden“, d. h. es wird nicht nur die direkte Vorleistung berechnet, sondern auch die Vorleistungen der Vorleistung, die Vor-Vor-Vorleistung usw. Die Vorleistungseffekte der IWBt-KMU sind somit zu bestimmen, jedoch nicht quantifizierbaren Anteilen auch in den Vorleistungen der Pharma- und Chemiebranche berücksichtigt. Eine Aufsummierung über IWBt-Bereitstellung und IWBt-Anwendung würde somit diese Vorleistungen zu einem nicht bezifferbaren Anteil doppelt erfassen und wurde daher nicht durchgeführt. Demzufolge ist auch eine Aufsummierung der direkten Beschäftigungseffekte und der Effekte BT-Vorleistung zu einem Wert **Brutto-Erwerbstätige gesamt** nicht möglich. Bei den Brutto-Erwerbstätigen gesamt kommt hinzu, dass auf Grund der beschriebenen Vorleistungsverflechtungen viele indirekt Beschäftigte im Bereich IWBt-Anwendung direkt Beschäftigte im Bereich IWBt-Bereitstellung sind. Zudem beziehen Pharmaunternehmen Vorleistungen von der Chemieindustrie oder IWBt-KMU Vorleistungen von den Ausstattern. Daher können Brutto-Erwerbstätige gesamt für die IWBt-Bereitstellung, IWBt-Anwendung und IWBt-Anwendung plus IWBt-Bereitstellung nicht ausgewiesen werden.

Auf Grund der großen Bedeutung der vorgelagerten Beschäftigungseffekte wurde eine genauere Analyse ihrer sektoralen Aufteilung durchgeführt (vgl. Kap. 3.6.1). Die Ergebnisse zeichnen folgendes Bild (Abb. 02): Es ist eine relativ hohe Bedeutung des Dienstleistungsbereichs zu erkennen, der in den meisten Fällen zwischen 40 und 60 % der vorgelagerten Beschäftigten ausmacht, bei den FuE-Einrichtungen und IWBT-KMU sogar 75 bis 80 %. Eine detaillierte Strukturanalyse der Effekte in den Dienstleistungssektoren zeigt, dass die IWBT in hohem Maße zur Stärkung von wissensintensiven und „höherwertigen“ Dienstleistungssektoren (z. B. FuE-Auftragsforschung, unternehmensbezogene Dienstleistungen) beiträgt. Diese zukunftsfähigen Dienstleistungssektoren zeichnen sich in den nächsten 15 bis 20 Jahren durch ein besonders hohes Umsatz- und Beschäftigungswachstum im Vergleich zur Gesamtwirtschaft aus (vgl. Kapitel 3.6.1, Anhang A.2, Tab. A-2).

Abbildung 0.2: Sektoriale Aufteilung der vorgelagerten Beschäftigungseffekte 2004 in den IWBT-Segmenten IWBT Bereitstellung und IWBT Anwendung



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

0.3 Stärken und Innovationshemmnisse am IWBT-Standort Deutschland

Innovationen entstehen in Innovationssystemen, in denen diverse Akteure in einem interaktiven, interdisziplinären und kollektiven Prozess mit vielfältigen Rückkoppe-

lungseffekten zusammenwirken. Hierzu müssen nicht nur alle Teilsysteme innerhalb eines Innovationssystems leistungsstark sein, sondern diese müssen auch untereinander gut vernetzt sein. Nicht einzelne Faktoren oder Akteure, sondern das Zusammenspiel und die Vernetzung leistungsstarker Teilsysteme und deren Akteure sind entscheidend für die Innovationskraft.

Dies impliziert, dass punktuelle Stärken-Schwächen-Analysen sowie Handlungsoptionen für einzelne Stufen oder Akteure der Wertschöpfungskette nicht ausreichen, um den IWBT-Standort Deutschland und dessen Wissenschafts- und Unternehmensakteure angemessen zu beschreiben und dauerhaft international wettbewerbsfähiger zu machen. Daher wurde für die input-, prozess- und outputorientierten Systemanalyse und Ableitung der Handlungsempfehlungen ein ganzheitlicher Innovationssystem-Ansatz entlang der gesamten IWBT-Wertschöpfungskette gewählt, der alle relevanten angebots- und nachfrageseitigen Faktoren sowie deren Vernetzung adäquat berücksichtigt. Dieser Forschungsansatz ist für die Analyse der Leistungsfähigkeit von Volkswirtschaften in ausgewählten Technikfeldern gut geeignet und liefert die Grundlage, um im internationalen Vergleich Stärken, Schwächen, Risiken und Chancen von FuE- und Produktionsstandorten herauszuarbeiten. Ausgehend von aktuellen Stärken oder Schwächen können zukunftsgerichtet Chancen und Risiken aufgezeigt werden. Die Ergebnisse zu den Stärken, Schwächen, Risiken und Chancen des IWBT-Standes Deutschland sind in Abbildung 0.3 zusammengefasst und werden im Folgenden erläutert.

Abbildung 0.3: Stärken, Schwächen, Risiken und Chancen der industriellen, weißen Biotechnologie am Standort Deutschland

<p style="text-align: center;">Stärken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Technologische Wissensbasis • Gute, ausdifferenzierte Forschungsinfrastruktur • Aktuell gute Verfügbarkeit hoch qualifizierten Personals • Breite industrielle Basis mit allen wichtigen Anwenderindustrien; international wettbewerbsfähige Anwenderbranchen • Großer inländischer Markt, Zugang zu großen Exportmärkten • Guter Wissenstransfer und gute Vernetzung der Innovationsakteure 	<p style="text-align: center;">Chancen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Großen technologischen Wissenspool (u.a. Patente) nutzen • Vorhandene IWBT-FuE-Infrastruktur weiter ausbauen, dabei langjährige Erfahrungen in der Biotechnologie-Förderpolitik nutzen • Interdisziplinäre akademische Ausbildung ausbauen • Bestehende Kooperationen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft qualitativ verbessern • Öffentliche Akzeptanz der IWBT im Bereich industrielle Weiterverarbeitung gegeben
<p style="text-align: center;">Innovationshemmnisse / Schwächen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anwendungsorientierung der Forschung • Existenz von Demonstrationsanlagen/ Pilotprojekten • Geringe Risiko-/Investitionsbereitschaft bei vielen industriellen Akteuren behindert Technologieadoption • Rechtliche Rahmenbedingungen (z.T. abhängig von Anwenderbranche): u.a. hohe Komplexität und Regelungsdichte bei mangelnder Passfähigkeit 	<p style="text-align: center;">Risiken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zukünftig Engpässe bei hoch qualifiziertem Personal • Zu wenig koordinierte Innovationspolitik • Pfadabhängigkeiten und Innovationsbarrieren

Quelle: Fraunhofer ISI 2006

0.3.1 Stärken und Chancen am IWBT-Standort Deutschland

Die Stärken und Chancen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Starke technologische Wissensbasis

Publikationsindikatoren, die die Entwicklungen der wissenschaftlichen Forschung abbilden, sowie Patentindikatoren, die die Entwicklungen der angewandten Forschung und technischen bzw. experimentellen Entwicklung nachzeichnen, sind wichtige Indikatoren zur Abbildung der Stärke der technologischen Wissensbasis eines Landes. Die quantitativen Untersuchungen ergeben folgendes Bild (vgl. Kap. 2.2.3). Die in Abschnitt 0.1 beschriebene hohe wirtschaftliche Bedeutung der IWBT spiegelt sich in den Publikations- und Patentwerten wider: Weltweit ist zwischen 1995 bis 2004 ein starker Zuwachs am IWBT-Publikationsaufkommen mit 13 % p.a. zu erkennen.⁸ Der Anteil der IWBT-Publikationen an den gesamten Biotechnologie-Publikationen stieg dadurch von rund 2 % 1995 auf knapp 5 % 2004. Bei den IWBT-Patentanmeldungen ist ein Anstieg von 3 % p.a. zwischen 1995 und 2004 zu verzeichnen. In 2003/04 stabilisierte sich der Anteil der IWBT-Patentanmeldungen an den gesamten Biotechnologie-Patentanmeldungen weltweit auf knapp über 15 %.⁹ Die IWBT erweist sich damit insgesamt als bedeutendes Forschungsfeld. Vor allem zwischen 1995 und 2000 ist eine sehr hohe dynamische Entwicklung zu erkennen, während zwischen 2000 und 2004 die weltweite Dynamik bei den Publikationen geringer ausfällt, im Fall der Patentanmeldungen ist sogar ein absoluter Rückgang auf das Niveau 1997/98 zu erkennen. Dieser Rückgang dürfte eine Folge der Börsenkrise zu Beginn des Jahrtausends sein. Die Ernüchterung über die wirtschaftlichen Perspektiven patentintensiver Hightechindustrien hat weltweit zu einem Einbruch der Patentierungsaktivitäten, so auch in der IWBT, geführt (vgl. Kap. 2.2.3.3).

Als eine besondere Stärke des IWBT-Standortes Deutschland ist die technologische Wissensbasis hervorzuheben (vgl. Kap. 2.1, 2.2.2.3, 2.2.3). Deutschland spielt weltweit eine bedeutende Rolle in der IWBT-Forschung: Bei den weltweiten IWBT-Patentanmeldungen bewegt sich der Anteil Deutschlands zwischen 1995 und 2004 in einem Korridor von 10 und 15 %; damit nimmt Deutschland hinter den USA und Japan den

⁸ Im Vergleich hierzu stiegen die Gesamtpublikationen jährlich um 2,5 %. Somit kann man von einem relativen Bedeutungszuwachs der IWBT zwischen 1995 und 2004 ausgehen.

⁹ Der große Bedeutungsunterschied zwischen Publikationen (ca. 5 %) und Patenten (rund 15 %) liegt vermutlich in der „Natur der Sache“. In der IWBT sind besonders technikbezogene, ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen (bezogen auf industrielle Prozesse) interessant. In diesen Forschungsfeldern spiegeln Publikationen in den von den Datenbanken erfassten Zeitschriften eine geringere Rolle als z. B. bei der Medizin, während Patente in den prozessnahen Technikfeldern eine sehr große Rolle spielen.

dritten Platz ein. Der Anteil Deutschlands in 2004 am weltweiten IWBT-Publikationsaufkommen beträgt ca. 8 %, was ebenfalls einer Spitzenposition entspricht. Bei den Wachstumsraten der Patentmeldungen und Publikationen zwischen 1995 und 2004 liegt Deutschland über dem weltweiten Durchschnitt, vor allem zwischen 1995 und 2000 ist die Wachstumsdynamik sehr hoch (z. B. Verdreifachung der Patentanmeldungen). Allerdings zeigen die Publikations- und Patentanalysen, dass Deutschland im internationalen Vergleich keine Spezialisierung auf die IWBT aufweist.

Von dem Einbruch der weltweiten IWBT-Patentierungsaktivitäten war Deutschland besonders betroffen: Zwischen 2000 und 2003 sank, ausgehend von einem hohen Niveau in 2000, der Anteil an den weltweiten IWBT-Patentanmeldungen von ca. 15 % 2000 auf rund 11 % 2004. Diese Entwicklungen trüben den positiven Gesamteindruck für Deutschland. Zwischen 2003 und 2004 ist in Deutschland, bei den Publikationen stärker als bei den Patenten, jedoch wieder ein positiver Anstieg mit Zugewinnen bei den weltweiten Anteilen zu erkennen. Ob es sich dabei um einen dauerhaften Trend handelt, kann derzeit noch nicht beurteilt werden.

Der Standort Deutschland sieht sich nicht nur in einem immer härteren Innovationswettbewerb mit etablierten Ländern wie z. B. den USA und Japan, sondern viele aufstrebende Länder, vor allem aus Asien, dringen zunehmend in die bisherigen Spezialisierungsfelder der Industrienationen vor. Daher wurden Indien und China in die Untersuchungen einbezogen. Die international vergleichenden Untersuchungen zeigen für die wichtigsten IWBT-Konkurrenzländer folgendes Bild: Die USA haben sich ausgehend von einem sehr hohen Ausgangsniveau hinsichtlich wissenschaftlicher Publikationen und vor allem bei den Patenten im Betrachtungszeitraum stark unterdurchschnittlich entwickelt. Besonders die Patentrückgänge in den Jahren 2003 und 2004 sind erheblich, so sank z. B. der Anteil an den Patentanmeldungen von in der Regel über 50 % im Zeitraum 1995 bis 2002 auf unter 38 % in 2003 und etwa 24 % in 2004. Dieser Einbruch zeigt, dass der oben erwähnte Börseneffekt in den USA besonders ausgeprägt war. Es bleibt abzuwarten, ob es zu einem dauerhaften relativen Bedeutungsverlust der USA als Forschungsstandort im Bereich der IWBT kommt oder es sich nur um eine kurze Schwächephase der USA handelt.

Am dynamischsten ist die Entwicklung in Japan, dessen Anteil an den weltweiten Patentanmeldungen sich von etwa 16 % 1995 auf rund 28 % 2004 erhöhte. Der Anteil Japans am weltweiten IWBT-Publikationsaufkommen stieg ebenfalls von über 6 % im Jahr 1995 auf knapp unter 10 % 2004. Dies ist z. T. auf verstärkte Forschungsaktivitäten insgesamt zurückzuführen, es zeigt sich aber auch eine vergleichsweise höhere Spezialisierung Japans in der IWBT im Vergleich zu Deutschland oder den USA.

Die asiatischen Länder (ohne Japan) sind bislang nur bei den Publikationen in Erscheinung getreten, z. B. erreicht Indien im Zeitraum 1995 bis 2005 einen Anteil von ca. 5 % der weltweiten IWBT-Publikationen. Der „marktnähere“ Schritt zur Patentanmeldung ist jedoch nur in geringem Maße gelungen; der Anteil Indiens und Chinas in Summe liegt bei lediglich rund 3 %, wobei Indien nur rund 1 % auf sich vereinen kann. Von einem Aufholprozess als FuE-Standort in der IWBT kann daher für diese Länder (noch) nicht gesprochen werden. Allerdings ist hier zu erwähnen, dass bei den sonstigen Ländern außerhalb der USA, Japan und Europa ein deutlicher Anstieg seit 2002 zu erkennen ist; der Anteil dieser Länder ist von 2 % 2002 auf über 14 % 2004 angestiegen.¹⁰

Die Qualität der Grundlagenforschung ist als ähnlich gut zu bewerten wie in den führenden Konkurrenzländern USA und Japan. Die hohe Qualität der Forschung in außer-universitären FuE-Instituten ist hier ebenso positiv hervorzuheben wie die Qualität in einzelnen IWBT-Teildisziplinen wie z. B. Mikro-/Molekularbiologie, Fermentertechnologien, Chemie, Ingenieurwissenschaften, Pflanzengenetik sowie umfassende Erfahrungen in der industriellen Umsetzung biotechnologischer Produktionsverfahren. Insgesamt existiert in Deutschland eine gut ausdifferenzierte wissenschaftliche IWBT-Forschungsinfrastruktur. Ein Vorteil der USA ist vor allem in der deutlich höheren Quantität der IWBT-Forschungsprojekte zu sehen.

Gute Verfügbarkeit Personal

Die Erforschung, Entwicklung, Anwendung und Vermarktung der IWBT-Prozesse, Produkte und Dienstleistungen stellen besondere und zum Teil neue Anforderungen an die Arbeitskräfte. Dies lenkt den Blick zum einen auf die quantitative Verfügbarkeit qualifizierter Arbeitskräfte und zum anderen auf die Passfähigkeit der Qualifikationsprofile zu den Anforderungen. Obgleich es vor allem bei Wissenschaftlern und Akademikern vereinzelt leichte Engpässe gibt, ist die Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal im Bereich der IWBT in Deutschland insgesamt als sehr günstig einzuschätzen (vgl. Kap. 2.1, 2.2.2.6 und Kap. 4), sowohl bei den Akademikern/Wissenschaftlern als auch beim technischen Personal (z. B. CTA). Das hoch qualifizierte Personal kann im internationalen Vergleich als Standortvorteil Deutschlands gesehen werden. Als Vorteil für die IWBT erweist sich vor allem die sehr gute Basis an Ingenieurwissenschaftlern in Deutschland (z. B. in den IWBT-relevanten Bereichen Steuer-, Mess-, Regelungstechnik sowie Maschinen- und Anlagenbau), die für eine Integration der IWBT in neue Prozesse hilfreich ist.

¹⁰ Da es sich hier um eine Residualgröße handelt, konnten keine genaueren länderspezifischen Analysen durchgeführt werden.

Allerdings ist in einigen IWBT-Bereichen eine zu geringe Passfähigkeit zwischen benötigter und angebotener Qualifikation zu erkennen. Vor allem ein unzureichender industrie relevanter Bezug der Ausbildungsinhalte sowie eine fehlende Interdisziplinarität können hier als Hemmnisse genannt werden. Ursachen hierfür dürften in einer zu geringen Anzahl an Lehrstühlen mit entsprechendem Lehrangebot liegen. In einigen anwendungsnahen und industrie relevanten Bereichen (z. B. Bioverfahrenstechnik) sowie auch bei qualifiziertem Personal mit umfangreichen Branchenkenntnissen und Praxiserfahrungen gibt es Engpässe an qualifizierten Arbeitskräften. Einiges deutet auch darauf hin, dass bestimmte interdisziplinäre Ausbildungsinhalte oft vernachlässigt werden (z. B. Verbindung von Chemie und Biotechnologie durch Vermittlung biotechnischer Methoden im Bereich technische Chemie oder Lebensmitteltechnologie sowie die Schnittstelle zwischen biologischer FuE und Prozesstechnologie). Zu beachten ist hierbei, dass eine zunehmende Interdisziplinarität in den Ausbildungsinhalten nicht zu Lasten der Tiefe der fachspezifischen Basisausbildung gehen darf, da man in der industriellen Praxis nicht nur Generalisten, sondern auch ausreichend Spezialisten benötigt. Bei der Vermittlung der Methoden, Potenziale und Grenzen von „Nachbardisziplinen“ sollte man sich deshalb nur auf das „Wichtigste“ beschränken, so dass die „Sprache der Nachbardisziplinen verstanden werden kann. Die erforderliche Interdisziplinarität kann man dann in der täglichen Praxis beispielsweise (vor allem bei großen Unternehmen und FuE-Instituten) auch über die richtige Teamzusammensetzung in interdisziplinären Forschungsprojekten erreichen.

Gute Forschungsförderung in wichtigen Forschungs-/ Technologiebereichen

Die Qualität der öffentlichen IWBT-Forschungsförderung in Deutschland ist vor allem in den Forschungs- und Technologiebereichen Screening nach neuen Enzymen und Mikroorganismen, Mikrobielle Genomik, Bioinformatik, Metabolic Engineering/Modellierung und Enzymdesign und -optimierung als hoch zu bewerten (vgl. Kap. 2.2.2.5, 5.3.1).

In diesem Urteil spiegelt sich wider, dass in den letzten Jahren u. a. im Förderkonzept „Nachhaltige Bioproduktion“ IWBT-relevante Forschungsprojekte oder im Rahmen des GenoMik-Förderprogramms die Genomforschung industriell relevanter Mikroorganismen durch das BMBF gefördert wurden. Diese Förderung wird von den IWBT-Akteuren als notwendig, finanziell gut ausgestattet und zeitlich passend eingeschätzt. Eine Fortführung dieser Förderung wird für erforderlich gehalten, um aufgebaute Strukturen zu erhalten und weiterzuentwickeln. Dies ist zwischenzeitlich mit aktuellen (anlaufenden) Fördermaßnahmen (z. B. GenoMik-Plus, BioIndustrie 2021, Industrieverbund Mikrobielle Genomforschung, Systems Biology of Microorganisms) erfolgt.

Die bisherige Fokussierung auf genombasierte Ansätze und Fragestellungen ist künftig um Aspekte der Auswahl und Aufbereitung von Rohstoffen sowie der Bioverfahrenstechnik und des Downstream Processing zu erweitern, um diese bislang wenig berücksichtigten Bereich zu stärken und der zunehmenden Anwendungsreife der IWBT Rechnung zu tragen. Zum anderen wird gerade in den weniger forschungsintensiven Anwenderbranchen der Lebensmittel-, Textil- und Papierindustrie eine „Finanzierungslücke“ konstatiert, und zwar für die Phase, in der die Ergebnisse erfolgreicher Forschungsprojekte, in denen die Anwendbarkeit im industriellen Kontext exemplarisch gezeigt wurde, in die routinemäßige Anwendung überführt bzw. die über das getestete Beispiel hinausgehenden Anwendungsmöglichkeiten ausgelotet werden müssen. Hierfür sind häufig noch relativ umfangreiche Entwicklungsarbeiten und Tests zu leisten, die in der Regel nicht mehr von der Forschungseinrichtung durchgeführt werden, jedoch vom Industriepartner, meist einem KMU, oftmals wegen begrenzter Ressourcen ebenfalls nicht geleistet werden. Wirtschaftliche Potenziale bleiben dann ungenutzt. Hier sollte geprüft, welche Finanzierungsmodelle geeignet sind, um derartige Finanzierungslücken zu schließen.

Wettbewerbsfähige industrielle Basis, Marktgröße und Zugang zu Exportmärkten

Es ist im Vergleich zu Konkurrenzländern als eine Stärke von Deutschland einzuschätzen, dass in allen wichtigen IWBT-Anwenderindustrien, d. h. vor allem der Chemie-, Pharma- und Lebensmittelindustrie eine breite industrielle Basis vorhanden ist, die IWBT-Forschung und Innovationen induzieren und nachfragen kann. Zudem ist die internationale Wettbewerbsfähigkeit dieser Anwenderbranchen wie z. B. der Chemiebranche in der Regel als gut bzw. in manchen Marktsegmenten sogar als hoch einzustufen (vgl. Kap. 3.3.2). Es existieren damit große inländische IWBT-Anwendermärkte und ein etablierter Zugang der Unternehmen zu allen großen Exportmärkten. Zudem liegen differenzierte Unternehmensstrukturen mit multinational tätigen Unternehmen in wichtigen IWBT-Anwenderindustrien und IWBT-Zulieferersektoren (z. B. Mess-, Steuerungs-, Regelungstechnik und Maschinen-/Anlagenbau) sowie jungen Technologieunternehmen in allen Biotechnologiebereichen (vgl. Kap. 2.4.2.4) vor, was die Nutzung von Synergieeffekten ermöglicht (z. B. zwischen grauer und weißer bzw. roter und weißer Biotechnologie).

Guter Wissenstransfer und gute Vernetzung der Innovationsakteure

Die industrielle, weiße Biotechnologie erfordert einerseits in den FuE- und Produktionsprozessen eine neue zunehmend interdisziplinäre technologische Wissensbasis, die sich aus dem synergistischen Zusammenwirken von Biologie, Chemie und Ingenieurwissenschaften speist. Um z. B. IWBT-Verfahren in den industriellen Produktions-

prozessen einzusetzen, ist u. a. ein umfassendes Know-how in den Bereichen Bio- und Enzymtechnik sowie der Bioprozesstechnik erforderlich. Zudem ändern sich die erforderlichen Kompetenzen entlang der Wertschöpfungskette, die in der IWBT häufig zahlreiche Stufen umfasst. Die Nähe zur Wissensbasis ist somit für die IWBT-Unternehmen von großer Bedeutung. Ein solches umfassendes technologisches Wissen kann in der Regel nicht von einzelnen Akteuren vorgehalten werden. Vielmehr ist das Wissen bezüglich der verschiedenen IWBT-Einzeltechnologien über viele Wissenschafts- und Industrie-Akteure verteilt und muss daher zusammengeführt und entlang der Wertschöpfungskette organisiert werden. Zudem ist, wie in Abschnitt 0.2 bereits beschrieben, ein beträchtlicher Teil der IWBT-Anwendungsmöglichkeiten branchenübergreifend. Neue Funktionalitäten und Eigenschaften von Produkten (z. B. biologische Abbaubarkeit) können für mehrere Anwenderbranchen von großem Interesse sein. Dies stellt besondere Herausforderungen, sich das erforderliche branchenspezifische Know-how hinsichtlich der IWBT-relevanten Marktstrukturen, Markterfordernisse und Kundenbedürfnisse verfügbar zu machen.

Produkt- und Prozessentwicklung im Bereich der IWBT sollte daher akteursübergreifend alle relevante Stufen der Wertschöpfungskette integrieren, und gegebenenfalls auch branchenübergreifend erfolgen. Dies erfordert eine intensive Vernetzung der IWBT-Akteure: Die IWBT-Unternehmen müssen in erheblichem Maße auf externes, vor allem technologisches Wissen (u. a. aus Hochschulen, FuE-Instituten und jungen Hochtechnologieunternehmen), aber auch IWBT-spezifisches Marktwissen zurückgreifen. Ein effizienter Wissensfluss und Technologietransfer zwischen Wissenschaftsakteuren untereinander und zwischen Wissenschaft und Wirtschaft und damit eine effiziente Einbindung der IWBT-Innovationsakteure in leistungsstarke IWBT-Innovationsnetzwerke ist daher essenziell für den Innovationserfolg einzelner Akteure.

Im Vergleich zu anderen Technologiefeldern scheint die Abstimmung und Kooperation zwischen verschiedenen Akteursgruppen (z. B. Wissenschaft/Wirtschaft) in der IWBT bereits sehr intensiv betrieben zu werden, wobei auch auf etablierte Strukturen und Netzwerke zurückgegriffen werden kann. Hierzu zählen beispielsweise: EuropaBio-Aktivitäten zur Weißen Biotechnologie (EuropaBio 2003), SusChem, DECHEMA, DBU-Fördermaßnahmen als Foren für internationale und nationale Abstimmungsprozesse oder der Industrieverbund Mikrobielle Genomforschung.

Dies betrifft allerdings vor allem die Chemiebranche und mit ihr kooperierende Forschungseinrichtungen, die gut organisiert und über vielfältige Beziehungen miteinander vernetzt sind. Für andere Anwenderbranchen (Lebensmittel, Textil, Papier) sind solche Foren und Netzwerke nicht in vergleichbarem Maße etabliert.

Um zu untersuchen, wie gut die deutschen IWBT-Akteure im Bereich der Vernetzung aufgestellt sind, wurden in dieser vorliegenden Studie umfangreiche Kooperationsanalysen durchgeführt. Die Ergebnisse zeichnen folgendes Bild:

Regional konzentrieren sich die Kooperationen in 2001-2005, aktuell und in den nächsten 5 Jahren stark auf Deutschland und Europa (vgl. Kap. 2.6.2.4). Die USA und der asiatische Raum spielen derzeit und zukünftig eine untergeordnete Rolle als Kooperationsoption. Da die Chemiebranche als Haupttreiber der IWBT von der Historie sehr stark in Deutschland und Europa vertreten ist, ist die starke Konzentration auf diesen regionalen Raum nicht überraschend und auch nicht als problematisch einzuschätzen.

Ogleich es noch Verbesserungspotenziale in den Kooperationsbeziehungen der IWBT-Innovationsakteure gibt (z. B. Verzahnung von Grundlagen- und angewandter Forschung, Vernetzung zwischen Großunternehmen), scheint die Vernetzung der IWBT-Akteure bereits in 2006 insgesamt recht gut zu funktionieren (vgl. Kap. 2.1, 2.3.2, 2.6.2.2, 2.6.2.3). Zudem gewinnen alle Arten an Kooperationen entlang der gesamten IWBT-Wertschöpfungskette (Methoden/ Technologieentwicklung – Prozessentwicklung – Produkt(neu)entwicklung – Produktion – Vermarktung/Vertrieb/Service) in den nächsten Jahren an Bedeutung. Die Ergebnisse zeichnen folgendes Bild:

- *Vernetzung FuE-Einrichtungen*: Der Wissensfluss zwischen öffentlichen FuE-Institutionen scheint am Standort Deutschland gut zu funktionieren. Einerseits sind andere Universitäten, Fachhochschulen und sonstige höhere Bildungseinrichtungen sowie Konferenzen und Kongresse für FuE-Einrichtungen wichtige Informationsquellen für neue oder zur Umsetzung laufender IWBT-Innovationsprojekte. Andererseits kooperieren die FuE-Institutionen in 2006 häufig miteinander und die Bedeutung der Kooperationen zwischen öffentlichen FuE-Institutionen wird in den nächsten Jahren noch zunehmen. Dies stellt eine gute Basis für den Wissenstransfer dar.
- *Vernetzung Wissenschaft und Wirtschaft*: Für die Unternehmen sind Universitäten, Fachhochschulen sowie sonstige höhere Bildungseinrichtungen sehr wichtige IWBT-Informationsquellen für neue oder zur Umsetzung laufender IWBT-Innovationsprojekte. Die öffentlichen Forschungseinrichtungen sind aktuell und zukünftig in ein großes Kooperationsnetzwerk, sowohl mit anderen FuE-Einrichtungen als auch mit Großunternehmen und KMU, eingebettet. Der Fokus bei den Kooperationen der FuE-Einrichtungen liegt aktuell und zukünftig sowohl in der Methoden-/ Technologieentwicklung als auch in der Prozess- und Produktentwicklung. Die Großunternehmen, die zwar selten kooperieren, kooperieren meist mit öffentlichen FuE-Institutionen und die Bedeutung der Kooperationen zwischen Großunternehmen bzw. KMU und öffentlichen FuE-Institutionen wird in den nächsten Jahren weiter zunehmen. Die Basis für den Wissensfluss zwischen öffentlicher und industrieller FuE am Standort Deutschland scheint damit gegeben zu sein.
- *Vernetzungsaktivitäten KMU mit anderen KMU*: Kleine und mittelständische Unter-

nehmen (KMU) kooperieren bereits in 2006 häufig mit anderen KMU. Zudem beabsichtigen die KMU, ihre Kooperationsaktivitäten mit anderen Akteuren (insb. anderen KMU) in den nächsten Jahren weiter zu intensivieren. Der Fokus bei den KMU-Kooperationen liegt in 2006 im Bereich der Methoden-/Technologieentwicklung. In den nächsten fünf Jahren gewinnen vor allem Kooperationen im Bereich Produktentwicklung sowie Vermarktung/Vertrieb/Service an Bedeutung. Dies deutet darauf hin, dass die KMU derzeit „noch technologische Hindernisse aus dem Weg räumen müssen“, bevor die Marktpotenziale ausgeschöpft werden können.

- *Vernetzung Wirtschaft und Nachfrageseite*: Die Auftraggeber und Kunden sind sowohl für die Großunternehmen als auch für die KMU eine wichtige externe Informationsquelle für neue oder zur Umsetzung laufender IWBT-Innovationsprojekte. Dies deutet darauf hin, dass das Wissen und die Erfahrungen der Nachfrageseite (im IWBT-Bereich sind dies vor allem Industriekunden und weniger private Endkonsumenten) sowie deren Bedürfnisse bereits in frühen Phasen in den IWBT-Innovationsprozess integriert werden, was positiv zu bewerten ist.

Chancen am IWBT-Standort

Die technologische Wissensbasis ist im Technikfeld IWBT von zentraler Bedeutung für die Erzielung von internationalen Wettbewerbsvorteilen. Ausgehend von dem großen technologischen Wissenspool, vor allem beim ökonomisch verwertbaren Wissen (insb. IWBT-Patente), hat der Standort Deutschland gute Chancen, in der IWBT zukünftig im internationalen Wettbewerb eine zentrale Rolle zu spielen. Dazu ist es erforderlich, auf der Angebotsseite die starke technologische Wissensbasis weiter auszubauen und die aktuell vorhandene Forschungsinfrastruktur bei den IWBT-Unternehmen, deren Ausstatter und den öffentlichen Universitäten/FuE-Einrichtungen nachhaltig weiterzuentwickeln. Hierbei können die langjährigen Erfahrungen in der Biotechnologie-Förderpolitik (z. B. BioChance) ebenso genutzt werden wie Erfahrungen im Bereich der Cluster-/Netzwerk-Politikinstrumente (z. B. im Rahmen des Förderprogramms InnoRegio, das den Aufbau sich selbst tragender Innovationsnetzwerke zum Ziel hat). Hierbei sollten die bereits existierenden Kooperationsbeziehungen in Cluster/Netzwerken qualitativ weiter verbessert werden, um die Netzwerk-/ Clusterpotenziale auszuschöpfen. Entsprechende Handlungsempfehlungen (z. B. Passfähigkeit zu unternehmerischen Innovationsstrategien und regionalen Technologieprofilen weiter erhöhen, Evaluationsprozesse mit Qualitätszielen institutionalisieren) werden in Abschnitt 0.4 erläutert.

Zudem sollte der Aufbau erforderlicher IWBT-Kompetenzen in den wichtigen Anwenderindustrien Chemie, Pharma, Lebensmittel und Landwirtschaft, aber auch in den weiter nachgelagerten Anwenderindustrien (z. B. Textil-, Leder-, Papierindustrie) verstärkt werden. Hierzu sollten u. a. die zukünftig an Bedeutung gewinnenden interdisziplinären Ausbildungsinhalte (u. a. Biochemie, Bioverfahrenstechnik, Bioinformatik,

Biophysik) in den Studiengängen gestärkt werden, die für die Anwenderbranchen von hoher Relevanz sind. Die Voraussetzungen hierfür sind grundsätzlich gegeben, da alle IWBT-relevanten Fachgebiete (insb. Biologie, Chemie, Verfahrenstechnik, Maschinenbau, Physik, Informatik, Mess- und Regelungstechnik) an deutschen Universitäten, Fachhochschulen und FuE-Instituten vertreten sind.

Das Ausmaß der Verbraucherakzeptanz ist stark an die verschiedenen Anwenderbranchen gebunden. Bis auf die Gentechnologie im Bereich der Lebensmittel und Landwirtschaft scheint die Verbraucherakzeptanz in der IWBT meist kein Innovationshemmnis darzustellen (vgl. Kap. 2.1, 2.7.1.3 und 4.1). Ebenso wie im Gesundheits- und Medizinbereich ist die öffentliche Akzeptanz beim Einsatz der Biotechnologie in industriellen Produktionsprozessen in der Regel gegeben. Ein Grund hierfür dürfte auch sein, dass ein Großteil der IWBT-Methoden, -Prozesse, -Produkte und -Dienstleistungen industrielle Zwischenprodukte sind, deren Nachfrager industrielle Kunden aus anderen Wirtschaftsbranchen sind, die wiederum vor allem „kosten- und qualitätsgesteuert“ sind.

0.3.2 Innovationshemmnisse am IWBT-Standort Deutschland

Die Schwächen und Risiken, die innovationshemmend wirken, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Anwendungsorientierung der Forschung

Die Ergebnisse der Patentanalysen, die die Entwicklungen der angewandten Forschung und technischen bzw. experimentellen Entwicklung nachzeichnen, ergeben grundsätzlich ein positives Bild. Allerdings scheinen im Bereich der angewandten Forschung einige Innovationshemmnisse zu existieren, die die Weiterentwicklung und Umsetzung aussichtsreicher Ideen in international wettbewerbsfähige Prozesse, Produkte und Dienstleistungen und damit die IWBT-Kommerzialisierungspotenziale zukünftig behindern könnten. Hier sind einerseits das geringe Volumen an verfügbarem Risikokapital und die geringe Gründungsdynamik in Deutschland im internationalen Vergleich zu nennen (vgl. Kap. 2.1, 2.4.2.4). Andererseits deutet einiges darauf hin, dass es z. B. im Vergleich zu den USA in Deutschland nicht genügend Wissenschaftler in der Hochschulforschung bzw. in öffentlichen Forschungseinrichtungen gibt, die an industrierelevanten IWBT-Fragestellungen arbeiten. Darüber hinaus sind viele anwendungsorientierte Forschungsfragen – u. a. aus den IWBT-Technologie-/Forschungsbereichen Rohstoffauswahl und -aufbereitung, Fermentationsprozesse, Downstream Processing und Produkt- und Anwendungsentwicklung – nicht ausreichend in der öffentlichen Forschungsförderung verankert. Dies sind anwendungsorientierte Technologiebereiche, die für die Implementierung industrieller IWBT-Produktionsprozesse von

sehr großer Bedeutung sind, da sie die Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich zu konkurrierenden nicht-IWBT-Prozessen/-Produkten entscheidend mitbestimmen.

Demonstrationsanlagen und Pilotprojekten

Unsicherheiten sowohl bei privaten als auch industriellen Kunden (z. B. über Sicherheit, Funktionsfähigkeit, Qualität und Kosteneffizienz von Innovationen) sind oftmals ein zentraler hemmender Faktor im Adoptionsprozess neuer Technologien. Erfolgreiche Demonstrations- und Pilotprojekte, die die Erprobbarkeit neuer Technologien, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen ermöglichen und die technologische Machbarkeit und u. U. ökonomische Effizienz aufzeigen, können diese Unsicherheiten reduzieren und zu einer nationalen und internationalen Diffusion von Innovationen beitragen. Zudem können durch die Einbindung der (industriellen) Nachfrager in den Demonstrationsprozess die Probleme und Anpassungsbedarfe sowie weiterführende Anregungen als Impulse für das künftige Angebot von den Nachfragern direkt an die (Technologie)Anbieter zurückgekoppelt werden. Die Untersuchungen deuten im Bereich der IWBT auf eine zu geringe Anzahl solcher Demonstrationsanlagen und Pilotprojekte in Deutschland hin, was die Diffusion der IWBT behindern könnte (vgl. Kap. 2.1).

Geringe Risiko- und Investitionsbereitschaft in der Breite

Obgleich es positive Beispiele gibt, deutet einiges darauf hin, dass bei den deutschen privatwirtschaftlichen Akteuren (z. B. Unternehmen, VC-Geber) im Vergleich zu ihren ausländischen Konkurrenten eine hohe Risiko- und Investitionsbereitschaft in der erforderlichen Breite öfters fehlt (vgl. Kap. 2.1 und 4.2). Die Folgen sind facettenreich und äußern sich u. a. in einer im internationalen Vergleich geringeren industriellen FuE-Dynamik, einem „risikoärmeren“ Produktportfolio und/oder einer geringen Bereitschaft zur Adoption neuer IWBT-Technologien bei Anwenderunternehmen sowie einem geringen Angebot an IWBT-Risikokapital in Frühphasen (insb. Seed- und Start-up-Kapital). Dadurch ergibt sich öfters eine „Lücke“, wenn es um die Überführung von im Prinzip funktionierenden neuen IWBT-Verfahren in die „industrielle Routine“ geht.

Rechtliche Rahmenbedingungen

Hinsichtlich der rechtlichen Rahmenbedingungen ergibt sich kein einheitliches Bild; vielmehr hängt die Bewertung stark vom jeweiligen IWBT-Anwendungsfeld ab. Dennoch deutet einiges darauf hin, dass die hohe Komplexität durch eine Vielzahl an relevanten nationalen, europäischen und internationalen Gesetzen/Vorschriften und deren mangelnde Passfähigkeit zueinander (z. B. Heterogenität der Regelungen innerhalb der Europäischen Union) sowie eine hohe Regelungsdichte innerhalb einzelner Gesetzesbereiche sowie bürokratische Verwaltungsprozesse häufig innovationshemmend

wirken. Zudem macht den Akteuren häufig eine uneinheitliche Umsetzung von Gesetzesvorschriften (z. B. bei der Zulassung von Produktionsanlagen) in den verschiedenen Bundesländern zu schaffen. Darüber hinaus wirken in einigen IWBT-Marktsegmenten die im internationalen Vergleich (z. B. zu den USA oder Brasilien) hohen Kosten für nachwachsende Rohstoffe, die entscheidend durch EU-Agrarpolitik beeinflusst werden, hemmend. Dies ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass die Rohstoffkosten in der IWBT oft einen erheblichen Kostenanteil an den Gesamtproduktkosten ausmachen.

Risiken am IWBT-Standort Deutschland

Zukünftige Engpässe beim qualifizierten Personal: Hinsichtlich der Nachfrage nach und dem Angebot an qualifizierten Arbeitskräften zeigen sich folgende Trends (vgl. Kap. 3.6.2): Zwischen 1975 und 2004 hat sich die Erwerbstätigenzahl mit Fach-/Hochschulabschluss fast verdreifacht. Vieles spricht dafür, dass sich dieser Trend der Wissensintensivierung auch in der Zukunft fortsetzen wird. Die zukünftige Arbeitsnachfrage nach qualifiziertem Personal wird daher in Zukunft, vor allen in den forschungs- und wissensintensiven Branchen (z. B. Pharma- und Chemieindustrie), weiter stark steigen. Die bereits existierenden Personalengpässe beim hoch qualifizierten Personal, vor allem bei Naturwissenschaftlern und Ingenieuren, werden sich zukünftig voraussichtlich verschärfen, da das Angebot (u. a. auf Grund sinkender Studienabsolventen in relevanten IWBT-Fächern zwischen 1996 und 2001¹¹ sowie einer große Anzahl an älteren Naturwissenschaftlern und Ingenieuren, die bis 2015 aus dem Berufsleben ausscheiden werden) zum Teil deutlich hinter der steigenden Arbeitsnachfrage aus Industrie und Wissenschaft hinterherhinkt. Von dieser Entwicklung wird die Biotechnologie insgesamt, aber vor allem auch die IWBT betroffen sein, sowohl im Kernbereich als auch in den Anwenderbranchen, da auf Grund der Nähe zu industriellen Prozessen in der IWBT besonders ingenieurstechnisches Know-how gefragt ist (vgl. Kap. 3.6.2 und 4.1). Kann der steigende Personalbedarf nach qualifiziertem Personal künftig nicht gedeckt werden, bleiben Wachstums- und Beschäftigungspotenziale in der IWBT ungenutzt.

Zu wenig koordinierte IWBT-Innovationspolitik: Die Untersuchungsergebnisse (vgl. Kap. 2.1, 4 und 6) zeigen eine zu geringe Verzahnung und unzureichende Koordination von Politikressorts (insb. BMBF, BMELV, BMU) und der Politikmaßnahmen. In der Förderung zeigen sich eine z. T. hemmende Fragmentierung, überlappende Verantwortlichkeiten und eine fehlende Bündelung und Koordination der FuE-Fördertöpfe. Zudem scheint das Vorgehen von Politik, Wissenschaft und Wirtschaft häufig national

¹¹ Z. B. sank die Zahl der Hochschulabsolventen in den Ingenieurwissenschaften von 50.000 1996 auf 34.400 2001 und im Maschinenbau von 21.100 auf 10.900 (vgl. Kap. 3.6.2).

und international auf EU-Ebene nicht aufeinander abgestimmt zu sein, nicht zuletzt auf Grund einer fehlenden nationalen IWBT-Strategie in Deutschland, die von allen IWBT-Innovationsakteuren getragen wird. In diesem Kontext deutet manches darauf hin, dass die politischen IWBT-Entscheidungsprozesse in der EU im Vergleich zu Konkurrenzländern (z. B. USA, Asien) oft zu langsam ablaufen.

Vernetzungsaktivitäten Großunternehmen: Derzeit führen Großunternehmen vor allem im Bereich der Methoden-, Technologie- und Produktentwicklung Kooperationen durch, zukünftig gewinnt auch die Prozessentwicklung an Bedeutung (vgl. 2.6.2.2). Dies deutet darauf hin, dass auch die Großunternehmen in einigen Bereichen noch „technologische Probleme aus dem Weg räumen müssen“, bevor die IWBT-Marktpotenziale ausgeschöpft werden können. Obgleich Kooperationen für die IWBT-Großunternehmen eine hohe Bedeutung haben, kooperieren sie eher selten (vgl. 2.6.2.3). Wenn Kooperationen durchgeführt werden, dann in der Regel mit öffentlichen FuE-Einrichtungen und weniger mit anderen Unternehmen. Dies könnte sich im internationalen Wettbewerb zukünftig als Innovationshemmnis erweisen. Ausländische Großunternehmen scheinen stärker miteinander zu kooperieren als ihre deutschen Wettbewerber; dadurch erreichen sie oftmals eine kritische Masse und können zudem die hohen FuE-Risiken auf mehrere Schultern aufteilen sowie z. T. branchenübergreifend verschiedene Anwenderbranchen bedienen. Die deutschen Großunternehmen scheinen dieses „Problem“ erkannt zu haben. Für den Zeitraum 2006-2010 sind steigende Kooperationsaktivitäten vor allem mit anderen Großunternehmen, aber auch mit KMU geplant.

Vernetzung KMU mit FuE-Einrichtungen: KMU kooperieren meist mit anderen KMU, jedoch selten mit Großunternehmen und öffentlichen FuE-Einrichtungen (vgl. 2.6.2.3). Letzteres ist forschungspolitisch als sehr bedenklich anzusehen. Die Ausführungen in Abschnitt 0.3.1 zur Vernetzung von IWBT-Innovationsakteuren haben gezeigt, dass IWBT-Unternehmen und hier vor allem die KMU (u. a. auf Grund beschränkter finanzieller und personeller Kapazitäten) in erheblichem Maße auf externes technologisches IWBT-Wissen, u. a. aus Hochschulen und FuE-Instituten, angewiesen sind, da sie selbst die erforderlichen FuE-Kapazitäten nicht alleine vorhalten können. Gerade für IWBT-KMU sind daher FuE-Kooperationen mit öffentlichen FuE-Einrichtungen eine Option, dauerhaft ihre internationale technologische Wettbewerbsfähigkeit zu stärken. Diese Chancen werden aber bislang unzureichend von den KMU genutzt.

Pfadabhängigkeiten: Technologische Pfadabhängigkeiten sowie ein starker internationaler Preiswettbewerb in wichtigen IWBT-Anwenderindustrien behindern häufig einen Technologiewechsel, der mit hohen Anfangsinvestitionen verbunden ist (vgl. Kap. 4.2). Vor allem in den industriellen Produktionsprozessen, insbesondere in der Chemieindustrie, wirken gewachsene sehr kapitalintensive Verbundstrukturen einem Wechsel

zur IWBT entgegen. Im Lebensmittel- und Landwirtschaftssektor engen die internationale Preiskonkurrenz die finanziellen Spielräume für FuE ein, zudem fehlt häufig das biotechnologische Know-how in den weniger forschungsintensiven Anwenderbranchen, der für einen Technologiewechsel unabdingbar ist.

Innovationsbarrieren: Die Untersuchungen zeigen weitere innovationshemmende Faktoren, die IWBT-Investitionen „verzögern bzw. behindern“ und damit die Umsetzung von IWBT-Wissen in international marktfähige IWBT-Prozesse, -Produkte und -Dienstleistungen verlangsamen (vgl. Kap. 2.4.2): Für alle IWBT-Akteure (Großunternehmen, KMU, FuE-Einrichtungen) wirken vor allem die hohen Innovationskosten (z. B. neue Anlagen, Mitarbeiterqualifizierung) und das hohe wirtschaftliche Risiko, gefolgt von den fehlenden Marktinformationen (z. B. Nachfragevolumen) und einer aktuell kostengünstige Produktion (da alte nicht-IWBT-Anlagen abgeschrieben sind) sowie die hohen Anpassungskosten bei nachgelagerten (Industrie-) Kunden (z. B. neue Anlagen, Prozesse) besonders innovationshemmend. Bei den KMU und FuE-Einrichtungen kommt zudem ein Mangel an unternehmensinternen und -externen Finanzierungsquellen als zentrales Innovationshemmnis hinzu. Darüber hinaus wird die geringe Verfügbarkeit von Risikokapital (insb. für die Frühphasen-Finanzierung) als ein Wettbewerbsnachteil am IWBT-Standort Deutschland angesehen.

0.4 Handlungsempfehlungen zur Stärkung des IWBT-Innovationsstandortes

Der in der vorliegenden Studie gewählte Ansatz der Innovationssystem-Analyse legt nahe, dass punktuell ansetzende Maßnahmen zu kurz greifen. Vielmehr erscheint es notwendig, alle relevanten angebots- und nachfrageseitigen Faktoren sowie deren Vernetzung entlang der gesamten IWBT-Wertschöpfungskette adäquat zu berücksichtigen. Die Handlungsempfehlungen zur dauerhaften Stärkung des IWBT-Standortes Deutschland lassen sich daher wie folgt zusammenfassen (vgl. Kap. 6).

Koordinierte IWBT-Innovationspolitik

Damit Politikinstrumente im Bereich der IWBT zum gewünschten Erfolg führen, sollte sich die Politik zukünftig stärker an nachfolgenden Erfolgskriterien orientieren (vgl. Kap. 6). Diese „übergeordneten“ Kriterien sind öfters nicht IWBT-spezifisch, sondern auch auf andere Technikfelder übertragbar.

Die Ausführungen in Abschnitt 0.3 haben gezeigt, dass in einem IWBT-Innovationssystem verschiedene Politikbereiche Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Systems haben. Daher sollten die Politikinstrumente nicht punktuell, sondern entlang der gesamten IWBT-Wertschöpfungskette ansetzen; d. h. integrierte Ansätze, die Forschung,

Entwicklung, Produktion, Vermarktung und Entsorgung umfassen, sollten zukünftig stärker Anwendung finden. Da die Rohstoffkosten einen zentralen Kostenblock in der IWBT-Wertschöpfungskette darstellen, sollten Politikmaßnahmen (z. B. im Bereich Agrarpolitik) so ausgerichtet sein, dass sie eine stabile Verfügbarkeit wichtiger Rohstoffe (z. B. Zucker als Fermentationsrohstoff) in ausreichender Qualität zu international gehandelten Weltmarktpreisen langfristig sichern.

Dies impliziert, dass die IWBT-Politikmaßnahmen zukünftig noch stärker verzahnt und regional/national, europaweit und zum Teil auch international besser aufeinander abgestimmt werden sollten, um so die Passfähigkeit zu erhöhen. Dies impliziert u. a. eine stärkere Verzahnung verschiedener Politikressorts (insb. BMBF, BMELV, BMWi, BMU) im Bereich der Technologie-/Forschungs-, Bildungs-, Wirtschafts- und Verbraucherpolitik. Die IWBT-Politikmaßnahmen sollten bewusst die bereits existierenden IWBT-Stärken (u. a. ingenieurwissenschaftliches Know-how in Verfahrenstechnik) weiter stärken und existierende Lücken (u. a. im Bereich Downstream Processing) beseitigen, was die Erhebung und regelmäßige Fortschreibung regionaler bzw. nationaler Kompetenz- und Technologieprofile und ihr Messen an internationalen Standards (IWBT-Benchmarking) voraussetzt.

FuE-Zyklen in der IWBT erfordern oft hohe Anfangsinvestitionen in den Aufbau einer unternehmensinternen Infrastruktur und der erforderlichen IWBT-Kompetenzen, die sich oftmals über mehrere Jahre vollziehen. Langfristige Verlässlichkeit und Vorhersehbarkeit der Rahmenbedingungen sind für Wissenschafts- und Industrieakteure in der IWBT daher essenziell. Entscheidend ist daher eine hohe Transparenz und Stabilität der rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen.

Dabei sollten bei der Festlegung von (langfristig orientierten) IWBT-Politikzielen, -prioritäten und -strategien alle relevanten Stakeholder (u. a. aus Wissenschaft und Industrie) frühzeitig eingebunden werden, um ein politisch verbindliches, mittelfristig orientiertes „IWBT-Leitkonzept“ zu entwickeln, das von allen IWBT-Akteuren gemeinsam getragen wird. Dieses Leitkonzept sollte nicht nur im nationalen, sondern auch im ausländischen Raum kommuniziert werden mit entsprechender Breitenwirkung, um Sichtbarkeit für in- und ausländische Investoren zu entfalten.

Der Erfolg der IWBT-Politikmaßnahmen sollte an ausgewählten (in einem diskursiven Prozess festgelegten) quantitativen Zielvorgaben gemessen werden. Ein Beispiel hierfür könnte die Festlegung von Werten zur Erreichung gesellschaftlicher und politischer Ziele sein, z. B. durch Einbindung der IWBT in die Klima- und Energiepolitik. Hierzu müssten realistische Ziele hinsichtlich des Beitrages der IWBT für diese gesellschaftliche Probleme formuliert werden (u. a. „Reduktion des CO₂-Ausstoß durch IWBT um

X %“). Durch Evaluationen, Soll/Ist-Vergleiche und Identifizierung von Good-Practice-Beispielen können Lernprozesse angestoßen werden.

Bei den mit IWBT-Politikmaßnahmen verknüpften Verwaltungsprozessen sollten unnötige Prozessschritte beseitigt und erforderliche Prozessschritte besser verzahnt werden und sich stärker an den Kundenbedarfen der Wissenschafts- und Industrieakteure orientieren (z. B. einheitliche Umsetzung von Gesetzesvorschriften zu Produktionsanlagen in allen Bundesländern, Umsetzung der „One-Stop-Shop“-Idee zur Erhöhung der Serviceorientierung öffentlicher Institutionen). Zudem sollte bei öffentlichen Fördermaßnahmen der Prozess von der Antragstellung bis zum Projektbeginn beschleunigt werden (z. B. durch persönliche Vorstellung von Projektskizzen und Projekten durch Antragsteller und eine schnelle Bewilligung und Bereitstellung der Finanzmittel).

Technologische Wissensbasis: Zukünftige technologische Herausforderungen und konkreter Forschungsbedarf

Obwohl bereits zahlreiche wissenschaftlich-technologische Durchbrüche erzielt und Methoden entwickelt wurden, die die Voraussetzungen für den Einsatz biotechnischer Verfahren in der industriellen Produktion entscheidend verbessert haben, müssen diese Methoden und Verfahren auch zukünftig konsequent weiterentwickelt und für eine breite Anwendung in der industriellen Praxis angepasst werden (vgl. Kap. 2.2.2.2). Zu den technologischen Herausforderungen gehören z. B. die bislang eingeschränkte Einsatzmöglichkeit enzymatischer Verfahren, die Erhöhung der Raum-Zeit-Ausbeuten, die Erschließung kostengünstiger Substrate (z. B. lignocellulosehaltige Biomasse), das Up-scaling, der Umgang mit hohem Abwasseraufkommen, die Effizienz der Aufarbeitungs- und Aufreinigungsverfahren (Downstream Processing), aufwändige vorbereitende und nachbereitende Verfahrensschritte sowie eine systematische und frühzeitige Einbindung der Biotechnologie in die Entwicklung industrieller Produktionsverfahren sowie die optimale Integration in die bestehende chemische Produktion.

Daher besteht zukünftig dahingehend Forschungsbedarf, Organismen und Enzyme im Hinblick auf ihre Anwendung in industriellen Produktionsprozessen weiterhin zu optimieren (vgl. Kap. 5.1). Hierzu zählen branchenübergreifend¹² vor allem die

- Steigerung der katalytischen Aktivität der Organismen bzw. Optimierung der katalytischen Eigenschaften der Enzyme (z. B. Erhöhung der Raum/Zeit-Ausbeute, Veränderung der Substratspezifität und Enantioselektivität, Einsatz von Enzymen auch in organischen Lösungsmitteln),

¹² Im Rahmen der Studie wurden auch branchenspezifische FuE-Bedarfe (vgl. Kap. 5.1) sowie der Forschungsbedarf in einzelnen Technologiebereichen identifiziert (vgl. Kap. 5.2).

- Erschließung von Enzymen, die andere als hydrolytische Reaktionen katalysieren; darunter insbesondere Reaktionen, die mit konventioneller Synthesechemie schwierig auszuführen sind wie z. B. C-C-Verknüpfungen oder Oxidations- und Reduktionsreaktionen (auch cofaktorabhängig), die neue chirale Zentren generieren. Darüber hinaus wären Enzyme wünschenswert, die nicht nur an C- oder O-Atomen angreifen, sondern auch an N- oder P-Atomen,
- Erschließung neuer „Standard-Produktionsorganismen“, hierfür insbesondere die Entwicklung eines organismenspezifischen molekularbiologischen Instrumentariums zur schnellen, gezielten Optimierung dieser Organismen,
- Steigerung der „Robustheit“ von Biokatalysatoren gegenüber den Extrembedingungen industrieller Produktionsverfahren und die Verringerung der Empfindlichkeit gegenüber schwankenden Einsatzbedingungen (z. B. Erweiterung der engen Temperatur- und pH-Grenzen, innerhalb derer Enzyme katalytisch aktiv sind, Erhöhung der Enzymstabilität unter Reaktions- und Lagerungsbedingungen, Verbesserung der Verlässlichkeit und Steuerbarkeit biotechnischer Verfahren; Verbreiterung des Spektrums nutzbarer Substrate),
- Vereinfachung und Optimierung der Abtrennung der Reaktionsprodukte,
- Senkung der Produktionskosten für industrielle Enzyme,
- Verstetigung der Verfügbarkeit von industriellen Enzymen,
- Beschleunigte Verfügbarkeit von Biokatalysatoren in der Frühphase der Prozessentwicklung, v. a. im Bereich der Prozessentwicklung für neue Feinchemikalien,
- Verbesserte Methoden und Werkzeuge, um in der Frühphase der Bioprozessentwicklung ein detailliertes Verständnis der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit des Verfahrens in Bezug auf geeignete Biokatalysatoren und deren Optimierungspotenzial, Produktausbeute, -qualität und Prozessstabilität zu erlangen.

Seit längerem sind Strategien und Technologien zur Bewältigung dieser Herausforderungen Gegenstand von Forschung und Entwicklung (vgl. Kap. 2.2.2.2). Zukünftiger Forschungsbedarf besteht vor allem darin (vgl. Kap. 2.2.2.2 und 5), zum einen die grundlegende Wissensbasis über mikrobielle Stoffwechselprozesse und deren Regulation mit Relevanz für industrielle Anwendungen und Produktionsbedingungen auf der Systemebene umfassend und quantitativ zu erweitern. Zudem sollte die Wissensbasis über Struktur-Funktionsbeziehungen bei Enzymen sowie die effiziente Produktion heterologer Proteine (Biosynthese, Faltung und Prozessierung, Sekretion) ausgebaut werden. Hierbei müssen auch die entsprechenden Methoden und Werkzeuge der Molekularbiologie und (funktionellen) Genomik, der Bioinformatik und der Bioprozesstechnik weiterentwickelt werden. Besonderes Augenmerk ist dabei auf die Vernetzung und Integration verschiedener Informationsquellen und Systemebenen zu legen und auf die Erweiterung der Möglichkeiten der In-silico-Modellierung und -Simulation, um die mög-

lichen Wirkungen gezielt vorgenommener Modifikationen von Stoffwechselwegen, Regulationsnetzwerken, Enzymstrukturen vorab besser abschätzen zu können.

Ziel sollte es auch sein, einen Entwicklungsprozess für neue Verfahren und Produkte zu etablieren, bei dem die Auswahl von Rohstoffen, die Auswahl und Optimierung geeigneter Biokatalysatoren und das Prozessdesign inkl. Produktaufarbeitung möglichst simultan, aufeinander abgestimmt und mit zahlreichen Feedbackschleifen erfolgen. Bei der Konzeption von Forschungsprojekten sollte auch stärker berücksichtigt werden, dass das angestrebte Produkt bzw. Verfahren für eine erfolgreiche Platzierung am Markt in der Regel eine Integration von z. T. sehr heterogenen Akteuren über verschiedene Stufen der – manchmal langen – IWBT-Wertschöpfungskette erfordert. Die frühzeitige Integration von Kundenbedürfnissen und -interessen in den Anwenderbranchen und Zielmärkten sowie die Berücksichtigung der Marktbedingungen, unter denen sie agieren, könnte dies wirksam unterstützen.

Technologische Wissensbasis: Strategie, FuE-Dynamik und Interdisziplinarität

IWBT-Strategie: Die schnelle Entwicklung und Umsetzung einer nationalen IWBT-Strategie (inkl. „Deutschland-Roadmap“), die Teilstrategien für einzelne IWBT-Technikfelder und IWBT-Anwenderbranchen enthält, sollte vorangetrieben werden. Hierbei sind Fragen zu klären wie z. B. Soll man bei der Rohstoffbasis wie in den USA stark auf Lignocellulose setzen oder eher auf eine breite Rohstoffbasis? In welchem Umfang soll man die Aktivitäten im Bereich Downstream Processing oder Bioraffineriekonzepte forcieren? Wie kann man die Ingenieurwissenschaften stärker in der IWBT-(Grundlagen)Forschung verankern (z. B. bei der DFG)? Welche interdisziplinären Ausbildungsinhalte (insb. Biochemie, Bioverfahrenstechnik, Bioinformatik, Biophysik, Bioprozesstechnik) sollte in welcher Weise gestärkt werden? Zur Klärung solcher Fragen sollten im Rahmen von Top-down- und Bottom-up-Prozessen alle relevanten IWBT-Innovationsakteure involviert werden. Die IWBT-Roadmaps und -Umsetzungspläne sollten Zielwerte zu wichtigen Parametern vorgeben (z. B. Kostenreduktionsvorgaben, Preisobergrenzen, Meilensteinen bzgl. der Umsetzung), so dass bei Abweichungen steuernd eingegriffen werden kann.

Auf Basis dieser Strategien und Roadmaps sollten dann für Deutschland bestimmte thematische/methodische FuE-Schwerpunkte in aussichtsreichen IWBT-Anwendungsfeldern identifiziert und nationale FuE-Strategien und Förderkonzepte erarbeitet werden. Die Förderung sollten zwischen den beteiligten Ministerien (BMBF, BMELV, BMU) und deren Projektträgern abgestimmt und gebündelt werden, wobei ein Abgleich mit internationalen Aktivitäten (z. B. EU-weite FuE-Programme, Technologieplattformen wie Suschem) erfolgen sollte, um die nationalen und europäischen Ressourcen zu

bündeln und Synergien auszuschöpfen. Im Zuge dieses Prozesses sollten bestehende Kompetenzüberschneidungen von Ministerien und Projektträgern beseitigt werden. Durch die Fokussierung sollte eine „kritische Masse“ aus Grundlagenforschung, angewandter Forschung und Industrieforschung zu ausgewählten IWBT-Themen erreicht werden.

Des Weiteren sollte eine Stärkung der angewandten Forschung erfolgen. Dies impliziert u. a., dass sich zukünftig mehr Wissenschaftler in der Hochschulforschung bzw. in öffentlichen Forschungseinrichtungen mit industrierelevanten IWBT-Fragestellungen beschäftigen. Hierbei sollten u. a. nicht so öffentlichkeitswirksame Themen bzw. „wenig attraktive“ Teilgebiete (z. B. industrielle Bioverfahrenstechnik, Downstream Processing), die für die weitere Entwicklung der industriellen, weißen Biotechnologie von großer Bedeutung sind, stärker als bislang gefördert werden. Beispielsweise könnte durch mehr Projektförderung in diesen Bereichen der wissenschaftliche Nachwuchs für diese Themen begeistert werden. Auch sollte die bereits existierende Vernetzung der öffentlichen Forschungslandschaft mit der Industrie weiter gestärkt werden (z. B. temporären Seitenwechsel von Wissenschaftlern und industriellen Forschern aktiver fördern). Zudem kann die Wissenschaft und Industrie bereits ex ante stärker als bislang bei der Entwicklung und Ausgestaltung des Designs geeigneter Förderprogramme integriert werden, um so die Effektivität und Umsetzungseffizienz öffentlicher Förderprogramme zu erhöhen. Allerdings sollte die Stärkung der Anwendungsorientierung nicht zu Lasten der Grundlagenforschung gehen, da es im Bereich der IWBT noch einige grundlegende technologische Probleme aus dem Weg zu räumen gilt.

FuE-Dynamik: Auf Grund der hohen FuE-Dynamik in vielen etablierten und aufstrebenden Konkurrenzländern ist die Intensivierung der FuE-Aktivitäten, auch im Bereich der IWBT, in Deutschland wichtig, um die inländische Leistungskraft der FuE zu stärken und bestehende technologische Wettbewerbsvorteile zu erhalten bzw. auszubauen. Hierbei sollten u. a. öffentliche IWBT-Fördermittel für die Realisierung risikobehafteter Demonstrations-/ (Pilot-)Projekte mit „Leuchtturmcharakter“ bereitgestellt werden (z. B. neuartige Reaktordesigns, Bioraffinerien, Gründung von Kompetenzzentren wie in Graz und Manchester, Herstellung von Bioethanol aus Lignocellulose, Verwendung ganzer Pflanzen zur Fermentation). Diese Leuchtturmprojekte sollten unter Beteiligung von Universitäten, öffentlichen außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie Industrie (wenn möglich und sinnvoll auch mit KMU-Beteiligung) durchgeführt werden.

Im Kontext der Finanzierungsfragen sollte auch die Sicherstellung der Finanzierung besonderer IWBT-spezifischer Kosten gewährleistet sein, u. a. zur Beschaffung von neuen Apparaten und Biochemikalien (oft der teuerste Sachmittelposten). Um die „besten Köpfe“ an deutschen Universitäten oder FuE-Einrichtungen zu halten, ist zudem

eine Flexibilisierung des öffentlichen Arbeits- und Dienstrechtes sinnvoll. Flexiblere Arbeitsverträge mit einer angemessenen und attraktiven Bezahlung sind hierbei ein wichtiger Bestandteil, auch um den erforderlichen Mittelbau an Universitäten in den IWBT-relevanten Bereichen zu stärken.

Interdisziplinarität: Hier sollte u. a. durch eine gezielte Förderung interdisziplinärer Forschungsprojekte die Interdisziplinarität gestärkt werden (z. B. Verknüpfung von Biotechnologie und Chemie, Vernetzung von Biologen, Biotechnologen und Verfahrenstechnikern, Naturstoffchemikern und organischen Chemikern, Stärkung mathematischer Prozessanalysen, Integration von Ingenieurwissenschaften wie z. B. Maschinenbau, Regeltechnik). Auch eine stärkere Interdisziplinarität der Ausbildungsgänge (u. a. Vermittlung von fundierten Grundkenntnissen über biotechnische Methoden in den Ausbildungsgängen innerhalb der Anwenderdisziplinen wie z. B. Lebensmitteltechnologie, Maschinenbau, technische Chemie) sollte gefördert werden. Dabei darf jedoch das Grundlagen-/Basiswissen „nicht vernachlässigt werden und der Interdisziplinarität zum Opfer fallen“, denn in der industriellen Praxis werden auch ausreichend Spezialisten benötigt. In diesem Kontext sollte stärker als bislang eine Anpassung von Hochschulstrukturen erfolgen, um z. B. eine bessere Verzahnung von biologischer Forschung (Naturwissenschaften) und Verfahrens- und Prozesstechnik (Ingenieurwissenschaften) zu erreichen (u. a. durch eigene Studiengänge wie z. B. Bioverfahrenstechniker oder durch eine stärkere Modularisierung von Ausbildungsinhalten und bessere Anrechenbarkeit von interdisziplinären Studienleistungen).

Wissens- und Technologietransfer

Gerade für die IWBT-Unternehmen ist eine starke Nähe zur Wissensbasis von Vorteil. Eine effiziente Ausgestaltung des Wissens- und Technologietransfers und ein effizienter Wissensfluss zwischen Wissenschaft und Wirtschaft sind daher für die IWBT von zentraler Bedeutung. Die Handlungsempfehlungen, die im Folgenden dargestellt werden, setzen vor allem an der Effizienz der Transferinfrastrukturen, der Personalmobilität und Gründungsdynamik an. Die im Rahmen der Studie identifizierten Transferhemmnisse sind oftmals nicht nur IWBT-spezifisch, sondern stellen meist eher generelle Probleme in Deutschland dar, die auch für andere Technikfelder gelten. Daher sind die Handlungsempfehlungen eher „genereller“ Natur.

Transferinfrastrukturen: Um die Effizienz und Wirksamkeit von Transferinfrastrukturen weiter zu steigern, sollten die im IWBT-Bereich aktiven wissenschaftsnahen, wirtschaftsnahen und eigenständigen Transferstellen sich zukünftig stärker als bislang an ihren Kernkompetenzen ausrichten und stärker spezialisieren. Dies impliziert einerseits eine Fokussierung auf eine Promotor-Funktion (z. B. Aufbau und Pflege von Kontak-

ten). Andererseits sollten sich Intermediäre in ihrer Funktion als Supporter auf den administrativen Bereich (z. B. Unterstützung bei Vertragsabschlüssen), die auf den Transfer ausgerichtete PR-Arbeit (z. B. themen- und zielgruppengerechte Aufbereitung von Informationen, Medienpräsenz) fokussieren und Anlaufstelle bei technologie-transfer-spezifischen Fragen zu IWBT-Förderprogrammen sein. Darüber hinaus sollte es spezialisierte Einrichtungen geben, die IWBT-Beratungsleistungen anbieten, die in der Breite nicht vorzuhaltende Spezialkenntnisse erfordern. Hierzu zählen z. B. Beratungsleistungen zu Patentschutz, technologischen Problemen, Qualifizierungsmaßnahmen. Im Zuge dieser zunehmenden Spezialisierung ist eine einrichtungsübergreifende Konzentration von Ressourcen anzustreben (z. B. IWBT-Transferstelle für mehrere FuE-Einrichtungen und Universitäten). Auch sollten sich einzelne IWBT-Transfer- und Verwertungseinrichtungen stärker vernetzen und Transferaktivitäten besser bündeln, und zwar unter regionalen (u. a. zum schnelleren und direkten Kontaktaufbau zwischen regionalen Innovationsakteuren und gemeinsamer Durchführung von Kontaktforen) und technologiespezifischen (u. a. für bundesweiten Zugriff auf technologiespezifische Unterstützungsangebote/Expertise anderer Intermediäre) Gesichtspunkten. Anzustreben wäre dabei, dass die IWBT-Akteure jeweils nur eine IWBT-Transferstelle als Anlaufstelle haben, diese Transferstelle sich dann über ihr Transfernetzwerk die erforderlichen Informationen einholt, und dadurch den IWBT-Akteuren einen „umfassenden Service aus einer Hand“ anbieten können.

Die Anforderungen an gute Transferstellenmitarbeiter im Bereich IWBT sind hoch, da sie z. B. technologische, wirtschaftliche und Managementkompetenzen vorweisen müssen. Eine Weiterqualifizierung der Transfermitarbeiter sowie die Rekrutierung erfahrener Experten sind daher erforderlich. Letzteres erfordert jedoch u. a. ein leistungsorientiertes Gehalt, um die Position als Transfermitarbeiter ausreichend attraktiv zu machen. Zudem sollten kontinuierliche Evaluationsprozesse als Instrument zur Qualitätssicherung und Identifizierung von Ansatzpunkten für Lernprozesse verankert werden.

Personalmobilität: Um die Personalmobilität zu erhöhen, sollten bestehende administrative Hürden, die einen zeitlich befristeten Personalaustausch zwischen öffentlichen FuE-Einrichtungen sowie öffentlichen und industriellen Akteuren behindern, abgebaut werden (z. B. durch Standardverträge, Mitnahme von Rentenansprüchen). Der temporäre Seitenwechsel (wie er auch in der Hightechstrategie der Bundesregierung thematisiert wird) sollte bei allen IWBT-Innovationsakteuren stärker als bislang aktiv gefördert werden. In der Industrie z. B. gibt es erfolgreiche Modelle, wo die Erfinder innerhalb eines Konzerns (zeitweise) mit ihrer erfolgversprechenden Idee in die Organisationseinheit wechseln, in der die Idee bis zur Serienreife weiterentwickelt wird. Gleiches

wäre z. B. auch denkbar zwischen Wissenschaft und Wirtschaft (vgl. hierzu nachfolgend die Ausführungen zum Science-to-Business-Ansatz).

Gründungsdynamik: Wenn neugegründete junge Technologieunternehmen scheitern, dann meist auf Grund unzureichender kaufmännischer Kenntnisse und Strategiekompetenz im Gründerteam, einer zu geringen Eigenkapitalausstattung, einer falschen Einschätzung des Finanzbedarfs, einer fehlenden Einbindung in Netzwerke oder einer falschen Beratung durch das Unterstützungsnetzwerk. Deshalb sollten die Handlungsoptionen im Gründungskontext hier ansetzen.

Bei der öffentlichen IWBT-Förderung sollte ein externes Gutachtergremium (aus Wissenschaft und Industrie) Businesspläne hinsichtlich der Markt- und Wettbewerbsfähigkeit des Geschäftsmodells (z. B. marktfähiges Alleinstellungsmerkmal) kritisch prüfen. Auch persönliche Gespräche zwischen Förderadministration, Gutachtergremium und Gründerteam sind hilfreich. Zudem sollten unerfahrene IWBT-Gründer durch erfahrene Experten bei der Entwicklung von Unternehmenskonzepten und Strategien (z. B. FuE-, Marketing- und Vertriebsstrategien), zumindest in den Startphasen, gecoacht werden.

Im privatwirtschaftlichen Bereich können integrative Science-to-Business-Ansätze (S2B), wie z. B. in der IWBT derzeit von Degussa praktiziert, zukünftig u. U. stärker als kommerziell ausgerichtete Entscheidungshilfe für Unternehmensgründungen dienen (vgl. Kap. 2.6.2.3). Hierbei wird die „Business-Tauglichkeit“ wissenschaftlicher Ideen hinterfragt und bei positivem Ergebnis gefördert. In Labors und Technika entwickeln industrielle Wissenschaftler, gemeinsam mit Hochschulen und FuE-Einrichtungen sowie industriellen Kooperationspartnern entlang der gesamten Wertschöpfungskette neue IWBT-Prozesse und -Produkte. Die externen nicht-industriellen Wissenschaftler werden dabei temporär in die Teams der industriellen Wissenschaftler integriert; dies ist ein Beispiel für den oben beschriebenen zeitlich befristeten Personalaustausch.

Auch die Verfügbarkeit von Kapital ist für den Gründungs- und Wachstumsprozess junger IWBT-Unternehmen wichtig. Viele Ideen werden häufig auf Grund mangelnder Finanzierung nicht umgesetzt. Bei der Gründungsförderung sollte der wettbewerbliche Ausleseprozess des Marktes nicht bzw. so wenig wie möglich gestört werden. Eine öffentliche IWBT-Gründungsförderung sollte daher nur dann erfolgen, wenn ein sinnvoller Finanzierungs-Mix aus verschiedenen privaten und öffentlichen Quellen (d. h. Fremd-, Eigenkapital und Cash Flow/Umsatz) vorliegt. Eine „großzügige“ (öffentliche) Gesamtfinanzierung, sollte möglichst vermieden werden, da sich „überfinanzierte“ Unternehmen häufig z. B. zu wenig am Markt orientieren und ein mangelndes Kostenbewusstsein entwickeln. Vor diesem Hintergrund ist eine degressive Ausgestaltung der

öffentlichen IWBT-Förderung zu bevorzugen, d. h. der staatliche Finanzierungsanteil sollte mit zunehmender Förderdauer abnehmen.

Eine gute Verfügbarkeit von (privatem) Venture Capital, insb. „Seed“- und „Start-Up-Capital“, ist zur Finanzierung angewandter Forschungsaktivitäten in IWBT-KMU wichtig. Eine bessere Aufklärung der privaten Risikokapitalgeber über Chancen und Risiken der industriellen, weißen Biotechnologie (z. B. gemeinsamer Workshop mit VC-Gebnern, Wissenschaft und IWBT-Unternehmen) sowie die Bekanntmachung von positiven Beispielen für erfolgreiche IWBT-Firmen-Start-ups in Kreisen der Risikokapitalgeber (z. B. über die Verbände VCI/DIB und DECHEMA) könnten hier unterstützend wirken. Dabei müssen den Risikokapitalgebern auch die bestehenden, essenziellen Unterschiede der Finanzierung und Geschäftsmodelle zwischen der roten Biotechnologie und der industriellen, weißen Biotechnologie vermittelt werden.

Im Gründungskontext sollten u. a. auch einfach strukturierte Gründerprogramme („One-Stop-Shop“-Gedanke), die es bereits gibt, für die IWBT umgesetzt werden, um IWBT-Unternehmensgründungen zu unterstützen. Auch die weitere nachhaltige Förderung einer generellen Gründungskultur (z. B. durch praxisorientierte Seminare zu Entrepreneurship in Ausbildung und im Studium) wirkt hier mittel- und langfristig unterstützend.

Nachfrage

Eine schnelle und breite Marktdurchdringung von Innovationen in neuen Technikfeldern wird meist durch bestehende Unsicherheiten auf der Kundenseite behindert. Im Falle der IWBT sind die Kunden vor allem im industriellen Umfeld in den Anwenderbranchen angesiedelt. Dennoch hat sich für einzelne Produktlinien (z. B. PLA) für eine Markterschließung über Nischen hinaus eine Integration von Akteuren über die gesamte Wertschöpfungskette bis hin zum Handel und Endverbraucher als erforderlich erwiesen. Um Unsicherheiten bei IWBT-Innovationen zu reduzieren, sind die Technologie anbietenden Forschungseinrichtungen und Unternehmen gefordert, an den Kompetenzen, Bedürfnissen und dem Nutzen der potenziellen industriellen Kunden orientierte Informationen bereitzustellen. Flankierend können hier Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen wirken, die die Ankoppelungskompetenz der IWBT-Anwender erhöhen. Über Pilot- und Demonstrationsprojekte kann zudem die Erprobbarkeit neuer Technologien, Prozesse und Produkte im Bereich der IWBT geprüft werden. Solche Erprobungsanlagen werden durchaus bereits von einigen IWBT-Anbietern betrieben, die hier gemeinsam mit Nutzer-Unternehmen neue Anwendungen für konkrete industrielle Fragestellungen erproben und dadurch ausloten, inwieweit diese Anwendung über den Pilotanwender hinaus für die Erschließung breiterer Kundenkreise geeignet ist.

Andere Formen der Piloterprobung sind bereits existierende Joint Ventures zwischen IWBT-Anbieter und -Nachfrager, wodurch Technologie-Know-how und Kenntnis der Zielmärkte und Endkundenbedürfnisse synergistisch zusammengeführt werden. Da diese Anlagen jedoch in die jeweiligen Unternehmensstrategien eingebunden sind und daher nur ein bestimmtes Spektrum an Anwendungen abdecken, ist zu prüfen, inwieweit darüber hinausgehender Bedarf für eine stärkere öffentliche Unterstützung von Demonstrationsvorhaben/ Pilotanlagen in vorwettbewerblichen Bereichen, u. a. in risikoreichen oder hohe Anfangsinvestitionen erfordernden Gebieten (z. B. Integration von Einzeltechnologien in ein Gesamtkonzept) für die Forcierung der IWBT-Diffusion besteht. Dabei sollten die Demonstrationsvorhaben/Pilotanlagen in eine „deutsche IWBT-Strategie“ eingebettet sein. Internationale Beispiele können hier als Vorbild dienen.

Das BIO-WISE-Programm in Großbritannien beispielsweise verknüpft mit einem breiten Instrumenten-Mix die beiden Stellhebel Information und Demonstration/Erprobung miteinander (vgl. Kap. 4.2). Durch Newsletter, Branchenführer, kostenlose Publikationen und Telefon-Hotlines, interaktive Webseiten, Veranstaltung von Seminaren und Workshops sowie die kostenlose Vor-Ort-Beratung von KMU durch unabhängige Experten, die auch konkrete Hilfestellung leisten, werden die verschiedenen Informationsbedürfnisse der (potenziellen) Nutzer bedient. Bei den Demonstrationsprojekten erproben Nutzer-Unternehmen aus verschiedenen Industriesektoren gemeinsam mit (Bio-)Technologiezulieferern die Anwendung für konkrete industrielle Fragestellungen. Durch die Einbindung sowohl der Technologieanbieter als auch der (industriellen) Nachfrager werden Probleme und Anpassungsbedarfe als Impulse für das künftige Angebot direkt an die IWBT-Anbieter zurückgekoppelt. Die Teilnehmer verpflichten sich, die Projektergebnisse und Erfahrungen auf der BIO-WISE-Webseite zu veröffentlichen. Das Internet als Informationsmedium führt zu einem breiten Bekanntheitsgrad unter dem anvisierten Publikum. Dadurch kann die nationale und internationale Diffusion der IWBT forciert werden.

Vor allem für KMU und in bestimmten Marktsegmenten (z. B. Fein- und Spezialchemikalien, Enzyme) ist eine schnelle Markteinführung innovativer IWBT-Prozesse/Produkte von großer Bedeutung, um auf dem jeweiligen Markt einen Wettbewerbsvorteil zu erzielen. Zudem sollten sich die zum Teil hohen FuE-Kosten zeitnah amortisieren können. In diesem Kontext sollten die Zulassungsverfahren bei Produktionsanlagen optimiert und beschleunigt werden (z. B. durch bundesweit einheitliche Umsetzung der gesetzlichen Anforderungen durch die zuständigen Behörden). Zudem können Regulierungen gezielt genutzt werden, um die Markteinführung innovativer Produkte zu erleichtern (z. B. Steuerbefreiungen für Biokraftstoffe, verbesserte Abschreibungen und Investitionsbeihilfen für Produktionsanlagen, Beseitigung von regulatorischen Hemmnissen für bestimmte – erwünschte – Produkteigenschaften wie z. B. biologische Ab-

baubarkeit von Kunststoffen). Zu beachten ist hierbei, dass bei Subventionen stets die Gefahr von Mitnahmeeffekten besteht oder aber dass Anreize zu kosteneffizienten Technologieweiterentwicklungen nicht gesetzt werden. Letztendlich muss sich jede Innovation nach einer bestimmten Zeit unter Wettbewerbsbedingungen am freien Markt rechnen. IWBT-Subventionen sollten daher nur in einer ersten Phase eingesetzt werden (um so Anreize für Startinvestitionen und eine initiale Nachfrage zu setzen) sowie zeitlich befristet und degressiv ausgestaltet sein, so dass frühzeitig ausreichende Anreize zu kosteneffizienten Technologieweiterentwicklungen gesetzt werden.

Die deutschen IWBT-Innovationsakteure sollten gemeinsam Strategien und ein abgestimmtes Set an Maßnahmen entwickeln, um Deutschland in bestimmten IWBT-Marktsegmenten als Vorreiter-Markt zu etablieren. Hierbei sollte man auf nationalen Stärken aufsetzen (z. B. starke wettbewerbsfähige Industriebranchen im Bereich Prozesstechnik für Industriekunden) und nationale Spezifika (z. B. hohes Umweltbewusstsein in der Bevölkerung) berücksichtigen.

Um das Interesse und das Ausmaß der öffentlichen Akzeptanz für die IWBT zu erhöhen, ist neben einer Verbraucheraufklärung durch die Medien auch die Wissenschaft selbst gefordert, neue Erkenntnisse zu Chancen und Risiken der IWBT in verständlicher und zielgruppenspezifischer Form der interessierten Öffentlichkeit proaktiv zugänglich zu machen. Hierbei könnten zukünftige Aktivitäten der Chemie-, Nahrungsmittel-, und Konsumgüterindustrie zusammen mit Gewerkschaften und Hochschulen/FuE-Einrichtungen und Nicht-Regierungsorganisationen gemeinsam durchgeführt werden, um so eine breitere Öffentlichkeit für das Thema IWBT zu erreichen. Hierbei sollten u. a. die Anwendungsmöglichkeiten der IWBT aufgezeigt werden sowie der Nutzen der IWBT für den Verbraucher im Alltag illustriert werden (z. B. neue Produkte mit neuen Funktionalitäten, Ressourcenschonung, Minderung Umweltbelastungen). So hat beispielsweise die DBU eine entsprechende Ausstellung konzipiert und eingerichtet. Die Informationsvermittlung sollte an den Informationsbedürfnissen und Fragen der Bürgerinnen und Bürger ansetzen. Allerdings liegen fundierte und repräsentative Studien zur Ermittlung der Einstellungen gegenüber der IWBT in der Bevölkerung bislang nicht vor. Da die Offenheit von Endverbrauchern gegenüber Innovationen mit dadurch beeinflusst wird, inwieweit ihren möglichen Bedenken und Besorgnissen proaktiv Rechnung getragen wird, sollten auch mögliche Risiken und nicht beabsichtigte Folgen der IWBT thematisiert und zudem auf Dialog ausgerichtete Formate (z. B. Runde Tische, proaktiver Dialog mit „kritischen“ NGOs) eingesetzt werden.

Vernetzung der IWBT-Akteure in Netzwerken und Clustern

Die Ergebnisse zeigen, dass die Vernetzung der IWBT-Innovationsakteure gut zu funktionieren scheint. Bei der Etablierung und Weiterentwicklung von IWBT-Clustern/Netzwerken sollte daher zukünftig weniger die Quantität von Netzwerken als vielmehr die Qualität und inhaltliche Ausrichtung im Vordergrund der IWBT-Förderung stehen. Die Politik sollte bei der Cluster- und Netzwerkbildung koordinierend und unterstützend einwirken, und nicht steuernd.

Die Bildung weniger, aber dafür leistungsfähiger und international wettbewerbsfähiger Forschungscluster und IWBT-Kompetenzzentren (analog zu den IWBT-Kompetenzzentren in Graz und Manchester) sollte u. a. durch die Stärkung bereits existierender Cluster und Netzwerke forciert werden. Hier setzen z. B. aktuelle Fördermaßnahmen des BMBF wie BioIndustrie 2021 an, mit dessen Hilfe ein Cluster-Wettbewerb zur Entwicklung neuer Produkte und Verfahren in der industriellen Biotechnologie initiiert werden soll. Grundsätzlich sollte bei der Etablierung neuer und Weiterentwicklung bereits existierender Cluster/Netzwerke darauf geachtet werden, dass

- die (Weiter-)Entwicklungsstrategien der IWBT-Cluster/Netzwerke sowie die Förderung durch Bund und Länder in einen dynamischen Verbund mit Innovationsentscheidungen und -strategien führender multinational agierender IWBT-Unternehmen eingebunden sein sollten.
- die strategische Ausrichtung regionaler IWBT-Cluster den räumlichen Gegebenheiten Rechnung tragen und vor allem an vorhandene (technologische) IWBT-Stärken der IWBT-Innovationsakteure aus Wissenschaft und Industrie anknüpfen, diese bündeln und weiterentwickeln sollten. Hierbei ist die aktive Entwicklung und Umsetzung eines technologieorientiertes Regionalmarketing-Konzepts sinnvoll, das die regionalen technologiespezifischen IWBT-Kompetenzen verdeutlicht und die Region im In- und Ausland als innovativen Standort darstellt.
- eine Informations- und Erfahrungsweitergabe bereits durchgeführter IWBT-Aktivitäten bestehender Netzwerke und Cluster erfolgen sollte („das Rad nicht zweimal erfinden“).
- Qualifizierungsmaßnahmen (z. B. Aufbau von Netzwerkmanagement-Kompetenzen bei den IWBT-Clusterbeteiligten Akteuren, insb. bei den IWBT-KMU) sowie die explizite Aufnahme von Qualifizierungszielen in die Netzwerkziele vorangetrieben werden sollten.
- die Förderung von integrativen Ansätzen (Grundlagenforschung, angewandte Forschung und Industrieforschung) forciert werden sollte.
- kontinuierliche Evaluations- und Verbesserungsprozesse (u. a. auf Basis qualitativer und quantitativer Erfolgsgrößen) institutionalisiert werden sollten, wobei auf eine hohe Transparenz der Prozesse zu achten ist. Die Ergebnisse könnten eine Plattform

für Vergleiche und Lernprozesse bieten. Dadurch wird u. a. vermieden, dass (dauerhaft staatlich geförderte) »künstliche IWBT-Netzwerke« geschaffen werden.

Zudem ist vor allem darauf zu achten, dass auch die Transformation von technologiegetriebenen zu markt- und anwendungsorientierten Clustern gelingt. IWBT-Cluster/-Netzwerke sollten sich frühzeitig an der (potenziellen) nationalen und globalen IWBT-Nachfrage ausrichten, d. h. sie müssen rechtzeitig auf »Exportierbarkeit und Weltmarktfähigkeit getrimmt« werden und im weltweiten Vergleich tragfähige Strukturen entwickeln. Kriterien wie z. B. die Exportierbarkeit von IWBT-Prozessen und -Produkten könnten z. B. als Förderkriterium mit aufgenommen werden. Hierbei sollten vermehrt Foresight-Prozesse, Roadmap-Prozeduren, Technology Assessments und (internationale) Vergleichsstudien durchgeführt werden, um veränderte (globale) Markt-, Industrie- oder Technologietrends im Bereich der IWBT frühzeitig zu erfassen. Vor allem in reiferen Clustern/Netzwerken sollte die »Öffnung nach außen« und Internationalisierung vorangetrieben werden (u. a. die stärkere internationale Abstimmung mit existierenden IWBT-Clustern z. B. in Manchester und Graz, wissenschaftliche Kooperationen deutscher Universitäten/FuE-Einrichtungen mit internationalen Top-Instituten). Diese externen überregionalen und internationalen Kooperationen sind wichtig, um kontinuierlich ausreichend neue Impulse und Informationen (z. B. zu internationalen Markterschließungspotenzialen und globalen Technologietrends) zu erhalten und „Lock-in“-Effekte zu vermeiden.

Gerade bei den IWBT-KMU zeigen sich geringe Vernetzungsaktivitäten mit FuE-Einrichtungen. Deshalb erscheint eine Unterstützung von KMU bei der Vernetzung bzw. Einbindung in IWBT-Netzwerkstrukturen in Kombination mit FuE-Förderung sinnvoll. Ein wichtiges Erfolgskriterium ist, dass in den KMU kontinuierliche FuE-Prozesse etabliert werden, denn dies begünstigt die Verbreitung eines professionellen Innovationsmanagements und den Aufbau für FuE verantwortlicher organisatorischer Einheiten. Dadurch werden Ressourcen und Routinen etabliert, die systematisch Innovationsprozesse planen, steuern und unternehmensintern umfassend verankern. Hierdurch wird die technologische Absorptionsfähigkeit der KMU nachhaltig gestärkt. Dies ist die Voraussetzung dafür, erfolgreich FuE-Kooperationen durchzuführen, und damit eine gute Basis für die Integration in regionale Cluster und Netzwerke. Hier wäre zu überprüfen, inwieweit die vom BMBF Anfang 2007 eingeführte Forschungsprämie ein geeignetes indirektes Förderinstrument darstellt, um bei den KMU kontinuierliche FuE-Prozesse in Form von dauerhaften Kooperationen mit FuE-Instituten zu etablieren.

0.5 Gesamtfazit

Die Untersuchungen zu den aktuellen und zukünftigen Markt- und Beschäftigungspotenzialen haben gezeigt, dass es sich bei den IWBT-Anwendungsfeldern um dynamische Wachstumsmärkte mit dauerhaft stabilen Wachstumsraten handelt. Erhebliche Beschäftigungspotenziale in Höhe mehrerer Hunderttausend Beschäftigte ergeben sich zukünftig aus der Nutzung der IWBT in bedeutenden Anwenderbranchen wie der Chemie-, Pharma- und Lebensmittelindustrie. Die Analysen zu den Stärken, Schwächen, Risiken und Chancen des IWBT-Standortes Deutschlands haben gezeigt, dass Deutschland auf Grund einer starken technologischen Wissensbasis, gut ausgebildeten Arbeitskräften und seiner sehr starken international wettbewerbsfähigen Industriebasis große Potenziale besitzt, um im Bereich der industriellen, weißen Biotechnologie künftig im internationalen Wettbewerb eine zentrale Rolle zu spielen. Allerdings sind auch einige Schwächen und Risiken zu konstatieren (u. a. unzureichende Politikkoordination, fehlende Demonstrationsanlagen, geringe Investitionsbereitschaft in einigen Anwenderbranchen, zukünftige Engpässe beim qualifizierten Personal).

Will man den IWBT-Standort Deutschland dauerhaft international wettbewerbsfähiger machen, reichen punktuelle Maßnahmen nicht aus. Vielmehr ist ein »ganzheitlicher systemischer Ansatz« erforderlich, der alle relevanten angebots- und nachfrageseitigen Faktoren sowie deren Vernetzung entlang der gesamten IWBT-Wertschöpfungskette adäquat berücksichtigt und fördert. Nur durch gemeinsame und aufeinander abgestimmte Kraftanstrengungen aller IWBT-Akteure können die Innovations-, Wachstums- und Beschäftigungspotenziale der industriellen, weißen Biotechnologie am Standort Deutschland zukünftig voll ausgeschöpft werden.

1 Einleitung: Zielsetzung, Definition und Methodik

1.1 Zielsetzung

Deutschland ist ein wichtiger Standort für forschungs- und wissensintensive Branchen. Berichte zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands (BMBF 2005, 2006) zeigen, dass Unternehmen in Deutschland zunehmend in innovative Spitzentechnologien investieren. Dies ist erforderlich, damit sich ein hoch entwickeltes und rohstoffarmes Land wie Deutschland dauerhaft im internationalen Wettbewerb behaupten kann. Der industriellen, weißen Biotechnologie (IWBT) werden große Potenziale zur Entwicklung neuer oder verbesserter Produkte, Prozesse und Dienstleistungen zugesprochen. Dadurch können neue Märkte entstehen und die Wettbewerbsfähigkeit traditioneller Branchen gestärkt werden. Hierdurch können neue Arbeitsplätze geschaffen und bestehende gesichert werden. Nach Einschätzung von Experten steht die Realisierung der Potenziale der IWBT allerdings erst am Anfang ihrer Entwicklung.

Im Zuge des weltweiten Strebens nach nachhaltiger Entwicklung gewinnt die nachhaltige Gestaltung von Prozessen und Produkten in Industriebereichen wie z. B. der chemischen Industrie zunehmend an Bedeutung. Die Industrie bezieht dabei zunehmend auch biotechnologische Verfahren und die Nutzung nachwachsender Rohstoffe für die Energieträger- und Stoffproduktion in Betracht. Dabei wird der industriellen, weißen Biotechnologie das Potenzial zugemessen, einen wesentlichen Beitrag zur Bewältigung der folgenden Herausforderungen zu leisten:

- die Sicherung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen und europäischen Industrie (vor allem im Bereich der Chemischen Industrie) durch innovative, d. h. neue und verbesserte, Verfahren, Produkte und Technologieführerschaft,
- die Erschließung nachwachsender Rohstoffe bzw. Biomasse als erdölunabhängiges Ausgangsmaterial für die industrielle Produktion und die Erzeugung von Strom und Energie aus Biomasse oder biogenen Kraftstoffen („Biofuels“),
- die Verringerung von Umweltbelastungen durch die nachhaltige Gestaltung von industriellen Produktionsprozessen.

Um die Potenzial und die Chancen – unter Beachtung der Risiken – der IWBT zu nutzen, müssen bereits existierende Stärken am Standort Deutschland weiter ausgebaut und Innovationshemmnisse bzw. Schwächen abgebaut werden. Die vorliegende Studie soll ein wissenschaftlich fundiertes Gesamtbild der Innovations-, Wachstums- und Beschäftigungspotenziale der IWBT in Deutschland liefern sowie mögliche Handlungsfelder zur Stärkung des IWBT-Standortes Deutschland aufzeigen. Auf Basis der Ergebnisse kann ein intensiver Dialog zwischen Politik, Wirtschaft und Wissenschaft erfol-

gen, um den IWBT-Standort Deutschland durch gemeinsame Kraftanstrengungen aller beteiligten Akteure und geeignete Maßnahmen weiter nach vorne zu bringen.

Ziel des Projektes „Potenzialanalyse der industriellen, weißen Biotechnologie“ ist die Aufbereitung des Themenfeldes zur Generierung eines verlässlichen und differenzierten Gesamtbildes hinsichtlich der Innovations-, Wertschöpfungs-, Beschäftigungs- und Nachhaltigkeitspotenziale unter besonderer Berücksichtigung der technischen, ökonomischen, ökologischen, gesellschaftlichen sowie internationalen Dimensionen. Auf Basis dieser umfassenden und datengestützten Analyse möglicher Potenziale sowie der Analyse von Innovationshemmnissen und Innovationstreibern werden Handlungsempfehlungen für die verschiedenen Akteursgruppen (Industrie, Wissenschaft, Politik) abgeleitet. Daraus ergeben sich die folgenden Projektinhalte mit den entsprechenden zentralen Fragestellungen:

- **Status-quo-Analyse:** Welche Prozess- und Produktinnovationen der industriellen, weißen Biotechnologie werden in welchem Umfang bereits heute in der industriellen Praxis in welchen Branchen und Anwendungsfeldern eingesetzt?
- **Potentialanalyse:** Welche Prozess- und Produktinnovationen der IWBT sind derzeit anwendungsnah bzw. -reif, werden aber (noch) nicht in der industriellen Praxis genutzt? Welches Marktpotenzial ergibt sich hieraus in den verschiedenen Branchen und Anwendungsfeldern? Welche technologischen Herausforderungen und Entwicklungen sind erkennbar? Welche Nachhaltigkeits- und Gefährdungspotenziale bergen verschiedene Anwendungen der IWBT?
- **Analyse der Innovationstreiber und Innovationshemmnisse im internationalen Kontext:** Aus welchen Gründen werden Prozess- und Produktinnovationen der IWBT eingeführt bzw. sind (noch) nicht eingeführt worden? Wie ist der aktuelle Stand der Wissenschaft hinsichtlich Forschung und Entwicklung (FuE) im internationalen Vergleich zu bewerten? Wie effizient ist der Wissens- und Technologietransfer zwischen öffentlicher und industrieller FuE ausgestaltet? Wie leistungsstark sind die deutschen IWBT-Akteure im internationalen Vergleich? Welche Akteure fehlen im „IWBT-Innovationssystem“ bzw. sind unzureichend auf nationaler und internationaler Ebene miteinander vernetzt? Welche Rahmenbedingungen politischer, rechtlicher oder gesellschaftlicher Natur (z. B. Chemikalienverordnung, Zuckermarktverordnung, Zustimmung/Ablehnung in der Gesellschaft) wirken innovationsfördernd bzw. innovationshemmend? Stehen ausreichend qualifizierte Arbeitskräfte für öffentliche und industrielle FuE-Prozesse derzeit und zukünftig zur Verfügung?
- **Entwicklung von Szenarien und modellbasierte Gesamtbewertung der IWBT-Beschäftigungseffekte:** Welche Wertschöpfungspotenziale hat die IWBT in Deutschland derzeit und zukünftig und welche Beschäftigungswirkungen ergeben sich daraus?
- **Ableitung von Handlungs- und Forschungsbedarf:** Welcher (branchenspezifische) Forschungsbedarf besteht derzeit und zukünftig und welche (akteurs-

spezifischen) Förderschwerpunkte und -maßnahmen sowie weiteren innovationspolitischen Initiativen erscheinen geeignet, um das Innovationspotenzial der IWBT in Deutschland voll auszuschöpfen?

1.2 Definition industrielle, weiße Biotechnologie

Für die vorliegende Studie wird folgende Definition der industriellen, weißen Biotechnologie (IWBT) zu Grunde gelegt:

Die industrielle, weiße Biotechnologie umfasst die **Nutzung biotechnologischer Verfahren in der industriellen Produktion**. Bei der industriellen, weißen Biotechnologie werden Biokomponenten zum Auf-, Um- oder Abbau von Substanzen in technischen Prozessen eingesetzt, die in entsprechenden industriellen Anlagen ablaufen. Dabei kommen Mikroorganismen (inkl. Hefen und Pilzen), Zellkulturen höherer Organismen (auch pflanzlichen), sowie subzellulären Komponenten, z. B. Enzyme zum Einsatz. Pflanzenproduktionssysteme („auf dem Acker“) zur Herstellung von Erzeugnissen zu industriellen Zwecken werden berücksichtigt. Ausgeschlossen sind Prozesse „auf dem Acker“ für Erzeugnisse des Nahrungsmittelbereichs, End-of-pipe-Behandlungsverfahren (Biofilter zur Geruchsentfernung, biologische Abwasserreinigung, biologische Abfallbehandlung, Bioremediation) und Bioleaching.

Relevante **Produktgruppen** sind u. a. Bulk-, Fein- und Spezialchemikalien, Werkstoffe und Polymere, Lebensmittel, Getränke und Lebensmittelzusatzstoffe, Futtermitteladditive, Agrarvorprodukte (z. B. Pestizidvorstufen), Pharmavorprodukte (z. B. chirale Vorstufen), Hilfsstoffe für verarbeitende Industrien (z. B. zur Entfettung), Bioanalytik, technische Enzyme und Bio-Energieträger wie Ethanol, Wasserstoff und Biogas sowie Nachwachsende Rohstoffe für die stoffliche und energetische Nutzung (nur sofern es sich um Kuppelprodukte handelt). Ausgeschlossen sind Pharmazeutika; Nachwachsende Rohstoffe für energetische Nutzung (falls keine Kuppelprodukte), Kompost und „Biobasierte Produkte“ (z. B. Polymere auf Biomassebasis bzw. biologisch abbaubar“, sofern ihre Verarbeitung/Herstellung keine Bioprozesse beinhaltet).

Einbezogen sind **Wirtschaftszweige**, die die oben aufgeführten Bioprozesse selbst in ihren Produktionsprozessen einsetzen. Dabei können sie die relevante Biokomponente selbst entwickeln oder zukaufen, ihr Produkt kann sowohl Zwischen- als auch Endprodukt sein. Dies trifft insbesondere auf folgende Sektoren zu: Chemie, Pharma, Papier/Zellstoff, Textil, Leder, Lebensmittel und Getränke, Metallverarbeitung, Elektronik, Energie (Bioethanol-, Biogas-, Bio-H₂-Herstellung). Außerdem sind Dienstleister für diese Sektoren einbezogen (FuE, Beratung, Finanzierung) sowie Zulieferer und Ausrüster (u. a. Anlagenbau und Messen, Steuern, Regeln (MSR)).

1.3 Innovationssystem-Ansatz

Die Innovationsforschung geht davon, dass Innovationen in einem Innovationssystem entstehen, an dem diverse Akteure in einem interaktiven, interdisziplinären und kollektiven Prozess beteiligt sind (u. a. Nelson und Wright 1993; Freeman 1988, Edquist 1997, Rothwell 1995, Kline 1985, Kline und Rosenberg 1986, Lundvall 1988 u. 1992, Malerba 2002, Salter und Martin 2001). In einem prosperierenden Innovationssystem sind die Teilsysteme untereinander gut vernetzt (u. a. Porter 1990, 1999): Nicht einzelne Teilsysteme und einzelne Akteure, sondern das Zusammenspiel und die Vernetzung leistungsstarker Teilsysteme und Akteure innerhalb des Innovationssystems entscheiden über die Realisierung zukünftiger Innovations- Wachstums- und Beschäftigungspotenziale. Um die Potenziale der IWBT zu bewerten, wurde daher als Ausgangspunkt ein Innovationssystem-Ansatz gewählt, der sich bereits in vielen Projekten für derartige Fragestellungen bewährt hat (u. a. Nusser und Gaisser 2005, Nusser und Hinze 2005, Reiss und Hinze 2004, Reiss et al. 2004a und b).

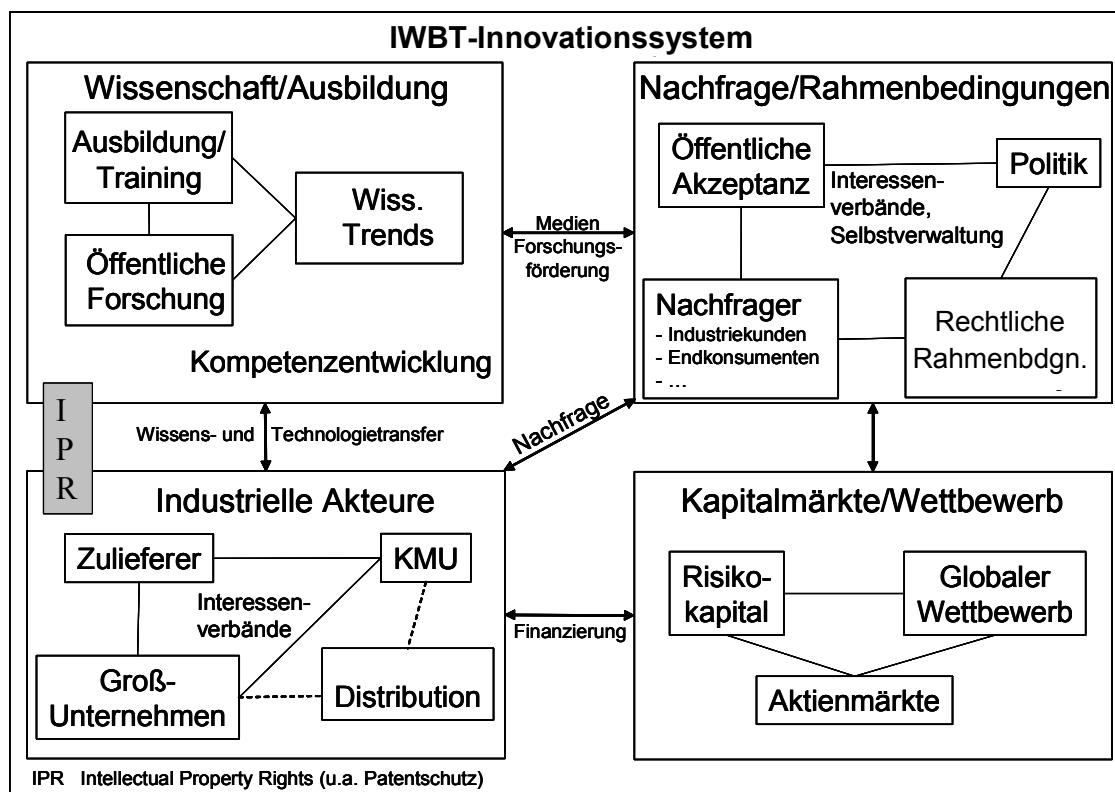
Zur Analyse der Akteure, ihrer Rollen und wichtiger Einflussfaktoren können, wie in Abbildung 1.1 dargestellt, vier Teilsysteme unterschieden werden (Senker et al. 2001):

- **Wissenschaft und Ausbildung:** u. a. Wissensbasis, Wissens-/Technologietransfer,
- **Industrielle Akteure:** u. a. industrielle FuE-Prozesse zur Umsetzung neuer Technologien und neuem Wissen in international wettbewerbsfähige Produkte,
- **Kapitalmärkte und Wettbewerb:** u. a. Verfügbarkeit von Risikokapital,
- **Nachfrage und Rahmenbedingungen:** u. a. Marktattraktivität (z. B. Marktvolumen/-dynamik), Rahmenbedingungen politischer und rechtlicher Natur.

Aus Innovationssystem-Perspektive wird zunächst die Entwicklung der Leistungskraft des IWBT-Innovationsstandortes Deutschland mittels geeigneter Innovationsindikatoren bewertet. Der Output eines Innovationssystems wird stark vom Zusammenspiel und der Vernetzung leistungsstarker Teilsysteme und deren Akteure beeinflusst. Daher werden an Hand geeigneter Input- und Prozessorientierter Kriterien die Systemmängel und Innovationshemmnisse des IWBT-Innovationssystems untersucht. Auf dieser Grundlage wird ein Maßnahmenkatalog zur Stärkung des IWBT -Innovationssystems abgeleitet. Im Projekt werden alle Stufen der Wertschöpfungskette, d. h. von der Forschung und Entwicklung, über die Produktion bis zur Vermarktung, untersucht.

Ziel dabei ist die Entwicklung einer „umfassenden Landkarte“ der wichtigsten innovationsfördernden und innovationshemmenden Standortfaktoren sowie der Handlungsfelder im Bereich der industriellen, weißen Biotechnologie in Deutschland. Die dadurch erzielte Transparenz kann als Plattform für weitere Gespräche und Maßnahmen aller Akteursgruppen dienen.

Abbildung 1.1: Faktoren und Netzwerke im IWBT-Innovationssystem



Quelle: Fraunhofer ISI in Anlehnung an Senker et al. 2001

1.4 Quellen und Methoden

Forderungen der verschiedenen Akteure bezüglich der Gestaltung eines Innovationssystems sind häufig geprägt von subjektiven Einschätzungen und tagesaktuellen Entwicklungen. Um im Projekt „Potenzialanalyse der industriellen, weißen Biotechnologie“ allgemein gültige Empfehlungen und Maßnahmen herausarbeiten zu können, wurde daher ein Methodenmix aus schriftlicher Befragung und Experteninterviews sowie einem Workshop mit Experten eingesetzt, der durch Auswertung der einschlägigen Fachliteratur um eine weitere „Außensicht“ ergänzt wurde (Tabelle 1.1). Jedes Instrumentarium spiegelt damit einen Ausschnitt aller möglichen Meinungen wider.

Auf Grund der ausgewogenen Akteursstruktur (u. a. Entwickler, Hersteller, Anwender; unterschiedliche Branchen; Wirtschaft und Wissenschaft) sowie des ausgewogenen Quellen- und Methoden-Mixes ergibt sich in der Summe daraus ein Gesamtbild, das die Bandbreite möglicher Potenziale, Handlungsfelder und Maßnahmen aufzeigt.

Tabelle 1.1: Charakterisierung der verwendeten Analyseinstrumente: Quellen- und Methoden-Mix

Methode	adressierter Akteurstyp	Art des Beitrags
Literaturoauswertung	alle Akteure im Spiegel der Wissenschaft	Wissenschaftlich basierte Analyse der Systemmängel aus „objektiver Außensicht“
Fragebogen	Anzahl versendeter Fragebögen n = 1237 Rücklaufquote: 15,5 % Gesamtrücklauf n = 192 - davon Rücklauf Akteure, die nicht in IWBT aktiv: n = 98 - Rücklauf Akteure, die in IWBT aktiv sind: n = 94, davon: Großunternehmen (n = 21) KMU (n= 36) Forschungseinrichtung (n= 37, davon 20 angewandte Forschung und 17 Grundlagenforschung)	Übersicht über IWBT-Innovationssystem aus Akteurs-sicht und Identifikation von innovationsfördernden und innovationshemmenden Standortfaktoren („subjektive Innensicht“)
Experteninterviews	Anzahl Interviews gesamt: n = 62 Großunternehmen (n = 23) KMU (n = 21) Forschungseinrichtung (n = 13) Sonstige (n = 5)	Übersicht über IWBT-Innovationssystem aus Akteurs-sicht und Identifikation von innovationsfördernden und innovationshemmenden Standortfaktoren („subjektive Innensicht“) Maßnahmenentwicklung und Einordnung der Maßnahmen in den Gesamtkontext des Innovationssystems
Workshop	Großunternehmen (n = 8) KMU (n = 4) Industrieverbände/Politik (n = 3) Forschungseinrichtungen (n = 7)	Diskussion der Projektz-wischenergebnisse Identifizierung Maßnahmen und Bewertung Maßnahmen-katalog
Bewertung Maßnahmenkatalog	Großunternehmen (n = 11) KMU (n = 5) Industrieverbände/Politik (n = 2) Forschungseinrichtungen (n = 7)	Identifizierung Maßnahmen und Bewertung Maßnahmen-katalog (Basis für Kapitel 6)

Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Insgesamt wurden 98 Fragebögen von Befragten zurückgeschickt, die angaben, nicht in der IWBT tätig zu sein. Die in diesem Falle im Fragebogen anschließende Frage hinsichtlich der Hemmnisse einer Unternehmenstätigkeit im Bereich der IWBT wurde von 48 Akteuren detailliert beantwortet. Als Haupthemmnisse für die IWBT-Aktivitäten

stellten sich neben der mangelnden Passfähigkeit zur strategischen Ausrichtung des Unternehmens vor allem die hohen Innovationskosten, ein fehlender Mehrwert der IWBT (u. a. gegenüber Konkurrenztechnologien) sowie mangelnde Technologie- und Marktinformationen heraus.

Durch die schriftliche Befragung und Experteninterviews wurden sehr viele der relevanten Akteure im Technikfeld IWBT erfasst. Die Liste der teilnehmenden Akteure befindet sich in Anhang A.3. Die Struktur des Samples dürfte damit weitestgehend repräsentativ sein. Im Folgenden soll dieses Sample näher beschrieben werden, da es Einblicke in die IWBT-Branchenstruktur gewährt (Tabellen 1.2, 1.3).

Über die Hälfte der Unternehmen sind auf mehr als einem Tätigkeitsfeld in der IWBT aktiv. Bei diesen mehrfach aktiven Unternehmen zeigen sich verschiedene Muster bei den Kombinationen der Tätigkeitsfelder, beispielsweise sind Entwickler häufig auch Hersteller. Die meisten Unternehmen und Forschungseinrichtungen waren bereits vor dem Jahr 2000 in der IWBT aktiv, seit 2004 (Zusatzkategorie die nicht in der Tabelle enthalten ist) kamen nur in geringem Maße neue Aktivitäten der Akteure hinzu.

Tabelle 1.2: Schriftliche Befragung: Tätigkeitsfelder der Unternehmen

Akteur	Insgesamt tätig *	davon: bereits vor 2000 tätig	davon: erst nach 2000 tätig
als Entwickler	47 %	75 %	25 %
als Hersteller (u. a. Produkte, Dienstleistungen, Anlagen)	58 %	68 %	32 %
als Ausstatter	12 %	80 %	20 %
als Anwender/Nutzer	51 %	68 %	32 %

Quelle: Fraunhofer ISI 2006 * Mehrfachnennungen möglich, daher Prozentwerte größer 100 %

Tabelle 1.3: Schriftliche Befragung: Tätigkeitsfelder der Forschungseinrichtungen

Akteur	Insgesamt tätig *	davon: bereits vor 2000 tätig	davon: erst nach 2000 tätig
als Entwickler	100 %	68 %	32 %
als Hersteller (u. a. Produkte, Dienstleistungen, Anlagen)	27 %	70 %	30 %
als Anwender/Nutzer	41 %	60 %	40 %

Quelle: Fraunhofer ISI 2006 * Mehrfachnennungen möglich, daher Prozentwerte größer 100 %

1.5 Instrumentarium zur Bewertung der Qualität des IWBT-Innovationsstandortes Deutschland

Ziel des Projektes ist es, ausgehend von einer systemischen Perspektive Handlungsempfehlungen zur Stärkung des IWBT-Innovationsstandortes Deutschland zu entwickeln. Eine Stärkung des Standortes soll dazu führen, dass nationale und internationale Unternehmen, die sich „zunehmend globaler aufstellen“, im Bereich der industriellen, weißen Biotechnologie verstärkt Ausgaben und Investitionen am Standort Deutschland tätigen. Dies hätte positive gesamtwirtschaftliche Impulse (u. a. mehr Innovationen, Wachstum und Beschäftigung), sowohl direkt in den relevanten IWBT-Branchen (z. B. der chemischen Industrie) als auch in deren vorgelagerten Wirtschaftsbranchen (z. B. Anlagen- und Maschinenbau) zur Folge.

In diesem Zusammenhang wurde in einem ersten Schritt insbesondere für forschungs- und wissensintensive Technikfelder und Branchen untersucht, welches erfolgskritische Standortfaktoren für Investitionsentscheidungen sind. Hierzu wurde die aktuelle Literatur zu *erfolgskritischen Faktoren für einen Innovationsstandort* untersucht (u. a. Nusser 2005, Kinkel 2004, Porter 1990, Beise 2002), ohne dabei einen direkten Bezug zur industriellen, weißen Biotechnologie herzustellen (Abbildung 1.2). Eine derartige „generische“ Systematik für forschungs- und wissensintensive Technikfelder und Branchen ist auch auf andere Technologiefelder (u. a. Nanotechnologie, Informations- und Kommunikationstechnologien) sowie forschungs- und wissensintensive Branchen (u. a. Chemie) übertragbar, um so die nationale Standortqualität hinsichtlich Forschung und Entwicklung sowie der Umsetzung der Erkenntnisse aus Forschung und Entwicklung in international wettbewerbsfähige Prozesse, Produkte und Dienstleistungen untersuchen zu können. Die wichtigsten *erfolgskritischen Faktoren für einen exzellenten Innovationsstandort im Sinne eines „Vorreitermarktes“ bzw. „Lead Markets“* lassen sich wie folgt zusammenfassen (u. a. Nusser und Gaisser 2005, Kinkel 2004, Reger et al. 1999, Gerybadze, Meyer-Krahmer, Reger 1997):

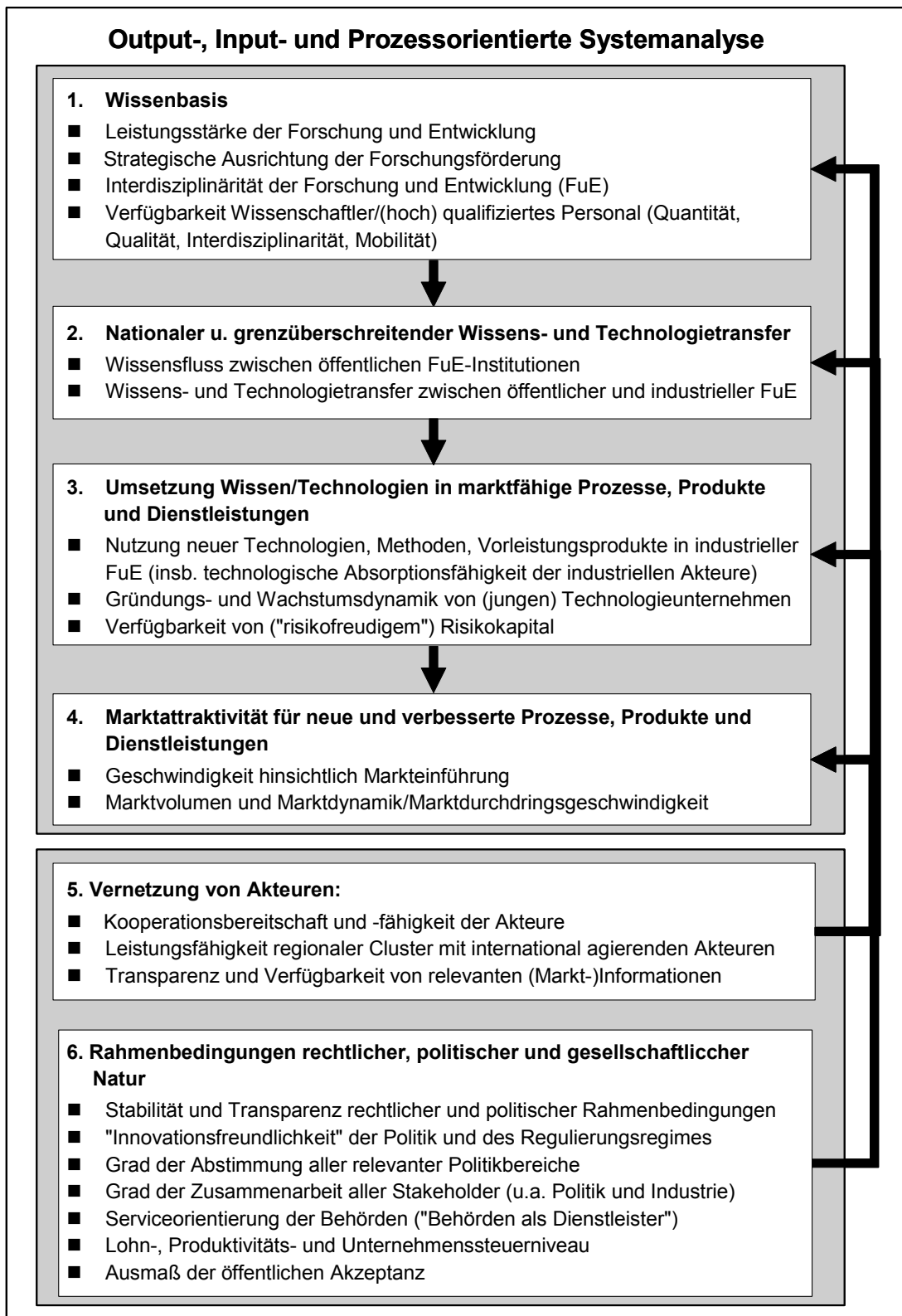
- Technologische Wissensbasis/Forschungsinfrastruktur“: u. a. wissenschaftliche Exzellenz und neuste Forschungsergebnisse; exzellente Universitäten, Forschungseinrichtungen und innovative, forschende Technologieunternehmen.
- Wissens- und Technologietransfer: u. a. hohe Kooperationsbereitschaft, hohe Kooperations- und Managementfähigkeiten sämtlicher Akteure; keine (bürokratischen) Barrieren zwischen verschiedenen Institutionen.
- „Netzwerkpotenziale“: u. a. Qualität von „gewachsenen Kooperationen bzw. funktionierenden Netzwerken“ und bereits realisierte Vorteile sowie noch vorhandene Möglichkeiten zur Ausweitung von regionalen/nationalen Netzwerkpotenzialen; Aufwand zum Ausbau bzw. (Neu-)Aufbau von Netzwerken an potenziellen neuen regionalen/nationalen/internationalen Standorten; enge Verzahnung von Forschung und Produktion bei forschungs- und wissensintensiven Prozessen und Produkten.

-
- Zulassung: u. a. Standards, die wegweisend für Zulassungen in anderen Ländern sind; hohe Transparenz der Zulassungskriterien; gute Zusammenarbeit mit den Zulassungsbehörden.
 - Nachfrage/Marktattraktivität: u. a. hohes Pro-Kopf-Einkommen sowie hohe Einkommens- und niedrige Preiselastizitäten; Nachfrage mit hohen Qualitätsansprüchen; Nachfrage mit großer Bereitschaft, Innovationen aufzunehmen (z. B. Innovationsneugier, hohe Technikoffenheit); hohe Marktdynamik, die rasche Lernprozesse bei den Anbietern begünstigt; funktionierendes System des Explorations-Marketing („Lead-User“-Prinzip); spezifischer, innovationstreibender Problemdruck (z. B. steigende Rohstoffpreise).
 - Offene, innovationsgerechte und -freundlich Regulierung und Politik.
 - Intensiver Wettbewerb.

Gängige Standortfaktorenlisten sind meist lange und unübersichtliche Aneinanderreihungen von potenziell in Frage kommenden Kriterien und sind daher häufig nicht ziel führend, weil beispielsweise meist die erforderlichen Informationen in der notwendigen Tiefe nicht eingeholt und bewertet werden können. Die 15-20 zentralen „erfolgskritischen Standortfaktoren“ können häufig mehr helfen (Kinkel 2004, für eine erfahrungsbasierte Auswahlhilfe zur Ableitung der erfolgskritischen Standortfaktoren). Daher wurde auf Basis der Erkenntnisse aus den Experteninterviews und der aktuellen IWBT-Literatur (u. a. Flaschel und Sell 2005, EuropaBio 2005, DECHEMA 2004, IBTF 2004, IPTS 2002) eine „IWBT-spezifische“ Liste mit den 14 Standortfaktoren entwickelt, mit deren Hilfe der IWBT-Innovationsstandort Deutschland umfassend bewertet werden kann. Die schriftliche Befragung bestätigte, dass es sich bei den ausgewählten Standortfaktoren um sehr wichtige Standortfaktoren handelt (Abbildung 1.3). Vor allem die technologische Wissensbasis, die Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal und die Kooperationsbeziehungen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft (dies spiegelt die Nähe der IWBT zur akademischen Wissensbasis wider) werden als die bedeutendsten Standortfaktoren angesehen.

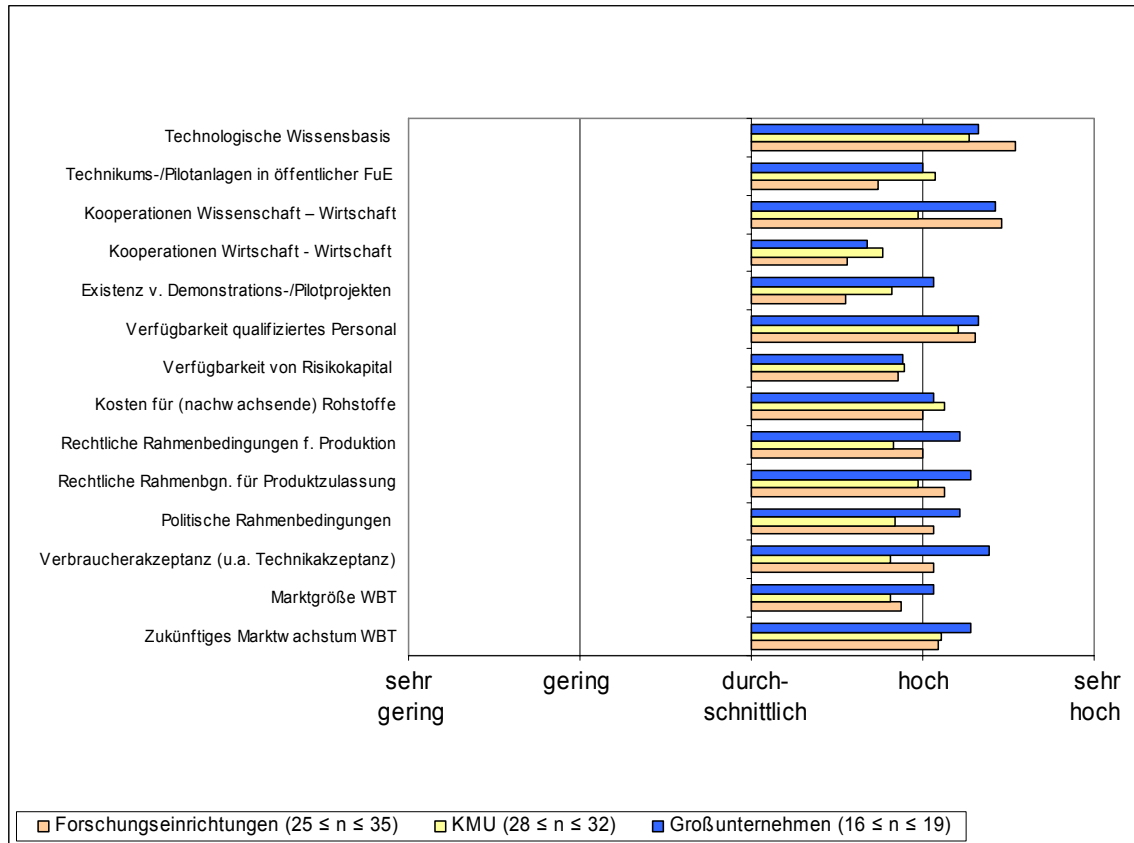
Durch diese Vorgehensweise kann für den IWBT-Innovationsstandort eine umfassende deutschlandspezifische „Landkarte“ innovationsfördernder und innovationshemmender Standortfaktoren und Handlungsfelder erstellt werden.

Abbildung 1.2: Kriteriensystematik zur Bewertung eines Innovationsstandortes



Quelle: In Anlehnung an Nusser 2005

Abbildung 1.3: Bedeutung wichtiger IWBT-Standortfaktoren für die weitere Entwicklung der industriellen, weißen Biotechnologie in Deutschland



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

2 Output-, input- und prozessorientierte Innovations-system-Analyse

Die im Projekt identifizierten innovationsfördernden und innovationshemmenden Standortfaktoren sowie die Ansatzpunkte für Maßnahmen lassen sich auf Grund einer input- und prozessorientierten Systembetrachtung (in Anlehnung an Nusser 2005) in sechs Systembereiche untergliedern (siehe Kapitel 1.5, Abbildung 1.2). Diese sind

1. die Wissensbasis
2. der nationale und grenzüberschreitende Wissens- und Technologietransfer
3. die Umsetzung von neuem Wissen in marktfähige Produkte
4. die Marktattraktivität

sowie die beiden Querschnittsthemen

5. Vernetzung von Akteuren
6. Rahmenbedingungen

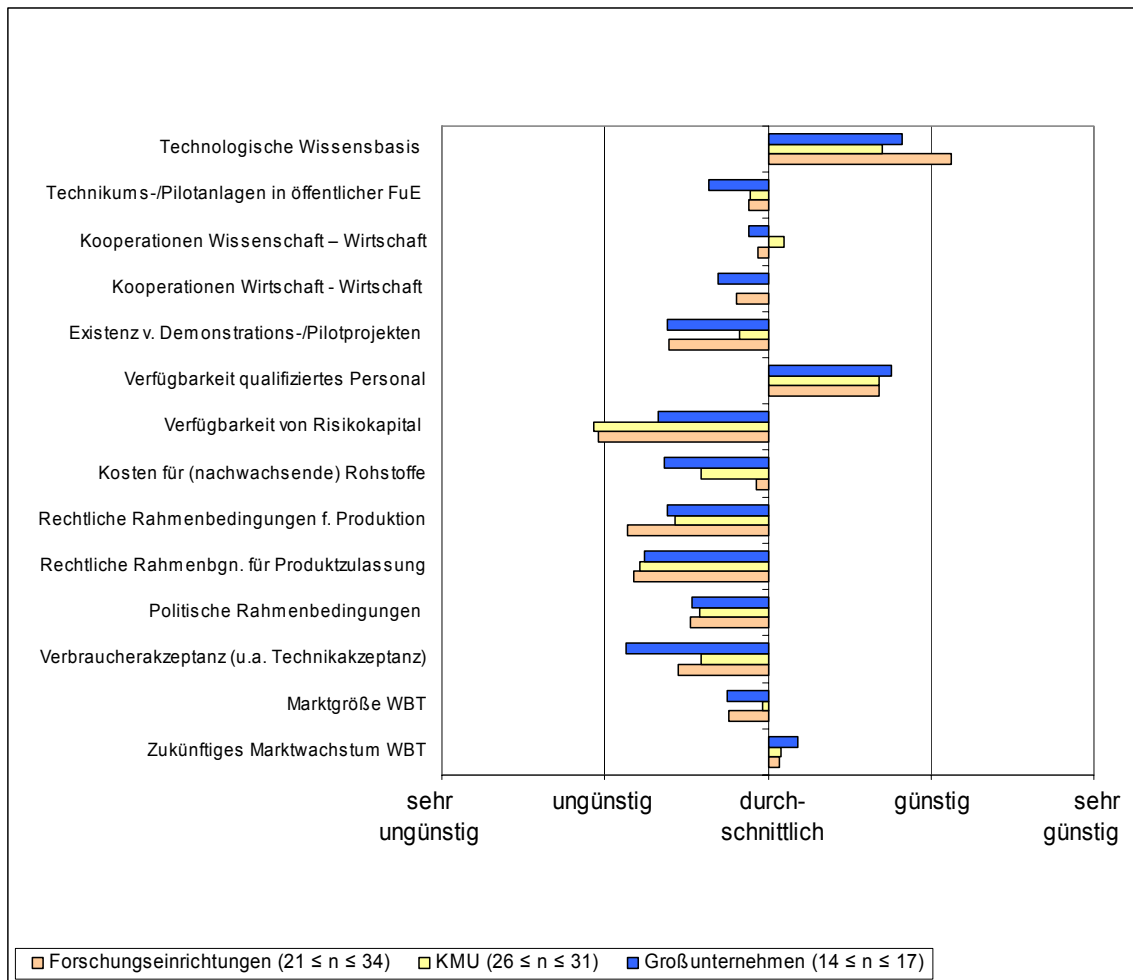
Die einzelnen Bereiche können als Wertschöpfungskette des IWBT-Innovationsprozesses betrachtet werden, wobei sich neben den sukzessiven linearen Einflüssen entlang der Wertschöpfungskette auch Rückbezüge und Vernetzung beobachten lassen. Entsprechend wirken sich die in der Analysephase des Projekts identifizierten innovationsfördernden und innovationshemmenden Standortfaktoren häufig an verschiedenen Stellen des IWBT-Innovationssystems aus.

2.1 Überblick über alle Systembereiche: Stärken und Schwächen des Standortes Deutschland im internationalen Vergleich

Die Bewertung der wichtigsten Standortfaktoren für Deutschland im Rahmen der schriftlichen Befragung zeichnet für das Jahr 2005 folgendes Bild (Abbildung 2.1):

- Vor allem die technologische Wissensbasis und das qualifizierte Personal werden als günstig bewertet.
- Als besonders ungünstig wird die Verfügbarkeit von Risikokapital bewertet.
- Als eher ungünstig werden am Standort Deutschland auch die Existenz von Demonstrations-/Pilotprojekten, die Kosten für (nachwachsende) Rohstoffe, die rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen sowie die Verbraucherakzeptanz (u. a. Technikakzeptanz) bewertet.

Abbildung 2.1: Bewertung von Standortfaktoren für das Jahr 2005



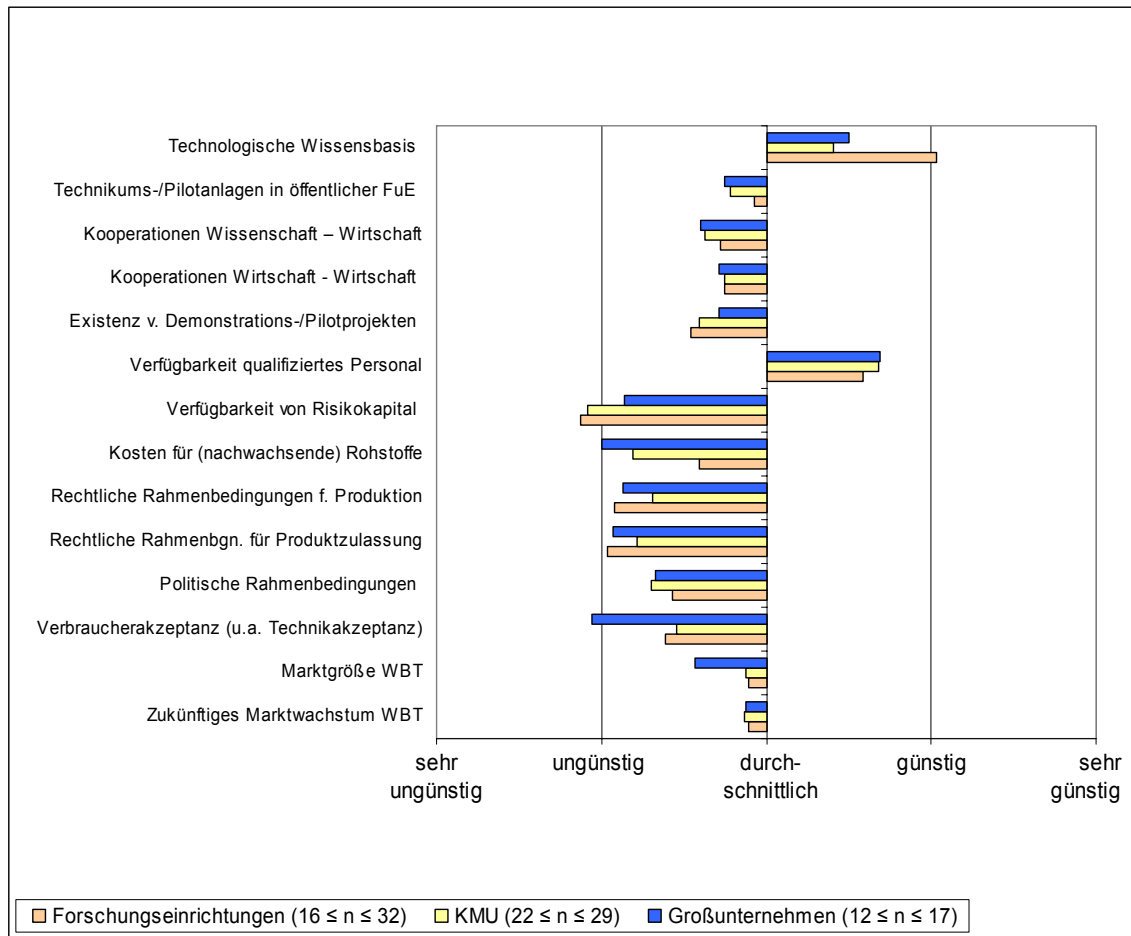
Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Eine ungünstige Bewertung eines Standortfaktors ist nicht gleichbedeutend mit einem internationalen Wettbewerbsnachteil, da auch in Konkurrenzländern die Ausprägung wichtiger Standortfaktoren ebenfalls ungünstig sein kann. Daher erfolgte in der schriftlichen Befragung auch eine Bewertung der wichtigsten Standortfaktoren im Vergleich zu den wichtigsten Konkurrenzländern. Im Fall der IWBT ergibt sich allerdings ein sehr ähnliches Antwortverhalten (Abbildung 2.2), die Ergebnisse „Bewertung Standortfaktoren“ und „Bewertung Standortfaktoren im Vergleich zu wichtigen Konkurrenzländern“ ergibt ein ähnliches Bild:

- Bei der technologischen Wissensbasis und dem qualifizierten Personal hat Deutschland gegenüber den wichtigsten Konkurrenzländern einen internationalen Wettbewerbsvorteil.

- Vor allem bei der Verfügbarkeit von Risikokapital, den Kosten für (nachwachsende) Rohstoffe, den rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen sowie der Verbraucherakzeptanz (u. a. Technikakzeptanz) werden Wettbewerbsnachteile gegenüber den wichtigsten Konkurrenzländern konstatiert.

Abbildung 2.2: Bewertung von Standortfaktoren im Vergleich zu den wichtigsten Konkurrenzländern



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Die am Standort Deutschland als ungünstig bewerteten Standortfaktoren werden dementsprechend in den wichtigsten Konkurrenzländern als besser bewertet. Die Experteninterviews und die Workshop-Teilnehmer bestätigen diese Einschätzung.

Dies deutet darauf hin, dass in Deutschland ansässige Unternehmen, die jedoch global agieren, sich bei zukünftigen Standortentscheidungen im Bereich der industriellen, weißen Biotechnologie möglicherweise gegen den Standort Deutschland entscheiden

werden, wenn keine Maßnahmen zur Stärkung des Standortes in den als ungünstig bewerteten Bereichen durchgeführt werden.

Neben der schriftlichen Befragung wurden im Rahmen des Projektes zudem die Experten befragt, bei welchen wichtigen Erfolgsfaktoren Deutschland in der IWBT entscheidende Standortvorteile und bei welchen Erfolgsfaktoren Deutschland wesentliche Standortnachteile gegenüber den wichtigsten Konkurrenzländern aufweist. Die Ergebnisse der Interviews bestätigen weitgehend die Ergebnisse der schriftlichen Befragung, ergänzen diese jedoch um detaillierte Ausführungen. Die wesentlichen Ergebnisse der Experteninterviews werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

Dabei sind häufig Zitate einzelner Experten in „ “ gesetzt und kursiv markiert. Diese dienen dazu, die Befunde aus Abbildung 2.2 plastisch zu untermauern und ein Gesamtbild auf Basis mehrerer „weicher subjektiver“ Meinungen („wahrgenommene Qualität der Standortfaktoren“) die Bandbreite des Meinungsspektrums abzubilden. Ob und in welchem Umfang viele der nachfolgenden mit „ “ gekennzeichneten „weichen subjektiven“ Wahrnehmungen „tatsächlich sachlich“ begründet sind, soll in den nachfolgenden Abschnitten (Kapitels 2.2-2.7) auf Basis einer Vielzahl an „harten“ quantitativen input-, prozess- und outputorientierten Indikatoren untersucht werden.

In Kapitel 4 werden dann schließlich auf Basis aller vorgestellten „subjektiv weichen und (semi-)quantitativ harten“ Untersuchungsergebnisse die innovationsfördernden und innovationshemmenden IWBT-Faktoren zusammenfassend dargestellt.

IWBT-Standortvorteile in Deutschland

- **Technologische Wissensbasis und Know-how:** Es existiert eine gute Forschungsinfrastruktur mit ausdifferenzierter Forschungslandschaft: (z. B. *„Gut und breit aufgestellte Grundlagenforschung“*, *„Starke Grundlagenforschung“*, *„Vorteile bestehen v. a. beim sehr guten technologischem Basiswissen“*, *„Breite universitäre Basis, viele Forschungsstellen“*). Hinsichtlich der Firmen (Biotechs und Anwenderunternehmen), Universitäten und außeruniversitären FuE-Einrichtungen (z. B. Max Planck Gesellschaft, Fraunhofer Gesellschaft) ist eine kritische Masse in Deutschland vorhanden, obgleich der Fokus der Biotechnologie-Forschung stärker im Bereich der roten Biotechnologie Pharma/Medizin liegt (z. B. *„Einige der Global Player sind deutsche Firmen“*, *„Deutschland hat langjährige Erfahrung in Fermentertechnologie (Design, Bau und Betrieb) und hat Großunternehmen, die bereits etablierte Geschäfte haben (z. B. BASF, Degussa, z. T. Bayer, Henkel, auch Uhde Inventa Fischer bei PLA)“*, *„gute Technologiezentren existieren (z. B. GBF, Jülich), wobei viele Richtung Pharma forschen und nicht mehr so viel IWBT, da der Kostendruck für IWBT-Produkte größer ist als für Pharmaprodukte“*, *„Gute Erfahrungen mit Technologiezentren. Guter Wissenstransfer zwischen Forschung und Anwendung“*). Von einzelnen Experten wurden sogar für manche Teildisziplinen eine herausragende

Position konstatiert (z. B. *„Hervorragende Qualität in IWBT-Teildisziplinen wie z. B. Mikrobiologie, Chemie, Ingenieurwissenschaften, eine ausgezeichnete Qualität im Bereich Pflanzengenetik und Pflanzenphysiologie (Synergiepotenzial) sowie umfassende Erfahrungen in der industriellen Umsetzung biotechnologischer Produktionsverfahren. Allerdings: Das Synergiepotenzial mit der Pflanzenbiotechnologie wurde bisher auf Grund einer mangelnden konsequenten und abgestimmten Förderpolitik nicht ausreichend ausgenutzt.“*)

- **Qualifiziertes Personal:** Die aktuelle Verfügbarkeit an hoch qualifiziertem Personal (u. a. Wissenschaftler, Ingenieure, Techniker) und dessen Qualität im internationalen Vergleich wird positiv eingeschätzt (z. B. *„Sehr gute Ingenieurwissenschaften“, „Ingenieurwissenschaften haben lange Tradition, was IWBT-Integration in neue Prozesse bei bestehenden Systeme erleichtert“ „hoher Ausbildungsstand, sowohl bei Akademikern als auch im notwendigen Unterbau, d. h. CTA, Techniker“, „Gute Maschinenbautechnik, Steuerungstechnik und Elektrotechnik“, „Gute ausgebildete Fachkräfte in allen Ebenen“, „Etabliertes Verfahrens-Know-how in der Produktion, guter Pool von technischem Personal (z. B. Roche Penzberg, Boehringer Ingelheim, Jülich Chiral Products, BRAIN)“*).
- **Zusammenarbeit industrieller und öffentlicher IWBT-Akteure:** Die Kooperation Wissenschaft-Wirtschaft und Kooperation Wirtschaft-Wirtschaft werden meist als positiv bewertet (z. B. *„Gute Zusammenarbeit zwischen Hilfsmittelherstellern und Lederindustrie“, „Die einschlägig tätigen Einrichtungen sind in der Szene gut bekannt, man kommt schnell in Kontakt, man hat leichten Zugang, die Bereitschaft, bei Problemen Lösungen zu erarbeiten ist groß. Es gibt zudem gut ausgerüstete Universitäten und Fachhochschulen.“*).
- **Öffentliche Akzeptanz:** Im Gegensatz zur schriftlichen Befragung wird die Akzeptanz in den Interviews positiver bzw. differenzierter bewertet (z. B. *„Insgesamt sind Begriffe wie Biotechnologie, nachwachsende Rohstoffe, biologisch basiert, etc. sehr positiv besetzt mit Ausnahme der Gentechnik, die nur im Bereich der roten Biotechnologie akzeptiert zu sein scheint“, „Die Öffentliche Akzeptanz beim Einsatz der Biotechnologie im Gesundheits- und Medizinbereich sowie in industriellen Produktionsprozessen ist in der Regel gegeben.“*).
- **Rechtliche Rahmenbedingungen bzw. Bürokratie:** Im Gegensatz zur schriftlichen Befragung werden einige Aspekte weniger ungünstig und differenzierter bewertet (z. B. *„in Nordrhein-Westfalen/Bayern sind die Genehmigungsverfahren schnell“, „Die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Produktion sind akzeptabel“, „Die Umweltauflagen in Deutschland führen zur Entwicklung neuer Technologien, die Prozesse effizienter gestalten“, „in der Lederindustrie keine speziellen hinderlichen Regelungen bezüglich des Enzymeinsatzes.“*).

Im Kontext „Technologische Wissensbasis, Know-how und qualifiziertes Personal“ wurde allerdings von den Experten betont, dass es für Deutschland eine Herausforderung sei, diese gute Position zu halten (z. B. *„Deutschland hat den Vorteil einer*

gewachsenen, chemischen Industrie und guter Ausbildungsstandards. Allerdings schwinden diese Vorteile gegenüber Konkurrenzländern wie z. B. USA, China, Indien, Osteuropa“, „Brain Drain in Länder wie die USA, die attraktiver sind für die wissenschaftliche Karriereplanung“, „Guter Ausbildungsstand, auf dem man sich aber nicht ausruhen sollte“, „Sehr hohes Ausbildungsniveau an Universitäten für die Studenten, im internationalen Vergleich (z. B. zu USA) in Deutschland überdurchschnittlich. Allerdings besteht die Gefahr eines schleichenden Qualitätsverlusts.“).

IWBT-Standortvorteile in Europa

Zudem wurden **Interviews mit internationalen Experten** aus weltweit führenden IWBT-Unternehmen durchgeführt. Hierbei war der Fokus der Gespräche meist auf den **europäischen Kontext** gelegt. Wichtige Ergebnisse dieser Interviews, bei denen es sich z. T. um Einzelmeinungen handelt, zeichnen folgendes Bild:

Die EU scheint gegenüber Konkurrenzländern (USA, Japan) einen Wettbewerbsvorsprung aufzuweisen, den es zu bewahren gilt (z. B. „in der IWBT könnte dasselbe passieren wie in der roten und grünen Biotechnologie, dass nämlich wesentliche grundlegende Forschungsarbeiten in Europa gemacht werden, die Kommerzialisierung und Wertschöpfung dann aber in den USA und Japan erfolgt.“, „in Europa generell gute, jedoch keineswegs einzigartige Voraussetzungen den Wandel zur „biobased economy“ zu vollziehen“, „in den USA z. T. stärkeres politisches Commitment, dies zu unterstützen.“). Laut Expertenmeinung scheint die Wissensbasis in der EU sogar besser und breiter zu sein als in den USA (z. B. „Langjährige Tradition und Erfahrung in der EU in der industriellen Nutzung biotechnischer Verfahren“, „sehr gut entwickelte Infrastruktur“). Die USA sei nur auf einigen wenigen Gebieten (z. B. Bioethanol, Nutzung von Lignocellulose als Feedstock) führend, in die sehr viele FuE-Gelder investiert werden („dies ist u. a. bedingt durch massive Landwirtschafts-Lobbyarbeit“). Es wird bezweifelt, dass es sich auszahlt, sich gerade auf „diese“ Gebiete zu fokussieren. Eine strategische Orientierung (SRA und Roadmap), wie sie im Rahmen von SusChem und NIIB entwickelt werden, gibt es in dieser Form nicht in den USA. Die EU verfügt über eine starke chemische Industrie (z. B. „Weltmarktführer bei Enzymen sind auch europäische Firmen“) und führende Verarbeiter von Agrarprodukten (z. B. Roquette, Südzucker/Nordzucker). Diese seien gute Voraussetzungen in der Industriestruktur, um die Verbindung von der Landwirtschaft zur chemischen Industrie herzustellen (z. B. „Europäische Unternehmen mit Kernkompetenzen in der IWBT haben große Weltmarktanteile wie z. B. Novozymes und Danisco mit über 70 % des Enzymweltmarkts oder Roquette als Nr. 4 auf dem Stärkeweltmarkt“, „Europa hat Unternehmen mit IWBT-Kernkompetenzen und vielen Projekten in der FuE-Pipeline“, „Die europäische Industrie beherrscht die Technologien bzw. kann sich das entsprechende Know-how verfü-

*bar machen, das für erfolgreiches Agieren erforderlich ist“, „EU besser als die USA“, „EU-Unternehmen, die die Biomasse umwandeln können, sind etabliert und agieren auf Weltniveau“, „EU-Chemieunternehmen sind etabliert, die die biobasierten Zwischenprodukte weiterverarbeiten und -veredeln können.“). Auch Biotech-Start-ups bzw. biotechnologieorientierte KMU sind in Europa vorhanden, so dass insgesamt ein sehr gutes Industrienetzwerk bzw. eine industrielle IWBT-Wertschöpfungskette etabliert ist. Ein sehr gutes Zusammenspiel dieser verschiedenen Akteure entlang der Wertschöpfungskette wird als entscheidender Vorteil der EU (beispielsweise gegenüber der Konkurrenz aus China oder Indien) eingeschätzt, den es aber strategisch weiterzuentwickeln gelte (z. B. *„Together we can make it, each one alone will lose!“*).*

Viele Chemieunternehmen treiben in Europa die neuen Strategien (z. B. biobasierte Produkte) voran. Der Wettbewerb zwischen diesen Unternehmen fördert eine „gesunde“ Entwicklung der neuen Strategien. Im Vergleich hierzu sind in den USA nur wenige große Akteure involviert. Zudem seien in den USA die Chemieunternehmen wegen der starken „Maislobby“ weitgehend auf Stärke als Rohstoff festgelegt. Nach Einschätzung von Experten brauchen die Chemieunternehmen aber eine gewisse *„freedom to operate“*. Deshalb nimmt in den Roadmaps der EU, die zurzeit entwickelt werden, das *„feedstock engineering“* eine wichtige Position ein, da die Chemieunternehmen dadurch in die Lage versetzt werden, in ihren Biotechnologieanlagen rasch von einer C-Quelle zur anderen zu wechseln. Diese Flexibilität wird als wichtig erachtet.

Die Verfügbarkeit der biobasierten Rohmaterialien ist in Europa laut Experteneinschätzung gegeben (z. B. *„Frankreich ist beispielsweise eines der größten Länder für Biomasserohstoffe auf Getreidebasis.“*). Zudem hat die EU bei zunehmender Osterweiterung große landwirtschaftliche Flächenpotenziale, die bislang *„unzureichend für Biomasseproduktion“* genutzt werden (z. B. *„viele nicht genutzte bzw. stillgelegte Agrarflächen, die Biomasse für industrielle Nutzung liefern könnten.“*). Bei entsprechendem Know-how-, Technologie- und Infrastrukturtransfer bieten sich künftige große, noch auszuschöpfende Potenziale (z. B. Nutzung von Weizensorten mit höherer Produktivität und höheren Erträgen, Nutzung von Anbau-Know-how und -technologie).

Inwieweit kurz- bis mittelfristig Produktionsstandorte in Europa für IWBT etabliert werden, ist laut den Experten derzeit noch offen. Zurzeit ist durch die Reform der EU-Landwirtschaftspolitik und die veränderte Zuckerpreisordnung viel im Fluss. Zudem wird von strategischen Entscheidungen wichtiger Unternehmen (z. B. DSM, Shell) eine Signalwirkung ausgehen, wo zukünftig Produktionsstandorte z. B. für Bulkchemikalien errichtet werden. Beispielsweise favorisiert ein wichtiger Player derzeit ein Modell, bei dem die Prozessentwicklung bis zum Stadium der Pilotanlage in Europa erfolgt, die

eigentliche Produktionsanlage dann aber in Brasilien oder den USA (oder später in der Ukraine) errichtet werden soll.

China hingegen stellt derzeit nur für wenige IWBT-Produkte (z. B. Antibiotika) eine ernsthafte Konkurrenz für EU-Unternehmen dar. Nur für Produkte, für die man relativ wenig Zucker als Ausgangsmaterial braucht (wie z. B. Antibiotika) kann China ein geeigneter Produktionsstandort sein. Für Bulkchemikalien wie Zitronensäure oder Lysin unterliegt China im Standortwettbewerb Ländern wie Brasilien oder Südafrika. Gegen China spricht zudem, dass die Infrastruktur dort nicht gut ist, so gibt es beispielsweise großen Wassermangel und Trinkwasserknappheit; große Flächen von nicht kultivierbarem Land (bei gleichzeitig 1,3 Mrd. Menschen, die ernährt werden müssen), so dass z. T. Getreide aus der Ukraine importiert werden muss und daher eher nicht genügend Land für Agrarrohstoffe für die Chemieproduktion zur Verfügung stehen wird.

IWBT-Standortnachteile in Deutschland

Die Ergebnisse der Experteninterviews hinsichtlich der Standortnachteile zeichnen folgendes Bild:

- **Rechtliche Rahmenbedingungen:** Von den Experten wird betont, dass eine hohe Komplexität durch eine Vielzahl an relevanten Gesetzen existiert, die häufig nicht passfähig zueinander sind, sowie eine hohe Regelungsdichte innerhalb der einzelnen Bereiche. Zudem seien die Verwaltungsprozesse oftmals sehr bürokratisch (z. B. *„Hohe Genehmigungshürden“*, *„Probleme bei der Produktzulassung in den Bereichen Pharma und Lebensmittel, die oft so aufwendig sind, dass sich die FuE nicht wirklich lohnt.“*, *„Hohes Maß an Regulierung“*, *„Arbeitsrecht in Deutschland führt zur Abwanderung von Firmen“*, *„Aufwändige Zulassungsverfahren“*, *„Gesetzgebung ist rigide und langsam“*, *„Zulassungen sehr aufwändig und zeitlich kaum kalkulierbar“*, *„Bei Zulassungsverfahren sind die Rücklaufzeiten zu lang und nicht begrenzt“*, *„Die IWBT hat nur bei einer starken Stellung im Bereich Gentechnik und grüner Biotechnologie eine Chance, da die Verfügbarkeit billiger Rohstoffe ein wichtiger Erfolgsfaktor ist. Daher schlagen Regulierungen bei der Gentechnik und grünen Biotechnologie voll auf die IWBT durch.“*). Vor allem der Bereich der Gentechnik (z. T. auch andere Bereiche wie Produktsicherheit) wird von anderen Experten konträr gesehen (z. B. *„konventionell gezüchtete Pflanzen bieten genügend Potenziale“*, *„in der IWBT sollte man die Prioritäten auf andere Bereiche als die GVP-Entwicklung legen“*, *„Zu wenig Produktsicherheit von gesetzlicher Seite“*).

Manche Aspekte werden sogar positiv bewertet wie z. B. die Zulassung (z. B. *„Zulassungsprozeduren und -auflagen für neue Produkte und Anlagen sehen wir nicht als wesentlich hemmend“*, *„Bürokratie ist kein wirkliches Hemmnis, aber z. T. sehr langwierig. Die Überregulation ist mehr bei EU zu sehen als in Deutschland.“*)

- **Zukünftige Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal:** Zukünftige Engpässe bei (hoch) qualifiziertem Personal (z. B. Ingenieure, Techniker) sind zu erwarten (z. B.

„Kommende personale Engpässe sind bei Ingenieuren, besonders im Bereich der Mess- und Regeltechnik zu erwarten.“). Zudem wird die Verfügbarkeit qualifizierten Personals auch in Konkurrenzländern immer besser (z. B. „Ausbildungsniveau der Wissenschaftler und Ingenieure in Deutschland ist weltweit nicht einzigartig, gute Leute finden die Unternehmen mittlerweile überall, daher ist dieser Faktor alleine für die Standortentscheidungen häufig nicht mehr ausschlaggebend.“, „Individuelle Forschergruppen, die Hervorragendes leisten, finden sich auf dem gesamten Globus.“).

- **Strategische Ausrichtung:** Bislang gibt es in Deutschland keine nationale Entwicklungsstrategie, die von vielen Experten gefordert wird (z. B. „no vision - no mission“, „keine klare Vision erkennbar; Fokus fehlt, IWBT-Strategie wird häufig als diffus wahrgenommen“, „es fehlt eine nationale Strategie.“).
- **Risikoverhalten industrielle Akteure:** Eine mangelnde Risiko- und Investitionsbereitschaft wird bei etlichen industriellen Akteuren gesehen (z. B. „fehlende Innovationsfreudigkeit der Unternehmen“, „keine Risikobereitschaft“, „sehr geringe Risikobereitschaft in der Industrie“, „Skepsis gegenüber Neuheiten“, „oft geringe Risikobereitschaft für neue Technologien, es gibt wenige Ausnahmen“, „Zähigkeit der Industrie („alte Zöpfe“).“).
- **Verfügbarkeit von Risikokapital:** Die geringe Verfügbarkeit von Risikokapital wird als Hemmnis wahrgenommen (z. B. „Zu wenig Risikokapital verfügbar“, „Venture Capital für IWBT fehlt in Deutschland“, „fehlende Verfügbarkeit von Risikokapital außer im Pharmabereich“, „schlechte Risikobereitschaft und daher schlechte Verfügbarkeit von Risikokapital.“). In diesem Kontext wurden strategische Partnerschaften als eine mögliche Lösung des Problems angesehen (z. B. „Kleine Firmen verhungern auf halbem Wege, da die eigentliche Produktion deutlich teurer ist als die Entwicklung. Diese wird aber z. B. öffentlich nicht gefördert. Große Firmen sollten hier als Kapitalgeber und strategische Partner auftreten.“).
- **Kooperation Wissenschaft-Wissenschaft und Wissenschaft-Wirtschaft:** Dieser Aspekt wird von den Experten kontrovers bewertet und sowohl als Vorteil (s. vorige Ausführungen zu IWBT-Standortvorteile in Deutschland) als auch als Nachteil angesehen (z. B. „Kooperation Wissenschaft-Wirtschaft ist nicht vergleichbar zu USA“, „Vernetzung von Grundlagen- und angewandter Forschung zu gering“, „Geringer Informationsfluss, insbesondere zwischen den verschiedenen Disziplinen“, „Vielleicht noch zu wenig Forschungsverbände.“). In diesem Kontext wurden vereinzelt auch „ideologisch bedingte Berührungsgängste“ der Wissenschaftler erwähnt (z. B. „Forschung darf in Deutschland nicht kommerziell erfolgreich sein.“). Zudem wurde von einzelnen Experten betont, dass die Wissenschaftsorientierung von Universitäten die Zusammenarbeit an Problemlösungen für die Industrie erschwere. Universitäten seien eher an Publikations- bzw. Promotionsmöglichkeiten interessiert als an Geld von der Industrie. Deshalb kommt es oft nicht zur Zusammenarbeit, weil die von der Industrie gewünschte Form (zielorientierte Problemlösung) nicht „publikationsfähig“ ist und für die Unis daher häufig nicht von Interesse ist. Hier sei es oftmals leichter, mit Fachhochschulen als mit Universitäten zu kooperieren, da diese die Drittmittel

gut gebrauchen können, die Fachhochschul-Professoren ihre Studenten in den Unternehmen unterbringen wollen, und Publikationen nicht so wichtig sind.

- **Existenz von Demonstrations- und Pilotprojekten:** In diesem Kontext verwiesen die Experten immer wieder auf das Bio-Wise-Programm in Großbritannien. Hier werde mit einem breiten Instrumentenmix sehr gut die beiden Stellhebel Information und Demonstration/Erprobbarkeit miteinander verknüpft mit dem Ziel, die IWBT stärker in industriellen Produktionsprozessen zu verankern. Zur Verbesserung der Informationsbasis werden Newsletter, Branchenführer, kostenlose Publikationen und Telefon-Hotlines, interaktive Webseiten, Veranstaltungen (Seminare, Workshops) sowie kostenlose Besuche unabhängiger Experten bei KMU eingesetzt. Unterschiedliche Informationsbedürfnisse der (potenziellen) Nutzer werden dadurch bedient, von sehr allgemeiner Information bis hin zur konkreten Hilfestellung durch Experten. Demonstrationsprojekte ermöglichen zudem die Erprobbarkeit der neuen Technologien, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen. Hierbei erproben Nutzer-Unternehmen aus verschiedenen Industriesektoren gemeinsam mit (Bio-) Technologiezulieferern die Anwendung für konkrete industrielle Fragestellungen. Durch die Einbindung sowohl der Anbieter als auch der (industriellen) Nachfrager in den Demonstrationsprozess werden Probleme und Anpassungsbedarfe sowie weiterführende Anregungen als Impulse für das künftige Angebot direkt an die Anbieter zurückgekoppelt. Die Teilnehmer verpflichten sich, die Projektergebnisse und Erfahrungen auf der BIO-WISE-Webseite zu veröffentlichen. Das Internet als Informationsmedium hat zu einem breiten Bekanntheitsgrad unter dem anvisierten Publikum geführt. Durch derartige Erstanwendungen können Unsicherheiten reduziert werden, was die Adoption und breite IWBT-Diffusion unterstützt. Die Experten beklagten, dass es in Deutschland zu wenige dieser Demonstrations- und Pilotprojekte gibt (z. B. *„Erfolgsstories und Produkte fehlen.“*)
- **Hohe Kosten für nachwachsende Rohstoffe:** Von vielen Experten wurden die hohen Kosten für nachwachsende Rohstoffe als Hemmnis betont (z. B. *„Überproportional hohe Rohstoffkosten bei landwirtschaftlichen Rohstoffen durch EU-Agrarmarktpolitik“*, *„Rohstoffsituation insgesamt nicht standortfördernd, sowohl bei fossilen als auch bei biobasierten Rohstoffen“*, *„Bei landwirtschaftlichen Rohstoffen oft durch Verordnungen (z. B. ZuckermarktVO) zu hohe, nicht konkurrenzfähige Preise. Deshalb erfolgt z. B. die stärkebasierte Cyclodextrin-Produktion in den USA und nicht in Deutschland oder Europa“*, *„das Preisniveau für Agrarrohstoffe liegt über Weltmarktniveau bzw. über dem Niveau von Konkurrenzländern: Für Mais liegt der Rohstoffpreis in der EU um ca. 20-25 % höher als in den USA, was insbesondere für „building blocks“ wichtig ist, die auf Kostenbasis mit petrochemisch hergestellten Äquivalenten konkurrieren müssen“*). Da der Rohstoff-Kostenanteil in der IWBT sehr hoch sei, ergeben sich daraus ungünstige relative Kostenposition für IWBT-Produkte (z. B. *„Die Kostenvorteile biotechnologischer Prozesse gegenüber chemischen Prozessen sind meist zu klein oder nicht vorhanden.“*).
- **Gesellschaftliche Akzeptanz bzw. Technikakzeptanz:** Dieser Aspekt wird von den Experten sehr kontrovers gesehen, und sowohl als Vorteil (s. vorige Ausführun-

gen zu IWBT-Standortvorteile in Deutschland) als auch als Nachteil bewertet (z. B. *„Risiken werden häufiger stärker gewichtet als die Chancen“*, *„Geringe Akzeptanz von Innovationen“*, *„Dogmatische Gesellschaft und Politik, zu wenig Pragmatismus“*, *„die in den letzten Jahrzehnten vorhandene überkritische, innovationsfeindliche Haltung in vielen Gesellschaftsgruppen findet man in anderen Ländern nicht“*, *„die einst führende Stellung der deutschen Forschung im Bereich der grünen Biotechnologie wird durch äußerst restriktive Möglichkeiten in der Entwicklung behindert“*, *„Risikoabschätzung ist sehr wichtig, und nicht jedes Forschungsergebnis der Industrie/Akademie wurde für die jeweilige Gesellschaft zum Vorteil eingesetzt, aber die Fortsetzung der starren Haltung und in erster Linie die Wahrnehmung von Risiken anstatt das Begreifen der Chancen sind von Nachteil“*, *„Negativ besetzte Gentechnologie“*, *„Negative GMO-Diskussion in den Medien und entsprechend ablehnende Haltung der Verbraucher“*, *„Tendenziell innovationsfeindliches Klima der Verbraucher im Lebensmittelbereich“*, *„unnötige öffentliche Diskussionen und Verschleppungen (öffentliche Diskussionen sind wichtig, müssen aber richtig geführt werden) führen dazu, dass Deutschland den Anschluss verliert.“*).

- **Teilbereiche der öffentlichen Förderung:** Die öffentliche Förderung wird in einigen Bereichen von den Experten kritisch gesehen (z. B. *„derzeit wird meist nur Metabolics gefördert, und es gibt keine bzw. sehr wenige langfristigen Projekte, die von der Rohstoffauswahl, Fermentation, Prozessentwicklung bis zur Aufarbeitung gehen“*, *„Derzeit erfolgt Forschung im Bereich IWBT nur im kleinen Maßstab, für die Abschätzung einer wirtschaftlichen Produktion ist aber Großproduktion im kg- bis t-Maßstab nötig“*, *„Öffentliche Förderung ist häufig nicht mittelstandsfreundlich (Bürokratismus, Bewilligungsdauer, Förderquote)“*, *„Mangelnde interdisziplinäre, ressortübergreifende Förderpolitik zu Forschung, Entwicklung und Produktionsverfahren“*, *„Bürokratische Rahmenbedingungen hinsichtlich öffentlicher Förderung“*, *„Förderbedingungen in Deutschland lähmen eher wie z. B. Förderungsbeschränkung auf KMU, diese schwächt die größeren Unternehmen.“*). Einige Experten weisen darauf hin, dass das Vorgehen in der IWBT nicht analog zur roten Biotechnologie erfolgen sollte (z. B. *„glaube nicht, dass mit einer gleichen Förderpolitik und auch Investitionspolitik wie in der roten Biotechnologie in den vergangenen Jahren, eine Chance auf Erfolg besteht.“*). Die Unterschiede zwischen den beiden Biotechnologieteilbereichen werden in Kapitel 2.4.2.4 aufgegriffen.

IWBT-Standortnachteile in Europa

Auch bei den **Interviews mit internationalen Experten** aus weltweit führenden IWBT-Unternehmen wurden die Standortnachteile erfragt. Der Fokus lag auf dem **europäischen Kontext**. Dabei ergibt sich folgendes Bild: Ein wichtiger Nachteil in Europa wird darin gesehen, dass die politischen Entscheidungsprozesse in Europa sehr langwierig sind. Davon sei auch die IWBT betroffen. Als weitere Schwäche Europas gegenüber den USA wird genannt, dass es nicht genug Wissenschaftler in der Hochschulforschung bzw. in öffentlichen FuE-Einrichtungen gebe, die auf IWBT-Gebieten an indust-

rierelevanten Fragestellungen arbeiten. Hier wird von den Experten ein deutlicher Ausbau in Europa für erforderlich gehalten.

2.2 Systembereich 1: Wissensbasis

2.2.1 Bedeutung der technologischen Wissensbasis für das IWBT-Innovationssystem

Die Fülle und der Zugang zu ökonomisch verwertbarem Wissen („technologische Möglichkeiten“) ist neben der Marktnachfrage und den Bedingungen für die Wissensaneignung („Schutz des Wissens“) eine wesentliche Determinante der Innovationskraft eines Wirtschaftsstandortes. Damit ist die (technologische) Wissensbasis nach Erkenntnissen der Innovationsforschung ein entscheidender Faktor für die Stärke eines Innovationssystems (Malerba 2006).

So konnte beispielsweise für den Biotechnologiesektor gezeigt werden, dass FuE-Produktivität und Firmengründungsaktivitäten eng korreliert sind mit der Stärke von Universitäten und Forschungseinrichtungen (Allansdotir 2003). Eine aktuelle Studie zur Effektivität von öffentlichen Fördermaßnahmen in der Biotechnologie hat gezeigt, dass diejenigen Länder, die in den Jahren 1994-2001 durch politische Maßnahmen stark auf Unterstützung und Weiterentwicklung der Wissensbasis gesetzt hatten, die stärkste Position in Bezug auf wissenschaftliche *und* kommerzielle Leistung inne hatten (Reiss et al. 2003). Dies zeigt die hohe Bedeutung, welche die kontinuierliche Verbesserung der Wissensbasis für die Stärke eines nationalen Innovationssystems hat. Ohne herausragende Forschung fehlen nötige Ansatzpunkte zur Aufnahme neuen Wissens und damit Umsetzung in kommerzielle Produkte (Lundvall und Borràs 1997).

Für die IWBT wird analog zum gesamten Biotechnologiesektor der Wissensbasis eine sehr große Bedeutung beigemessen (u. a. IBTF 2004, Herrera 2004). Als besondere Herausforderung gilt die Interdisziplinarität der wissenschaftlichen Fragestellungen (Futurewatch 2004, Dechema 2004). Systematische international vergleichende Analysen für die Forschung gibt es im Bereich der IWBT bisher nicht. Stattdessen werden in der Literatur meist die Stärken und Positivbeispiele des jeweils im Fokus stehenden Landes/Region hervorgehoben (siehe z. B. IBTF 2004 für Großbritannien, Bakker und Osseweijer 2005 für die Niederlande, SusChem 2005 für Europa, Dechema 2004 für Deutschland). Stärken für Deutschland werden in einer ausgeprägten Universitätslandschaft in den Teilbereichen der IWBT und dem hohen Ausbildungsstandard gesehen (Dechema 2004). Auf der anderen Seite bedroht beispielsweise der Abbau von Lehrstühlen in der Verfahrenstechnik eben diese Basis.

2.2.2 Empirische Projektergebnisse

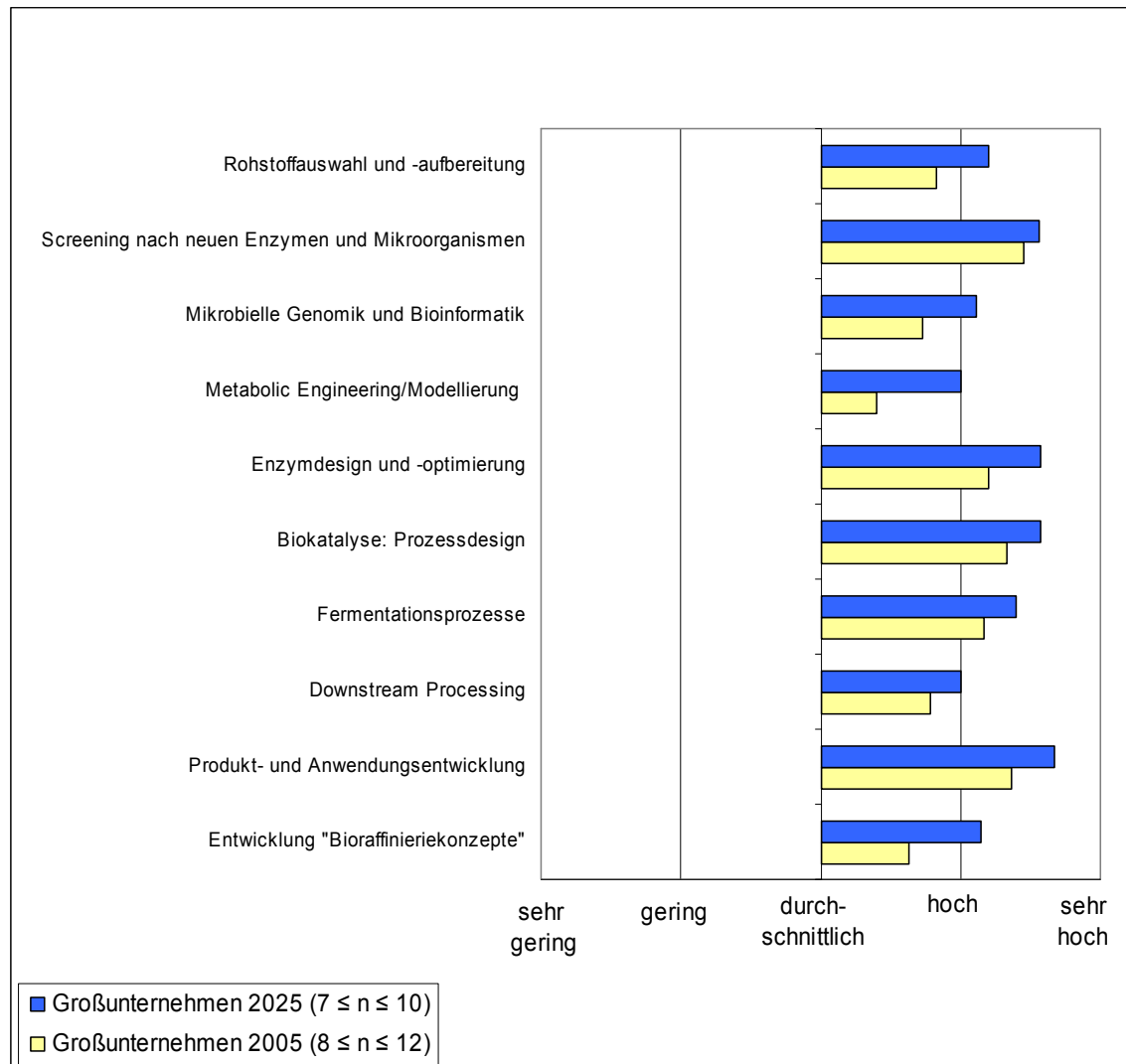
2.2.2.1 Aktuelle und zukünftige Bedeutung verschiedener Forschungs- und Technologiebereiche

Bei der schriftlichen Befragung wurden Forschungs- und Technologiebereiche abgefragt, die alle Stufen der Prozess- und Produktentwicklung von grundlegender FuE bis zum marktreifen Prozess und Produkt umfassen. Innerhalb dieser Stufen wurden Auswahl, Optimierung und industrieller Einsatz von Rohstoffen, Biokatalysatoren, Prozesstechnik und Anwendungen berücksichtigt. Die schriftliche Befragung, die Experteninterviews sowie der Workshop haben durchgängig gezeigt, dass für ein starkes und funktionsfähiges nationales IWBT-Innovationssystem alle relevanten Technologie-/Forschungsbereiche und Wissenschaftsdisziplinen im Land vertreten sein sollten.

Die Frage nach der aktuellen und zukünftigen Bedeutung der verschiedenen Forschungs- und Technologiebereiche für die weiteren Entwicklungen und Anwendungen im Bereich der industriellen, weißen Biotechnologie ergaben bei den verschiedenen Akteuren Großunternehmen (Abbildung 2.3), kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) (Abbildung 2.4) sowie Forschungseinrichtungen (Abbildung 2.5) folgendes Bild:

- Alle Forschungs- und Technologiebereiche entlang der gesamten Wertschöpfungskette haben bereits heute bei allen Akteuren eine mittlere bis hohe Bedeutung.
- Alle Forschungs- und Technologiebereiche entlang der gesamten Wertschöpfungskette werden bei allen Akteuren zukünftig an Bedeutung hinzugewinnen.
- Großunternehmen und Forschungseinrichtungen schätzen die Bedeutung in der Regel höher ein als kleine und mittelständische Unternehmen (KMU).
- Für Großunternehmen und KMU sind die Rohstoffauswahl und -entwicklung, das Screening nach neuen Enzymen und Mikroorganismen, Enzymdesign/-optimierung, Biokatalyse/Prozessdesign, Fermentationsprozesse sowie Produkt- und Anwendungsentwicklung aktuell und zukünftig die wichtigsten Forschungs- und Technologiebereiche.

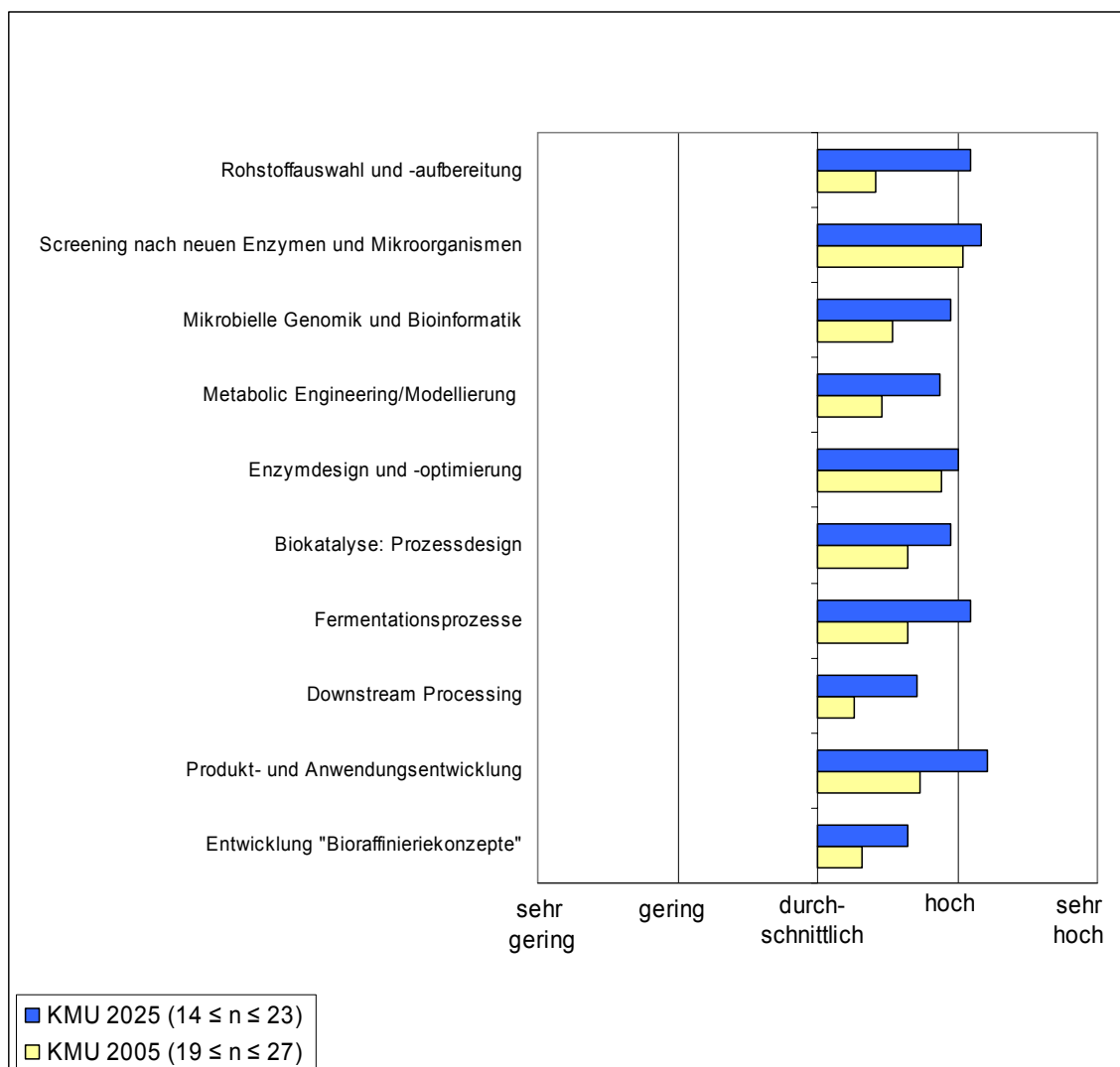
Abbildung 2.3: Aktuelle und zukünftige Bedeutung verschiedener Forschungs- und Technologiebereiche für Großunternehmen



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

- Bei Forschungseinrichtungen haben aktuell die Forschungs- und Technologiebereiche im vorderen Teil der Wertschöpfungskette (Screening nach neuen Enzymen und Mikroorganismen, Mikrobielle Genomik und Bioinformatik, Metabolic Engineering/Modellierung, Enzymdesign und -optimierung) eine höhere Bedeutung.
- Bei den Forschungseinrichtungen gewinnen zukünftig die Rohstoffauswahl und -entwicklung, das Downstream Processing sowie die Entwicklung von Bioraffineriekonzepten stark an Bedeutung hinzu.

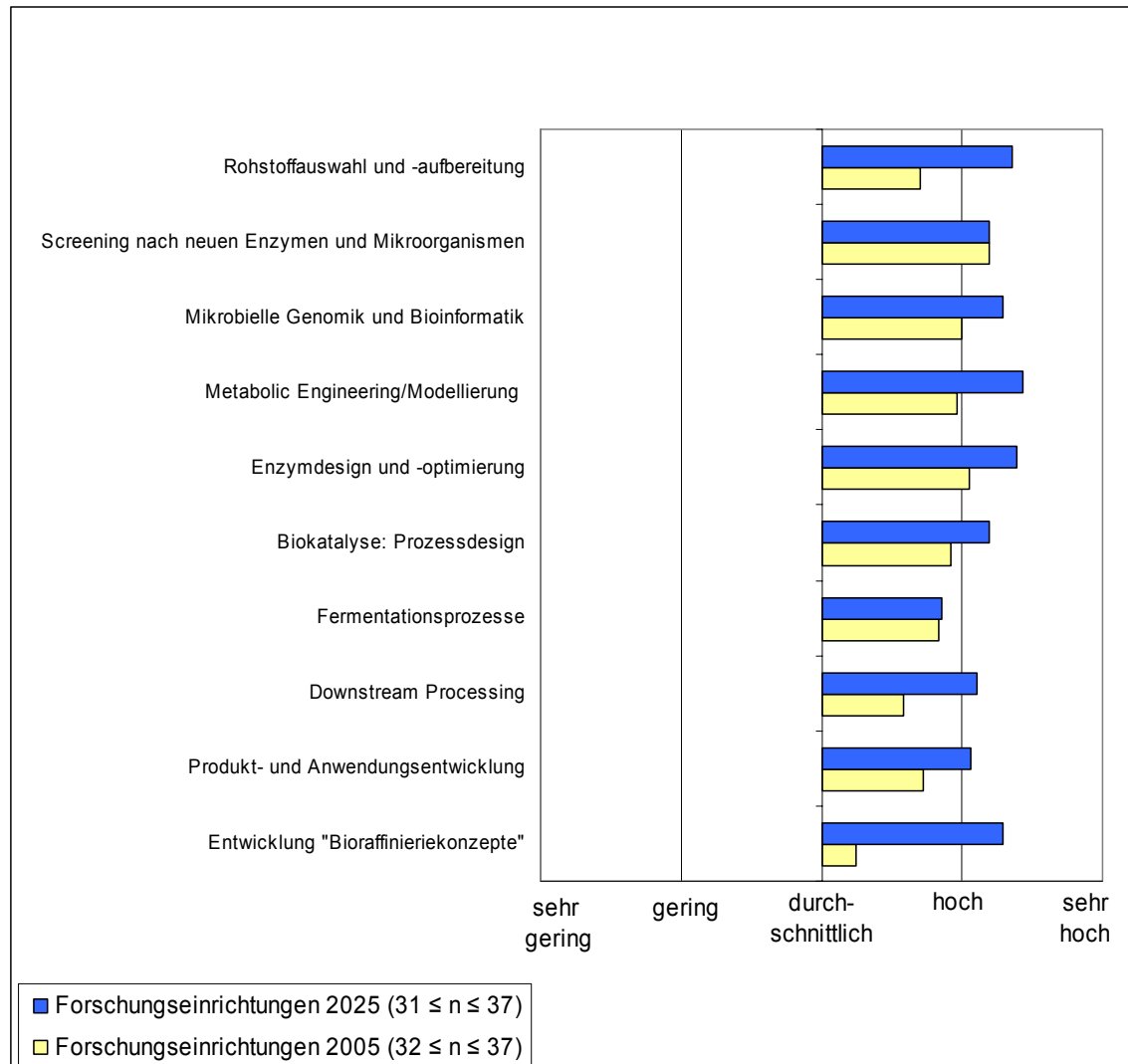
Abbildung 2.4: Aktuelle und zukünftige Bedeutung verschiedener Forschungs- und Technologiebereiche für kleine und mittelständische Unternehmen



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Die Ergebnisse der schriftlichen Befragung wurden weitestgehend durch die Experteninterviews und die Workshop-Teilnehmer bestätigt. Hierbei wurde betont, dass es häufig einzelfallspezifisch zu beurteilen ist, welche Forschungs- und Technologiebereiche konkret „bottlenecks“ im Innovationsprozess darstellen. Während beispielsweise bei Bioethanol die Rohstoffauswahl und -aufbereitung von höchster Bedeutung ist, stellt beim Einsatz von Lipasen in der Fettchemie die Biokatalyse einen besonders wichtigen Forschungsbereich dar.

Abbildung 2.5: Aktuelle und zukünftige Bedeutung verschiedener Forschungs- und Technologiebereiche für Forschungseinrichtungen



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

In dem Antwortverhalten der schriftlichen Befragung spiegelt sich wider, dass

- hochrelevante Forschungs- und Technologiebereiche abgefragt wurden;
- die Gesamtheit der abgefragten Forschungs- und Technologiebereiche essenziell ist und beherrscht werden muss, um wettbewerbsfähige IWBT-Produkte, Prozesse und Anwendungen zur Marktreife zu bringen;
- in den kommenden 20 Jahren – auf insgesamt hohem Bedeutungsniveau – diejenigen Forschungs- und Technologiebereiche wichtiger werden, die mit einem zunehmenden Anwendungsgrad in industriellen Produktionsprozessen („was jetzt in FuE

ist, ist in 20 Jahren in der industriellen Produktion“) sowie mit einer deutlich breiteren Anwendung der IWBT korreliert sind. Dies sind insbesondere

- Entwicklung Bioraffineriekonzepte: wettbewerbsfähige und nachhaltige IWBT-Prozesse erfordern die integrierte Nutzung aller Biomassekomponenten zu Produkten mit möglichst hoher Wertschöpfung; dies bedingt Vernetzung verschiedener IWBT-Prozesse miteinander, um anfallende Neben- und Kuppelprodukte einer hochwertigen Nutzung zuzuführen;
- Rohstoffauswahl und -aufbereitung: breitere Anwendung von IWBT bedingt Nutzung nicht nur der Rohstoffe Stärke und Zucker, sondern auch lignocellulosehaltiger Biomasse als Substrat;
- Fermentationsprozesse, Downstream Processing, Produkt- und Anwendungsentwicklung. Die zunehmende Bedeutung dieser Bereiche spiegelt zum einen die Erwartung wider, dass zahlreiche Produkte und Prozesse, die zurzeit in der Forschungsphase sind, industrielle Anwendungsreife erlangen werden und macht zum anderen deutlich, dass Produkte und Verfahren, die zwar prinzipiell über IWBT-Prozesse herstellbar sind, nur dann in wirtschaftlich wettbewerbsfähige industrielle Produktionsprozesse überführt werden können, wenn zukünftig wesentliche Fortschritte bei der Optimierung der Produktionsprozesse, Aufarbeitung und Anwendungsentwicklung erzielt werden.

Schriftliche Befragung: Branchenspezifische Akteurssicht

Eine detaillierte Auswertung der schriftlichen Befragung nach der Branchenzugehörigkeit der Akteure zeigt, dass bei den Akteuren einiger Branchen Abweichungen zur Gesamteinschätzung auftreten. Diese lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Tendenziell bewerten die Akteure der Chemieindustrie die Bedeutung aller Bereiche höher. Dort wird besonders den Bereichen Screening nach Enzymen/Mikroorganismen, Enzymdesign und -optimierung sowie der Biokatalyse einstimmig eine sehr hohe Wichtigkeit zugesprochen.
- Die Akteure der Pharmaindustrie und der Kern-Biotechnologieunternehmen sehen besonders das Screening nach Enzymen/Mikroorganismen aktuell als wichtigsten Forschungsbereich an, ihre Bedeutungseinschätzung liegt deutlich über dem bereits hohen Durchschnittswert. Für die Zukunft weicht ihre Einschätzung aber kaum vom Gesamtdurchschnitt ab.
- Bei den Lebensmittelindustrie-Akteuren sind die Abweichungen vom Gesamtdurchschnitt sehr gering. Lediglich dem Bereich der Produkt-/Anwendungsentwicklung wird aktuell und zukünftig eine überdurchschnittlich hohe Bedeutung beigemessen.
- Für die Akteure der Bereiche Bioenergie/-kraftstoffe ist die Rohstoffauswahl/-aufbereitung, Produkt- und Anwendungsentwicklung sowie die Entwicklung von Bioraffineriekonzepten aktuell am wichtigsten. Auch zukünftig sehen die Akteure dort die entscheidenden technologischen Herausforderungen.

Für das „Funktionieren des IWBT-Innovationssystems“ ist es nicht erforderlich, dass in allen Bereichen eine internationale Spitzenposition erreicht wird. Eine bestimmte kritische Masse und Abdeckung ist jedoch erforderlich, um die notwendigen Forschungskapazitäten zu erreichen, neue Entwicklungen durch das System aufzunehmen und in neue und verbesserte Prozesse, Produkte und Dienstleistungen zu überführen. Das Fehlen von Expertise in einem bestimmten Bereich kann zu Defiziten bei der Übernahme von wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen in anderen Bereichen des Innovationssystems führen. Aktuelle Studien zeigen, dass dies im Technikfeld Biotechnologie negative Effekte auf die ökonomische Leistungsfähigkeit des gesamten Innovationssystems haben kann (u. a. Reiss et al. 2003).

Schriftliche Befragung: Vergleich Antwortverhalten Unternehmen und Forschungseinrichtungen

Unternehmen und Forschungseinrichtungen zeigen ein sehr ähnliches Antwortverhalten, Übereinstimmungen sind größer als Unterschiede. Die oben skizzierten Trends werden sowohl von Unternehmen als auch Forschungseinrichtungen so gesehen. Dies deutet auf intensive Kommunikations- und Abstimmungsprozesse hin, die in den letzten Jahren gelaufen sind. Diese Vermutung wird im Abschnitt 2.6.2, S. 163 ff., bei den Untersuchungen der Kooperationsaktivitäten sowie bei der Analyse der Informationsquellen (Abbildung 2.24, S. 96, und Abbildung 2.25, S. 97) bestätigt.

(Kleinere) Unterschiede im Antwortverhalten zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen bestehen vor allem in der Bewertung der aktuellen Bedeutung von Mikrobieller Genomik und Bioinformatik sowie von Metabolic Engineering/Modellierung, die von Forschungseinrichtungen um etwa eine halbe Stufe wichtiger eingeschätzt werden als von Unternehmen. Dies spiegelt zum einen wider, dass sich diese Forschungs- und Technologiebereiche zum Teil noch in einem frühen FuE-Stadium befinden, in dem sie vor allem für (akademische und industrielle!) Forschungsfragen wichtig sind, und ihre Bedeutung für konkrete industrielle Prozesse mit dem Methoden- und Erkenntnisfortschritt in den kommenden 20 Jahren signifikant zunehmen wird. Zum anderen spiegelt sich darin wider, dass für bestimmte Anwendungen bzw. in bestimmten Branchen (vor allem Lebensmittel) gentechnisch veränderte Mikroorganismen in Produktionsprozessen und konkreten Anwendungen nach wie vor auf Akzeptanzvorbehalte stoßen und deshalb ihr bereits vorhandenes/bekanntes wissenschaftlich-technologisches Potenzial in industriellen Anwendungen bewusst nicht ausgeschöpft wird.

Schriftliche Befragung: Vergleich Antwortverhaltens KMU und Großunternehmen

Bemerkenswert ist, dass innerhalb der Unternehmen große Unternehmen denjenigen Technologiebereichen aktuell eine um etwa 0,5 Bewertungsstufen höhere Bedeutung

zumessen, die eng mit der industriellen Produktion korreliert sind. Dies sind insbesondere Screening nach neuen Mikroorganismen und Enzymen, Biokatalyse, Prozessdesign, Fermentationsprozesse, Downstream Processing, Produkt- und Anwendungsentwicklung. Hier gilt es zu prüfen, ob große Unternehmen bei der Kommerzialisierung von IWBT-Produkten und Prozessen aktuell führend sind. Berücksichtigt man, dass sich der Abstand im Antwortverhalten von KMU und Großunternehmen bei der Bewertung der künftigen Bedeutung nur geringfügig verringert, könnte dies darauf hindeuten, dass Großunternehmen auch künftig führend sein werden, während KMU möglicherweise nur bestimmte Stufen auf der Wertschöpfungskette abdecken (z. B. Screening nach neuen Enzymen) oder sich eher auf „Nischenprodukte“ fokussieren werden.

Ergebnisse Experteninterviews: Wichtige technologische Entwicklungen und technologische Probleme innerhalb der Forschungs- und Technologiebereiche

Im Rahmen des Projektes wurden 62 Experten in Interviews gefragt, welche wichtige technologische Entwicklungen / Prozesse und Trends sind und welche technologischen Probleme derzeit bzw. zukünftig existieren. Die Antworten wurden anschließend den Forschungs- und Technologiebereiche zugeordnet. Die verdichteten Ergebnisse der Experteninterviews sind in Tabelle 2.1 (technologischer Entwicklungen / Trends) und Tabelle 2.2 (technologischer Probleme) zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 2.1: Wichtige technologische Entwicklungen, Prozesse und Fragestellungen

Forschungs-/ Technologiebereiche	Aktuell	Zukünftig
1 Rohstoffauswahl und -aufbereitung (NaWaRo)	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung von Biomasse als Rohstoff • Analytische Charakterisierung nachwachsender Rohstoffe <ul style="list-style-type: none"> – Neue Biomassequellen, z. B. Algen, neue Sorten • Beeinflussbarkeit der Zusammensetzung von Biomasse <ul style="list-style-type: none"> – Transgene Pflanzen, Molekulare Genetik, heterologe Expression, Metabolic Engineering ganzer Stoffwechselwege für Sekundärmetabolite – Anbau • Extraktionsverfahren für Wertstoffe • Aufschlussverfahren für Biomasse, Überführung in fermentierbare Substrate (insb. lignocellulosehaltige Biomasse, ganze Pflanzen) • Substratengineering, Fraktionierung in Teilströme • Hochwertige Nutzungsverfahren für nicht genutzte Reststoffe 	<ul style="list-style-type: none"> • Ökonomische und ökologische Bewertung der Rohstoffe und Verfahren im Vergleich zu Alternativen • Identifizierung optimaler Rohstoffkombinationen für Ganzjahresbetrieb • Identifizierung optimaler Nutzungsoptionen und -kombinationen für die jeweiligen Rohstoffe und Produkte • Aufbau von Verbundstrukturen (Bio-raffinerie)
2 Screening nach neuen Enzymen und Organismen	<ul style="list-style-type: none"> • Hochdurchsatzverfahren (high-throughput-screening) • Miniaturisierung und Automatisierung • Metagenomics, wenig untersuchte Organismengruppen (z. B. Extremophile) • Spezifische Testsysteme für bestimmte Biokatalysatoreigenschaften, Simulation von Produktionsbedingungen (Stress) • Ligasen, Oxidoreduktasen, Isomerasen 	<ul style="list-style-type: none"> • Intelligenter, spezifischere Screening-konzepte

Fortsetzung Tabelle 2.1

Forschungs-/ Technologiebereiche	Aktuell	Zukünftig
3,4 Mikrobielle Genomik, Metabolic Engineering, Bioinformatik und Modellierung	<ul style="list-style-type: none"> • Genomik, funktionelle Genomanalyse • Molekularbiologische Werkzeuge für das Metabolic Engineering (Transformationen, heterologe Expression, Finetuning und Modulation von Expression) für Mikroorganismen, Pilze, Pflanzen, Tiere • Flux-Analyse • Bioinformatik (Datenbanken, Algorithmen und Tools für Sequenzvergleiche, Annotationen, Ableitung von Stoffwechselwegen, und Struktur-Funktionsbeziehungen), Integration von Genomics, Proteomics, Metabolomics-Daten • Systembiologie • Umfassende, quantitative Modelle • Simulation • Anwendung des Metabolic Pathway Engineering auf industrierelevante Fragestellungen (z. B. Produkte, Stoffwechselwege, Robustheit unter Produktionsbedingungen) und effiziente, robuste Produktionsorganismen 	<ul style="list-style-type: none"> • Quantitatives Systemverständnis von industriell relevanten Stoffwechselwegen, Biokatalysatoreigenschaften, Zellen, Organismen • Systembiologie als Basis für rationales Metabolic Engineering von Produktionsorganismen • Synergien aus chemischer Synthese und Biotechnologie

Fortsetzung Tabelle 2.1

Forschungs-/ Technologiebereiche	Aktuell	Zukünftig
5 Enzymdesign und -optimierung	<ul style="list-style-type: none"> • Genomik und Gentechnik für den Zugriff auf breites Spektrum an Genvarianten • Gelenkte molekulare Evolution von Enzymen • Rationales Design von Enzymen • Proteinchemie und -modifikation • Enzyme in organischen Lösungsmitteln • verbreiterte Wissensbasis über Struktur-Funktionsbeziehungen, molekularen Wechselwirkungen und Enzymeigenschaften • Einsatz der Toolbox für die Optimierung von Enzymen (Aktivität, Spezifität, Selektivität, Stabilität, ungewöhnliche Kombinationen von Eigenschaften, Robustheit unter Produktionsbedingungen) • Optimierte Enzyme für neue Anwendungen und Produkte 	<ul style="list-style-type: none"> • Intelligente Kombinationen von rationalem Design und evolutiven Verfahren • Einbindung in Multienzymkaskaden, auch Mehrphasensysteme • Einbindung in chemo-enzymatische Prozesse
6 Biokatalyse: Prozessdesign	<ul style="list-style-type: none"> • Erweiterung der Rohstoffbasis (von Zucker/Stärke hin zu Lignocellulose) • Festphasengebundene Enzyme, Immobilisierung • Ganzzellbiokatalyse • Prozesstechnologie: Zellrückführung und kontinuierliche Prozessführung – statt batch, fed-batch • Multiphasen-Bioreaktoren und -prozesse • Verfahren für Cofaktor-Regenerierung • Mikroreaktionstechnologie in Kombination mit Modellierung und Simulation • Online-Sensorik, fortgeschrittene Messtechnik, optimierte Regelung und Steuerung • Erhöhung von Ausbeuten, Produktivitäten, Wirtschaftlichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung von Abfallprodukten aus der Fermentation • Integrierte Prozessführung und Aufarbeitung • Co-Faktoren-Regeneration • Phosphatrückgewinnung • Integration von Chemo- und Biokatalyse

Fortsetzung Tabelle 2.1

Forschungs-/ Technologiebereiche	Aktuell	Zukünftig
7 Downstream Processing	<ul style="list-style-type: none"> • Membranprozesse für wässrige Medien • Elektrodialyse • Chromatographieverfahren • Nanofiltration 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung innovativer Trenn- und Aufarbeitungsverfahren
8 Nachhaltige und effiziente Systemintegration; Verknüpfung von Prozessen; Bioraffineriekonzepte	<ul style="list-style-type: none"> • Integration von stofflicher und energetischer Nutzung nachwachsender Rohstoffe • Integration von Chemie-, Bio- und Ingenieurwissenschaften • Ganzheitliche Entwicklung und Optimierung von Bioprosessen durch Integration von Spezialexpertise und Feedbackschleifen zwischen Rohstoffaufbereitung, Biokatalysatoroptimierung, Prozessdesign und DSP • Konzeptionelle Entwicklung von Bioraffinerien • Demonstrationsanlagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verstärkte Nutzung nachwachsender Rohstoffe und Aufbau entsprechender Verbundstrukturen • Aufbau und Optimierung von Bioraffinerien • Energie und Produkte aus biologischen Grundmaterialien • Sicherstellung der Kompatibilität zu vorhandenen Systemen/Verfahren

Quelle: Experteninterviews Fraunhofer Gesellschaft (Datenbasis: 62 Interviews)

Tabelle 2.2: Technologische Herausforderungen

Forschungs-/ Technologiebereiche	Aktuell vorhanden/ mittelfristig lösbar	zukünftig
1 Rohstoffauswahl und -aufbereitung (NaWaRo)	<ul style="list-style-type: none"> • Verfügbarkeit ausreichender, preiswerter Rohstoffmengen (Erweiterung der Rohstoffbasis von Zucker / Stärke hin zu Lignocellulose) • Ganzjährige Verfügbarkeit der Rohstoffe mit gleichbleibender Qualität, Logistik und Lagerfähigkeit • Gewährleistung der Fermentierbarkeit, Entfernung von Hemm-, Gift- und Störstoffen • Bereitstellung unter herrschenden klimatischen, naturräumlichen und landwirtschaftlichen Bedingungen • ggf. Gewährleistung von GVO-freien Rohstoffen (Koexistenz) 	<ul style="list-style-type: none"> • ökonomisch und ökologisch optimierte Rohstoff- und Prozesskombinationen, Überlegenheit gegenüber Alternativen • Konkurrenzfähigkeit mit technologischen Alternativen wie z. B. Vergärung/Fischer-Tropsch-Synthese • Konkurrenz zwischen Lebens- und Futtermittelnutzung, energetischer, stofflicher und biotechnisch-chemischer Nutzung
2 Screening nach neuen Enzymen u. Organismen	<ul style="list-style-type: none"> • Noch zu lange Zeit für Biokatalysatorentwicklung • Schnellere Verfügbarkeit geeigneter Biokatalysatoren für frühe Prozessbewertung und -entwicklung • Bedarf nach neuen „Standard“-Produktionsorganismen 	
3, 4 Mikrobielle Genomik, Metabolic Engineering, Bioinformatik und Modellierung	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionelle Genomik: effizientere Methoden für die Aufklärung von Genfunktionen • Entwicklung molekularbiologischer Werkzeuge für neue potenzielle „Standard“-Produktionsorganismen • Entwicklung umfassender und quantitativer Modelle von Stoffwechselwegen, Regulationsnetzwerken, Zellen, Organismen 	<ul style="list-style-type: none"> • Integration von Kontextinformation in automatisierte Genomannotationen • Nutzung von Modellen und Simulation für Planung und Bewertung gezielter Eingriffe im Rahmen des Metabolic Engineering • Synergistisches Zusammenwirken von System- und Synthetischer Biologie • Sicherheit von synthetischen Mikroorganismen

Fortsetzung Tabelle 2.2

Forschungs-/ Technologiebereiche	Aktuell vorhanden/ mittelfristig lösbar	zukünftig
5 Enzymdesign und -optimierung	<ul style="list-style-type: none"> • Beschleunigung der Optimierung von Enzymen • Verbesserte Tools für In-silico-Vorhersagen, zu welchen Enzymeigenschaften geplante Veränderungen der Enzymstruktur führen • Erhöhung der Wahrscheinlichkeit in evolutiven Verfahren, optimierte Enzyme zu entwickeln • Intelligente und spezifische Selektions- und Detektionssysteme für optimierte Enzyme • Toolbox für hohe Expression der Proteine (verschiedene Produktionsorganismen, optimiert für verschiedene Proteintypen) zur Bereitstellung optimierter Enzyme in ausreichenden Mengen • Besseres Verständnis der Expression, Biosynthese, Faltung, Modifikation und Sekretion heterologer Proteine, verbesserte Möglichkeiten zur Beeinflussung • Enzymcocktails für Lignocelluloseaufschluss • Enzyme für stereoselektive Umsetzungen, Oxidationen und C-C-Verknüpfungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Cofaktorabhängige Hybrid-Enzyme mit integrierter Cofaktorregenerierung • Produktionssysteme für nicht-natürliche Proteine und Biokatalysatoren

Fortsetzung Tabelle 2.2

Forschungs-/ Technologiebereiche	Aktuell vorhanden/ mittelfristig lösbar	zukünftig
6 Biokatalyse: Prozessdesign	<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserte Integration von Prozessdesign mit Biokatalysatorscreening und -optimierung • Hohe und gleichbleibende Qualität auch bei wechselnden Produktionsbedingungen, Reproduzierbarkeit, stabile Bioprozesse • Steigerung der Raum-Zeit-Ausbeuten, Produktivitäten, Wirtschaftlichkeit • Beschleunigung, Kostensenkung und erhöhte Zuverlässigkeit beim Upscaling • Verringerung der Zahl der Prozessschritte • Detailliertes Verständnis der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit von neuen Verfahren in Frühphase der Prozessentwicklung 	<ul style="list-style-type: none"> • Integration in bestehende chemische Produktion • neue Reaktorkonzepte • neue Analyse- und Prozessmonitor-systeme mit höherer Aussagekraft über den physiologischen Zustand der Zellen • Prozesse mit Reaktionskaskaden
7 Downstream Processing	<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserte Integration von DSP-Design mit Biokatalysatoroptimierung und Prozessdesign • Senkung der Betriebskosten • Lösungsmittelstabilität, viskose Medien • Reproduzierbarkeit • Aufbereitungstechnologien integriert und/oder nachgeschaltet • Betriebsweisen (Satzbetrieb) • Schnittstellen zu bestehenden Prozessen 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimale Downstream-Prozesse

Fortsetzung Tabelle 2.2

Forschungs-/ Technologiebereiche	Aktuell vorhanden/ mittelfristig lösbar	zukünftig
8 Nachhaltige und effiziente Systemintegration, Vernetzung von Prozessen; Bioraffineriekonzepte;	<ul style="list-style-type: none"> • Ganzheitliche Prozessbetrachtung • Überwindung von Pfadabhängigkeiten in der chemischen Produktion • Schnittstellen zu bestehenden Prozessen/ Neue Prozesse nicht ohne weiteres in bestehende Großanlagen integrierbar • Existenz konkurrierender chemischer Verfahren • Integration von einzelnen Verfahren und Produkten in ein Gesamtkonzept 	

Quelle: Experteninterviews Fraunhofer Gesellschaft (Datenbasis: 62 Interviews)

2.2.2.2 Bedeutung einzelner Forschungs- und Technologiebereiche

2.2.2.2.1 Rohstoffauswahl und -aufbereitung

Die Entwicklung der industriellen, weißen Biotechnologie ist eng und synergistisch mit einer sukzessiven Umstellung der industriellen Rohstoffbasis auf Biomasse verbunden: zum einen benötigen fermentative Verfahren Biomassebestandteile als Substrat. Zum anderen sind gerade Biokatalysatoren auf Grund ihrer hohen Spezifität und Selektivität in besonderem Maße geeignet, das komplexe Substanzgemisch, aus dem Biomasse besteht, spezifisch in die gewünschten Produkte umzusetzen. Darüber hinaus erfordert die Nutzung von Biomasse als Rohstoff für die chemische Industrie einen Paradigmenwechsel in Bezug auf die anzuwendenden chemischen Reaktionen und Prozesse: Während die Umsetzung fossiler Kohlenwasserstoffe vor allem die Einführung von Sauerstoff in die Moleküle bzw. Oxidationen erfordert, muss eine Umsetzung der kohlenhydratbasierten Biomasse zu den gewünschten Produkten vor allem eine Entfernung von Wasser, d. h. Reduktionen ermöglichen (Lichtenthaler und Peters 2004).

Tabelle 2.3 Produktion und Nutzung von Biomasse weltweit

Biomasseproduktion und -nutzung	Mrd. t/Jahr	Anteil (%)
Biomasseproduktion durch Fotosynthese	170-180	100
• davon vom Menschen genutzt	6	3,5
Genutzte Biomasse	6	100
• davon für Lebens- und Futtermittel	3,7	62
• davon technische Nutzung	2,3	38
– davon energetische Nutzung, Baumaterial	2	33
– davon Rohstoff für Chemische Industrie	0,3	5

Quelle: Daten aus Busch et al. 2006, Peters 2006a, Peters 2006b

Durch Fotosynthese werden weltweit etwa 170 Mrd. Tonnen Biomasse produziert, von denen nur etwa 3 % durch den Menschen genutzt werden, und zwar ganz überwiegend als Nahrungs- und Futtermittel, Baumaterial und Energiequelle. Nur ein verschwindend geringer Anteil von 0,3 Mrd. t/Jahr wird derzeit als Rohstoff in der Chemischen Industrie genutzt (Tabelle 2.3). Es sollte daher grundsätzlich möglich sein – wenn ggf. auch mit regionalen Einschränkungen – die industrielle Nutzung der Biomasse gegenüber dem jetzigen Stand deutlich auszuweiten, ohne die Nahrungsmittelproduktion zu beeinträchtigen (Perlack et al. 2005). Allerdings ist zu berücksichtigen,

dass nicht nur industrielle, sondern auch die energetische Nutzung von Biomasse mit der Lebens- und Futtermittelproduktion um Biomasse und Flächen konkurriert (Busch et al. 2006). Berechnungen von Patel et al. 2006 weisen darauf hin, dass die Landnutzung für die Produktion von Bulkchemikalien auf Biomassebasis deutlich höhere Einsparungen an nicht-erneuerbarer Energie, bezogen auf die benötigte landwirtschaftliche Fläche¹³ ermöglicht als für die Bereitstellung von Bio-Ethanol als Treibstoff und damit unter Umweltgesichtspunkten als günstiger zu bewerten wäre.

Zu den Vorteilen von Biomasse als Basis für eine materielle Stoffwirtschaft zählen (Claus und Vogel 2006)

- Beitrag zum Klimaschutz wegen CO₂-Neutralität,
- Unterstützung der Landwirtschaft und Förderung ländlicher Regionen,
- Potenzial zur Wertschöpfung im eigenen Land, statt in Lieferländern fossiler Rohstoffe,
- dezentrale Strukturen mit entsprechend dezentralen Arbeitsplätzen,
- Verringerung der Abhängigkeit vom Erdöl,
- nachhaltige Ressourcennutzung.

Schätzungen zufolge besteht die weltweite jährliche Biomasseproduktion von 170 Mrd. Tonnen zu 75 % aus Kohlenhydraten, hauptsächlich in Form von Cellulose, Hemicellulosen, Chitin, Stärke und Saccharose, zu 20 % aus Lignin und zu 5 % aus Ölen und Fetten, Proteinen und verschiedenen anderen Inhaltsstoffen wie z. B. sekundären Pflanzenstoffen. Allerdings gibt es große quantitative und qualitative Unterschiede in der Zusammensetzung in Abhängigkeit von der Pflanzenart und -sorte, dem Pflanzenorgan sowie dem Entwicklungsstadium der Pflanze.

Grundsätzlich müssen biomassebasierte Rohstoffe eine Vielzahl von generellen Anforderungen erfüllen, um für die industrielle, weiße Biotechnologie geeignet zu sein. Hierzu zählen

- Verlässliche Verfügbarkeit in den benötigten Mengen,
- Einheitliche Qualität und Zusammensetzung,
- Absolute Kosten (die Wirtschaftlichkeit von Fermentationsverfahren wird wesentlich durch die Investitionskosten, Betriebskosten und Rohstoffkosten bestimmt) sowie Preisstabilität und Kalkulierbarkeit der Rohstoffkosten,
- Fermentierbarkeit, Abwesenheit von Hemm-, Gift- und Störstoffen,

¹³ GJ eingesparte nicht-erneuerbare Energie/Hektar benötigter landwirtschaftlicher Fläche.

- Verarbeitbarkeit,
- Möglichst vollständige Nutzbarkeit aller Bestandteile,
- Logistische Aspekte, Transportwege, jahreszeitliche Verfügbarkeit und Lagerfähigkeit,
- Eignung für die herrschenden klimatischen und landwirtschaftlichen Bedingungen.

Da Biomasse als Rohstoff stets ein komplexes Stoffgemisch darstellt, ist in der Regel eine Aufarbeitung und Umsetzung zu den gewünschten Produkten erforderlich. Dabei eröffnen sich die folgenden prinzipiellen Nutzungsoptionen:

- Nutzung der von der Natur erzeugten, in der Biomasse bereits vorliegenden chemischen Strukturen ohne oder nur mit wenigen chemischen Veränderungen. Dies erfordert vor allem die Identifizierung und Charakterisierung von Wertstofffraktionen der Biomasse (z. B. sekundäre Pflanzenstoffe als Inhaltsstoffe für funktionelle Lebensmittel (TAB 2005, Menrad et al. 2000, Rodriguez et al. 2006)) sowie die Entwicklung und Implementierung effizienter Extraktionsverfahren.
- Biotransformationen.
- Umsetzung zu „Plattformchemikalien“, von denen ausgehend weit verzweigte Produktbäume erschlossen werden können. Ein Screening auf vielversprechende Plattformchemikalien und deren Bewertung wurde beispielsweise von Patel et al. 2006 und Werpy und Petersen 2004 vorgenommen.
- Totalabbau der Biomasse zu einheitlichen, kleinen Bausteinen (z. B. Synthesegas, Pyrolyseöl und -gas, Methan), und von diesen ausgehend Synthese der gewünschten Zielmoleküle.
- Energetische Nutzung, z. B. durch Verbrennung.

Herausforderungen bestehen darin, für die jeweiligen Rohstoffe geeignete Kombinationen der oben genannten Nutzungsoptionen zu finden, die technisch realisierbar, wirtschaftlich zu betreiben und ökologisch sinnvoll sind, eine hohe Wertschöpfung ermöglichen und diese in einer Bioraffinerie zu implementieren (van Dam et al. 2005, Ragauskas et al. 2006). Auf Bioraffinerien wird in Kapitel 2.2.2.2.10 eingegangen.

Derzeit werden vor allem Öle industriell genutzt (für Tenside, Schmierstoffe, Biodiesel), wobei biotechnische Verfahren bislang nur eine untergeordnete, künftig aber durchaus eine bedeutendere Rolle spielen (Tyson et al. 2004). Bei der Biodieselherstellung fallen als Kuppelprodukt große Mengen an Rohglycerin im Umfang von etwa 10 % der Biodieselproduktion an. Da die Wirtschaftlichkeit oleochemischer Verfahren in großem Maße von den Verwertungsmöglichkeiten des Glycerins abhängt, ist die Suche nach hochwertigen Glycerin-Verwertungsverfahren Gegenstand der aktuellen Forschung. Hierfür kommen sowohl chemische Umsetzungen als auch die Nutzung von Glycerin als C- und Energiequelle für Fermentationen in Betracht (Patel et al. 2006).

Darüber hinaus sind als Rohstoffe vor allem die mengenmäßig sehr bedeutsamen und bereits heute in der IWBt breit genutzten Kohlenhydrate von Interesse (Busch et al. 2006; Peters 2006a; Lichtenthaler, Peters 2004; Ramesh, Tharanathan 2003), die etwa 75 % der insgesamt produzierten Biomasse ausmachen. Derzeit nutzen die im industriellen Maßstab betriebenen fermentativen Verfahren mit chemoorganoheterotrophen Mikroorganismen nahezu ausschließlich Glucose, Saccharose und Stärke(hydrolysate) als C- und Energiequelle aus agrarischen Rohstoffen (Peters 2006a; Hüsing et al. 2003) und damit nur einen Bruchteil der in der Biomasse vorhandenen Kohlenhydrate. Hier bestehen intensive Bestrebungen, auch lignocellulosehaltige Biomasse als Substrat für biotechnische Verfahren zu erschließen. Als Vorteile der lignocellulosehaltigen Biomasse gegenüber der Verwendung zucker- und stärkehaltiger Substrate werden genannt (Claassen et al. 1999):

- Niedrige Substrat- und damit deutlich niedrigere Produktionskosten.
- Vorkommen in großen Mengen. Etwa 50 % der Weltbiomasseproduktion ist Lignocellulose. Jedoch gibt es große Unterschiede in der regionalen Verfügbarkeit.
- Vielfältige Quellen nutzbar ohne Beeinträchtigung von Lebensmittel- und Futtermittelanwendungen. Als Quellen für Lignocellulose kommen prinzipiell Durchforstungsholz, feste Siedlungsabfälle, landwirtschaftliche Reststoffe (z. B. Stroh, Maiskolben, Bagasse), industrielle Produktionsrückstände, sowie Industriepflanzen (Einjahrespflanzen, Kurzumtriebshölzer) in Betracht, die nicht zugleich als Lebens- oder Futtermittel verwendet werden (Peters 2006a).
- Verwertung ganzer Pflanzen (statt isolierter Inhaltsstofffraktionen wie z. B. Stärke) als Fermentationssubstrat.

Die wesentlichen Herausforderungen für die Nutzung von Lignocellulose als Substrat für biotechnische Produktionsverfahren sind (Cherry und Wenger 2005):

- Kosteneffizienter, ressourcenschonender Aufschluss der Lignocellulose, um die enthaltenden Zucker bioverfügbar zu machen, ohne Bildung von Hemmstoffen.
- Vollständige Umsetzung sowohl der Hexosen als auch der Pentosen zum gewünschten Produkt, möglichst in derselben Prozessstufe wie der Lignocelluloseaufschluss.
- Kosteneffiziente und ressourcenschonende Abtrennung des Produkts.
- Hochwertige Verwertung bzw. Kreislaufführung sämtlicher im Prozess anfallenden Reststoffe (z. B. Biomasse, Lignin, Schlempe) (Mussatto et al. 2006).
- Integration sämtlicher Teillösungen in einen Gesamtprozess.

Im Folgenden wird auf einzelne Aspekte näher eingegangen:

Um lignocellulosehaltige Biomasse in ein fermentierbares Substrat zu überführen, müssen zunächst die Zucker in eine bioverfügbare Form gebracht werden. Hierfür müssen Cellulose und Hemicellulosen aus ihrem Komplex mit Lignin herausgelöst, die kristalline Struktur der Cellulose aufgebrochen und Cellulose und Hemicellulosen in ihre monomeren Zuckerbausteine zerlegt werden (Lynd et al. 2002). Darüber hinaus muss das Aufschlussverfahren so ausgestaltet werden, dass möglichst wenig hemmend wirkende Substanzen (z. B. schwache Säuren, Furanderivate, phenolische Substanzen) gebildet werden, die die Fermentation negativ beeinflussen. Für den Aufschluss wird eine Kombination aus mechanischem Aufschluss, Säurebehandlung und enzymatischer Hydrolyse durch Cellulasen angestrebt, die zudem für die verschiedenen Lignocellulosequellen optimiert werden müssen (Mosier et al. 2005).

In den USA wird die Optimierung der enzymatischen Hydrolyse mittels Cellulasen in mehreren großen Forschungsprojekten mit dem Ziel der Bioethanolproduktion untersucht. Ziel ist die Erhöhung der Cellulaseaktivität bzw. die Senkung der Cellulase-Produktionskosten mindestens um den Faktor 10; hier wurden bereits erste vielversprechende Meilensteine erreicht (Greer 2005). Darüber hinaus wird daran gearbeitet, Lignocellulose-Verzuckerung und fermentative Produktion in derselben Prozessstufe ablaufen zu lassen (Öhgren et al. 2006). Ein Ansatz innerhalb dieser Strategie ist die Expression von Cellulasegenen in Produktionsorganismen, die natürlicherweise nicht über die Fähigkeit zur Cellulosehydrolyse verfügen (Lynd et al. 2005), sowie die Suche nach Produktionsorganismen, die hohe Toleranz gegenüber lignocellulose-spezifischen Hemmstoffen aufweisen.

Für ein gegebenes Fermentationsprodukt (z. B. Bioethanol) müssen darüber hinaus Produktionsorganismen gefunden werden, die sowohl Glucose als auch die Hemicellulose-Pentosen Xylose und Arabinose effizient nutzen (Öhgren et al. 2006). Sofern keine natürlichen Mikroorganismen mit diesen Fähigkeiten genutzt werden können, muss Metabolic Engineering (Kapitel 2.2.2.2.4) betrieben werden.

Im Themenfeld Rohstoffauswahl und -aufbereitung kann zum einen, ausgehend von einem vorgegebenen Rohstoff (z. B. Lignocellulose, Hemicellulosen, Öle, Glycerin) geprüft werden, welche Plattformchemikalien, Produktbäume und Produkte daraus herstellbar sind und welche Verfahren hierfür aussichtsreich erscheinen. Zum anderen kann für vorgegebene Produkte (z. B. Biopolymere) geprüft werden, aus welchen Rohstoffen sie mit welchen Verfahren hergestellt werden können. Innerhalb dieser Strategien ergeben sich folgende Forschungsaufgaben:

- Ermittlung der genauen stofflichen Zusammensetzung der Biomasse, insbesondere bei der Charakterisierung neuer Biomassequellen (z. B. Algen), in Abhängigkeit von Pflanzenarten und -sorten, Kulturbedingungen, Alter, Klima, Schädlingsbefall o. Ä.

Darüber hinaus ist die gezielte Beeinflussung der Biomassezusammensetzung, z. B. durch Anbau, oder Züchtung und gentechnische Veränderung (TAB 2005; Moldenhauer et al. 2006; Bevan, Franssen 2006; Herdt 2006) zu untersuchen.

- Direkte Extraktion von Wertstoffen aus Biomasse.
- Aufschlussverfahren für Biomasse, Überführung in fermentierbare Substrate. Hierunter fallen die Entwicklung von Aufschlussverfahren bzw. -verfahrenskombinationen, das Substratengineering (z. B. zur Entfernung von Hemmstoffen, die Optimierung der (Nährstoff-)Zusammensetzung für nachfolgende Prozessschritte) und die Fraktionierung in Teilströme für verschiedene Verwertungswege.
- Die Entwicklung von Herstellverfahren für Plattformchemikalien sowie für Zwischen- und Endprodukte ausgehend von diesen Plattformchemikalien (Patel et al. 2006; Werpy, Petersen 2004).
- Die Entwicklung von hochwertigen Nutzungsverfahren für Reststoffe und Kreislaufführungen.
- die ökonomische und ökologische Bewertung der Verfahren und Produkte im Vergleich zu Alternativen.

Zurzeit wird zwischen Interessensvertretern der Grünen Gentechnik und der IWBT eine kontroverse Diskussion geführt, welche Bedeutung der Grünen Gentechnik innerhalb der IWBT zukommen sollte und müsste. Synergien zwischen beiden Bereichen lassen sich beispielsweise dort identifizieren, wo die gentechnische Veränderung von Nutzpflanzen dazu beiträgt, eine kosteneffizientere Produktion im Rahmen der IWBT zu ermöglichen. Dies könnte beispielsweise durch gentechnisch veränderte Nutzpflanzen mit veränderten agronomischen Eigenschaften (Input Traits) erreicht werden, die höhere Erträge bei verringertem Einsatz von Pestiziden, Dünger oder Bewässerung erbringen. Beiträge sind auch von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) zu erwarten, deren Biomasse so verändert wurde, dass sie leichter zu fermentierbaren Zuckern aufschmelzbar ist bzw. einen verringerten Gehalt an schwierig zu verwertenden Reststoffen aufweist. Während Kohlenhydrate und Öle von herbizid- und insektenresistenten gentechnisch veränderten Nutzpflanzen bereits kommerziell breit verfügbar sind, sind GVP mit maßgeschneiderter Biomassezusammensetzung überwiegend noch in der Erprobungs- und Zulassungsphase. Möglich ist auch eine Verlagerung von biotechnischen, chemischen oder technischen Verfahrensschritten in das pflanzliche Produktionssystem selbst. Beispiele sind Stärkepflanzen mit modifizierter Stärkezusammensetzung, lysinreiche Futterpflanzen, Substitution der enzymatischen Stärkehydrolyse durch Hydrolyse von Polyfructanen aus GVP zur Fructoseproduktion, Derivatisierung von natürlichen Ölen in-planta, Produktion von Polymeren (z. B. Polyhydroxyalkanoaten, proteinbasierten Polymerfasern, Aminosäurepolymeren) in GVP. GVP weisen im Vergleich zu mikrobiellen Produktionsplattformen jedoch den grundsätzlichen Nachteil auf, dass

durch die gesetzlichen Vorschriften der Freilanderprobung und der Pflanzen- und Produktzulassung die „time-to-market“ länger sein kann. Zudem befinden sich die rechtlichen Anforderungen an die Koexistenz mit nicht-transgener Lebens- und Futtermittelproduktion noch in der Entwicklung (Patel et al. 2006).

2.2.2.2 Screening nach neuen Enzymen und Mikroorganismen

Enzyme und Mikroorganismen sind Biokatalysatoren, die einen essenziellen und zentralen Bestandteil von industriellen Bioprozessen darstellen. Ihre besonderen Eigenschaften sind die hochspezifische chemo-, regio- und stereoselektive Umsetzung von Substraten in die gewünschten Produkte sowie ihr Arbeiten unter – im Vergleich zur konventionellen chemischen Synthese – milden Reaktionsbedingungen, die in der Regel den Umgebungsbedingungen in Bezug auf Druck, Temperatur und pH-Wert entsprechen (Breuer und Stürmer 2006).

Tabelle 2.4: Natürlich vorkommende Biodiversität an Mikroorganismen und Enzymen und ihre Nutzung in industriellen Prozessen

Biokatalysator	
Natürlich vorkommende Mikroorganismenarten	mehrere 10 ⁶
• davon bekannt	einige 10.000 (1 %)
• davon unter Laborbedingungen kultivierbar	ca. 5.000
• davon in industriellen Prozessen genutzt	ca. 100
Natürlich vorkommende Enzyme	mehr als 7.000
• davon bekannt	ca. 4.600 ¹⁴
• davon kommerzielle, industrielle Enzyme	ca. 200 ¹⁵

Quelle: Eigene Zusammenstellung von Informationen aus Dechema 2004, Marscheider-Weidemann und Hüsing 2004

Tabelle 2.4 gibt einen Eindruck davon, dass von der enormen natürlich vorhandenen Biodiversität an Enzymen und Mikroorganismen bislang nur ein Bruchteil überhaupt bekannt ist und davon ein nochmals geringerer Anteil industriell genutzt wird.

¹⁴ nach Angaben in der Enzymdatenbank BRENDA, Release 2006.2; siehe <http://www.brenda.uni-koeln.de>

¹⁵ nach Angaben in der Liste der kommerziellen Enzyme vom 6.8.2004, erstellt von der Association of Manufacturers and Formulators of Enzyme Products (AMFEP); siehe <http://www.amfep.org/>

Eine verbesserte Ausschöpfung der natürlich vorkommenden Mikroorganismen und Enzyme eröffnet damit das Potenzial, das Spektrum der industriellen Bioprozesse deutlich zu erweitern bzw. bestehende Prozesse noch weiter zu optimieren. Im Folgenden wird dargelegt,

- welche Methoden und Konzepte verfolgt werden, um neue Mikroorganismen und Enzyme mit neuen oder verbesserten Eigenschaften zu finden,
- welche Mikroorganismen und mikrobiellen Eigenschaften von besonderem Interesse sind, und
- welche Enzyme und Enzymeigenschaften von besonderem Interesse sind.

Seit langem wird der Pool der natürlich vorkommenden Mikroorganismen und Enzyme auf Biokatalysatoren gescreent, die nützliche Eigenschaften für industrielle Anwendungen aufweisen (Ogawa und Shimizu 1999, Ogawa und Shimizu 2002). Herausforderungen bestehen darin, die etablierten Screeningverfahren einfacher, schneller, zielorientierter und „intelligenter“ und damit effizienter zu machen (Robertson und Steer 2004). Hierzu wird die Automatisierung und Miniaturisierung der Verfahren verfolgt, so dass das automatisierte Durchmusterung einer großen Zahl von Proben in kurzer Zeit (Hochdurchsatzverfahren) (Kumar, Clark 2006), das Screening im Mikro- oder Nanolitermaßstab (Fernandes, Cabral 2006) und die Detektion von einzelnen Molekülen möglich wird. Von Interesse sind auch Detektions- und Selektionssysteme, die ein Screening auf die Fähigkeit zur Katalyse enantioselektiver Reaktionen ermöglichen (Lorenz und Eck 2004) und die die gewünschten Prozessbedingungen bereits im Screeningprozess imitieren.

Aufbauend auf der Erkenntnis, dass nur ein kleiner Ausschnitt der natürlich vorkommenden Mikroorganismen unter Laborbedingungen kultivierbar ist, zielen die unter dem Begriff „Metagenomics“ zusammengefassten Methoden und Ansätze darauf ab, Genbibliotheken von nicht kultivierbaren Mikroorganismen anzulegen und auf gewünschte Biokatalysatoreigenschaften und -funktionalitäten zu screenen (Lorenz und Eck 2005; Lorenz 2006; Langer et al. 2006). Hierbei kann zum einen eine Expressionsklonierung durchgeführt und anschließend in geeigneten Testsystemen auf entsprechende Funktionalitäten bzw. Enzymaktivitäten gescreent werden. Zum anderen kann direkt auf DNA-Ebene unabhängig von funktionellen Testsystemen gescreent werden, indem Gene, die bekannten Enzymgenen ähnlich sind, mit Hilfe von PCR-Amplifikation und Southern Blotting identifiziert werden (Tringe und Rubin 2005).

Ein weiterer Ansatz, die natürliche biologische Vielfalt für industrielle Prozesse nutzbar zu machen, ist das Screenen von Organismengruppen, die bislang wenig untersucht sind bzw. mit erhöhter Wahrscheinlichkeit günstige Eigenschaften für industrielle Prozesse aufweisen. Hierzu zählen nicht kultivierbare und extremophile Mikroorganismen

(Schiraldi und De Rosa 2002, Marhuenda-Egea und Bonete 2002, Haki und Rakshit 2003, Gomes und Steiner 2004, Egorova und Antranikian 2005, Siddiqui und Cavicchioli 2006).

Beim Screening nach neuen Mikroorganismen wird meist das Ziel verfolgt, robustere Produktionsorganismen aufzufinden, die beispielsweise

- widerstandsfähig gegenüber Stress durch die extremen Kulturbedingungen sind, die in Hochleistungsproduktionsprozessen herrschen,
- widerstandsfähiger gegenüber Schwankungen in den Prozessbedingungen, gegenüber Kontaminationen oder toxischen Substanzen sind, die in der Fermentationsbrühe enthalten sein können,
- hohe Produktivitäten bei gleichzeitig minimalem Wachstum aufweisen,
- anaerob sind, und daher keinen Belüftungsaufwand benötigen,
- die ein breiteres Substratspektrum aufweisen, um z. B. das breite Spektrum an Zuckern aus Holzhydrolysaten verwerten zu können (s. auch Kapitel Rohstoffauswahl),
- die kostengünstige N- bzw. C-Quellen (z. B. Rohglycerin) nutzen können oder
- die Vereinfachung der Produktionsprozesse (geringere Anzahl an Prozessschritten oder -stufen, leichtere Abtrennbarkeit z. B. durch Flokkulation) ermöglichen.

Trotz der wachsenden Bedeutung der Enzymkatalyse in industriellen Prozessen weisen Enzyme häufig Eigenschaften auf, die für ihren Einsatz in technischen Prozessen nachteilig sind. Deshalb ist das Screening nach folgenden Enzymtypen bzw. -eigenschaften von Bedeutung, um das Potenzial der Biokatalyse für industrielle Prozesse ausschöpfen zu können (Marscheider-Weidemann und Hüsing 2004):

- Erhöhte katalytischen Aktivität bzw. verbesserte katalytischen Eigenschaften der Enzyme (z. B. veränderte k_m -Werte, verringerte Endprodukthemmung, katalytische Aktivität auch in organischen Lösungsmitteln, erhöhte Enzymstabilität),
- Erschließung von Enzymen, die andere als hydrolytische Reaktionen katalysieren. Etwa 75 % aller derzeit industriell genutzten Enzyme sind Hydrolasen (Drepper et al. 2006b, Hasan et al. 2006). Biokatalysatoren sind insbesondere von Interesse für die Katalyse von Reaktionen, die mit konventioneller Synthesechemie schwierig auszuführen sind. Dies sind z. B. C-C-Verknüpfungen, Oxidations- und Reduktionsreaktionen (auch cofaktorabhängig), die neue chirale Zentren generieren. Hierzu zählen insbesondere Oxidoreduktasen, Isomerasen und Ligasen. Darüber hinaus wären Enzyme wünschenswert, die nicht nur an C- oder O-Atomen angreifen, sondern auch an N- oder P-Atomen,
- Erweiterte Temperatur- und pH-Grenzen, innerhalb derer Enzyme katalytisch aktiv sind (Siddiqui und Cavicchioli 2006),

- Enzyme mit ungewöhnlichen Kombinationen von Eigenschaften (z. B. in Bezug auf Temperatur und -pH-Optima),
- Verbreiterte Substratspezifität (weg von „für jedes Substrat ein eigenes Enzym“),
- Verbreiterte Enantioselektivität für unnatürliche, synthetische Substrate,
- Erhöhte Enzymstabilität unter Lagerungsbedingungen,
- Enzymcocktails zum Aufschluss von Biomasse zu fermentierbaren Substraten.

2.2.2.3 Mikrobielle Genomik und Bioinformatik

Durch methodisch-technische Weiterentwicklungen bei der DNA-Sequenzierung können mittlerweile ganze Genome teilautomatisiert, schnell und vergleichsweise kostengünstig sequenziert werden. So sind beispielsweise in den Datenbanken des US-Ressourcenzentrums für molekularbiologische Information bei den National Institutes of Health, dem National Center for Biotechnology Information (NCBI) zurzeit (November 2006) die vollständigen Genomsequenzen von 414 Mikroorganismenstämmen hinterlegt, und noch unvollständige Sequenzinformationen liegen für die Genome weiterer 672 Eubakterien, Archaeae und Pilze vor (Tabelle 2.5). Es ist davon auszugehen, dass darüber hinaus auch die Genomsequenzen zahlreicher industriell relevanter Produktionsstämme für den firmeninternen Gebrauch erstellt wurden, die aber nicht öffentlich zugänglich gemacht werden.

Tabelle 2.5: Laufende und abgeschlossene Totalsequenzierungen der Genome von Mikroorganismen

Organismengruppe	Eubakterien	Archaeae	Pilze	Gesamt
Vollständige Genomsequenz vorhanden	376	29	9	414
Totalsequenzierung im Gange	617	28	27	672
Gesamt	993	57	36	1086

Quelle: Eigene Zusammenstellung von Angaben des National Center for Biotechnology Information (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genomes>; zuletzt aufgerufen 6.11.2006)

Die große und noch wachsende Zahl an Genomdaten erfordert große Anstrengungen, auch die Funktionen der hierdurch identifizierbaren Gene aufzuklären. Neben den „klassischen“ Methoden der Überexpression bzw. differentiellen Expression und dem gezielten Ausschalten von Genen stehen mit Genchips, Mikroarrayanalysen, der 2-D-Gelelektrophorese, Quantifizierung von Proteinen über $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ -Markierungen, ^{13}C -basierte Stoffflussanalysen, quantitative Metabolomanalysen, In-vivo-Bildgebung mit Reporter-molekülen und Protein-Proteinwechselwirkungsanalysen u. a. leistungsfähige

Methoden zur Funktionsaufklärung von Genen zur Verfügung (Dechema 2004), jedoch ist zu konstatieren, dass die Aufklärung der Genfunktionen langsamer verläuft als die Generierung von -omics-Daten. Mit der Verfügbarkeit dieser Daten wird es möglich, Lebensprozesse auf der Systemebene quantitativ verstehen und auch beeinflussen zu können. Hierfür müssen die Genom-, Transkriptom-, Proteom- und Metabolom-Daten aber miteinander integriert und mit physiologischen bzw. phänotypischen Informationen kombiniert werden. Hierauf zielt die Systembiologie ab, bei der durch Integration der -omics-Informationen quantitative Modelle der betreffenden Lebensprozesse und Zellleistungen, ggf. auch der Zelle und des Organismus entwickelt, experimentell überprüft und verfeinert werden (Palsson 2002, Kitano 2002, Westerhoff und Palsson 2004, Lee et al. 2005, Koffas und Stephanopoulos 2005, Reiss und Diekmann 2005).

Die durch die Genom- und Postgenom-Arbeiten generierten enormen Datenmengen erfordern den Einsatz und die Weiterentwicklung der Bioinformatik. Sie befasst sich mit den informationstechnischen Grundlagen und Anwendungen der Speicherung, Organisation und Analyse von biologischen Daten. Die aktuelle Forschung in der Bioinformatik mit Relevanz für die industrielle, weiße Biotechnologie umfasst im Bereich der

- Genomik: Sequenzierung und vergleichende Analyse von Genomen, um Gene zu identifizieren und mutmaßliche Genfunktionen zu ermitteln,
- Proteomik: Identifizierung und Charakterisierung von Proteineigenschaften und Rekonstruktion von Stoffwechselwegen und Regulationsnetzwerken,
- Visualisierung und Simulation: Untersuchung und Modellierung von Zellverhalten,
- Anwendung dieses Wissens für die gezielte Optimierung von Biokatalysatoren (Zellen und Enzymen).

Die grundlegenden Werkzeuge hierfür sind Genomsequenzdatenbanken, Expressionsdatenbanken (Whitfield et al. 2006), Genom-Browser, Programme und Algorithmen für Sequenzvergleiche, zur Ab-initio-Vorhersage von Genen und Promotoren (Teufel et al. 2006). Hierzu zählen außerdem Bioinformatikansätze und -werkzeuge zur Integration von Genom- und Proteomdatenbanken, zur Zuweisung wahrscheinlicher Funktionen zu unbekanntem Genen durch Sequenzvergleich mit Genen bekannter Funktion, die Ableitung von Stoffwechselwegen aus Genanalysen, die Ableitung von Regulationswegen und -netzwerken durch Genexpressionsanalysen und die Auswertung von Protein-Protein- sowie Protein-DNA-Wechselwirkungen (Perco et al. 2006), die Entwicklung von statistischen Verfahren, Clusteranalyseverfahren und Data-Mining-Verfahren zur Identifizierung relevanter Informationen in den großen Datenmengen, sowie die Vorhersage und Modellierung der dreidimensionalen Struktur von Molekülen zur Unterstützung des rationalen Designs, die differenzielle Analyse von Wildtyp- und

Hochleistungsstämmen zur Identifizierung von produktionsrelevanten Eigenschaften und damit korrelierten Genen, Proteinen und Regulationsmechanismen (Bansal 2005).

Insgesamt verspricht man sich von den oben aufgeführten Forschungsansätzen in -omics und Bioinformatik

- ein besseres Verständnis der genetischen und molekularen Grundlagen industriell wichtiger Mikroorganismeneigenschaften, Stoffwechselwege und Regulationsmechanismen,
- die Vorhersage und Modellierung von Enzym- und Molekül-Raumstrukturen und -funktionen auf der Basis von Primärsequenzinformationen,
- die Entwicklung umfassender und quantitativer Modelle von Stoffwechselwegen, Regulationsnetzen, Zellen bis hin zu ganzen Organismen,
- die Simulation und Vorhersage des Verhaltens dieser komplexen Systeme und die Wirkungen von gezielten Eingriffen in diese Systeme,
- die Bereitstellung von Wissen und materiellen Grundlagen (z. B. Genen) für das gezielte und rationale Katalysatordesign. Hierfür können für bekannte Genfunktionen gezielt funktionelle Äquivalente von Enzymen, Regulatoren o. Ä. mit für den jeweiligen Produktionsprozess günstigeren Eigenschaften aus dem Genpool ausgewählt und für die Biokatalysatoroptimierung eingesetzt werden. Darüber hinaus können unbekannte Gene identifiziert und die korrespondierenden Funktionen ermittelt werden.
- die Entwicklung von minimalen bzw. synthetischen Zellen. Gemeinsames Ziel dieser beiden komplementären Ansätze ist es, einen Biokatalysator zu entwickeln, der nur diejenigen Funktionen aufweist, die für den jeweiligen Produktionsprozess benötigt werden. Somit würde es sich um ein sehr einfaches, aber hocheffizientes Produktionssystem handeln, das vergleichsweise einfach „umprogrammiert“ und auf andere Produktionsprozesse angepasst werden kann. Ein möglicher Zugang könnte von natürlichen Mikroorganismen ausgehen, die auf ihre essenziellen Funktionen reduziert werden („minimale Zelle“). Ein alternativer Zugang könnte, ausgehend von der Kenntnis essenzieller Funktionen und Gene, auf die Entwicklung eines synthetischen Organismus abzielen („synthetische Zelle“) (Werner 2003, McDaniel und Weiss 2005). Hier sind auch Forschungen zu Synthosomen einzuordnen (Onaca et al. 2006).

Die oben skizzierten Entwicklungen erweitern, verbessern, verändern und beschleunigen somit signifikant die Möglichkeiten zur Entwicklung von Mikroorganismen mit industriell interessanten Eigenschaften. Um das Potenzial künftig voll auszuschöpfen, ist es nach Einschätzung der befragten Experten und der Europäischen Technologieplattform für Nachhaltige Chemie (SusChem 2005a) erforderlich,

- die Aktivitäten in der mikrobiellen Genomik und funktionellen Genomik fortzuführen,

- insbesondere die Funktion bislang unbekannter Gene aufzuklären und hierfür auch neue Methoden mit höherer Effizienz zu entwickeln, so z. B. neue und spezifischere Ansätze zur phänotypischen Charakterisierung von Mutanten zu entwickeln, bei denen Gene gezielt überexprimiert bzw. ausgeschaltet wurden,
- bei den automatisierten Genomannotationen Kontextinformationen mit zu integrieren. Dadurch könnten z. B. bei der Rekonstruktion von Stoffwechselwegen, ausgehend von annotierten Genomsequenzen, die Clusterung von Genen auf dem Chromosom oder die Einbindung des betreffenden Gens in regulatorische Netzwerke und die wirksamen Regulationsmechanismen berücksichtigt werden. Entsprechende Informationen wären für eine schnelle Bewertung der Stoffwechselleistungen eines Mikroorganismus und der Implikationen für das Prozessdesign wichtig.
- die Anwendung der Wissensbasis und Methoden auf die Aufklärung
 - komplexer Eigenschaften von industrieller Relevanz, wie z. B. Bildung von Geruchs- und Geschmacksstoffen, Reaktion des Organismus auf Stressbedingungen, Synthesewege für Naturstoffe, regulatorische Netzwerke, geringes Wachstum bei Höchstproduktion,
 - des Verhaltens von Produktionsorganismen unter den – wechselnden – Stressbedingungen in den verschiedenen Phasen von Produktionsprozessen,
- In-silico-Modellierung und Abschätzung möglicher Auswirkungen auf die Physiologie von Produktionsorganismen, wenn neuartige Kombinationen von Eigenschaften in einem Organismus realisiert werden sollen,
- die Anwendung der Wissensbasis und Methoden für die rationale Entwicklung hocheffizienter Produktionsorganismen,
- das synergistische Zusammenwirken mit der Synthetischen Biologie und Systembiologie zur Entwicklung minimaler bzw. synthetischer Mikroorganismen.

2.2.2.2.4 Metabolic Engineering und Modellierung

Ziel des Metabolic Engineering ist die Optimierung von Produktionsorganismen in Bezug auf ihre Leistung, hohe Produktivitäten und Ausbeuten, da diese von zentraler Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit von biotechnischen industriellen Prozessen sind. In der Regel geht man von gut untersuchten und etablierten Produktionsorganismen aus, die bereits sehr günstige Eigenschaften für industrielle Produktionsprozesse aufweisen (z. B. in Bezug auf Wachstum (spezifische Wachstumsrate, geringe Nährstoffansprüche, hohe Produktivität bei sehr geringer Wachstumsrate), Stabilität, pH-, Temperatur- und Sauerstoffansprüche). Zur Erweiterung des Produkt- bzw. Substratspektrums werden in diese Organismen neue, natürlicherweise in diesem Organismus nicht vorkommende Stoffwechselwege durch Expression heterologer Gene eingeführt oder bestehende Stoffwechselwege optimiert. Bereits gut etabliert sind Optimierungen des Stoffwechsels durch Deregulation und Überexpression

von Schlüsselenzymen und durch die Inaktivierung von kompetierenden Stoffwechselwegen. Allerdings erfolgt eine solche Optimierung derzeit meist noch auf der Basis von Versuch und Irrtum, wobei nicht selten unerwartete bzw. pleiotrope Effekte bei den Organismen auftreten. Dies kann durch die noch unvollständige Kenntnis der beteiligten Komponenten der Stoffwechselwege und deren Interaktion bedingt sein, aber auch durch die Einbindung der Zielsynthesewege in komplexe regulatorische Netzwerke, oder dadurch, dass statt massiver Überexpression einzelner Enzyme der gewünschte Effekt eher durch eine Feintuning erzielbar wäre.

Vor diesem Hintergrund eröffnen die in den Kapiteln 2.2.2.2 und 2.2.2.3 skizzierten Methoden, Techniken und Ansätze des Screening, der Genomik und Bioinformatik zum einen die Möglichkeit, eine neue Qualität des Metabolic Engineering zu erreichen (Jewett et al. 2005). Zum anderen verspricht die Anwendung der genannten Methoden und Zugänge für das Metabolic Engineering von Produktionsorganismen eine Beschleunigung bei der Stammentwicklung durch zielgerichteteres Vorgehen, durch eine breitere materielle Basis (z. B. verfügbare Genvarianten mit verschiedenen Eigenschaften für eine gewünschte Funktion) und durch die Möglichkeit, Auswirkungen der geplanten Eingriffe auf den Stoffwechsel vorab *in silico* zu modellieren.

Welche Vielzahl von Stoffwechseleränderungen erforderlich sein kann, um einen effizienten Produktionsorganismus zu konstruieren, lässt sich am Beispiel der biotechnischen 1,3-Propanediol-Produktion ausgehend von Glucose illustrieren, wie sie von dem Unternehmen DuPont in Kooperation mit Genencor and Tate&Lyle zur kommerziellen Reife entwickelt wurde. Ausgehend von einem *E. coli* K12-Stamm wurde ein neuer Stoffwechselweg durch Neukombination von insgesamt neun Genen aus drei Organismen eingeführt, mehrere Gene deletiert, um die Bildung nicht gewünschter Stoffwechselprodukte zu unterbinden, das natürlicherweise in *E. coli* vorkommende Glucose-Aufnahmesystem durch ein effizienteres, heterologes ersetzt und schließlich noch mehrere Enzyme außerhalb des eigentlichen Biosyntheseweges moduliert, um die Kohlenstoff-, Redox- und Energiebilanz unter den Wachstums- und Produktionsbedingungen zu optimieren (Nakamura und Whited 2003, Kurian 2005).

Während die für das Metabolic Engineering notwendigen Methoden und Ansätze prinzipiell zur Verfügung stehen und sie in der Regel an Modellorganismen bzw. in Modellsystemen entwickelt und erprobt wurden, bestehen die Herausforderungen für die industrielle, weiße Biotechnologie insbesondere darin, sie auf Organismen, Stoffwechsel- und Regulationsprozesse sowie Forschungsfragen mit spezieller Relevanz für industrielle Produktionsprozesse anzupassen und anzuwenden. Hierzu zählen vor allem

- Anwendungen auf industriell relevante Produktionsorganismen und Stoffwechselwege, (Wendisch et al. 2006), dabei insbesondere Berücksichtigung nicht nur derje-

nigen Enzyme und Gene, die an den eigentlichen Stoffwechselwegen direkt beteiligt sind, sondern auch der relevanten Regulationsnetzwerke (Vemuri und Aristidou 2005) und Transport- und Sekretionsprozesse (Tryfona und Bustard 2005),

- Untersuchungen unter den industriell relevanten Prozessbedingungen, die gekennzeichnet sind durch Stress, besonders langsames Wachstum bei gleichzeitig hoher Produktionsleistung, starke Schwankungen der Nährstoffkonzentrationen, Nutzung von Substratgemischen (z. B. aus verschiedenen Zuckern),
- Anwendungen auf industriell relevante Produktgruppen (siehe Kapitel 2.2.2.1), wie z. B. Bioethanol, Biomaterialien, enantiomerenreine Chiralika und andere Feinchemikalien, Bulkchemikalien, industrielle Enzyme und andere heterologe Proteine (Singh et al. 2006, Koffas und Stephanopoulos 2005),
- Anwendungen auf nicht-natürliche Produkte, z. B. durch kombinatorische Ansätze zur Generierung neuer, natürlicherweise nicht vorkommender Stoffwechselwege und daraus resultierender neuartiger Produkte (Floss 2006; für kombinatorische Carotinoid-Biosynthese siehe Umeno et al. 2005),
- Erweiterung des Spektrums der etablierten Produktionsorganismen. Neben ihrer Identifizierung in Screeningprogrammen (Kapitel 2.2.2.2) ist hierfür insbesondere die Entwicklung von molekularbiologischen Werkzeugen zur raschen gentechnischen Veränderung dieser neuen Organismen erforderlich.

2.2.2.2.5 Enzymdesign und -optimierung

Auf Grund ihrer hohen Substrat- und Reaktionsspezifität, ihrer hohen Selektivität und ihrer hohen katalytischen Aktivität unter milden Bedingungen (pH, Temperatur, Druck, wässrige Medien) können Enzyme wesentlich zu hocheffizienten, ressourcenschonenden Produktionsprozessen beitragen und nehmen daher auch eine Schlüsselrolle innerhalb der IWBT ein. Die Biokatalyse wurde deshalb auch von der Europäischen Technologieplattform für Nachhaltige Chemie als eine Priorität für die kommenden Jahre eingestuft (SusChem 2006). Wegen der Schlüsselrolle der Enzymkatalyse hängt die zukünftige Entwicklung der IWBT wesentlich davon ab, inwieweit es gelingt,

- neue Enzyme mit für den industriellen Einsatz günstigen Eigenschaften zu identifizieren und zu charakterisieren,
- Enzyme mit geeigneten Eigenschaften für eine synthetische Aufgabe bzw. ein prozesstechnisches Problem sehr schnell in den für die Bewertung seiner Eignung erforderlichen Mengen bereitzustellen, um im Produkt- und Prozessentwicklungsprozess insbesondere von Feinchemikalien mit chemischen Syntheseverfahren konkurrieren zu können (Marscheider-Weidemann und Hüsing 2004),
- die Eigenschaften bekannter Enzyme für den Einsatz in industriellen Prozessen weiter zu optimieren,

- neue und verbesserte industrielle Prozesse, Anwendungen und Produkte unter Ausnutzung der Biokatalysatoren zu entwickeln,
- die kostengünstige und stetige Bereitstellung der Enzyme in Mengen, die für den industriellen Einsatz erforderlich sind, zu gewährleisten.

Diese Punkte werden im Folgenden näher erläutert.

Die Ansätze und Technologien, die für die Identifizierung neuer Enzyme verfolgt werden, wurden bereits in den Kapiteln 2.2.2.2 und 2.2.2.3 vorgestellt und umfassen das Screening von kultivierbaren und nicht kultivierbaren sowie extremophilen Mikroorganismen, möglichst unter Einsatz von Hochdurchsatzverfahren, miniaturisierten Testsystemen und „intelligenten“ Selektions- und spezifischen Detektionssystemen für die gesuchten Funktionalitäten und die Suche nach neuen Enzymgenen bzw. Enzymvarianten in Genomdatenbanken (Robertson und Steer 2004; Bornscheuer 2005; Ferrer et al. 2005). Zusätzlich zu den zurzeit in der industriellen Anwendung dominierenden Hydrolasen sind insbesondere Oxidoreduktasen, Isomerasen und Ligasen sowie weiteren Enzymen, die C-C-Verknüpfungen katalysieren, zu erschließen (Samland und Sprenger 2006).

Darüber hinaus ist die Entwicklung von künstlichen Enzymen, d. h. chemischen Katalysatoren, mit einzubeziehen, die Konstruktions- und Funktionsprinzipien von Biokatalysatoren nachahmen (z. B. supramolekulare Systeme, Chemzyme, peptidbasierte Enzymmimetika).

Darüber hinaus ist es in der Regel erforderlich, grundsätzlich geeignet erscheinende Enzyme weiter auf ihren Einsatz in industriellen Prozessen hin zu optimieren (Drepper et al. 2006 a und b). Hierfür ist eine umfassende Wissensbasis über Struktur-Funktionsbeziehungen, d. h. über Enzymstruktur und -eigenschaften sowie über Enzym-Substrat-Interaktionen, erforderlich. Als Methoden und Technologien zur Enzymoptimierung sind zu nennen:

- Genomik und Gentechnik, um Zugriff auf eine Vielzahl an Genvarianten für Enzyme mit unterschiedlichsten Eigenschaften zu haben und entsprechende Genveränderungen gezielt in das Genom der Zielorganismen einführen zu können (Kapitel 2.2.2.2.3; Ferrer et al. 2005),
- Evolutive Verfahren zur Generierung einer großen Vielfalt an Enzymvarianten mit anschließender Selektion der für die jeweilige Fragestellung am besten geeigneten Variante (Johannes und Zhao 2006, Kaur und Sharma 2006, Rubin-Pitel und Zhao 2006). Neuere Strategien zielen darauf ab, die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass die mutierten Sequenzen zu den gewünschten Eigenschaften führen. Hierfür werden Strukturinformationen, z. B. über das Verhalten der resultierenden Proteine nach Einführen der Mutationen berücksichtigt, wofür auch entsprechende Bioinformatikwerkzeuge zur Unterstützung solcher Vorhersagen benötigt werden

(O'Loughlin et al. 2006). Darüber hinaus wird angestrebt, die Mutationen nicht zufällig über die gesamte Länge des jeweiligen Gens einzuführen, sondern gezielt in denjenigen Regionen des Enzyms zu häufen, die für die jeweiligen Zielfunktionen besonders wichtig sind. Entsprechend variierte Gensequenzen werden auch über Rekombination in das bestehende Enzymgerüst eingeführt (Bloom et al. 2005).

- Rationales Design von Enzymen. Hier besteht insbesondere Bedarf, die etablierten Verfahren durch neue IT-Werkzeuge zu unterstützen, die zum einen durch Molecular Modelling eine wissensbasierte Einschätzung ermöglichen, welche Veränderungen in die Enzymstruktur einzuführen sind, um die gewünschten Eigenschaften herbeizuführen. Zum anderen sollten sie eine In-silico-Vorhersage ermöglichen, welche Auswirkungen geplante Veränderungen der Gensequenz auf die Enzymeigenschaften haben könnten (O'Loughlin et al. 2006).
- Intelligente Kombinationen von rationalem Design und evolutiven Verfahren, so z. B. der Einführung neuer Funktionen in bestehende Enzym-„Gerüste“ (Bloom et al. 2005).

Bei der Optimierung der Enzyme für ihren industriellen Einsatz stehen folgende Eigenschaften und Funktionen im Mittelpunkt des Interesses (Kapitel 2.2.2.2.2, Marscheider-Weidemann und Hüsing 2004, SusChem 2006):

- Erhöhte katalytischen Aktivität bzw. verbesserte katalytischen Eigenschaften der Enzyme unter Prozessbedingungen (z. B. veränderte k_m -Werte, verringerte Endprodukthemmung, katalytische Aktivität auch in organischen Lösungsmitteln, erhöhte Enzymstabilität und verlängerte Standzeit der Prozesse),
- Veränderung der Temperatur- und pH-Grenzen, innerhalb derer Enzyme katalytisch aktiv sind, um die Stabilität unter Prozess- bzw. Lagerungsbedingungen zu erhöhen bzw. Prozessvereinfachungen umsetzen zu können,
- Enzyme mit ungewöhnlichen Kombinationen von Eigenschaften,
- Verbreiterte Substratspezifität und Enantioselektivität, auch für unnatürliche, synthetische Substrate (Jestin und Vichier-Guerre 2005),
- Einsatzfähigkeit auch in Multiphasen-Biokonversionen, dafür entweder Entwicklung biokompatibler Lösungsmittel, die nicht mit Wasser mischbar sind, oder Anpassung der Enzyme, so dass sie auch in organischen Lösungsmitteln die gewünschten Aktivitäten zeigen,
- Einpassung der Enzyme in Kaskaden von Biokonversionen.

Als verbesserte bzw. neue Prozesse und Produkte von hoher Priorität, für die Enzyme entwickelt werden sollen, werden genannt

- Enzymcocktails zum chemisch-physikalisch-biotechnischen Aufschluss von Biomasse zu fermentierbaren Substraten (Kapitel 2.2.2.2),

- Stereoselektive Umsetzungen und C-C-Verknüpfungen insbesondere bei der Synthese von organischen Fein- und Spezialchemikalien (Reetz 2006),
- Biobasierte Performance-Materialien und -Werkstoffe,
- Biobasierte Nanokomposite,
- Kaskaden von Biokonversionen, darunter auch Multiphasen-Biokonversionen,
- Chemo-enzymatische Prozesse für neue Anwendungen und Produkte.

Um die kostengünstige und stetige Bereitstellung der Enzyme in Mengen, die für den industriellen Einsatz erforderlich sind, zu gewährleisten, müssen die in Kapitel 2.2.2.2.4 beschriebenen Ansätze und Methoden auf die Optimierung von Produktionsorganismen für industrielle Enzyme angewendet werden. Diese setzen auf umfassendem Grundlagenwissen über die Biosynthese heterologer Proteine, ihre Expression, Faltung, Modifikation und Sekretion auf. Forschungsbedarf besteht insbesondere bei der Aufklärung und gezielten Beeinflussung von Sekretionswegen für heterologe Proteine. Darüber hinaus wäre eine Verbreiterung des Spektrums der industriell nutzbaren Produktionsorganismen für heterologe Proteine wünschenswert, wobei die Etablierung molekularbiologischer Werkzeuge zur gentechnischen Optimierung der Produktionsfähigkeit dieser Organismen einen Flaschenhals darstellt (Terpe 2006, Van Ooyen et al. 2006, Porro et al. 2005, Nevalainen et al. 2005). Ein weiterer Forschungsschwerpunkt ist die Produktion nicht-natürlicher Proteine, was insbesondere für die Herstellung biobasierter Performance-Materialien und -Werkstoffe oder -komposite auf Proteinbasis von Bedeutung ist. Inwieweit andere Produktionsplattformen, wie z. B. gentechnisch veränderte Nutzpflanzen oder Nutztiere, sich nicht nur für Biopharmazeutika (TAB 2005, Henry 2006, Twyman et al. 2005, Joshi, Lopez 2005, Ledford 2006, Dunn et al. 2005, Lillico et al. 2005), sondern auch für die Produktion industrieller Enzyme werden etablieren können, ist zurzeit eine noch offene Frage und Gegenstand der aktuellen Forschung.

2.2.2.2.6 Biokatalyse: Prozessdesign

Um mit etablierten chemischen Verfahren konkurrenzfähig zu sein, müssen Bioprozesse hocheffizient sein, eine hohe Prozessstabilität aufweisen und Produkte von einheitlicher bzw. überlegener Qualität liefern. Hierfür müssen noch bestehende Schwachstellen sowohl bei neu zu entwickelnden Verfahren als auch durch die Optimierung bestehender Verfahren beseitigt werden. Insbesondere sind signifikante Verbesserungen in Bezug auf die Produktivität je Volumeneinheit, die Ausbeute und die Optimierung der Prozessbedingungen erforderlich. Ansatzpunkte liegen u. a. in der Erhöhung der Biokatalysatorkonzentration z. B. durch Immobilisierung und Zellrückführung, der Erhöhung von Substrataufnahmeraten, der Zurückdrängung der Produktion von Nebenpro-

dukten, der Vermeidung von Redox-Ungleichgewichten und Energiemangel, die Umgehung von Produktinhibierungen bei hohen Produktkonzentrationen, der Vermeidung von Prozessinstabilitäten, in der Umstellung auf kontinuierliche Prozessführung, in der Optimierung von Regelung und Steuerung.

Bei neu zu entwickelnden Verfahren stellt die Übertragung der Verfahren vom Labor- in den industriellen Produktionsmaßstab einen sehr zeit- und ressourcenaufwändigen Schritt dar. Hier ist eine Beschleunigung, Kostensenkung und Erhöhung der Zuverlässigkeit der Übertragung erforderlich. Darüber hinaus ist zu konstatieren, dass meist nur eine fallbezogene Optimierung von Bioprozessen erfolgt, diese Erkenntnisse über günstige Kombinationen von Verfahrensoptionen aber nicht systematisch analysiert und auf andere Fälle übertragen werden. Von einer systematischen Design-Technologie hingegen erhofft man sich, dass sie eine schnelle und verlässliche, da wissensbasierte Auswahl von Prozesskonfigurationen von hoher Leistungsfähigkeit ermöglichen wird.

Und schließlich besteht auch Bedarf nach neuen Reaktorkonzepten, z. B. für Multiphasensysteme, um ganz neue Produkte und Verfahren zu realisieren.

Im Folgenden wird auf ausgewählte Technologien näher eingegangen, die die Erreichung der oben genannten Zielsetzungen wesentlich unterstützen sollen. Anschließend wird auf Forschungsfragen eingegangen, die in Bezug auf das Bioprozessdesign noch zu beantworten sind.

Mikroreaktionstechnologie, Miniplanttechnologie

Die Mikroreaktionstechnologie ist ein wichtiger Vertreter der „neuen Generation an Bioreaktoren“, die für das Bioprozessdesign als erforderlich erachtet werden. Dabei handelt es sich um Versuchsanlagen im kleinstmöglichen Maßstab, von denen viele parallel betrieben werden können (Kumar et al. 2004). Während die Miniplanttechnologie in der chemischen Verfahrenstechnik ein etabliertes Werkzeug zur Prozessentwicklung darstellt und hier den Stand der Technik repräsentiert, wird sie in der Biotechnologie bislang eher selten eingesetzt. In der Biotechnologie wird der Mikroreaktionstechnologie aber ein erhebliches Potenzial zugemessen, alternative Prozesskonfigurationen, unterschiedliche Substrate oder verschiedene Biokatalysatoren unter industrienahen Bedingungen systematisch zu evaluieren (Weuster-Botz 2006). In Kombination mit Modellierung und Simulation erhofft man sich durch den Parallelbetrieb signifikante Kosten- und Zeitersparnisse in der Verfahrensentwicklung sowie deutliche qualitative Verbesserungen in den resultierenden Prozessen, wenn Bioprozessentwicklung und Biokatalysatoroptimierung simultan erfolgen und ein Feedback prozessrelevanter Op-

timierungspotenziale in die Biokatalysatoroptimierungen (Kapitel 2.2.2.2.4 und 2.2.2.2.5) eingespeist wird (Berendsen et al. 2006).

Anwendungen der Mikroreaktionstechnik in der IWBT liegen vor allem darin,

- in der Frühphase der Bioprozessentwicklung ein detailliertes Verständnis der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit des Verfahrens in Bezug auf Produktausbeute, -qualität und Prozessstabilität zu erlangen,
- vielversprechende Prozessbedingungen schnell zu identifizieren,
- Biokatalysatoren unter industriellen Produktionsbedingungen näher zu charakterisieren,
- in Kombination mit Simulation und Modellierung verlässliche Daten zu erhalten, die für die Auslegung einer Pilotanlage oder sogar gleich einer Produktionsanlage erforderlich sind,
- neuartige Selektionssysteme für Biokatalysatoren zu etablieren, die eine Selektion unter industrienahen Prozessbedingungen ermöglichen (Kapitel 2.2.2.2.2),
- Mustermengen des Produkts für weitergehende Prüfungen herzustellen,
- maßgeschneiderte Produkte in kleinen Mengen „on demand“ herzustellen,
- vergleichsweise sichere Produktionssysteme für gesundheits- oder umweltgefährdende Produkte bereitzustellen.

Kritische Erfolgsfaktoren in der Miniplantentechnologie sind Messtechnik, die Kombination mit Simulation und Modellierung, sowie Aussagekraft und Reproduzierbarkeit der gewonnenen Daten. Dies wird im Folgenden näher erläutert.

- Messtechnik: Die Messtechnik muss alle relevanten Prozessparameter, möglichst kontinuierlich und in Echtzeit, abbilden. Je nach Miniaturisierungsgrad sollte sie ggf. sogar die Messung auf Einzelmolekülebene, z. B. mit fluoreszierenden Sonden ermöglichen.
- Simulation: Es werden die einzelnen Verfahrensschritte und deren Verschaltung simuliert, wobei unterschiedliche Reaktortypen und verschiedene Verschaltungsoptionen *in silico* durchgespielt werden können. Auf diese Weise können aussagekräftige experimentelle Bedingungen *in silico* ermittelt und die erforderlichen Experimente auf ein Minimum reduziert werden. Dies trägt zur Zeit- und Kostenersparnis bei, da in Miniplantenanlagen die Betriebskosten die Investitionskosten übersteigen.
- Modellierung: Die Modellierung stützt sich auf die mechanistische Beschreibung der chemisch-physikalischen Vorgänge in den Anlageneinheiten (z. B. Massen- und Energiebilanzen, Enzym- und andere Kinetiken). Sie ist Basis für eine Maßstabsübertragung des Verfahrens in die nächsthöhere Entwicklungsstufe (z. B. Pilotverfahren). Die Verlässlichkeit der Daten hängt wesentlich davon ab, wie reproduzierbar die Anlage arbeitet und wie umfassend das Verständnis und die Übertragbarkeit

der Zusammenhänge z. B. von Hydrodynamik, Belüftung, Massentransfer, Kinetik von der Mikroebene auf größere Produktionsmaßstäbe und umgekehrt ist.

Multiphasen-Bioreaktoren

Die industrielle, weiße Biotechnologie erfordert den Umgang mit Multiphasensystemen: Für die Herstellung der meisten Chemikalien und Pharmazeutika sind Reaktanden erforderlich, die nur bedingt wasserlöslich sind. Sollen sie durch Biokatalysatoren, die meist im wässrigen Milieu aktiv sind, umgesetzt werden, liegen Zwei- oder Mehrphasensysteme vor. Aus Gründen der Prozessintensivierung kann die Immobilisierung von Biokatalysatoren an Festphasen wünschenswert sein. Auch Verfahren, bei denen die Produktentfernung in den Produktschritt integriert sind, sind meist Mehrphasensysteme. Vor diesem Hintergrund kommt der Erweiterung der Wissensbasis über die prozessrelevanten Verhältnisse in Mehrphasen-Bioreaktoren (z. B. Hydrodynamik, Massentransfer) sowie der systematischen Auslotung des Potenzials von Mehrphasen-Bioreaktoren für industrielle Produktionsprozesse große Bedeutung zu (Dudukovic et al. 2002; Stitt 2002; Baker et al. 2006).

Immobilisierung von Biokatalysatoren

Zur Stabilisierung von Biokatalysatoren, zur Erhöhung der Biokatalysatorkonzentration, aber auch zur Vereinfachung der Abtrennung der Reaktionsprodukte und zur Verbesserung der Verlässlichkeit und Steuerbarkeit biotechnischer Verfahren ist die Weiterentwicklung generischer Methoden zur Immobilisierung von Biokatalysatoren und ihre Anwendung in konkreten Verfahren erforderlich. Ein neuer Trend ist die rationale Kombination verschiedener Immobilisierungsverfahren, um optimale Biokatalysatorleistungen zu erzielen (Cao 2005).

Optimierung von Regelung und Steuerung

Für eine Optimierung der Regelung und Steuerung von Bioprozessen ist eine entsprechende Analytik und Sensorik unerlässlich, die ein möglichst kontinuierliches Monitoring aller steuerungsrelevanten Parameter, idealerweise online, automatisiert und in Echtzeit, ermöglicht. Neben der Erfassung der aktuellen Substrat- und Produktkonzentrationen ist es erforderlich, ein besseres Verständnis des Biokatalysator-Verhaltens in den verschiedenen Phasen des Produktionsprozesses zu entwickeln. Hierfür wären beispielsweise Verfahren zum Monitoring der Zellmorphologie, von Indikatormolekülen oder Stoffwechselzuständen hilfreich. Biochips, mikroanalytische Verfahren und elektrochemische oder optische Detektionssysteme wie die Nah- bzw. Mittlere Infrarotspektroskopie sowie Mustererkennungs- und Bildauswertungssoftware können die Umset-

zung in die Praxis unterstützen (Junker und Wang 2006; Scarff et al. 2006; Roychoudhury et al. 2006). Herausforderungen bei der Entwicklung neuer Sensorsysteme für die Online- und In-situ-Messung liegen darin, sie auch unter aseptischen Bedingungen einsetzen zu können (Sterilisierbarkeit), in der hohen Zahl und wechselnden Konzentration der in der Kulturbrühe vorliegenden verschiedenen Analyten, sowie deren oft geringe Korrelation mit und damit Aussagekraft über den aktuellen physiologischen Zustand der Zellen. Deshalb wird erforscht, mit mathematischen Modellierungen Korrelationen zwischen online erhebbaren Datensätzen über biochemische und physikalische Messgrößen mit offline ermittelten Datensätzen über den physiologischen Zustand der Produktionsorganismen herzustellen, um auf diese Weise kritische Prozesszustände vorherzusagen und diesen durch eine entsprechende Prozesssteuerung entgegenzuwirken (Clementsitsch und Bayer 2006).

Forschungsfragen und Anwendungen

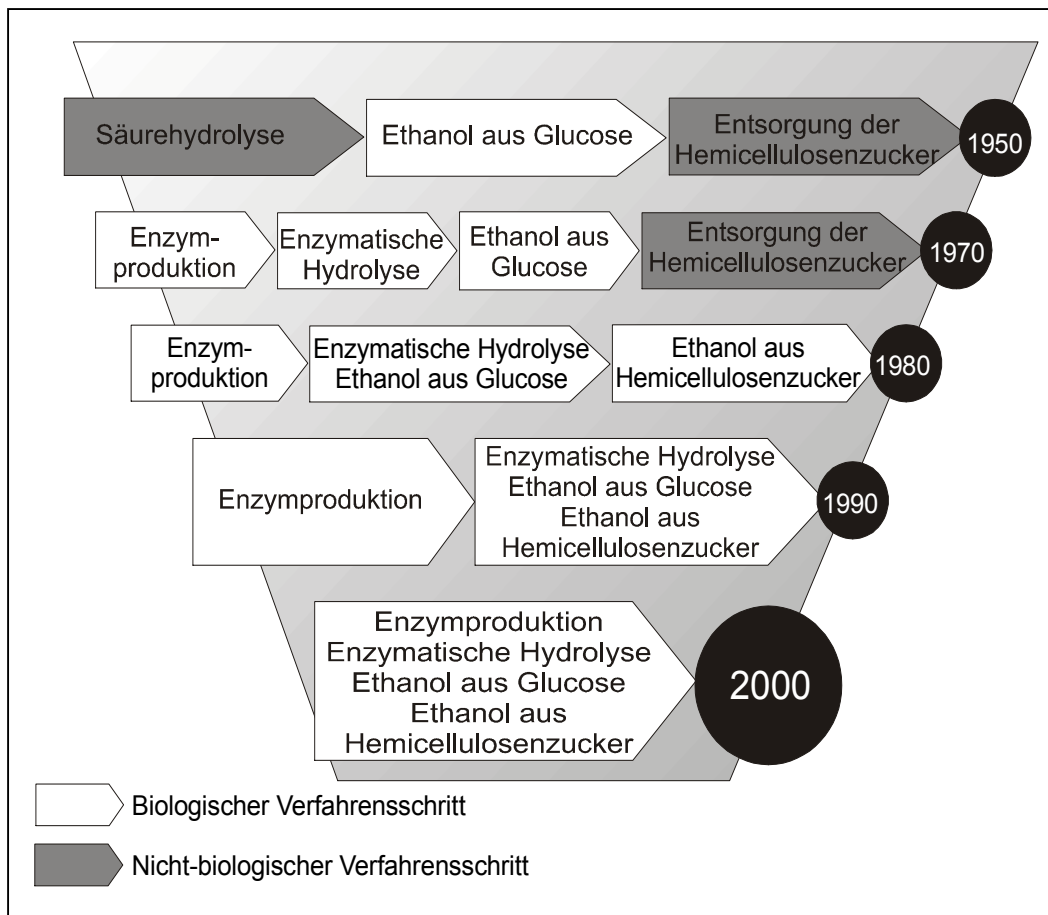
Die genannten technologischen Ansätze sollen dazu beitragen, im Rahmen des Prozessdesigns biokatalytischer Prozesse folgende Forschungsprioritäten zu bearbeiten:

- Integration von Chemo- und Biokatalyse, d. h. Entwicklung hybrider Prozesse, in denen Chemo- und Biokatalyse synergistisch kombiniert werden. Dies erfordert zum einen die Entwicklung chemoenzymatischer Synthesewege in wässrigem Medium, zum anderen den Einsatz von Biokatalysatoren in nicht-wässrigen Medien (Hudson et al. 2005).
- Entwicklung von Prozessen mit Reaktionskaskaden. Prozesse, in denen mehrere biokatalytische Reaktionen nacheinander ausgeführt werden, können zum einen durch Ganzzellbiokatalyse, zum anderen durch Multienzymkaskaden realisiert werden, wobei die jeweiligen Biokatalysatoren durch Metabolic Engineering (Kapitel 2.2.2.2.4) bzw. Enzymdesign (Kapitel 2.2.2.2.5) zu optimieren sind. Herausforderungen liegen in beiden Fällen in der Auswahl geeigneter Reaktorsysteme für mehrschrittige Biokonversionen, die keine Isolierung von Zwischenprodukten erfordern. Um das Potenzial von Multienzymkaskaden ausschöpfen und diese beispielsweise auch auf Reaktionssequenzen, die Oxidationen und Reduktionen beinhalten, anwenden zu können, müsste das Spektrum der zur Verfügung stehenden Möglichkeiten zur Cofaktor-Regenerierung erweitert werden.
- Cofaktor-Regenerierung: Zurzeit werden für Biokonversionen, die cofaktorabhängige Reaktionen beinhalten, meist Ganzzellbiokatalysatoren eingesetzt, um die Cofaktor-Regenerierung zu gewährleisten. Um in diesen Fällen auch isolierte Enzyme industriell einsetzen zu können, wäre eine Verbreiterung der verfügbaren Möglichkeiten zu Cofaktor-Regenerierung in zellfreien Systemen und ihre Anpassung für den industriellen Einsatz wünschenswert (Zhao und Van Der Donk 2003, Wichmann und Vasic-Racki 2005, Meyer et al. 2006). Eine alternative Strategie, die Einsetzbarkeit

von cofaktorabhängigen Enzymen zu erweitern, besteht darin, durch Enzymdesign die Cofaktor-Abhängigkeit bzw. -Spezifität zu verändern.

- Anpassung der Biokatalysatoren an Bedingungen stabiler Bioprozesse: Die Bioprozessstabilität lässt sich häufig durch Substratengineering, Betrieb bei hohen Temperaturen, extremen pH-Werten, oder hohen Substrat- bzw. Produktkonzentrationen erhöhen, doch macht dies meist eine Anpassung der Biokatalysatoren an diese extremen Bedingungen erforderlich. Dies weist erneut auf die oben bereits ausgeführte große Bedeutung der aufeinander abgestimmten, synergistischen Biokatalysator- und Bioprozessentwicklung hin.
- Verringerung der Verfahrensschritte: Die Wirtschaftlichkeit von Bioprozessen hängt wesentlich von den Investitions- und Betriebskosten ab, die u. a. durch die Zahl der Prozessschritte und -stufen bestimmt werden. Eine wichtige Strategie zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit von Bioprozessen besteht daher in der Verringerung der erforderlichen Verfahrensschritte, z. B. durch Integration von Enzymproduktion und enzymkatalysierter Reaktion in dieselbe Verfahrensstufe wie die Aufbereitung der Zielprodukte ohne zwischenzeitliche Isolierung von Zwischenstufen. Eine solche sukzessive Optimierung hat beispielsweise in den letzten Jahrzehnten für die biotechnische Ethanolproduktion ausgehend von lignocellulosehaltigen Substraten stattgefunden (Abbildung 2.6).
- Verbesserung der Verlässlichkeit und Steuerbarkeit enzymatischer Verfahren.
- Vereinfachung der Abtrennung der Reaktionsprodukte.
- Optimierung von Enzym-Membranreaktoren.
- Einsatz immobilisierter oder durch andere Techniken stabilisierter Enzyme.
- Optimierung von Verfahren für Cofaktor-abhängige Enzymreaktionen.
- Einsatz von Enzymen zur Umsetzung von toxischen, wasserunlöslichen Substraten (z. B. Zwei-Phasen-Systeme, Emulsionen, Gasphasenbiokatalyse).
- Einsatz von Enzymen in organischen Lösungsmitteln (Erhalt bzw. Erhöhung der Enzymaktivität durch Lyophilisierung mit kosmotropischen Salzen, Zusatz von Kronenethern, Übergangszustandsanalogen, Substraten bzw. Substratmimetika).

Abbildung 2.6: Sukzessive Verringerung der Verfahrensschritte in der biotechnischen Ethanolproduktion ausgehend von lignocellulosehaltigen Substraten in den letzten Jahrzehnten



Quelle: Hüsing et al. 2003

2.2.2.2.7 Fermentationsprozesse

Herausforderungen für die Entwicklung von Fermentationsprozessen in Bezug auf das Prozessdesign und die Biokatalysatoroptimierung wurden bereits in den Kapiteln 2.2.2.2.6 und 2.2.2.2.4 dargestellt. Darüber hinaus besteht erheblicher Bedarf, das Spektrum fermentierbarer Substrate auf kostengünstige und in großen Mengen verfügbare Substrate auszuweiten. Im Mittelpunkt des Interesses stehen insbesondere die Erschließung lignocellulosehaltiger Substrate sowie von Rohglycerin, das als Kuppelprodukt der Biodieselerstellung in großen Mengen anfällt (Kapitel 2.2.2.2.1). Während der Großteil der in industriellem Maßstab etablierten fermentativen Prozesse in Standard-Rührreaktoren, teilweise auch in Blasensäulen- bzw. Airlift-Schlaufen-Reaktoren als Batch- oder Fed-Batch-Prozess durchgeführt wird, wird zusätzliches Potenzial in

neuartigen Fermenterkonzepten und Prozessführungsmodi (z. B. Fed-Batch mit spezifischem Fütterungsprofil) gesehen (SusChem 2005a).

2.2.2.2.8 Produktaufarbeitung (Downstream Processing)

Die Aufarbeitung der Produkte, die mit Hilfe von Bioprozessen hergestellt werden, trägt wesentlich zur Wirtschaftlichkeit des Gesamtverfahrens bei, da in der Regel mehr als die Hälfte der Betriebskosten auf diesen Verfahrensschritt entfallen. Dabei stellen sich in der industriellen, weißen Biotechnologie andere Anforderungen in Bezug auf Kosten und Produktreinheit an das Downstream Processing von biotechnisch hergestellten Produkten als beispielsweise in der Pharmaindustrie (Kalyanpur 2002). Während möglichen Problemen des Downstream Processing bereits durch eine integrierte Prozessentwicklung und ein entsprechendes Design der Biokatalysatoren und des Bioprozesses vorgebeugt werden kann, konstatieren Experten dennoch einen erheblichen Forschungsbedarf in diesem Segment. Sie beklagen einen Mangel an Innovationen im Downstream Processing, die den Spezifika von Bioprozessen Rechnung tragen (SusChem 2006). Als vielversprechende innovative Ansätze werden Elektrodialyseverfahren, Membranverfahren, Destillation und Nanofiltration eingeschätzt.

2.2.2.2.9 Produkt- und Anwendungsentwicklung

Auf prioritäre Produkte und Anwendungen wird ausführlicher in Kapitel 2.5.2.6 eingegangen.

Um das Potenzial der industriellen, weißen Biotechnologie auszuschöpfen, müssen Verfahren und Produkte entwickelt werden, die tatsächlich in die industrielle Produktion eingeführt bzw. auf dem Markt konkurrenzfähig sind. Hierfür ist nicht nur die Beherrschung der oben aufgeführten Technologien, Methoden und konzeptionellen Ansätze erforderlich. Vielmehr wird außerdem umfassendes Know-how über Kundenbedürfnisse und Marktbedingungen in den Anwenderbranchen und Zielmärkten benötigt. In vielen Fällen ist eine Integration sehr heterogener Akteure über verschiedene Stufen der – manchmal langen – Wertschöpfungsketten erforderlich.

In vielen Chemieunternehmen wurde in den vergangenen Jahrzehnten das Biotechnologie-Know-how zunächst häufig als eigene Abteilung bzw. eigener Unternehmensbereich aufgebaut und auch ein kleineres Spektrum an biotechnisch hergestellten Produkten zur Marktreife entwickelt (Hüsing et al. 2003, Patel et al. 2006). Diese Aktivitäten waren jedoch nur wenig mit anderen produkt- bzw. kundenorientierten Geschäftsbereichen, die dem traditionellen Chemiegeschäft entsprechen, integriert und spiegelte zum Teil auch den manchmal wahrzunehmenden „Exotenstatus“ der Biotechnologie innerhalb des Chemieunternehmens wider (Hüsing et al. 2000). Mehrere in der indus-

triellen, weißen Biotechnologie führende Chemieunternehmen haben inzwischen jedoch eine unternehmensinterne Neuordnung des Biotechnologie-Know-hows vorgenommen, um Wettbewerbsvorteile durch die proaktive Auslotung des Potenzials der Biotechnologie für innovative Produkte und Prozesse zu realisieren. In diesen Unternehmen ist die Biotechnologie nicht länger nur in einer Geschäftseinheit zusammengefasst, sondern es werden biotechnologierelevante FuE- sowie Markterschließungsaufgaben in diejenigen produkt- bzw. kundenorientierten Geschäftsbereiche integriert, in denen Biotechnologie bislang keine nennenswerte Rolle spielt, ihr jedoch großes Potenzial für innovative Produkte und Prozesse zugemessen wird. Diese Neuordnung erfolgt zum Teil im Rahmen von zeitlich befristeten Projekten, deren Fortführung an das Erreichen bestimmter Meilensteine gebunden ist, zum Teil durch zeitlich befristeten bzw. projektgebundenen Personaltransfer zwischen Geschäftseinheiten, sowie durch Joint Ventures.

Innovationen in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie, der Textilveredelung, der Lederherstellung und der Zellstoff- und Papierproduktion werden häufig in den vorgelegerten Industrien, wie der chemischen Industrie oder dem Maschinen- und Anlagenbau erbracht, und dies trifft in weiten Bereichen auch auf die Biotechnologie zu (Hüsing et al. 1998, Hüsing et al. 2000). Für die Unternehmen der industriellen, weißen Biotechnologie ergibt sich daraus die Anforderung, intensive Kontakte zu ihren Kundenbranchen in der Lebensmittel-, Textil-, Papier- und Lederindustrie zu pflegen, und außerdem biotechnische Innovationen so kundenorientiert zu entwickeln, dass selbst die Kunden ohne dezidiertes Biotechnologie-Know-how die Produkte und Verfahren auch im betrieblichen Alltag sicher und zuverlässig einsetzen können. Hierfür sind die Produkte und Verfahren ggf. durch produktorientierte Dienstleistungen zu ergänzen. Hierzu zählen beispielsweise Schulungen und Beratungen, Einfahren von biotechnischen Anlagen und Prozessen, Betrieb von Pilotanlagen, in denen innovative Produkte und Verfahren gemeinsam mit Kunden entwickelt werden.

2.2.2.2.10 Integration von Bioprozessen in ein Gesamtkonzept, Bioraffineriekonzepte

Die IWBT umfasst eine Vielzahl von Technologien und Prozessschritten für die Umwandlung von Biomasse in Produkte. Der Optimierungs- und Weiterentwicklungsbedarf für die einzelnen Schritte wurde in den vorigen Kapiteln 2.2.2.2 bis 2.2.2.9 dargelegt. In diesen Kapiteln wurde aber auch an mehreren Stellen explizit darauf hingewiesen, dass die einzelnen Stufen nicht unabhängig voneinander gesehen und entwickelt werden dürfen, da Entscheidungen auf einer frühen Stufe Pfadabhängigkeiten auf nachgelagerten Stufen bedingen. Vielmehr erscheinen eine Integration der einzelnen Stufen und das Einziehen zahlreicher Feedbackschleifen für einen erfolgreichen Innovations-

prozess erforderlich. Damit steht die IWBT vor der Herausforderung, hier eine adäquate Vernetzung und Integration der jeweiligen Spezialexpertisen zu erreichen.

Während die obigen Ausführungen auf jeden einzelnen Bioprozess bzw. jede einzelne Produktlinie beziehen lassen, zielt die zweite Entwicklungslinie der „Bioraffinerie“ darauf ab, mehrere Bioprozesse miteinander zu integrieren und zu vernetzen. Als Vorbild dient zum einen eine voll integrierte Chemieproduktion, bei der eine möglichst vollständige Umsetzung des (fossilen) Rohstoffs in Produkte erfolgt, indem neben der Herstellung des eigentlichen Zielprodukts weitere Prozesse integriert werden, die Neben- und Kuppelprodukte nutzen. Auf die Biotechnologie übertragen wäre es das Ziel, in einer Bioraffinerie solche Bioprozesse miteinander zu integrieren, die eine effiziente, nachhaltige und vollständige Umsetzung der pflanzlichen Biomasse in Grundstoffe (z. B. Kohlenhydrate, Fette) für weiterführende Umsetzungen in verschiedene Produktlinien, in Spezialprodukte sowie Treibstoffe und Energie gewährleisten (Abbildung 2.7). Eine Bioraffinerie kann dabei alle Stufen der Wertschöpfungskette der IWBT, vom Aufschluss der Biomasse über die eigentlichen biotechnischen Produktionsverfahren für Plattformchemikalien und Intermediate bis zum Endprodukt, umfassen (Ragauskas et al. 2006). Da der Aufschluss der Biomasse für nachfolgende Fermentationen wahrscheinlich bei höheren Temperaturen erfolgen wird, ist eine Integration von Fermentationsprozessen, Biogasproduktion und Blockheizkraftwerken von besonderem Interesse (SusChem 2005a).

Dabei wird in der Regel zwischen Bioraffinerien unterschieden, die lignocellulosehaltige Biomasse umsetzen und deshalb thermische Verfahren einsetzen, um Synthesegas oder flüssige Produkte mit niedrigem Molekulargewicht herzustellen, und solchen Bioraffinerien, die grüne Pflanzen oder pflanzliche oder tierische Reststoffe umsetzen. Im letztgenannten Typ stellen meist biotechnische Verfahren die ersten Prozessschritte zur Nutzung der Biomasse dar.

Bislang existieren mit zucker-, stärke- und ölverarbeitenden Fabriken sowie Bioethanol- und Biodieselanlagen Vorläufer solcher Bioraffinerien, die jedoch überwiegend auf die Lebens- und Futtermittelproduktion bzw. auf einzelne Biotreibstoffe (Bioethanol, Biodiesel) ausgerichtet sind, während es in Europa bislang nur wenige stärker diversifizierte Pilot-Bioraffinerien gibt, die ein größeres Spektrum an Produkten und Prozessen umfassen (Tabelle 2.6) und insbesondere auch Chemikalien und Werkstoffe produzieren. Produktpaletten von Bioraffinerien könnten umfassen (SusChem 2005b):

- Biotreibstoffe,
- Plattformchemikalien für Massenprodukte (Patel et al. 2006),
- Biopolymere, -fasern und Biokomposite,

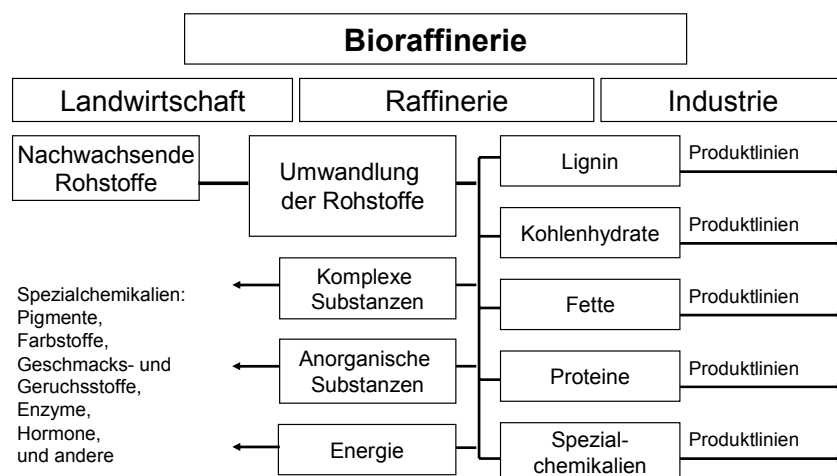
- Spezialchemikalien,
- bio-basierte Performance-Materialien.

Tabelle 2.6: Übersicht über ausgewählte Bioreaffinerien in Europa

Name	Ort, Land	Prozesse, Produkte
Green Biorefinery	Feldbach, Österreich	Rohstoff Gras; Umsetzung zu Silage in Festphasenfermentation Produkte: Milchsäure, Aminosäuren, Fasern, Tierfutter, Biogas
Bioraf Danmark	Frederiksberg, Dänemark	Fasern, Stärke, Öle, Proteine
Biorefinery South Jutland	Dänemark	Rohstoff Gras Produkt: Lysin
Green Biorefinery Brandenburg	Deutschland	Rohstoff Gras Produkte: Milchsäure, Lysin, andere Feinchemikalien
Grass-Refinery	Thurgau, Schweiz	Rohstoff Gras Produkt: Fasern für Dämmstoffe, Proteinkonzentrat, Biogas
Icelandic BioRefinery	Island	Rohstoff Grüne Biomasse Produkte: Ethanol, CO ₂ , Proteine, Sparteinderivate; Nutzung geothermaler Energie

Quelle: Kamm et al. 2000; modifiziert und ergänzt

Abbildung 2.7: Konzept einer Bioreaffinerie

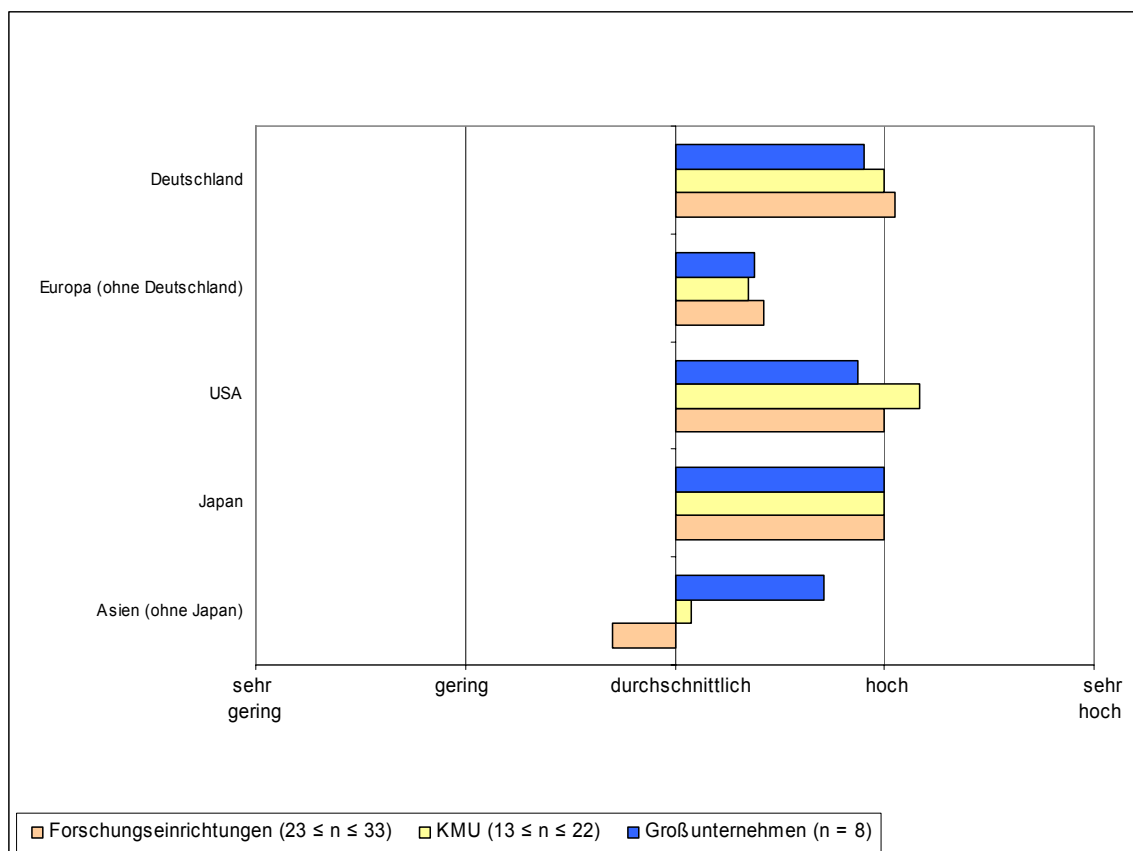


Quelle: Darstellung in Anlehnung an Kamm et al. 2006a; Kamm et al. 2006b

2.2.2.3 Qualität der Grundlagenforschung

Die vorigen Kapitel haben gezeigt, dass in vielen Bereichen noch in größerem Umfang Grundlagenforschung zur Lösung der technologischen Probleme erforderlich ist. Dies lenkt den Blick auf die Qualität der Forschung in Deutschland. Die schriftliche Befragung zeigt, dass die Qualität der Grundlagenforschung im Bereich IWBT in Deutschland im internationalen Vergleich als sehr günstig bewertet wird (Abbildung 2.8). Lediglich die USA und Japan erreichen vergleichbare Werte.

Abbildung 2.8: Qualität der Grundlagenforschung



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Die deutliche Mehrheit der Experten in den Interviews und im Workshop teilt diese Meinung. Dabei zeigt sich, dass

- einige Experten die hohe Qualität von deutschen außeruniversitären Instituten (z. B. Institute der Helmholtz- oder Max-Planck Gesellschaft) hervorheben;
- einige Experten weniger einen qualitativen Unterschied zu den USA sehen, sondern Vorteile für die USA vor allem in der deutlich höheren Quantität der Forschungsprojekte erkennen;

- einige Experten Vorteile für die USA und Japan sehen in der koordinierten Vorgehensweise. Für Deutschland und Europa wird eine zu fragmentierte Forschung beklagt. Ein integratives Konzept wird aber insbesondere für die Herstellung von Basis- und Bulkchemikalien mit biotechnologischen Prozessen als notwendig angesehen;
- teilweise die Beurteilung sehr unterschiedlich ausfällt hinsichtlich bestimmter Forschungsgebiete;
- USA, Deutschland und Japan auch in den Experteninterviews als stärkste Forschungsnationen eingestuft werden, daneben wird aber auch die Grundlagenforschung der Niederlande als sehr gut bewertet.

2.2.2.4 Qualität der angewandten Forschung

Die schriftliche Befragung zeigt, dass die Qualität der angewandten Forschung in Deutschland im internationalen Vergleich ungünstiger bewertet wird als die Grundlagenforschung (Abbildung 2.9). Aus Sicht der Großunternehmen weisen sowohl die USA, Japan, Europa (ohne Deutschland) als auch Asien höhere Werte auf. Nach Einschätzung der Forschungseinrichtungen und KMU weisen lediglich die asiatischen Länder (ohne Japan) hier niedrigere Werte auf.

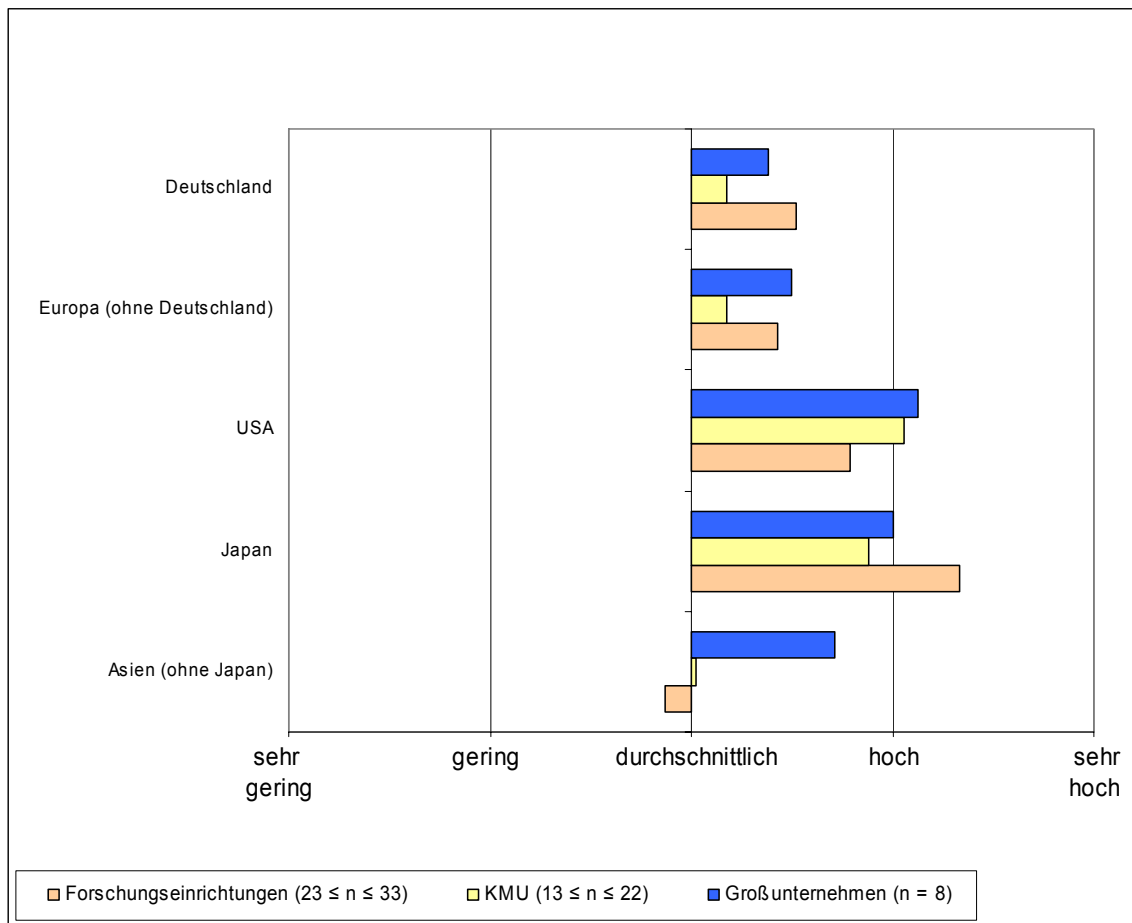
Folgende Ursachen für die „lediglich“ durchschnittliche Qualität der angewandten Forschung wurden in den Experteninterviews und während des Workshops genannt:

- Das zu geringe Volumen an verfügbarem Risikokapital in Deutschland. Dadurch werden viele aussichtsreiche Ideen nicht gefördert und weiterentwickelt.
- Die unzureichende strategische Ausrichtung bzw. Abstimmung von Forschungsaktivitäten in Deutschland und in Europa führt zu einer großen Zahl an Einzelaktionen, der es aber dann in vielen Bereichen (z. B. Bulk- und Basischemikalien) an kritischer Masse fehlt.
- In sehr vielen Experteninterviews wird zudem die geringe Quantität an angewandter Forschung bemängelt. Diese sei auf eine geringe Zahl an Unternehmen konzentriert. Nur einige wenige Spezialisten und Grossunternehmen sind nach Aussagen der Experten in der angewandten Forschung aktiv.
- Als positiver Einfluss auf die Qualität der angewandten Forschung wird die starke Stellung und hohe internationale Wettbewerbsfähigkeit der Chemieindustrie in Deutschland genannt.

In den Experteninterviews sowie dem Workshop wurde vereinzelt auch betont, dass die angewandte Forschung in Deutschland gut sei (vgl. hierzu auch Kapitel 2.1 zum IWB-T-Standortvorteil „Technologische Wissensbasis“), u. a. auf Grund der Existenz

vieler außeruniversitärer angewandter FuE-Institute. Auch die im folgenden Kapitel 2.2.3.3 dargestellten Ergebnisse der Patentanalysen¹⁶ zeichnen eher ein positives Bild für die angewandte Forschung in Deutschland, allerdings wird auch dort bestätigt, dass die USA und Japan bessere Werte aufweisen.

Abbildung 2.9: Qualität der angewandten Forschung



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

2.2.2.5 Qualität der Forschungsförderung

Die schriftliche Befragung zeigt (Abbildung 2.10), dass hinsichtlich der Qualität der öffentlichen Forschungsförderung in Deutschland

¹⁶ Patentindikatoren werden verwendet, um Entwicklungen der angewandten Forschung und technischen bzw. experimentellen Entwicklung nachzuzeichnen.

- die meisten Forschungs- und Technologiebereiche als durchschnittlich eingeschätzt werden, mit leichten Abweichungen nach unten („ungünstig“) bzw. oben („günstig“)..
- die Bereiche Screening nach neuen Enzymen und Mikroorganismen, die Mikrobielle Genomik und Bioinformatik, das Metabolic Engineering/Modellierung, Enzymdesign und -optimierung sowie Prozessdesign bei Biokatalyse von den Akteuren als leicht überdurchschnittlich wahrgenommen werden.
- die öffentliche Förderung für Rohstoffauswahl und -aufbereitung, Fermentationsprozesse, Downstream Processing und Produkt- und Anwendungsentwicklung als leicht ungünstig eingeschätzt wird, also insbesondere Bereiche, die für die Implementierung industrieller Produktionsprozesse von sehr großer Bedeutung sind, da sie die Wettbewerbsfähigkeit mit konkurrierenden non-IWBT-Prozessen und -Produkten bzw. mit Konkurrenz aus „Billigländern“ (z. B. Antibiotika, Vitamine) entscheidend mitbestimmen. Gerade die Bedeutung dieser Forschungs- und Technologiebereiche wurde von allen Akteuren vor allem für die Zukunft für die weiteren Entwicklungen und Anwendungen im Bereich der industriellen, weißen Biotechnologie als hoch eingestuft. Dies deutet möglicherweise auf eine strategische Lücke in der Forschungsförderung in diesen Bereichen hin.

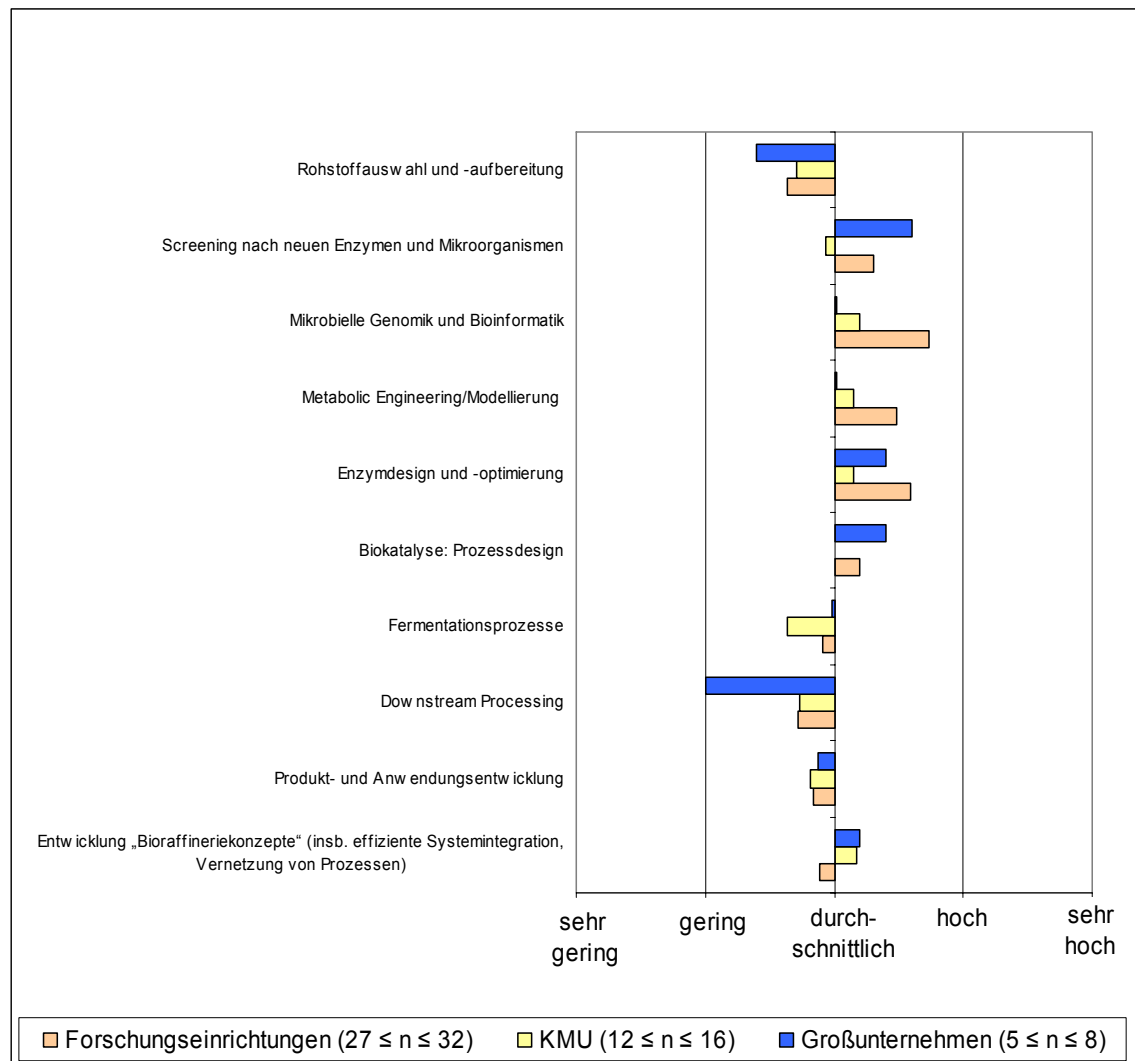
Dies spiegelt auch wider, dass in den letzten Jahren bei der strategischen (Neu-) Ausrichtung von akademischen Forschungseinrichtungen vor allem die Molekularbiologie, Genomik, Bioinformatik gestärkt wurden, was zu einer relativen Schwächung der oben genannten Bereiche führte. Diese Interpretation wird gestützt durch das Antwortverhalten der Forschungseinrichtungen, die die öffentlichen Fördermöglichkeiten in den Bereichen Genomik, Bioinformatik, Metabolic Engineering und Enzymdesign/-optimierung als eher günstig (und damit überdurchschnittlich) einschätzen. Vergleicht man die Bewertung der Unterstützung durch öffentliche Fördermaßnahmen mit der Bewertung der künftigen Bedeutung von Forschungs- und Technologiebereichen (Kapitel 2.2.2.1, S. 25 ff.), so ist zu erwägen, zukünftig die Förderung in den Bereichen Genomik, Bioinformatik, Metabolic Engineering und Enzymdesign/-optimierung fortzuführen sowie in den Bereichen Rohstoffauswahl und -aufbereitung, Fermentationsprozesse, Downstream Processing und Produkt- und Anwendungsentwicklung auszubauen.

Unterschiede im Antwortverhalten der befragten Akteursgruppen

Generell schätzen Forschungseinrichtungen die Fördermöglichkeiten geringfügig besser ein als Unternehmen und bewerten insbesondere die Fördermöglichkeiten in den Bereichen Genomik, Bioinformatik, Metabolic Engineering und Enzymdesign/-optimierung als überdurchschnittlich. Nur in den Bereichen Rohstoffauswahl/-aufbereitung und Bioraffinerien schätzen Unternehmen die Fördermöglichkeiten geringfügig besser ein als Forschungseinrichtungen, was ggf. widerspiegelt, dass beide Themenbereiche für Forschungseinrichtungen in der Breite, die sich vor allem mit Modellsystemen befassen, nicht dieselbe hohe Relevanz wie für Unternehmen besitzen. Somit würde das

beobachtete Antwortverhalten auch widerspiegeln, welche Fördermaßnahmen und -themen überhaupt vom „Radar“ der jeweiligen Akteure erfasst werden.

Abbildung 2.10: Qualität der öffentlichen Forschungsförderung in verschiedenen Forschungs- und Technologiebereichen



Quelle: Fraunhofer ISI 2006 (kein Balken = durchschnittlich)

Innerhalb der Unternehmen geben KMU und Großunternehmen recht ähnliche Einschätzungen ab. Sie unterscheiden sich jedoch signifikant in Bezug auf die Fördermöglichkeiten von Screening, Biokatalyse, Prozessdesign, Fermentationsprozesse und Downstream Processing, die KMU deutlich schlechter bewerten als Großunternehmen. Während Großunternehmen in der Regel über eigene Kapazitäten in diesen Bereichen verfügen, sind KMU hier häufig auf Kooperationen angewiesen. In Interviews wurde darauf hingewiesen, dass öffentliche Förderprogramme häufig nur darauf abzielen, die

prinzipielle Anwendbarkeit eines optimierten Verfahrens für industrielle Produktionsprozesse zu zeigen. Für die Überführung in die breite industrielle Routineanwendung seien aber noch langwierige und aufwändige Entwicklungsarbeiten zu leisten, die dann mangels Fördermöglichkeiten nicht angegangen würden (Beispiel: durch Enzymeinsatz optimierte Baumwollvorbehandlung, die einen Prozessschritt einspart: Machbarkeit und Ressourceneinsparpotenzial wurde im Projekt an einem Testlauf beim Unternehmenspartner gezeigt, würde für die Routineanwendung aber noch „Feintuning“ für die Vielzahl der in der Praxis auftretenden Baumwollstoffe und verfahrenstechnischen Varianten erfordern. Dies ist in der Regel nicht förderfähig). Signifikante Branchenunterschiede zeigen sich bei den Unternehmensantworten nicht.

Innerhalb der Forschungseinrichtungen zeigen sich deutlichere Unterschiede im Antwortverhalten. Akteure der angewandten Forschung stufen die Förderungen in der Rohstoffauswahl/-aufbereitung, bei Downstream Processing sowie Produkt- und Anwendungsentwicklung deutlich negativer als die Befragten der Grundlagenforschung ein, hinsichtlich der Mikrobiellen Genomik sind sie deutlich optimistischer.

Die Experteninterviews sowie der Workshop untermauern tendenziell obiges Gesamtbild. Einige Anmerkungen sind hier zu erwähnen:

- Die Qualität der Förderung im Bereich Rohstoffauswahl und -aufbereitung wird etwas günstiger gesehen als in der schriftlichen Befragung, allerdings gibt es hier eine relativ große Varianz bei den Antworten.
- Die Förderprogramme werden einheitlich als thematisch breit aufgestellt wahrgenommen. Diese thematische Breite wird aber unterschiedlich bewertet. Einige Experten sehen darin ein fehlendes Gesamtkonzept, während andere die Offenheit der Programme als förderlich für die Innovationsfähigkeit betrachten.

2.2.2.6 Humanressourcen-Pool

Die Ausführungen in Kapitel 2.1 (u. a. Abbildung 2.2, S. 15) haben gezeigt, dass die aktuelle Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal im Bereich der IWBT als sehr günstig bewertet und meist als Standortvorteil erachtet wird. Hinsichtlich der zukünftigen Entwicklungen wurden Befürchtungen geäußert, dass es zu Engpässen kommen könnte. Die aktuelle und zukünftige Verfügbarkeit von IWBT-Personal wird daher in diesem Kapitel ausführlicher untersucht.

Eine exakte Zukunftsprojektion für das qualifizierte Arbeitsangebot ist für einen längerfristigen Zeitraum im Bereich der industriellen, weißen Biotechnologie kaum möglich: Selbst wenn man die für die Anwendung und Diffusion der Biotechnologie benötigten Akademiker aus den verschiedensten Studienrichtungen (u. a. Chemie, Ingenieurwissenschaften) genau bestimmt hätte, stellt sich weiterhin die Frage, in welchem Ausmaß

die Absolventen dieser Studienrichtungen zukünftig auch von anderen Wirtschaftsbranchen nachgefragt werden. Ein entsprechend umfangreiches Simulationsmodell für alle 71 Wirtschaftssektoren der deutschen Volkswirtschaft plus einem explizit formulierten eigenen Biotechnologie-Modellsektor wäre mit einer Vielzahl von Annahmen für den Zeitraum von 2005 bis 2025 verbunden und hätte den Rahmen dieses Projektes gesprengt. Dennoch können durch die Kombination einer kurzfristigen detaillierten Betrachtung und einer langfristig allgemeinen Betrachtung der Akademikerentwicklung qualitativ fundierte Aussagen über mögliche Engpässe getroffen werden.

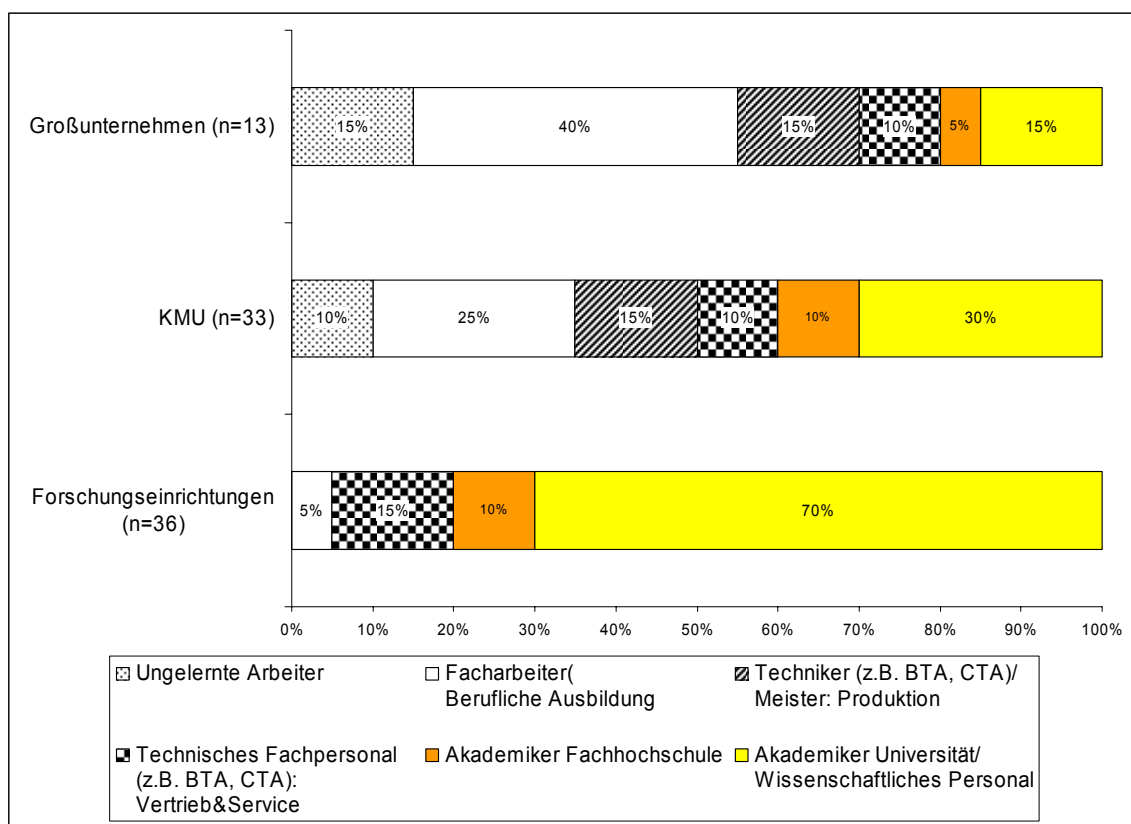
Die Ergebnisse aus der schriftlichen Befragung hinsichtlich der Mitarbeiterstruktur der Akteure zeigt folgendes Bild (Abbildung 2.11):

- Bei den Akademikeranteilen (Universität plus Fachhochschule) gibt es große Unterschiede zwischen den Akteuren. Bei Großunternehmen liegt der Akademikeranteil bei 20 %, bei den KMU bei 40 % und bei den Forschungseinrichtungen bei rund 80 %.
- Der Anteil des technischen Fachpersonals ist für alle industriellen Akteure ähnlich (jeweils 25 %) und der Wert liegt oberhalb des Wertes der Forschungseinrichtungen (15 %; Hinweis: Technisches Fachpersonal wurde bei Forschungseinrichtungen in Summe abgefragt, d. h. es erfolgte keine Unterscheidung in Produktion und Vertrieb & Service).
- Facharbeiter spielen bei Großunternehmen mit 40 % die wichtigste Rolle, bei den KMU mit 25 % die zweitwichtigste Rolle und bei den Forschungseinrichtungen mit 5 % eine untergeordnete Rolle.

Die Ergebnisse aus der schriftlichen Befragung der Forschungseinrichtungen zeigen, dass obgleich es hier und da vereinzelt auch Schwierigkeiten gibt, es derzeit keine größeren innovationshemmenden Schwierigkeiten hinsichtlich der Rekrutierung von Mitarbeitern gibt (Abbildung 2.12). Dies trifft sowohl für die Gewinnung qualifizierter Akademiker und Wissenschaftler als auch für die Gewinnung von kompetentem technischem Fachpersonal zu. Allerdings zeigen die Antworten, dass sich die Rekrutierung dieser Berufsgruppen nicht als einfach bzw. sehr einfach darstellt, so dass man hier auch nicht unbedingt von einem spezifischen Standortvorteil sprechen kann.

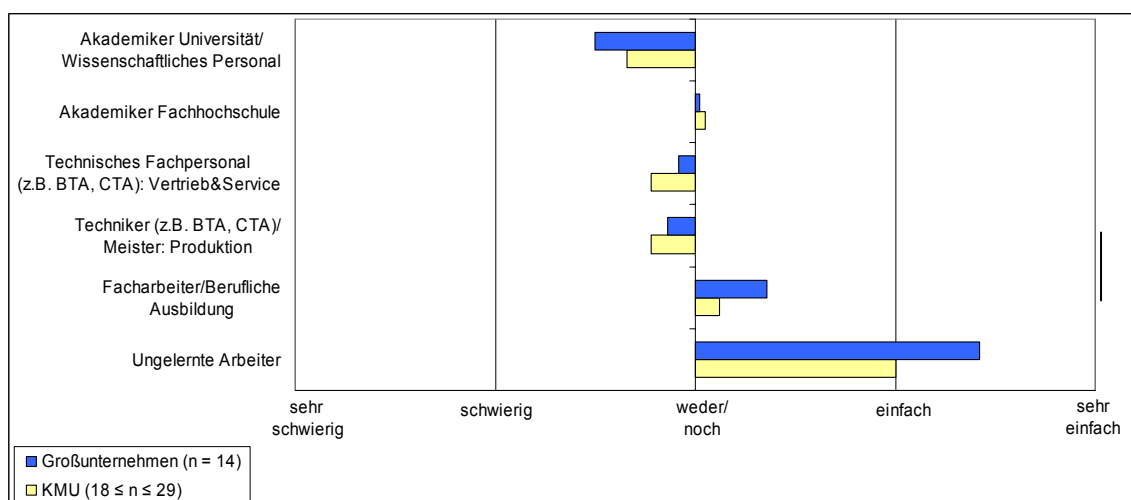
Die Ergebnisse der Forschungseinrichtungen unterscheiden sich nicht wesentlich von denen der industriellen Akteure (Abbildung 2.13). Vor dem Hintergrund der besseren Bezahlung innerhalb der Wirtschaft ist allerdings der Sachverhalt bemerkenswert, dass es für Forschungseinrichtungen im Vergleich zu den industriellen Akteuren derzeit einfacher ist, vor allem Akademiker von den Universitäten bzw. wissenschaftliches Personal zu rekrutieren.

Abbildung 2.11: Mitarbeiterstruktur bei den verschiedenen Akteuren



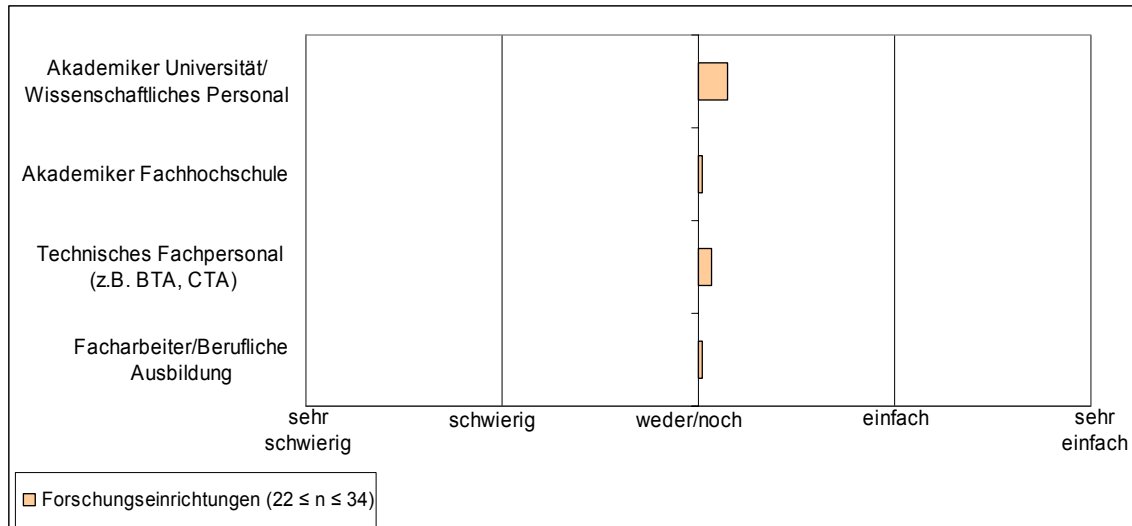
Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Abbildung 2.12: Schwierigkeiten bei der Rekrutierung von Mitarbeitern mit bestimmten Qualifikationsprofilen in Unternehmen



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Abbildung 2.13: Schwierigkeiten bei der Rekrutierung von Mitarbeitern mit bestimmten Qualifikationsprofilen in Forschungseinrichtungen



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Ein genereller quantitativer Mangel ist derzeit daher nicht festzustellen. Die Ergebnisse werden weitestgehend in den Experteninterviews und durch die Workshop-Teilnehmer bestätigt. Dabei wurde allerdings hinsichtlich der Qualität der potenziellen Bewerber auch erwähnt, dass

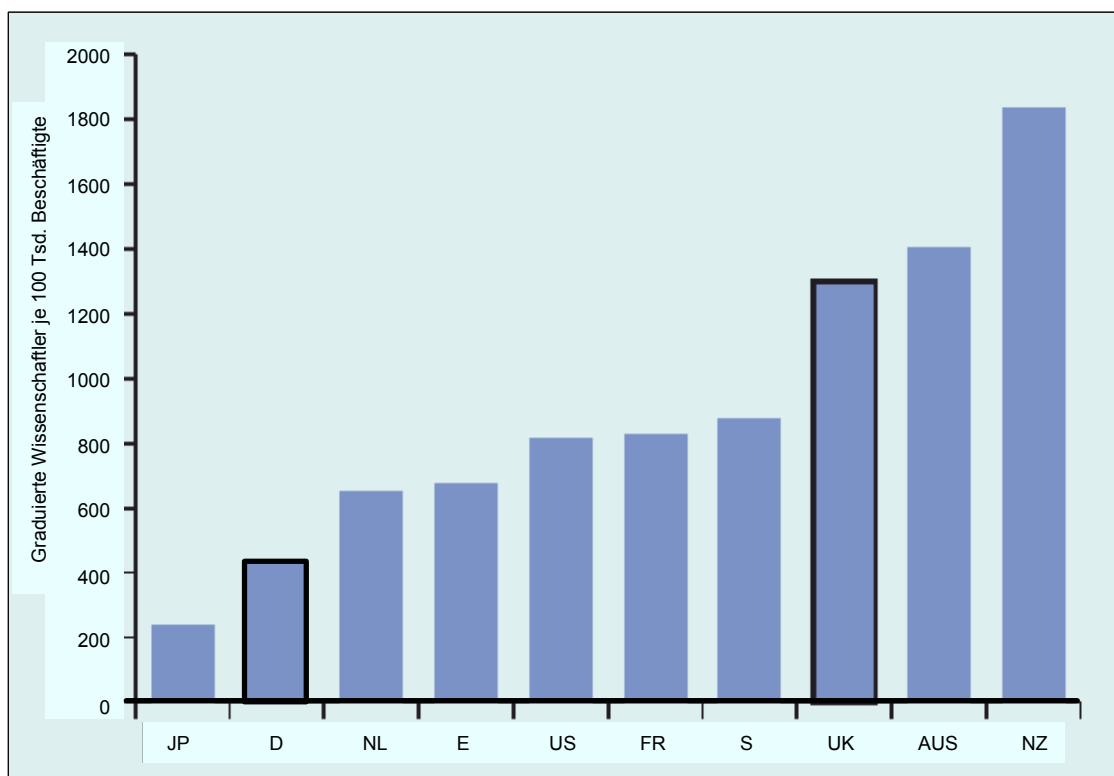
- es in einigen anwendungsnahen und industrierelevanten Bereichen wie beispielsweise Bioverfahrenstechniker gewisse Engpässe an Arbeitskräften gibt. Es zeigen sich auch Probleme bei der unternehmerischen Arbeitsnachfrage nach (hoch) qualifiziertem Personal mit Branchenkenntnissen und umfangreichen betrieblichen Erfahrungen.
- bestimmte interdisziplinäre Ausbildungsinhalte vernachlässigt werden (z. B. im Bereich Management und Ökonomie). Betont wurde in diesem Kontext, dass eine zunehmende Interdisziplinarität in den Ausbildungsinhalten nicht zu Lasten der Tiefe der fachspezifischen Basisausbildung „erkaufte“ werden darf, da man stets ausreichend „Spezialisten“ und „Generalisten“ in der industriellen Praxis benötigt.
- mangelnde Kommunikationsfertigkeiten und Fähigkeit zur Teamarbeit auf eine Vernachlässigung derartiger Studieninhalte hindeuten.
- die Beschäftigungsmöglichkeiten für den wissenschaftlichen Nachwuchs an Universitäten und Großforschungseinrichtungen auf Grund des Tarifsystems und meist begrenzter Laufzeit zu unattraktiv sind.

Für die Zukunft der Versorgung mit Akademikern in Deutschland prognostizieren Szenarien jedoch, dass im internationalen Vergleich mit wichtigen Konkurrenzländern mit einer „relativen“ Verknappung an Hochschulabsolventen insgesamt gerechnet werden

muss. So ist nach Hochrechnungen der OECD-Bildungsdatenbank der Anteil an jungen graduierten Wissenschaftlern an allen Beschäftigten in Deutschland im internationalen Vergleich sehr gering (Abbildung 2.14).

Detaillierte Auswertungen (inklusive Literaturanalysen) für Deutschland zur Entwicklung des zukünftigen Angebots und der zukünftigen Nachfrage nach qualifizierten Arbeitskräften im Bereich IWBT werden in Abschnitt 3.6.2 im Kontext der IWBT-Beschäftigungswirkungen genauer untersucht. Daher wird an dieser Stelle auf weitere Ausführungen verzichtet.

Abbildung 2.14: Anteil junger Wissenschaftler (24-34 Jahre) je 100 000 Beschäftigte im internationalen Vergleich



Quelle: Pharmaceutical Industry Competitive Task Force 2003 (Daten aus OECD Education Database und OECD Labour Force Statistics Database 2001)

2.2.3 Forschung: Publikationen und Patente als outputorientierte Indikatoren für die Leistungsfähigkeit der Wissensbasis und Wissensgenerierung

In Unternehmen werden Innovationen durch Kombination von intern generiertem Wissen und Informationen aus externen Wissensquellen hervorgebracht. Die Fülle und der

Zugang zu einer ökonomisch verwertbaren Wissensbasis („technologische Möglichkeiten“) ist neben der Marktnachfrage und den Bedingungen für die Wissensaneignung („Schutz des Wissens“) eine wesentliche Determinante für Innovationen.

Unter Nutzung von Patent- und bibliometrischen Daten, letztere stützen sich auf die Analyse wissenschaftlicher Publikationen, wird im Folgenden die wissenschaftlich-technische Entwicklung der IWBT seit Mitte der 90er-Jahre dargestellt. Während bibliometrische Indikatoren Entwicklungen im Bereich der wissenschaftlichen Forschung abbilden („Wissensbasis“), werden Patentindikatoren genutzt, um primär Entwicklungen der angewandten Forschung und technischen bzw. experimentellen Entwicklung nachzuzeichnen („Technikgenerierung“¹⁷).

Betrachtet werden die Entwicklungen für Deutschland im Vergleich zu wichtigen internationalen Wettbewerbern. Zu beachten wäre, dass sowohl Publikationen als auch Patente den kodifizierten, d. h. schriftlich niedergelegten Teil der wissenschaftlichen und technologischen Kenntnisse repräsentieren. Das nicht kodifizierte Erfahrungswissen des FuE-Personals wird damit nicht erfasst.

2.2.3.1 Methodisches Vorgehen

Für die Erhebung der Daten werden verschiedene Datenbanken genutzt. Die bibliometrischen Daten wurden unter Verwendung des Science Citation Index (SCI), wie er vom Host STN online zur Verfügung gestellt wird, gewonnen. Der SCI ist eine der größten multidisziplinären, internationalen Datenbanken, wobei die Lebenswissenschaften einen Schwerpunkt bei der Datenerfassung bilden. Für die Datenbank werden die bibliographischen Angaben von etwa 5900 wissenschaftlichen, technischen und medizinischen Zeitschriften vollständig erfasst („cover-to-cover“). Im Unterschied zu den meisten anderen Datenbanken werden für den SCI die Angaben aller an einem Aufsatz beteiligten Autoren sowie deren institutionelle Herkunft erfasst. Spezifisch ist zudem, dass der SCI neben den bibliographischen Angaben, die auch die Abstracts der Artikel umfassen, Referenzen auf andere Publikationen enthält. Diese Daten ermöglichen Zitierungsanalysen, die international zur Analyse des Impacts bzw. der Wir-

¹⁷ Auch wenn sich der Einsatz von Patentindikatoren vielfach bewährt hat, dürfen damit verbundene methodische Probleme nicht übersehen werden (vgl. hierzu u. a. Hinze und Schmoch 2004). Patente zielen auf die gewerbliche Verwendung von technischen Erfindungen ab und spiegeln daher vor allem die Ergebnisse der Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen industrieller Unternehmen wider. Weiterhin werden nicht alle technologischen Entwicklungen zum Patent angemeldet, da es alternative Möglichkeiten der Absicherung wie Geheimhaltung oder Zeitvorsprung am Markt gibt. Da es unterschiedliche nationale Gesetzgebungen und Patentgewohnheiten gibt, wirkt sich auch die Wahl des Patentamtes entscheidend auf das Ergebnis aus.

kung wissenschaftlicher Aktivitäten herangezogen werden. Unter anderem wegen dieser spezifischen Informationen ist der SCI eine der weltweit am häufigsten verwendeten Datenbanken für international vergleichende Analysen u. a. zur wissenschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit oder zur Evaluation von wissenschaftlichen Aktivitäten von Ländern, Regionen aber auch einzelner Institutionen.

Publikationsdaten wurden für den Zeitraum 1995-2004 erhoben. Die SCI-Datenbank enthält Dokumente unterschiedlichen Publikationstyps. Für die Untersuchungen wurden nur die relevanten Publikationstypen ‚Articles‘, ‚Notes‘, ‚Letters‘ und ‚Reviews‘ verwendet.

Für Patentrecherchen stehen verschiedene Patentdatenbanken zur Verfügung. Diese unterscheiden sich beispielsweise hinsichtlich ihrer geographischen Abdeckung. Es gibt Datenbanken, die Patentedokumente einzelner nationaler oder internationaler Patentämter enthalten, z. B. die des Amerikanischen Patentamtes (USPTO) oder auch des Europäischen (EPO) oder Deutschen (DPMA) Patentamtes. Weiter gibt es Datenbanken, die die Dokumente verschiedener Patentämter enthalten. Auch unterscheiden sich die Datenbanken durch die bibliographischen Inhalte, die recherchierbar sind. Für die durchzuführende Studie war es zunächst notwendig, die geeignete Datenbank zu selektieren.

Ziel der Untersuchungen ist ein internationaler Vergleich der Aktivitäten im Bereich der technischen Entwicklung in der IWBT. Dabei wird sowohl die Dynamik in diesem Technikfeld als auch jeweils deren Relationen zur Dynamik der gesamten Biotechnologie-Patentanmeldungen sowie zur Dynamik aller Forschungsfelder in Summe (Gesamtpatentanmeldungen) analysiert. Aus diesem Grund werden internationale Patentanmeldungen für die Analysen genutzt. Konkret werden die Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt (EPO) herangezogen. Der Vorteil der Verwendung dieser internationalen Daten besteht darin, dass für alle Akteure vergleichbare Zugangsbedingungen bei der Patentanmeldung gelten. Bei Verwendung von nationalen Patentdaten treten hingegen für das jeweilige (Heim)-Land deutliche Heimvorteile auf, die zu Verzerrungen bei länderübergreifenden Vergleichen führen. Hingegen hat sich gezeigt, dass bei Verwendung der internationalen Patentanmeldungen des EPO die Relationen zwischen den Ländern sehr repräsentativ sind (Schmoch 1999). Ein Vorteil ist zudem das zentrale Prüfungsverfahren beim EPO. Dieses gilt für alle Mitgliedsländer der Europäischen Patentkonvention und gewährleistet eine hohe Vergleichbarkeit der Patentanmeldungen aus den verschiedenen Ländern. Außerdem repräsentieren Patentanmeldungen am EPO auf Grund der hohen Kosten Erfindungen mit hohem technologischem und kommerziellem Wert. Statistische Verzerrungen auf Grund spezifischer nationaler Besonderheiten im Patentrecht werden durch Nutzung der Europäischen

Patentdaten somit ausgeschlossen. Eine gewisse Sonderrolle kommt den nicht-europäischen Regionen auf Grund der unterschiedlichen strategischen Bedeutung des europäischen Marktes zu. Diese Regionen werden durch die Verwendung der europäischen Daten unterrepräsentiert. Dennoch wiegt der Vorteil der Vergleichbarkeit der Daten den der Unterrepräsentanz auf. Hinzukommt, dass die USA insgesamt das Land mit dem größten Patentaufkommen am EPO sind. Etwa 28 % der jährlichen Patentanmeldungen am EPO stammen aus den USA, 15 % aus Japan (EPO 2002, S. 15). Somit kann von einer hohen strategischen Bedeutung des Europäischen Marktes auch für US-amerikanische Patentanmelder ausgegangen werden, was wiederum auf eine gute Repräsentanz amerikanischer Akteure im Datenset schließen lässt.

In den letzten Jahren werden außerdem zunehmend internationale Patente bei der World Intellectual Property Organization (WIPO) bzw. als PCT-Anmeldungen (Patent Co-operation Treaty) angemeldet (Schmoch 1999). Das zentrale Anmeldeverfahren beinhaltet häufig ein vorläufiges Prüfungsverfahren. Die rechtlich relevante Prüfung erfolgt dann aber durch die jeweils benannten nationalen Patentämter. Auch das EPO kann als entsprechendes Patentamt benannt werden und dann gegebenenfalls die Prüfung durchführen. Diese internationalen Patentanmeldungen sind auf Grund ihrer zunehmenden Bedeutung ebenfalls in die Analysen einzubeziehen. US-amerikanische Patentanmelder nutzen das PCT Verfahren am häufigsten. Im Jahr 2002 kamen etwa 39 % aller PCT-Anmeldungen aus den USA, etwa 13 % aus Deutschland und etwa 12 % aus Japan (WIPO 2002). Untersuchungen haben ergeben (Schmoch 1999), dass die Berücksichtigung von PCT-Anmeldungen auf Grund ihrer steigenden Bedeutung notwendig ist, um verlässliche Daten zu generieren; daher werden diese in der vorliegenden Studie mit berücksichtigt. Patentdaten wurden insgesamt für den Zeitraum 1995-2004¹⁸ erhoben.

Sowohl bei den Publikations- als auch bei den Patentanalysen wurden Suchstrategien verwendet, die kompatibel mit der in Kapitel 1.2, S. 3, festgelegten IWBT-Definition sind. Dabei wurde wie folgt vorgegangen: Es wurden zunächst alle Biotechnologiepatente/-publikationen entsprechend der OECD-Definition identifiziert (vgl. hierzu Reiss et al. 2004). Zudem wurden die entsprechenden Anwendungsfelder für die IWBT festgelegt (d. h. industrielle IWBT-Produktionsprozesse in den verschiedenen relevanten Wirtschaftszweigen Chemie-, Pharma-, Lebensmittel-, Textil-, Papier-, Lederindustrie). Bei diesen Anwendungsfelder-spezifischen Suchprozessen wurden IPC-Codes (International Patent Classification Codes) und/oder IWBT-spezifische Schlüsselwörter ver-

¹⁸ Auf Grund rechtlicher Regelungen werden Patentanmeldungen 18 Monate nach dem Prioritätsdatum veröffentlicht. Aus diesem Grund ist das Jahr 2004 das letzte recherchierbare Prioritätsjahr.

wendet, um die vollständige Erfassung der IWBT-Anwendungen (z. B. biobasierte Polymere, biobasierte Chemikalien, Bioethanol) sicherzustellen. Aus der Überschneidungsmenge („Biotechnologiepatente/-publikationen“ und „IWBT-Anwendungsfelder“) ergeben sich die relevanten IWBT-Patente/-Publikationen.

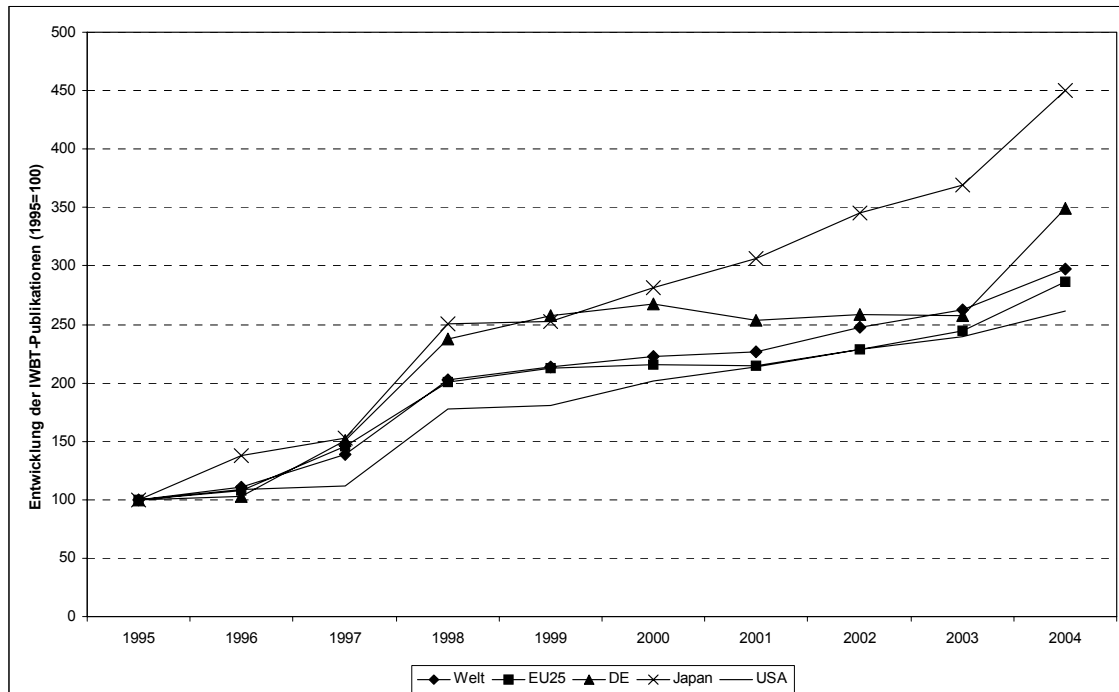
2.2.3.2 Wissenschaftliche Publikationen: Länderspezifische Entwicklungstendenzen hinsichtlich Niveau und Spezialisierung

Mit Publikationsindikatoren („bibliometrische Indikatorik“) werden die Entwicklungen im Bereich der wissenschaftlichen Forschung abgebildet. Publikationsanalysen für die gesamte Biotechnologie zeigen, dass über zwei Drittel der Publikationen in diesem Bereich von Universitätsakteuren kommen (Patel 2003a, Reiss und Hinze 2004). Deshalb sind Publikationsindikatoren vor allem für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der universitären Wissensgenerierung von hoher Bedeutung. Im Folgenden wird die Entwicklung hinsichtlich der wissenschaftlichen Publikationsaktivitäten für die IWBT untersucht. Die Publikationsaktivitäten in Deutschland werden ins Verhältnis gesetzt zu den Entwicklungstendenzen in wichtigen Konkurrenzländern.

Abbildung 2.15 zeigt die Entwicklung der wissenschaftlichen Veröffentlichungen in der IWBT in den Jahren 1995 bis 2004. Das Publikationsaufkommen hat in diesem Bereich kontinuierlich zugenommen und sich im betrachteten Zeitraum verdreifacht. Da diese Entwicklung möglicherweise auf das Gesamtwachstum der Literaturdatenbank (z. B. durch Aufnahme neuer Zeitschriften in die Datenbank) zurückzuführen ist, interessiert der Vergleich der Wachstumsraten der Datenbank insgesamt mit der des untersuchten Teilgebietes. Hier zeigt sich, dass die IWBT jährlich durchschnittlich um 13 % wächst, die gesamte Datenbank aber jährlich nur um 2,5 % zunimmt. Somit kann man von einem relativen Bedeutungszuwachs dieses Gebietes ausgehen. Allerdings ist die Wachstumsdynamik in der IWBT in den letzten Jahren wieder zurückgegangen.

Während das jährliche Wachstum der IWBT-Publikationen von 1995 bis 2000 durchschnittlich ca. 17 % beträgt, liegt es von 2000 bis 2004 bei 7,5 %. In Deutschland ist diese Entwicklungstendenz besonders stark ausgeprägt. Die Anzahl der Publikationen steigt zwischen 1995 und 1999 enorm an, von 1999 bis 2003 bleibt sie aber fast konstant. Durch den erneuten Anstieg im Jahre 2004 ist die Entwicklung insgesamt im Analysezeitraum überdurchschnittlich. In Japan ist die Zunahme allerdings noch deutlicher, dort setzt sich der positive Trend auch nach dem Jahr 2000 fort. In den aufstrebenden asiatischen Ländern (Indien, China) liegt – soweit Zahlen spezifisch für diese Länder verfügbar sind – der Trend nahe beim weltweiten Durchschnitt. Am schwächsten schneidet bei den betrachteten Regionen die USA ab, das jährliche Wachstum liegt mit knapp 7 % zwischen 2000 und 2004 leicht hinter der weltweiten Dynamik zurück.

Abbildung 2.15: Entwicklung des Publikationsaufkommens in der IWBT von 1995-2004 (1995=100)



Quelle: Science Citation Index, Berechnungen Fraunhofer ISI

Diese verhaltene Dynamik in den USA ist dabei nicht alleinig auf ein besonders hohes Ausgangsniveau zurückzuführen.¹⁹ Abbildung 2.16 zeigt, dass die Länder der EU-25 beim Anteil am weltweiten IWBT-Publikationsaufkommen auch bei Abzug der deutschen Publikationen 1995 auf dem gleichen Niveau wie die USA (ca. 29 %) liegen. Bis 2004 verzeichnen sie einen leichten Anteilsverlust auf ca. 27 %, die USA fällt auf 26 % zurück. In Deutschland zeigt sich hingegen analog zur absoluten Entwicklung ein deutlicher Anstieg bis Ende der 1990er-Jahre von gut 6 % 1995 auf knapp 8 % 2000. In den Folgejahren reduzierte sich der Anteil Deutschlands wieder auf 6 %, durch den Anstieg 2004 wird erneut der 8 % Anteil am IBWT-Publikationsaufkommen erreicht.

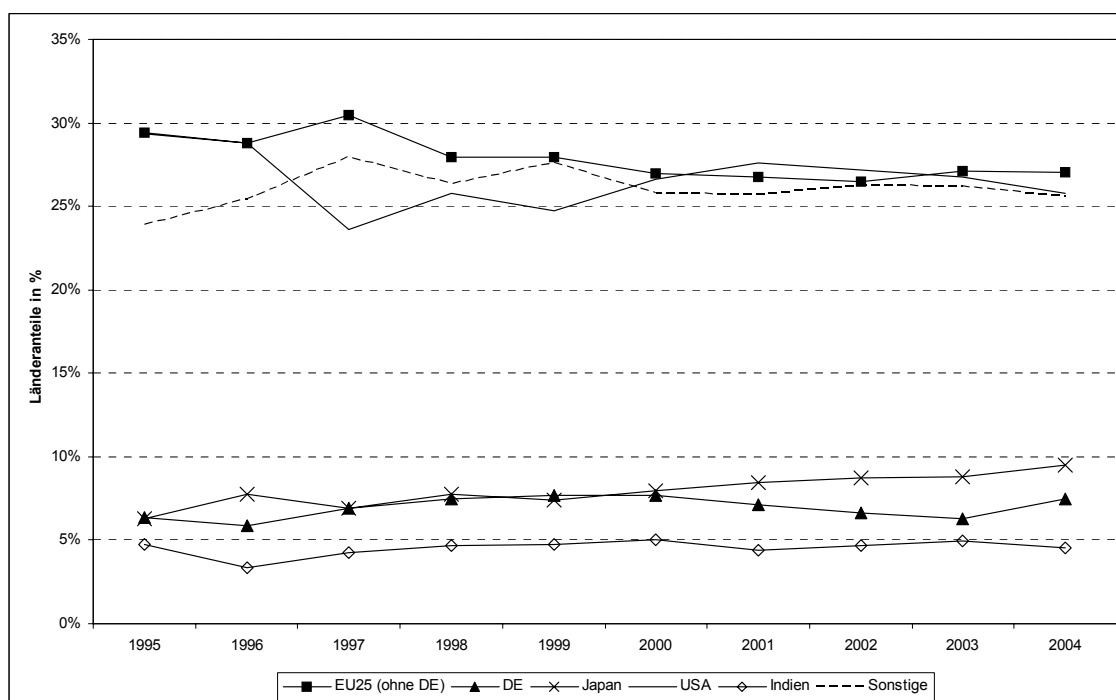
Deutschland nimmt damit in Europa eine bedeutende Rolle ein, Großbritannien liegt mit ca. 6 % im Jahr 2004 knapp dahinter. Aber auch die asiatischen Länder haben eine hohe Bedeutung beim IWBT-Publikationsaufkommen. Japan konnte seinen Anteil von einem ähnlichen Ausgangsniveau wie Deutschland auf knapp 10 % im Jahr 2004 steigern. Indien nimmt mit einem Anteil von ca. 5 % eine beachtliche Rolle für die Wis-

¹⁹ Länder mit einem hohen Ausgangsniveau haben es in der Regel schwieriger als andere Länder weiterhin hohe Wachstumsraten zu erreichen.

sensgenerierung in der IWBT ein, im Gegensatz zu Japan nahm diese im Analysezeitraum aber nicht weiter zu.²⁰

Um Aussagen treffen zu können, ob die IWBT innerhalb der Länder ein wichtiges Forschungsfeld darstellt und ob einzelne Länder besonders darauf spezialisiert sind, muss das Niveau und die Entwicklung der IWBT-Publikationen in Relation zu anderen Forschungsfeldern betrachtet werden. Beim Anteil der IWBT-Publikationen am gesamten Publikationsaufkommen (Abbildung 2.17) lässt sich in allen untersuchten Ländern ein relativer Bedeutungszuwachs der IWBT feststellen. Der Anteil steigt von ca. 0,2-0,3 % in den Industrieländern im Jahre 1995 auf ca. 0,5-0,7 % im Jahr 2004.

Abbildung 2.16: Entwicklung der Länder(-regionen) Anteile an den weltweiten Publikationen in der IWBT 1995-2004



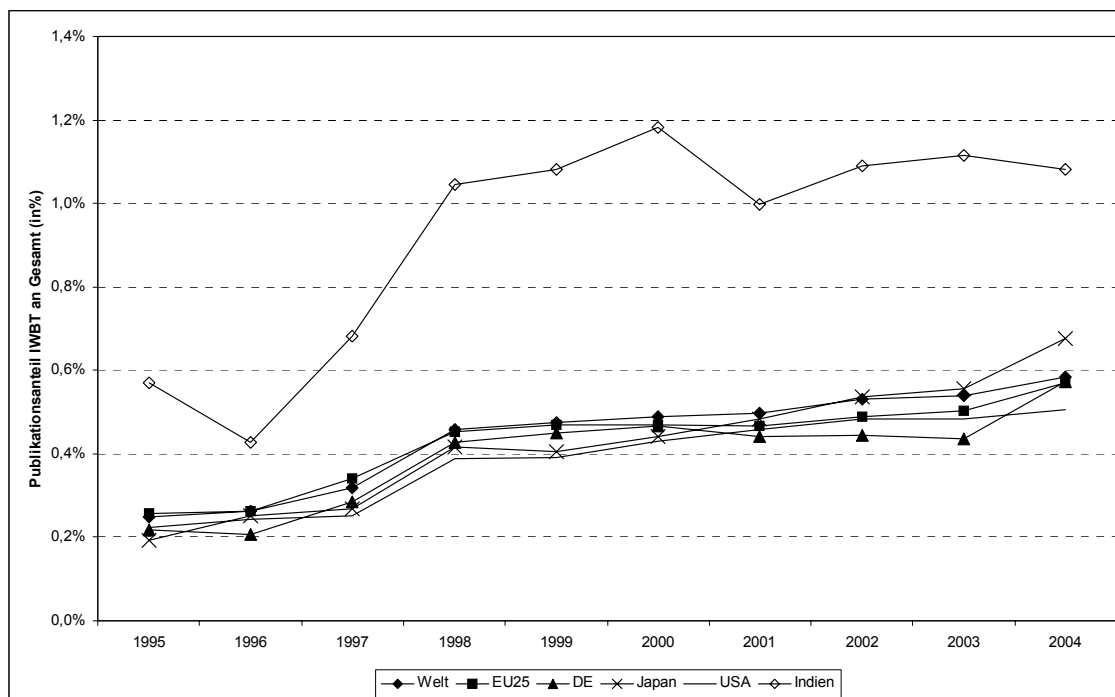
Quelle: Science Citation Index, Berechnungen Fraunhofer ISI

²⁰ Für China konnte keine Entwicklung des Publikationsaufkommens analysiert werden, da hier eine länderspezifische Aufschlüsselung nicht für den gesamten Zeitraum möglich ist.

Allerdings beruht diese Entwicklung auch hier zu einem Großteil auf der dynamischen Entwicklung der IWBT Mitte/Ende der 1990er-Jahre. Für Indien zeigt sich eine deutliche Spezialisierung auf den Bereich der IWBT, dagegen unterscheiden sich die anderen Länder in ihrer Spezialisierung auf die IWBT wenig. Deutschland liegt im gesamten Zeitraum leicht unter dem Welt-Durchschnitt, erst 2004 schließt sich die Lücke.

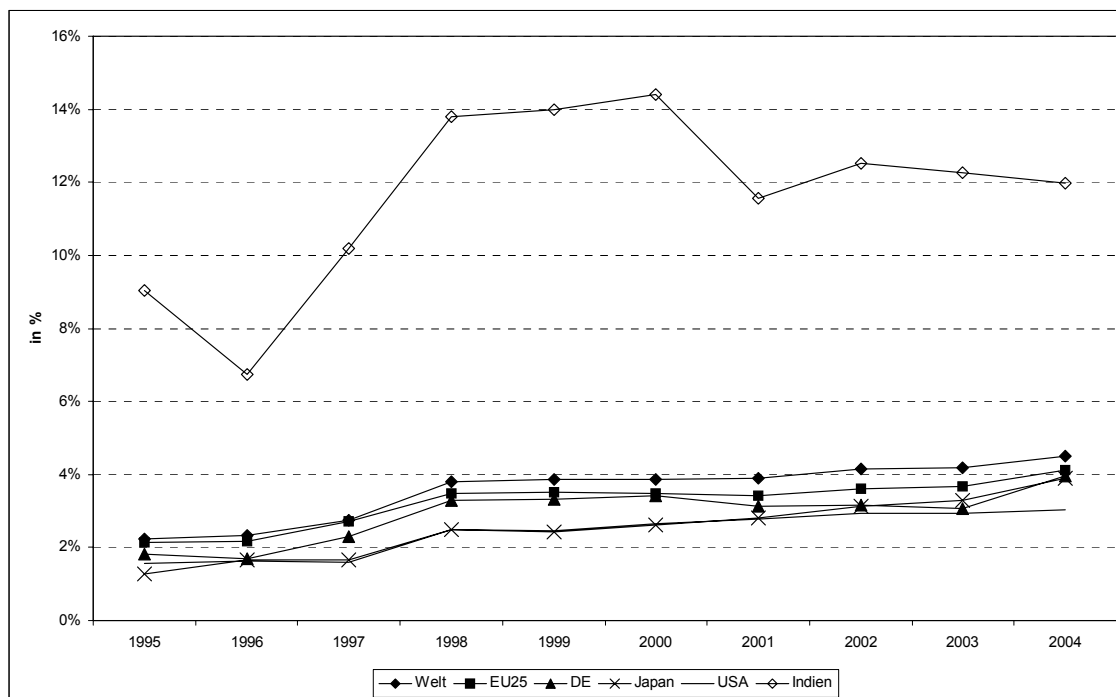
Dieser Bedeutungsgewinn der IWBT beim gesamten Publikationsaufkommen ist keine alleinige Begleiterscheinung eines Booms der gesamten Biotechnologie. Vielmehr ist der Publikationsanteil der IWBT innerhalb der gesamten Biotechnologie gewachsen (Abbildung 2.18). Dieser Trend zeigt sich in allen betrachteten Ländern. Mit einem weltweiten Durchschnitt von unter 5 % liegt die IWBT aber weiterhin hinter anderen Forschungsfeldern der Biotechnologie zurück. Die bedeutendste Rolle nimmt die roten Biotechnologie ein (Patel 2003a, Reiss et al. 2003). Dies gilt insbesondere für Industrieländer, bei denen auf der Kehrseite die Anteile der IWBT-Publikationen allesamt noch unter dem weltweiten Durchschnitt liegen. Indien weicht deutlich von den Industrieländern ab, hier liegt der Anteil der IWBT im Jahr 2004 bei 12 %.

Abbildung 2.17: Anteil IWBT-Publikationen im Vergleich zum gesamten Publikationsaufkommen (1995-2004)



Quelle: Science Citation Index, Berechnungen Fraunhofer ISI

Abbildung 2.18: Anteil IWBT-Publikationen im Vergleich zum gesamten Biotechnologie-Publikationsaufkommen (1995-2004)



Quelle: Science Citation Index, Berechnungen Fraunhofer ISI

2.2.3.3 Patente: Länderspezifische Entwicklungstendenzen hinsichtlich Niveau und relevanter Akteurstypen

Ein FuE-Outputindikator, der den Innovationserfolg abbildet, sind Patente. Patentanmeldungen sind ein geeigneter Indikator, um bestehende Potenziale hinsichtlich der zukünftigen technologischen Leistungsfähigkeit sowie zukünftiger Markt- und damit auch Beschäftigungspotenziale aufzeigen (Blind und Frietsch 2006). Da Patentanmeldungen vorrangig von industriellen Akteuren getätigt werden, ist dieser Indikator als „näher am Markt“ im Vergleich zu Publikationen zu interpretieren,²¹ zudem steht bei den Patenten die „Technikgenerierung“ im Vordergrund.

²¹ Allerdings müssen auch Einschränkungen der Aussagekraft dieses Indikators beachtet werden. Schließlich werden Patente zum Teil aus strategischen Gründen angemeldet und nicht immer in neue/verbesserte Produkte und Prozesse am Markt umgesetzt. Zudem kann der potenzielle Marktwert der einzelnen Patente völlig verschieden sein, dieser Tatbestand spiegelt sich bei der reinen Anzahl der Patente nicht wider. Hierfür wären Größen wie z. B. Umsatz je Patent erforderlich, die (wenn überhaupt) statistisch schwer zu erfassen sind.

Zur Einordnung der folgenden Ergebnisse ist zu beachten, dass seit Mitte der 1990er-Jahre die Zahl der Patente in Relation zu den gesamten Erwerbspersonen kontinuierlich angestiegen ist. Als wesentliche Gründe für die allgemeine Erhöhung der Patentintensitäten werden eine erhöhte Umsetzungseffizienz von FuE, ein erhöhter Patentierungsdruck auf Grund des verschärften internationalen Technologiewettbewerbs, eine verbesserte internationale Durchsetzbarkeit von Eigentumsrechten, eine erhöhte Bedeutung von Patenten bei Lizenztausch und Firmenübernahmen sowie Gebührensenkungen bei Patentanmeldungen genannt (Blind et al. 2003; Blind et al. 2004; Janz et al. 2001; Kortum und Lerner 1999). Zudem werden in Deutschland Patente zunehmend als Mittel gesehen, strategische Markteintrittsbarrieren aufzubauen. Sektorale Untersuchungen zeigen, dass diese Patentmotive in einzelnen Branchen unterschiedlich stark ausgeprägt sein, für den Biotechnologie-Sektor zeigen sich aber keine signifikanten Besonderheiten (Blind et al. 2006).

Die Entwicklung der Patentaktivitäten im Bereich der IWBT seit 1995 wird in Abbildung 2.19 dargestellt.²² Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate fällt mit knapp 3 % von 1995 und 2004 für die IWBT recht bescheiden aus. Die gesamten Patentanmeldungen sind im gleichen Zeitraum jährlich um durchschnittlich knapp unter 9 % gestiegen.

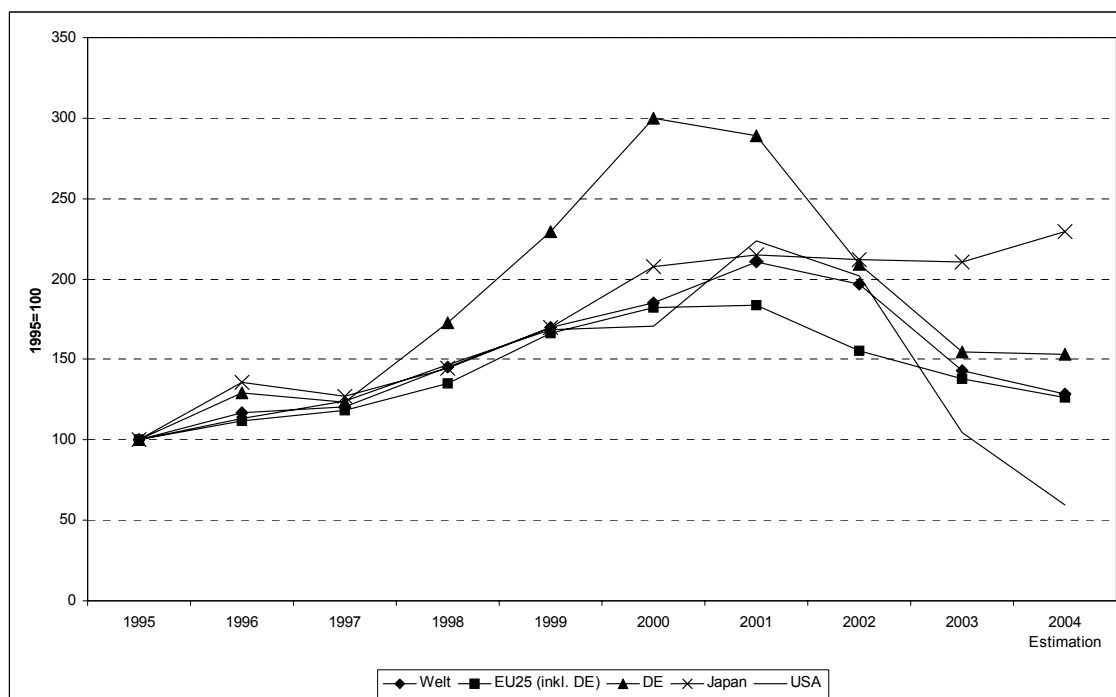
Vor allem zwischen 1995 und 2000 ist eine hohe dynamische Entwicklung mit einer deutlichen Zunahme der Patentanmeldungen zu erkennen, während zwischen 2001 und 2004 bei den Patentanmeldungen sogar ein absoluter Rückgang auf das Niveau 1997/98 zu erkennen ist. Dieser Rückgang dürfte eine Folge der Börsenkrise zu Beginn des Jahrtausends sein. Die Ernüchterung über die wirtschaftlichen Perspektiven patentintensiver Hightechindustrien hat weltweit zu einem Einbruch der Patentierungsaktivitäten, so auch in der IWBT, geführt (Reiß et al. 2007).

In den USA fällt dieser Rückgang besonders stark aus. In Deutschland verdreifachten sich die Patentanmeldungen zwischen 1995 und 2000. Der Einbruch ab 2001 zeigt sich aber in ähnlichem Ausmaß wie in den USA. Über den gesamten Analysezeitraum hinweg ist die Entwicklung in Deutschland im Vergleich zu den anderen europäischen Ländern und der weltweiten Entwicklung dennoch positiv. In Japan ist das Wachstum analog zu den Publikationen am größten und es zeigt sich auch nach dem Jahr 2000

²² Die Werte für 2004 stellen Schätzwerte auf Basis der bisher verfügbaren Daten für dieses Jahr dar. Es sind Änderungen in den Datenbanken für das betreffende Jahr möglich.

ein positiver Trend. Indien und China²³ konnten ihre Patentmeldungen in diesem Zeitraum veracht- bzw. verzehnfachen. In diesen Ländern ist das absolute Niveau der Patentanmeldungen allerdings sehr gering (siehe unten), deshalb ist ein Vergleich dieser Wachstumsraten mit denen der Industrieländer kaum aussagefähig.

Abbildung 2.19: Patentaufkommen in der IWBT 1995-2004 (1995 = 100)



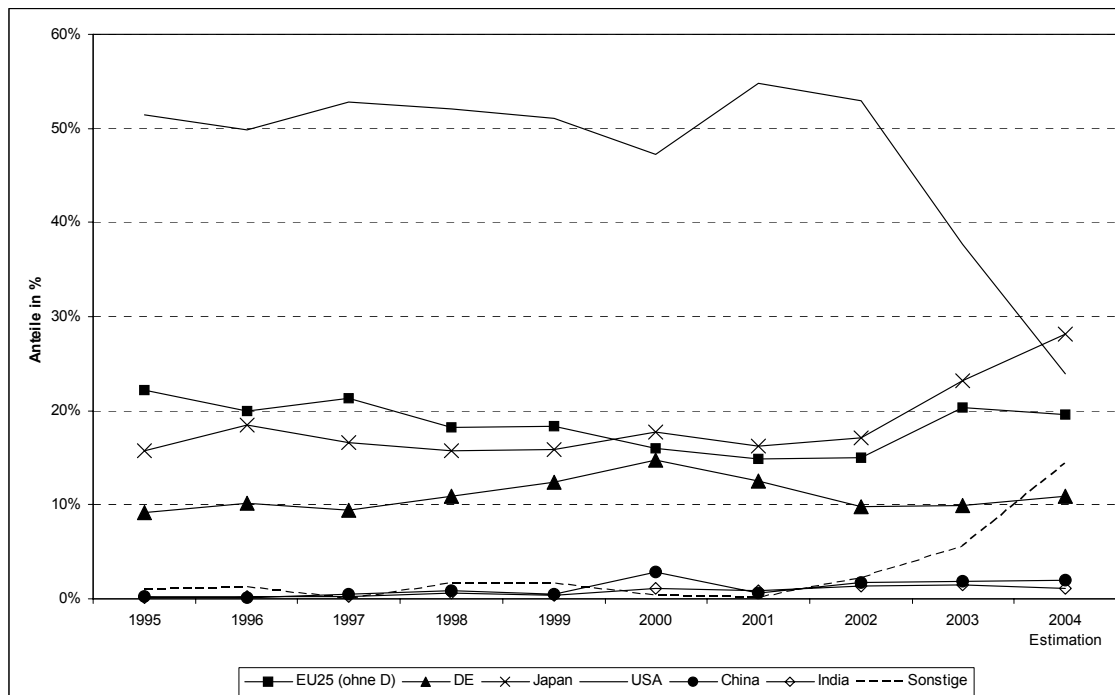
Quelle: EPAT, PCTPAT, Berechnungen Fraunhofer ISI

Bei den Anteilen der Länder an den weltweiten Patentmeldungen zeigen sich seit dem Jahr 2002 deutliche Veränderungen (Abbildung 2.20). Während die USA bis dahin allein die Mehrheit der Patente anmeldete, hat sich dieser Anteil bis zum Jahr 2004 auf ca. 24 % mehr als halbiert. Japan nimmt mit einem Anstieg auf 28 % nun die Spitzenposition ein, einen etwas höheren Wert vereinigen die EU-Länder unter Einbezug Deutschlands auf sich. Während Deutschland im Jahr 2000 beinahe gleich viele Patente wie die restlichen EU-25 Länder in Summe anmeldete, hat sich in den vergangenen Jahren die Lücke wieder vergrößert. Allerdings weist Deutschland im Jahr 2004 immer

²³ Für China gilt zu beachten, dass die Patente zu einem Großteil von einem einzigen Unternehmen angemeldet werden. Folglich zeigen sich für dieses Land starke Schwankungen bei den jährlichen Patentanmeldungen.

noch ein Drittel der gesamten EU-25 Patentanmeldungen (weltweit 10 % Anteil) auf und liegt damit beispielsweise deutlich vor Großbritannien (weltweit < 5 % Anteil).

Abbildung 2.20: Entwicklung der Länderanteile am weltweiten Patentaufkommen in der IWBT 1995-2004



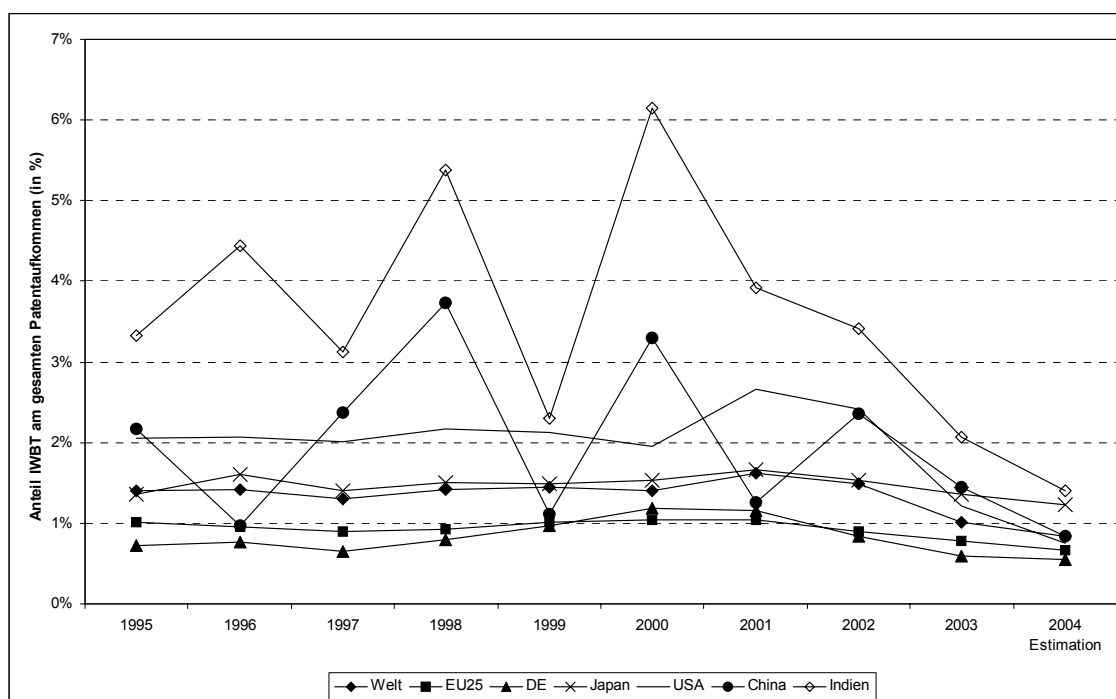
Quelle: EPAT, PCTPAT, Berechnungen Fraunhofer ISI

Die aufstrebenden asiatischen Länder Indien und China spielen bei den Patentanmeldungen im Gegensatz zum Publikationsaufkommen eine sehr kleine Rolle, sie haben im Jahr 2004 einen Anteil von jeweils 1-2 % (in Summe ca. 3 %). Diese Länder haben es bisher offensichtlich nicht geschafft, ihre beachtlichen wissenschaftlichen Leistungen (z. B. Indien 5 % Anteil am weltweiten IWBT-Publikationsaufkommen) in marktrelevante Ergebnisse umzusetzen. Im Vergleich zu den sehr geringen Aktivitäten Mitte der 1990er-Jahre scheint nun aber immerhin eine industrielle Basis als Ausgangspunkt für die Zukunft geschaffen worden zu sein. Ab 2002 ist bei den sonstigen Ländern ein deutlicher Anstieg zu erkennen. Da sich diese Größe als Residuum ergibt, konnte hier keine genaueren Analysen durchgeführt werden, welche Länder hauptsächlich für diesen Anstieg verantwortlich sind. Zudem ist zu beachten, dass es sich bei den Werten für 2004 um Schätzungen handelt.

Beim Vergleich der IWBT-Patententwicklung mit den gesamten Patentanmeldungen wird die bereits erwähnte verhaltene Dynamik im Bereich der IWBT deutlich

(Abbildung 2.21). Für alle Länder zeigt sich eine stagnierende bzw. rückläufige Anteilentwicklung, wobei das Ausmaß verschieden ist. Die Unterschiede zwischen den Ländern werden im Zeitablauf geringer, sie bewegen sich in den aktuellsten Jahren in einer Bandbreite von 0,5-1,5 % IWBT-Anteil an den gesamten Patentanmeldungen. Deutschland liegt im Jahr 2004 mit ca. 0,5 % unter dem EU-25 Durchschnitt.

Abbildung 2.21: Anteil der IWBT relevanten Patentanmeldungen am Gesamtaufkommen in den Jahren 1995 bis 2004



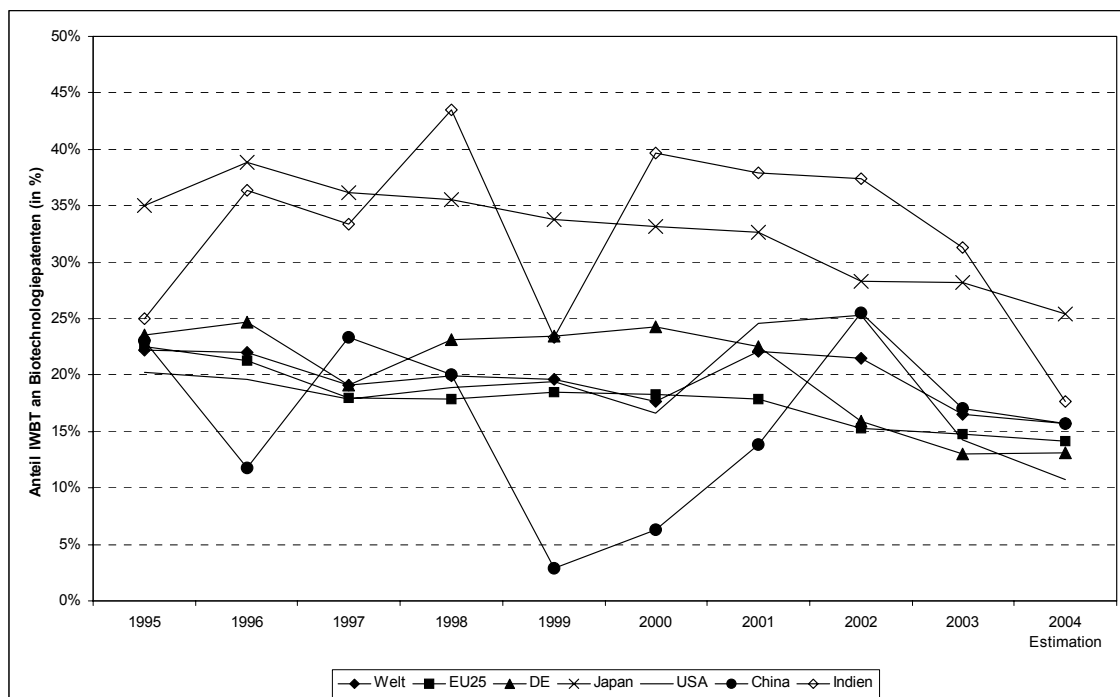
Quelle: EPAT, PCTPAT, Berechnungen Fraunhofer ISI

Die Begründung hierfür ist vorrangig bei der gesamten Höhe der Patentanmeldungen in Deutschland zu sehen (hierzu siehe z. B. Frietsch 2006). Es wird aber analog zu der Publikationsanalyse auch deutlich, dass die Forschung in Deutschland keine Spezialisierung auf die IWBT aufweist. Diese geringe Spezialisierung Deutschlands zeigt sich auch für die gesamte Biotechnologie (vgl. Arundel et al. 2006, Patel 2003b). Eine leicht überdurchschnittliche Spezialisierung weisen hingegen die asiatischen Länder auf. Die starken Schwankungen in China und Indien liegen vermutlich an der geringen Fallzahl der IWBT-Patente. Für die USA zeigt sich auch bei diesem Indikator ein deutlicher Rückgang zwischen 2002 und 2004, er ist in Relation zur schwachen absoluten Entwicklung der IWBT Patente (siehe oben) eher gering. Dies spiegelt einen allgemeinen Rückgang der Patentanmeldungen der USA, insbesondere in Hoch- und Spitzentechnologiegebieten wider (Frietsch 2006). Ein möglicher Grund hierfür könnte u. a. die

schwache Börsenkursentwicklung sein, die in den USA große Einflüsse auf die Forschungsaktivitäten hat.

Anhand der Anteile der IWBT an den gesamten Biotechnologie-Patentanmeldungen (Abbildung 2.22) lässt sich beurteilen, welche Rolle die IWBT innerhalb der Biotechnologie einnimmt und inwieweit die einzelnen Länder auf diesen Teilbereich spezialisiert sind. Im Gegensatz zum Publikationsaufkommen nimmt die IWBT hier eine deutlich bedeutendere Rolle ein mit einem Gesamtanteil von 16 % im Jahr 2004. Dieser große Bedeutungsunterschied liegt vermutlich in der „Natur der Sache“. In der IWBT sind besonders technikbezogene, ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen (bezogen auf industrielle Prozesse) interessant. In diesen Forschungsfeldern spiegeln Publikationen in den von den Datenbanken erfassten Zeitschriften eine geringere Rolle als z. B. bei der Medizin, während Patente hier eine große Rolle spielen.

Abbildung 2.22: Anteil der IWBT relevanten Patentanmeldungen am Gesamtaufkommen in der Biotechnologie 1995 -2004



Quelle: EPAT, PCTPAT, Berechnungen Fraunhofer ISI

Die beiden Indikatoren nähern sich allerdings an: Während bei den Publikationen der Anteil von IWBT von 1995 bis 2004 von 2 auf 4 % anstieg (siehe Abbildung 2.18), ist er bei den Patenten im gleichen Zeitraum von 22 auf 16 % gesunken. Insbesondere in

den Jahren 2002 bis 2004 haben Patentanmeldungen aus Anwendungsbereichen der roten Biotechnologie stark zugenommen.

Der Abwärtstrend der IWBT-Patenanteile zeigt sich tendenziell für alle betrachteten Länder. Analog zu den Anteilen von IWBT an den gesamten Patentanmeldungen ergibt sich für die asiatischen Länder eine stärkere IWBT-Spezialisierung innerhalb der Biotechnologie. Deutschland liegt im Jahr 2004 mit einem Anteil von ca. 13 % knapp unter dem EU-25 Durchschnitt (14 %), allerdings höher als die USA. Dort nahm der Anteil sehr stark von 25 % im Jahr 2002 auf 11 % im Jahr 2004 ab. Insgesamt ist zu erkennen, dass sich (mit Ausnahme Japans) die Anteile der Länder annähern (im Bereich um die 15 %).

Für die Beurteilung der Bedeutung der IWBT in den Anwendersektoren eignet sich die Betrachtung der Anteile der IWBT an den gesamten Patentanmeldungen in den entsprechenden Industriebereichen.²⁴ Für die meisten Länder (als auch für den Wert Welt) lässt sich zwischen 1995 und 2001 ein leichter Anteilsanstieg beobachten (Abbildung 2.23). Seitdem sind die Werte allerdings rückläufig, der Anteil liegt insgesamt im Jahr 2004 bei gut 5 %, 1995 waren es noch 7 %.

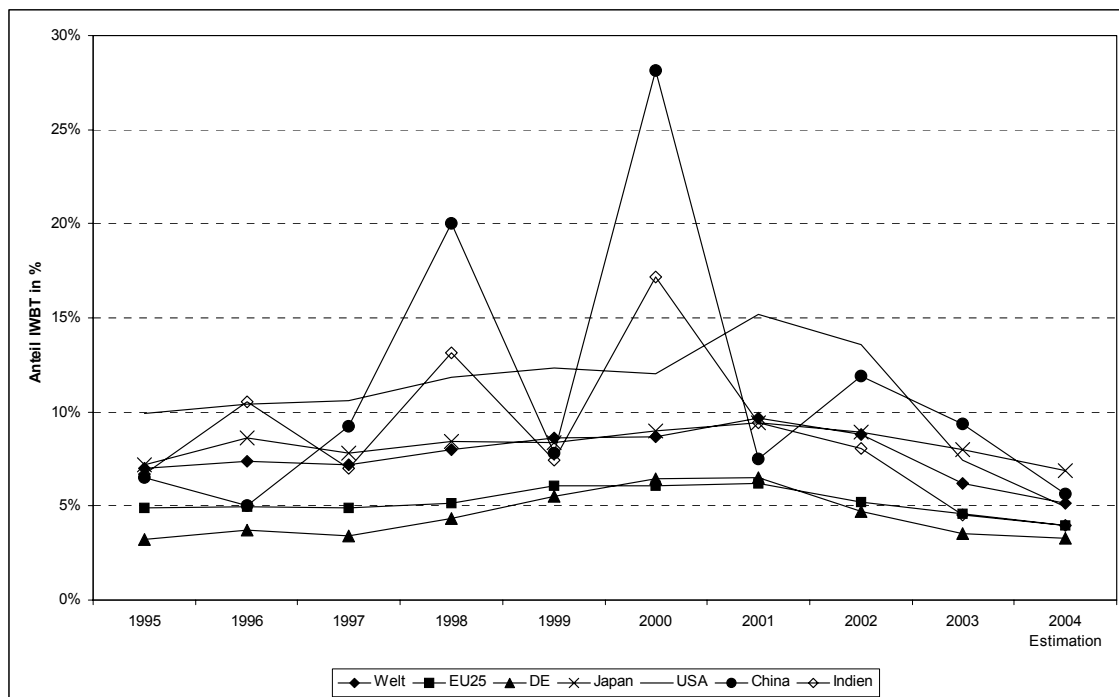
Bereits für andere Technologiebereiche (siehe z. B. Grupp 1997) ließ sich feststellen, dass nach anfänglicher Euphorie, die sich nicht in schnellen entsprechenden Markterfolgen und Wettbewerbsvorteilen im Vergleich zur Konkurrenztechnologie niederschlagen konnte, so beispielsweise im Fall Photovoltaik, ein Rückgang der Patenttätigkeit zu verzeichnen war. In dieser „Ernüchterungsphase“ findet eine gewisse Umorientierung der erfinderischen Tätigkeit statt, die darauf abzielt, die nach der ersten Euphoriephase identifizierten technischen Problemfelder zu lösen. An diese verhaltene Phase kann, teilweise erst nach mehreren Jahren, eine zweite Wachstumsphase anschließen, in der Erfindungstätigkeiten letztlich Markteintritt und Diffusion vorbereiten. Die Patentanalysen deuten darauf hin, dass die IWBT eine ähnliche Entwicklung durchlaufen könnte.

Deutschland schloss analog zu den Anteilen an den Gesamtpatenten in den 1990er-Jahren zum Durchschnitt der EU-25 auf, seit 2002 fiel der Anteil wieder unter den Durchschnitt mit ca. 4 %. Auch die USA haben im internationalen Vergleich verloren, während sie im Jahr 2002 mit ca. 13 % noch an der Spitze lagen, fiel der Wert auf 5 % ab. Den höchsten Durchdringungsgrad für die IWBT weist Japan auf, aber auch hier wird der absteigende Trend offensichtlich. In China und Indien bewegen sich die Werte für die aktuellsten Jahre nahe dem Gesamtdurchschnitt. Wie bei den vorigen Indikato-

²⁴ Hierunter fallen entsprechende Bereiche aus der Industrie, der Energiebereitstellung und dem Umweltschutz.

ren lässt sich auch hier eine Angleichung zwischen den Ländern im Laufe der Jahre beobachten. Dies könnte darauf hindeuten, dass sich der Bereich IWBT in vielen Ländern inzwischen etabliert hat und zu einem „festen“ Bestandteil der industriellen Produktionsprozesse in den Anwenderbranchen wird.

Abbildung 2.23: Anteil der IWBT relevanten Patentanmeldungen am Gesamtaufkommen im relevanten Industriebereich



Quelle: EPAT, PCTPAT, Berechnungen Fraunhofer ISI

2.2.3.4 Zusammenfassung Publikations- und Patenanalysen

- Für die IWBT zeigen sich im Zeitraum 1995 bis 2004 ein starker Zuwachs am Publikationsaufkommen und ein moderater Anstieg bei den Patentanmeldungen. Diese Anstiege beruhen jeweils auf eine dynamische Entwicklung zwischen 1995 und 2000, zwischen 2000 und 2004 kann nur ein geringer Anstieg bzw. im Falle der Patentanmeldungen sogar ein leichter Rückgang festgestellt werden. Die IWBT erweist sich als bedeutendes Forschungsfeld, die häufig vermutete „dritte Welle“ der Biotechnologie (u. a. Bachmann et al. 2004) durch die IWBT, lässt sich (wenn überhaupt) anhand dieser Indikatoren für den Forschungsoutput bisher aber nur ansatzweise erkennen. Die Entwicklung liegt eher im Einklang mit Ergebnissen für die gesamte Biotechnologie, dort lässt

sich das Erreichen eines „kontinuierlichen gleichgewichtigen Wachstumspfades“ (Steady-State) beim Forschungsoutput feststellen (Sasson 2006).

- Deutschland spielt eine bedeutende Rolle in diesem Forschungsbereich und liegt auf Grund einer besonders positiven Entwicklung zwischen 1995 und 2000 auch bei den Wachstumsraten der Patenmeldungen und Publikationen im betrachteten Zeitraum über dem weltweiten Durchschnitt. Die Einbrüche bei den absoluten und relativen Indikatoren zwischen 2000 und 2003 trüben diesen positiven Eindruck, spiegeln andererseits aber auch den internationalen Trend wider. Erst für 2004 zeigt sich wieder ein positiver Trend, dessen Nachhaltigkeit zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht beurteilt werden kann. Im Vergleich zu anderen Forschungsfeldern lässt sich feststellen, dass in Deutschland ähnlich zu den meisten anderen Ländern (Ausnahme: Japan, Indien) keine Spezialisierung auf die IWBT besteht.
- In den USA haben sich Aktivitäten hinsichtlich wissenschaftlicher Publikationen und Patente stark unterdurchschnittlich entwickelt. Dies lässt sich zumindest bei den Publikationen nicht auf ein hohes Ausgangsniveau begründen. Besonders die Rückgänge in den Jahren 2003 und 2004 sind erheblich. Es bleibt abzuwarten, ob es zu einem dauerhaften Bedeutungsverlust der USA als Forschungsstandort im Bereich der IWBT kommt oder ob es sich um eine vorübergehende „Schwächephase“ handelt.
- Am dynamischsten ist die Entwicklung in Japan. Dies ist teilweise auf verstärkte Forschungsaktivitäten insgesamt zurückzuführen (siehe z. B. Frietsch 2006), es zeigt sich aber auch eine vergleichsweise höhere Spezialisierung Japans in der IWBT.
- Die anderen asiatischen Länder (China, Indien) treten bisher eher bei den Publikationen in Erscheinung. Der „*marktnähere*“ Schritt zur Patentanmeldung ist bisher nur in geringem Maße gelungen. Die Dynamik ist ähnlich hoch wie in den Industrieländern, ein merklicher Aufholprozess als Forschungsstandort in der IWBT zeigt sich bei diesen Indikatoren (noch) nicht.

Insgesamt zeigen sich in der Publikations- und Patentanalyse deutliche Übereinstimmungen zu den, in den vorigen Kapiteln beschriebenen, Erkenntnissen aus den Interviews, der schriftlichen Befragung und der Literatur, u. a. zur Qualität der Forschung. Eine Ausnahme bildet die aktuell schwache Entwicklung der USA. Dies wird von den Experten in der Form bisher nicht beobachtet.

2.3 Systembereich 2: Nationaler und grenzüberschreitender Wissens- und Technologietransfer

2.3.1 Bedeutung des Wissens- und Technologietransfers für das IWBT-Innovationssystem

Gerade bei neu entstehenden Technologiefeldern spielt implizites, nicht kodifizierbares Wissen eine wichtige Rolle. Daher spielen u. a. informelle Kooperationen und Interaktionen (z. B. auf Konferenzen oder in spezifischen Netzwerken) zwischen den Akteuren des Innovationssystems eine wesentliche Rolle (Malerba 2002). Grundsätzlich sind neben den informellen Kooperationsformen viele weitere Formen der Interaktion zwischen öffentlichen FuE-Einrichtungen und Unternehmen denkbar. Sie reichen von der Kodifizierung der Information oder Ideen in Form von wissenschaftlichen Publikationen, Patenten oder Prototypen über vertragsbasierte Formen der Zusammenarbeit (u. a. Gewährung von Lizenzen, Vertragsforschung, Beratungstätigkeit) bis hin zur Gründung gemeinsamer Unternehmen oder Austausch von Personal (Salter und Martin 2001).

Für die IWBT ist die Bedeutung von Wissen- und Technologietransfers aus zwei Gründen wichtig: Einerseits wird das IWBT-Potenzial vor allem in der Gesamtheit der Technologien und Forschungsteilbereiche (z. B. Biologie, Chemie, Ingenieurwissenschaften) gesehen. Das Wissen für die verschiedenen Einzeltechnologien befindet sich aktuell aber noch an unterschiedlichen Stellen (Flaschel und Sell 2005) und muss an vielen Stellen „erst noch zusammengeführt werden“. Andererseits ist ein beträchtlicher Teil der Anwendungsmöglichkeiten branchenübergreifend (Sundmann 2005). Neue Funktionalitäten und Eigenschaften von Produkten (z. B. biologische Abbaubarkeit) sind für mehrere Industriebranchen (z. B. Textil-, Chemie-, Verpackungsindustrie) von großem Interesse. Damit bei Produkt- und Prozessentwicklung branchenübergreifend gedacht wird, ist eine stärkere Vernetzung der Akteure notwendig (Dechema 2004).

Um mögliche Ansatzpunkte zu finden, inwiefern der Wissens- und Technologietransfer in der IWBT intensiviert werden kann, ist es wichtig zu wissen, durch welche Kommunikationskanäle der Wissenstransfer in der IWBT bisher stattfindet. Dies wird im folgenden Abschnitt untersucht.

2.3.2 Empirische Projektergebnisse

2.3.2.1 Wissensfluss zwischen öffentlichen FuE-Institutionen

Die schriftliche Befragung zeigt, dass für die Forschungseinrichtungen neben Informationsquellen in der eigenen Forschungseinrichtung und wissenschaftliche Zeitschriften bzw. Fachveröffentlichungen vor allem andere Universitäten, Fachhochschulen sowie

sonstige höhere Bildungseinrichtungen sowie Konferenzen und Kongresse wichtige Informationsquellen im Bereich der IWBT sind (Abbildung 2.24). Dies deutet auf einen regen Austausch zwischen den öffentlichen FuE-Institutionen hin. Die Kooperationsanalysen in Kapitel 2.6.2 (u. a. Abbildung 2.47, S. 173 ff.) zeigen zudem, dass die FuE-Institutionen bereits heutzutage häufig miteinander kooperieren und dass die Bedeutung der Kooperationen zwischen öffentlichen FuE-Institutionen in den nächsten 5 Jahren noch zunehmen wird. Dies stellt eine gute Basis dar für den Wissensfluss zwischen öffentlichen FuE-Institutionen am Standort Deutschland.

2.3.2.2 Wissens- und Technologietransfer zwischen öffentlicher und industrieller FuE

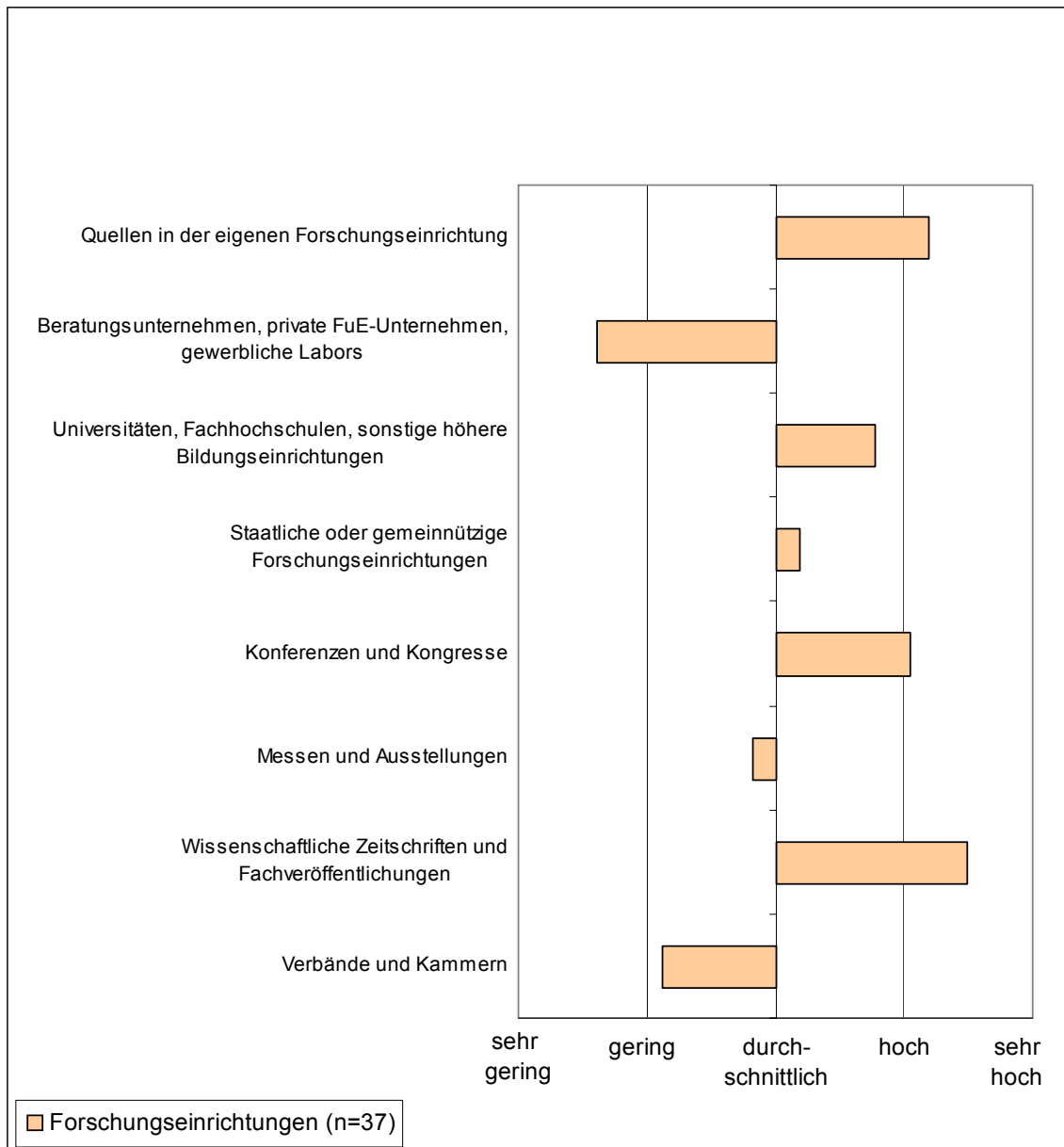
Die schriftliche Befragung zeigt, dass für Unternehmen neben Informationsquellen im eigenen Unternehmen vor allem Kunden oder Auftraggeber sowie Universitäten, Fachhochschulen sowie sonstige höhere Bildungseinrichtungen sowie Wettbewerber bzw. andere Unternehmen in Ihrer Branche die wichtigsten Informationsquellen im Bereich der IWBT sind (Abbildung 2.25). Dies deutet auf einen regen Austausch zwischen den Unternehmen und den öffentlichen FuE-Institutionen hin.

Die Kooperationsanalysen in Kapitel 2.6.2 (u. a. Abbildung 2.47, S. 173 ff.) zeigen zudem ebenfalls, dass Großunternehmen bereits heutzutage häufig mit öffentlichen FuE-Institutionen kooperieren und dass die Bedeutung der Kooperationen sowohl zwischen Großunternehmen als auch zwischen KMU und öffentlichen FuE-Institutionen in den nächsten 5 Jahren noch zunehmen wird. Dies stellt eine gute Basis dar für den Wissensfluss zwischen öffentlicher und industrieller FuE am Standort Deutschland. bei den KMU deuten die Ergebnisse darauf hin, dass der Wissenstransfer zur Wissenschaft noch ausbaufähig ist.

Zudem zeigen detaillierte Analysen zur schriftlichen Befragung, dass Unternehmen und Forschungseinrichtungen in fast allen Bereichen ein sehr ähnliches Antwortverhalten zeigen, Übereinstimmungen sind deutlich größer als Unterschiede. Die skizzierten Trends werden sowohl von Unternehmen als auch Forschungseinrichtungen ähnlich gesehen. Dies deutet auf intensive Kommunikations- und Abstimmungsprozesse hin, die in den letzten Jahren gelaufen sein müssen. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass sowohl von Seiten der öffentlichen Forschungseinrichtungen als auch von Unternehmensseite der Wissenstransfer durch Köpfe (in Form informeller Kontakte) intensiv genutzt wird.

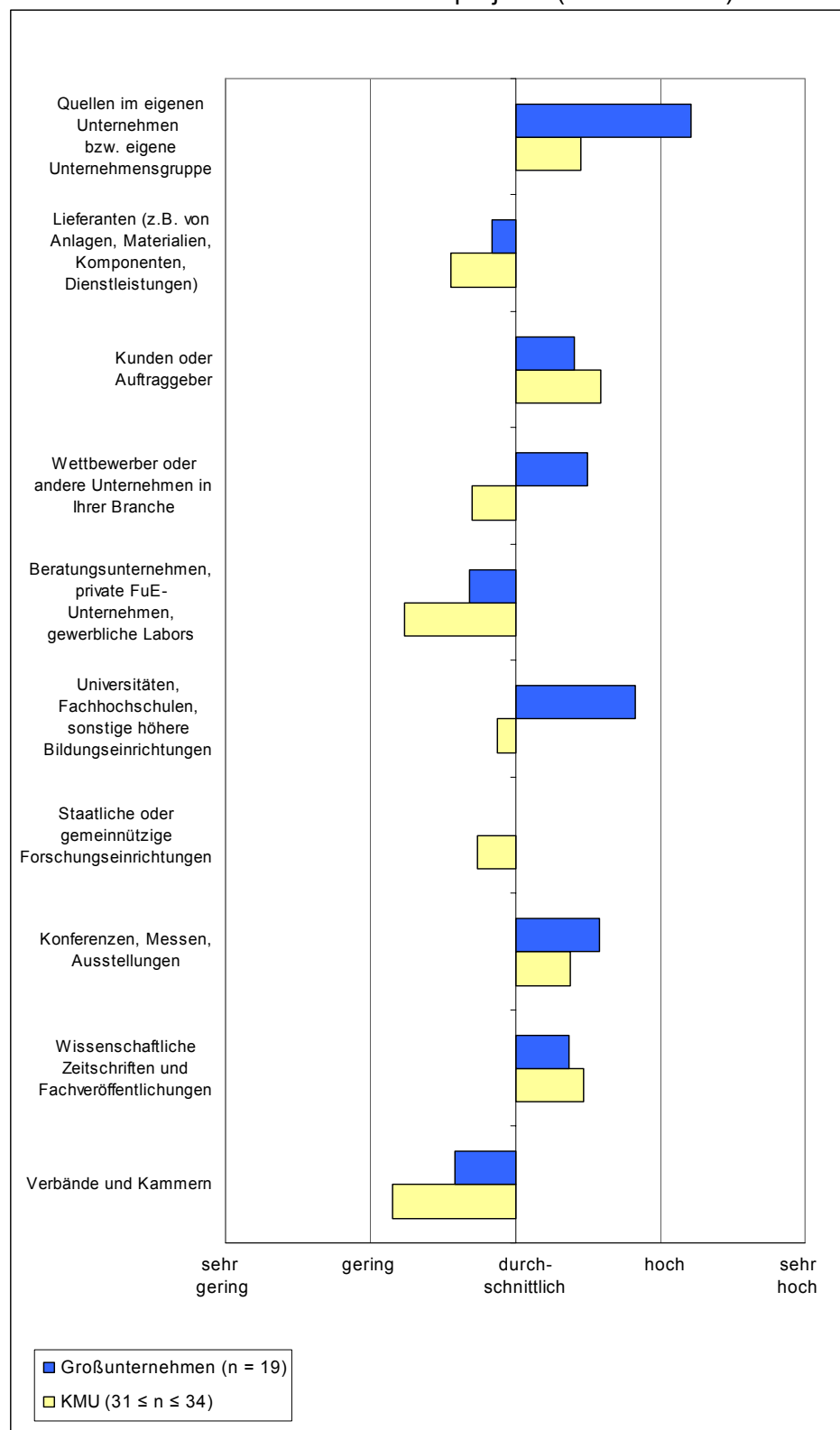
Die Teilnehmer des Workshops bestätigen diese Ergebnisse. Die hohe Bedeutung von Kunden und Auftraggeber als Innovationsquelle wurde als Bestätigung für die markt-nahe Vorgehensweise der Akteure im Bereich der IWBT gewertet.

Abbildung 2.24: Innovationsquellen zur Ideenlieferung für neue oder zur Umsetzung laufender Innovationsprojekte (Forschungseinrichtungen)



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Abbildung 2.25: Innovationsquellen zur Ideenlieferung für neue oder zur Umsetzung laufender Innovationsprojekte (Unternehmen)



Quelle: Fraunhofer ISI 2006 (kein Balken = durchschnittlich)

2.4 Systembereich 3: Diffusion von neuem Wissen in industrielle FuE-Prozesse und Entwicklung international wettbewerbsfähiger Produkte

2.4.1 Bedeutung industrieller FuE-Aktivitäten für die Umsetzung von neuem Wissen in marktfähige Produkte

Das Ausmaß und die Effizienz des Wissens- und Technologietransfers hängt nicht nur von den Forschungsergebnissen und der Transferbereitschaft und -fähigkeit öffentlicher Forschungseinrichtungen ab, sondern maßgeblich von der Fähigkeit der Unternehmen, externes Wissen zu integrieren („Absorptionskapazität“). Dies erfordert u. a. eine systematische Informationsbeschaffung über neue Technologien, Methoden und Produkte, entsprechende technologische Kompetenzen und Prozesskompetenzen (wie z. B. die effiziente Steuerung von Innovationsprojekten) sowie eine Innovationskultur mit geeigneten innovationsorientierten Organisations- und Anreizstrukturen.

Technologisches Wissen ist meist an Mitarbeiter, Organisationsstrukturen und spezifisches Kapital gebunden (Nusser 2000). Innovationen (z. B. bio- und gentechnologische Innovationen) wirken daher in der Regel nicht schockartig auf einen gesamten Sektor, sondern graduell.²⁵ Die Diffusion technologischen Wissens erfordert einerseits einen Lernprozess zur Nutzung von in Produkten und Prozessen enthaltenem technologischen Wissen („individuelle und unternehmerische Lernpfade“) und andererseits den Aufbau effizienter Kommunikationskanäle zur Verbreitung und zur Nutzung von neuem technologischem Wissen. Hierfür wird eine „kritische Masse“ an FuE-Humanressourcen benötigt (Nusser 2000). Zwischen der Zunahme an FuE-Beschäftigten und dem erhöhten Einsatz neuer (Produkt- und Prozess-)Technologien und Organisationsformen existieren starke Komplementaritätsbeziehungen (Acemoglu 1998, Blechinger und Pfeifer 1999). Ein unzureichender Stock an FuE-Humanressourcen kann zu erheblichen dauerhaften Wettbewerbsnachteilen führen. Beispielsweise werden technologische Erkenntnisse der inländischen Forschung von ausländischen Wirtschaftsakteuren schneller genutzt, wenn im Inland die notwendigen Nutzungskompetenzen oder Kommunikationskanäle in unzureichendem Maße existieren und/oder ausländisches technologisches Know-how nicht (schnell genug) „importiert“ werden. Daher werden im Folgenden Fragen im Zusammenhang mit den FuE-Humanressourcen und möglicher Hemmnisse im Bereich IWBT genauer untersucht.

²⁵ Technologischer Wandel kann als ein offener, von der Historie pfadabhängiger Prozess angesehen werden.

Neues technologisches Wissen ist zudem häufig in Kapital (u. a. Maschinen, Roboter, Laborgeräte) inkorporiert. Dies impliziert, dass neben ausreichend (FuE-) Humanressourcen, die „das Kapital nutzen und bedienen können“. Kontinuierliche Kapitalinvestitionen sind daher erforderlich, damit neues technologisches Wissen in die Forschungs-, Entwicklungs-, Produktions- und Vertriebsprozesse diffundiert (Nusser 2000). So kann der Einsatz neuester (Bio-)Technologien die Effizienz der Forschungsprozesse erheblich steigern. Erhebliche Effizienzsteigerungen können demnach durch FuE-Investitionen in diesen neuen Technologien erzielt werden. Daher werden im Folgenden Fragen im Zusammenhang mit den FuE-Investitionen und möglicher Hemmnisse im Bereich IWBT genauer untersucht. Für die IWBT existieren bereits einige Beispiele für große Investitionen in Forschung und Entwicklung in Deutschland. Beispielhaft hierfür sind der Aufbau des Science-to-Business-Center der Degussa (Investitionsvolumen ca. 50 Mio. € über 5 Jahre; nähere Beschreibung siehe Kapitel 2.6.2.3) und Investitionen der BASF AG in Höhe von 150 Mio. € zwischen 2006 und 2008 zu nennen (Kircher 2006).

2.4.2 Empirische Projektergebnisse

2.4.2.1 FuE-Humanressourcen

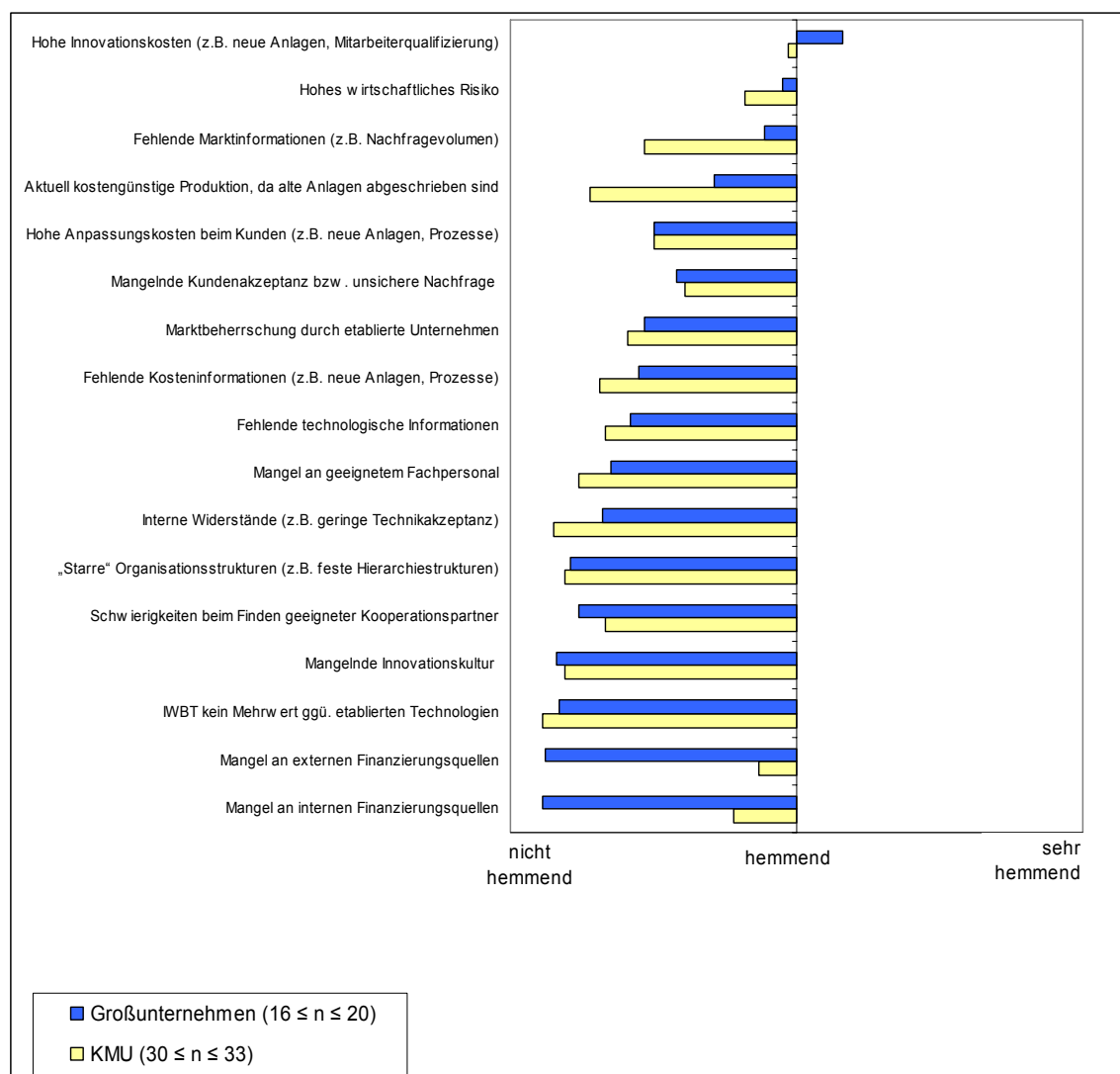
Die Ausführungen in Kapitel 2.2.2.6 haben gezeigt, dass die Verfügbarkeit von qualifizierten Humanressourcen derzeit am Standort Deutschland kein Innovationshemmnis darstellt (Abbildung 2.12, S. 75, und Abbildung 2.13, S. 76). Die Ausführungen in Kapitel 2.1 deuten sogar darauf hin, dass die Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal neben einer sehr guten technologischen Wissensbasis ein Wettbewerbsvorteil des Standortes Deutschland darstellt (Abbildung 2.1, S. 15). Für die Zukunft ist aber laut Expertenmeinungen möglicherweise mit Engpässen beim qualifizierten Personal zu rechnen. Diese zukunftsbezogenen Aspekte werden in Abschnitt 3.6.2 untersucht.

2.4.2.2 FuE-Investitionen und Verfügbarkeit von „risikofreudigem“ Risikokapital

Die schriftliche Befragung kommt hinsichtlich der Analyse, welche Faktoren in den Unternehmen und Forschungseinrichtungen innovationshemmend wirken, zu den folgenden Ergebnissen (Abbildung 2.26): In den Großunternehmen sind vor allem die hohen Innovationskosten (z. B. neue Anlagen, Mitarbeiterqualifizierung), das hohe wirtschaftliche Risiko, fehlende Marktinformationen (z. B. Nachfragevolumen), eine aktuell kostengünstige Produktion (da alte Anlagen abgeschrieben sind) sowie die hohen Anpassungskosten bei den (Industrie-)Kunden (z. B. neue Anlagen, Prozesse) die besonders innovationshemmenden Faktoren. Bei den KMU kommt zusätzlich ein Man-

gel an unternehmensinternen und -externen Finanzierungsquellen als zentrales Innovationshemmnis hinzu. Insgesamt sind damit die hohen Innovationskosten durch nötige Investitionen in Anlagen und Mitarbeiterqualifizierung, das wirtschaftliche Risiko sowie der Zugang zu Finanzierungsquellen die wichtigsten Innovationshemmnisse dar.²⁶ Erkenntnisse aus der Literatur werden damit bestätigt (u. a. Drumm 2005, Festel et al. 2004, EuropaBio 2006). Signifikante Branchenunterschiede zeigen sich dabei nicht. Insgesamt werden viele mögliche Hemmnisse von den meisten Akteuren nicht als relevant gesehen, was positiv für das IWBT-Innovationssystem zu bewerten ist.

Abbildung 2.26: Innovationshemmende Faktoren in den Unternehmen

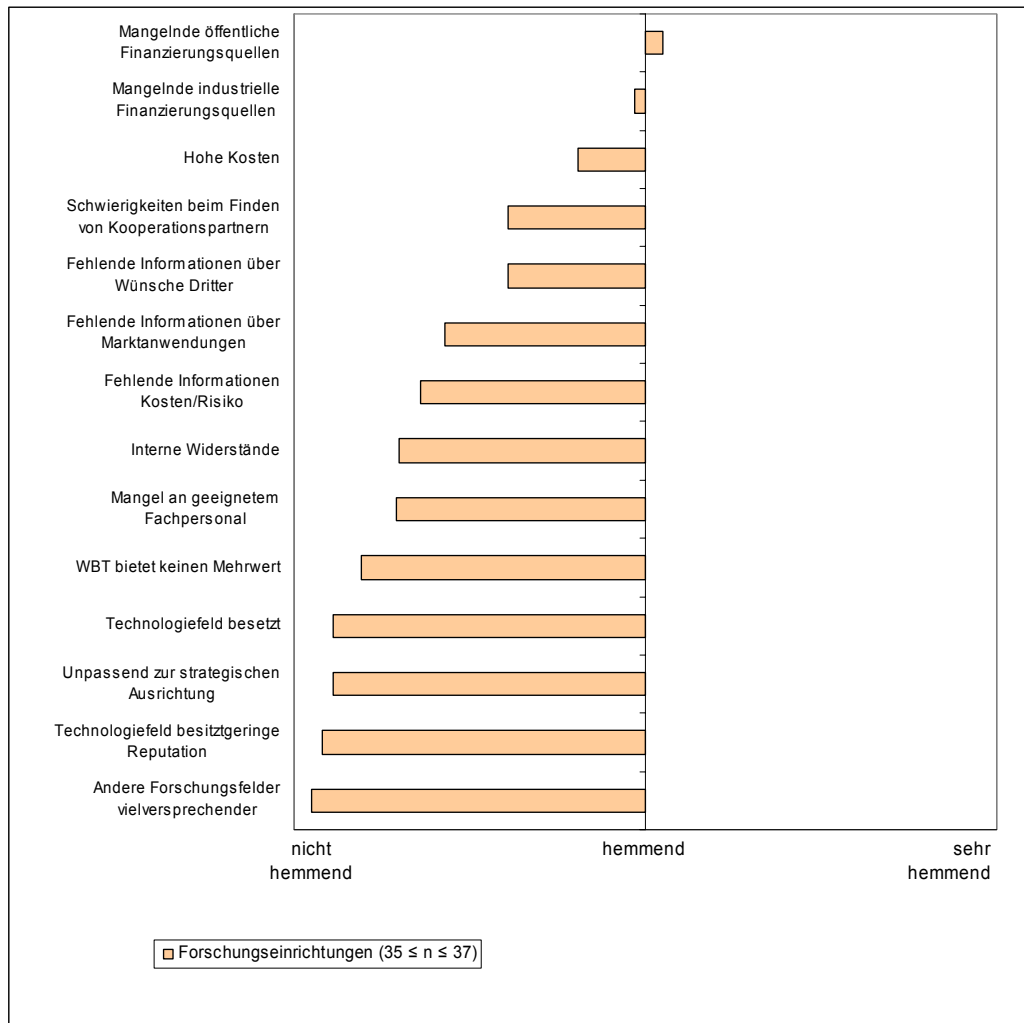


Quelle: Fraunhofer ISI 2006

²⁶ Ein Vergleich mit Akteuren, die nicht in der IWBT aktiv sind (siehe Kapitel 1.4), zeigt aber große Übereinstimmungen bei der Reihenfolge der Bedeutung einzelner Hemmnisse.

Bei den Forschungseinrichtungen zeigen sich ähnliche Hemmnisse, die hohe Kosten und ihre Finanzierung werden als Hauptproblem angesehen (Abbildung 2.27). Innerhalb der Forschungseinrichtungen variiert die Bedeutung der zwischen der öffentlichen und privaten Finanzierung stark. Für viele Akteure der angewandten Forschung wirkt der Mangel an industriellen Forschungsgeldern sehr hemmend.

Abbildung 2.27: Innovationshemmende Faktoren in den Forschungseinrichtungen



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Die Ergebnisse der Experteninterviews und des Workshops stimmen mit den genannten Resultaten weitestgehend überein:

- Am häufigsten wird von den Experten die Problematik der bereits abbeschriebenen Anlagen thematisiert, gefolgt von den Innovationskosten. Die hohen Entwicklungskosten wirken insbesondere bei klein- bis mittelvolumigen Produkten innovationshemmend.

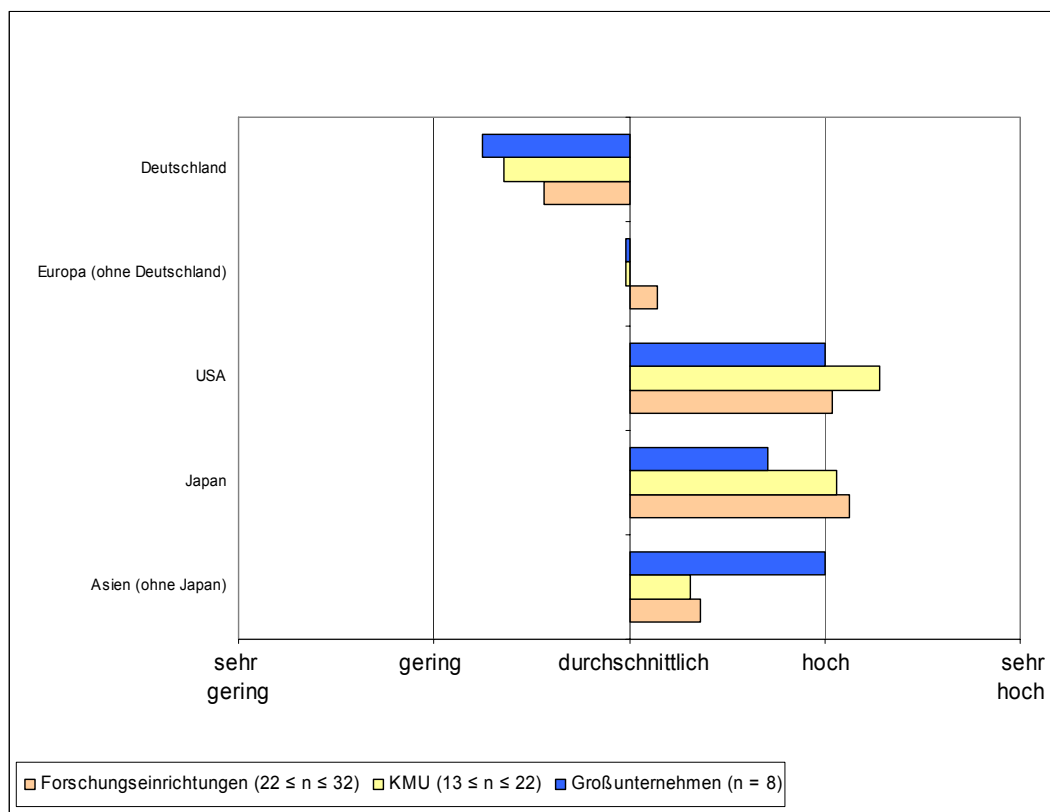
- Die Verbraucherakzeptanz spielt vor allem bei Lebensmitteln eine entscheidende Rolle, da hier direkter Kontakt zum Endverbraucher besteht.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass möglicherweise seitens der Industrie und Forschungseinrichtungen zu wenig in FuE im Bereich der industriellen, weißen Biotechnologie investiert wird. Die Ausführungen in Kapitel 2.1 unterstützen diese These, da die Verfügbarkeit von Risikokapital als ein entscheidender Wettbewerbsnachteil des Standortes Deutschland gesehen wird (Abbildung 2.1, S. 15). Dieser Aspekt wird im folgenden Abschnitt 2.4.2.4 näher untersucht werden.

2.4.2.3 Kommerzielle Verwertung von Forschungsergebnissen

Hinsichtlich der Beurteilung der kommerziellen Verwertung von Forschungsergebnissen ergab die schriftliche Befragung folgendes Bild (Abbildung 2.28):

Abbildung 2.28: Beurteilung hinsichtlich der kommerziellen Verwertung von Forschungsergebnissen



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

- In allen Ländern außerhalb Deutschlands wird die kommerzielle Verwertung als günstiger bewertet. Mit anderen Worten: In der kommerziellen Verwertung hat Deutschland ein Wettbewerbsnachteil gegenüber wichtigen Konkurrenzländern. Die

Teilnehmer des Workshops bestätigen dieses Ergebnis und bezeichnen dies als „typisch deutsche Schwäche.“

- Die etwas geringere Skepsis der Forschung bezüglich der kommerziellen Verwertung ist auf die Aussagen der Akteure in der Grundlagenforschung zurückzuführen. Angewandte Forschungseinrichtungen sind sogar skeptischer als die Unternehmen.

Als mögliche Gründe für die vergleichsweise schlechtere kommerzielle Verwertung von Forschungsergebnissen wurden „vereinzelt“ die geringe Gründungsdynamik in Deutschland und die unzureichende Verfügbarkeit von Risikokapital genannt. Diese Aspekte werden im Folgenden daher genauer untersucht.

2.4.2.4 Gründungs- und Wachstumsdynamik von (jungen) Technologieunternehmen

In Hochtechnologiebranchen kommt dem Aspekt Gründungen von kleinen Unternehmen sowie dem Faktor Risikokapital, der diese Gründungsprozesse unterstützt, häufig eine besondere Bedeutung zu (Rammer 2006). In neuen Technologiefeldern, beim Aufkommen neuer (technologiegetriebener) Nachfragetrends und in den frühen Phasen der Übertragung wissenschaftlicher Erkenntnisse auf die Entwicklung neuer Produkte und Verfahren sind junge Technologieunternehmen ein wichtiger Motor für den technologischen Wandel. Sie erweitern und modernisieren mit neuen Geschäftsideen das Produkt- und Dienstleistungsangebot, eröffnen dadurch neue Marktnischen und können Innovationen zum Marktdurchbruch verhelfen, die in Großunternehmen häufig nicht aufgegriffen werden.

Allerdings sind auch innerhalb der Hochtechnologie die Geschäftsprozesse und -modelle und die Wettbewerbsstruktur in den einzelnen Teilsegmenten verschieden. Folglich treten auch hier Unterschiede in der Bedeutung von Gründungsdynamik junger Unternehmen, Finanzierungsformen oder Arten von Kooperationsmodellen auf. Für die Branche IWBT stellt sich somit zunächst die Frage, wie sich die Unternehmenslandschaft charakterisieren lässt. Insbesondere ist von Interesse, ob es markante Unterschiede zur roten Biotechnologie gibt. Hier ist die Bedeutung junger Biotech-KMU für die Forschung sehr hoch. Die Erkenntnisse der Biotech-KMU stellen oftmals die Basis für den Wissenstransfer (durch Kooperationen, Lizenzvergaben, Fusionen) hin zu großen Unternehmen der Pharmaindustrie dar (Nusser und Gaisser 2005). Zur Unterstützung der Biotechnologie-KMU haben sich spezifische öffentliche Förderinstrumente (z. B. Clusterpolitik, Unterstützung von Unternehmensgründungen) und private Finanzierungsmodelle (z. B. Risikokapital) speziell für die rote Biotechnologie herausgebildet, da sie einen Großteil des Biotechnologiemarktes abbildet. Ob diese Maßnahmen auch für die IWBT adäquat sind, hängt nicht zuletzt von den Geschäftsprozessen, -modellen und -strukturen der IWBT-KMU ab. Diese werden im Folgenden untersucht.

Charakterisierung der Besonderheiten und Branchenstrukturen in der IWBT

Aus Sicht der verwendeten Technologien zeigen sich bei den Anwendungsfeldern in der IWBT und in der Gesundheit/Medizin auf Grund des Querschnittscharakters der Biotechnologie Ähnlichkeiten und Überschneidungen (Sundmann 2005). Dennoch gibt es auf Grund der unterschiedlichen Marktsegmente und Strukturen in den Anwendungsfeldern deutliche Unterschiede zwischen der IWBT und roten Biotechnologie:

- **Stellung der Produkte/ Verfahren in der Wertschöpfungskette:** Produkte und Verfahren der IWBT sind zwar auf allen Wertschöpfungsstufen zu finden, vor allem aber in den vorderen Bereichen der Wertschöpfungskette, u. a. bei der Konversion der nachwachsenden Rohstoffe oder Herstellung von Zwischenprodukten oder bei der Bearbeitung von Endprodukten (z. B. für Zusatzstoffe in Lebensmitteln). In der IWBT werden vor allem Zwischenprodukte an nachgelagerte Wirtschaftssektoren bereitgestellt. Die rote Biotechnologie hingegen bedient mit Medikamenten (Biopharmazeutika) vor allem die Endnachfrage (Kircher 2006, Sundmann 2005). Zudem ist sie im Bereich der FuE als FuE-Werkzeug zur Identifikation neuer Wirkorte und Wirkstoffe angesiedelt (Nusser und Gaisser 2005).
- **Produkte vs. Prozesse:** Die rote Biotechnologie wird vorrangig zur Entwicklung von neuen Produkten eingesetzt. Sie kommt beispielsweise bei der Wirkstoffsuche für Krankheitsfelder, für die es bisher ein Mangel an Therapiemöglichkeiten gibt, zum Einsatz. „Insufficient therapies for cancer, diabetes or Alzheimer’s disease, to name just a few, form a market of unmet needs“ (Kircher 2006). Die IWBT ist hingegen in vielen Feldern für Prozessinnovationen von hoher Bedeutung (s. Abschnitt 2.2.2.1, 2.5.2, 3.3.2). Neue Marktfelder sind im Vergleich zur roten Biotechnologie in weniger Feldern denkbar (z. B. Streben nach geringerer Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen wie z. B. bei Bioethanol).
- **Größenvolumina und Produktwert:** Insbesondere bei der Konversion von Rohstoffen und der Herstellung von Zwischenprodukten durch Verfahren der IWBT werden Produkte mit großen Produktionsvolumen (oftmals im Tonnenbereich) aber geringem Geldwert hergestellt. Medikamente und Diagnostika erreichen hingegen geringe Volumina (häufig im Kilogramm-Bereich) bei hohen Umsätzen (Lindroos und Ferreira 2006, Sundmann 2005).
- **Benötigte Infrastruktur:** Für die Produktion dieser großen Volumina in der IWBT werden häufig große Anlagen benötigt, die ein hohes Investitionsvolumen bei langer Abschreibungsdauer notwendig machen (EuropaBio 2006).
- **Regulatorische Rahmenbedingungen:** Die Anwendungsfelder sind jeweils hoch regulierte Märkte, die sich stark voneinander unterscheiden (Lindroos und Ferreira 2006). Innerhalb der IWBT liegen zusätzlich bei den einzelnen Anwenderbranchen große Unterschiede vor (z. B. Chemie, Lebensmittel, Landwirtschaft), während die rote Biotechnologie den hoch regulierten Gesundheitsmarkt bedient.

- **Time-to-Market:** Der Forschungs- und Entwicklungszyklus von neuen Medikamenten dauert häufig 13-15 Jahre (Nusser und Gaisser 2005). In der IWBT sind die Entwicklungszeiten und Produktlebenszyklen in vielen Fällen (deutlich) kürzer.

Aus den Unterschieden der beiden Technologiesegmente können sich Unterschiede bzgl. Branchenstruktur und den Determinanten ihrer Entwicklungsfähigkeit ergeben.

Arbeitsteilung und Wettbewerbsfähigkeit in der IWBT

Quantitative Daten über die Branchenstruktur- und -konzentration in der IWBT gibt es nicht. Zahlreiche Beispiele in der Literatur und den Experteninterviews zeigen aber, dass insbesondere in der Chemie vor allem große, internationale Unternehmen eine bedeutende Rolle nicht nur bei der Produktion, sondern auch bei der Forschung und Entwicklung spielen (Dechema 2004, Kircher 2006). Die Ergebnisse der schriftlichen Befragung innerhalb des Projektes liefern z. T. Hinweise auf eine eher geringe Arbeitsteilung zwischen KMU und Großunternehmen (siehe auch Kapitel 2.6.2.2), wenn man dies z. B. mit der Pharmaindustrie vergleicht (Nusser und Gaisser 2005), wo eine Arbeitsteilung zwischen großen Pharmaunternehmen und Biotechnologie-KMU die Regel ist. Allerdings gibt es auch in der IWBT einige Beispiele, bei den die Arbeitsteilung zwischen IWBT-KMU und Großunternehmen ähnlich ist wie im Bereich Pharma/rote Biotechnologie (Sundmann 2005, Flaschel und Sell 2005).

Zusätzlich wurde bei den Experteninterviews nach Unternehmen mit großer internationaler Reputation in der IWBT gefragt. Hier wurden fast ausschließlich führende Großunternehmen aus der deutschen Chemieindustrie genannt, denen eine starke internationale Wettbewerbsfähigkeit zugeschrieben wird. Für die KMU wird die internationale Wettbewerbsfähigkeit hingegen als gering eingeschätzt. Als Hauptgrund hierfür werden vor allem Finanzierungsschwierigkeiten genannt.

Bedeutung von Risikokapital in der IWBT

Die genannten Unterschiede zwischen der roten und industriellen, weißen Biotechnologie wirken sich auf die Attraktivität für private Finanzinvestoren aus (Zinke 2004, Kircher 2006). Der höhere Wert der Produkte, die Stellung am Anfang oder Ende der Wertschöpfungskette und die Aussicht auf neue patentgeschützte Arzneimittel und Therapieansätze sprechen für eine höhere Attraktivität der roten Biotechnologie. Dadurch haben Venture-Capital-Investoren die Aussicht auf außergewöhnlich hohe Rückflüsse („exceptional returns“) durch hohe Produktverkäufe oder Unternehmensverkauf bzw. Börsengang der KMU (EuropaBio 2006). Zudem wird die geringere Visibilität/Sichtbarkeit der IWBT durch ihren Einsatz in den frühen bzw. mittleren Stufen der Wertschöpfungskette (insb. in den industriellen Produktionsprozessen)

als Nachteil für die Aufmerksamkeit von Finanzinvestoren eingeschätzt (Zinke 2004, BACAS 2004).

Als Alternativen zum klassischen Venture-Capital-Ansatz zur Finanzierung der IWBT-KMU werden in der Literatur verschiedene Möglichkeiten diskutiert:

- Öffentliche Förderung von KMU-Cluster, um so einen günstigen Zugang zu Ressourcen (Infrastruktur, Kapital) zu ermöglichen (Lindroos und Ferreira 2006).
- Stärkere Investitionen von Großunternehmen der Anwenderindustrien in die KMU. Die Großunternehmen sind eher in der Lage, die nötige Infrastruktur (z. B. Großanlagen) zu finanzieren (Lindroos und Ferreira 2006, Weger und Söder 2005).
- Alternative Investitionsmodelle, die eine Mischung aus Fremd- und Eigenkapital darstellen. Diese Modelle sollen den moderaten möglichen Gewinnaussichten, aber auch der geringeren Risikokomponente im Vergleich zur roten Biotechnologie (z. B. Scheitern in späten klinischen Phasen) Rechnung tragen (EuropaBio 2006).

Im Folgenden werden die Gründungsdynamik und Verfügbarkeit von Venture Capital für die deutschen IWBT-Unternehmen untersucht. Die Datenlage lässt nur teilweise spezifische IWBT-Aussagen zu. Deshalb wird die allgemeine Entwicklung für die Biotechnologie in Deutschland kurz dargestellt und Besonderheiten für die IWBT integriert.

Gründungsdynamik und Unternehmensbestand von Biotechnologie-KMU

In den 1990er-Jahren ist die Zahl dieser Biotechnologieunternehmen in Deutschland kontinuierlich gestiegen auf rund 365 Unternehmen im Jahr 2001 (Woerner et al. 2000, Ernst & Young 2004). Seitdem sind in der Biotechnologie Konsolidierungsprozesse zu erkennen (u. a. Tabelle 2.7).

Ein Großteil der Biotechnologieunternehmen ist den Bereichen Biopharmazie sowie Ausrüster und Zulieferer für die Biotechnologie zuzuordnen (Hinze et al. 2001). Dies bestätigt auch eine neuere Umfrage: Während im Bereich Gesundheit und Medizin im Jahr 2005 ca. 83 % tätig sind, beschäftigen sich nur rund 13 % der Biotechnologieunternehmen mit der industriellen, weißen Biotechnologie (biotechnologie.de 2006). Auf Grund von Mehrfachnennungen dürfte laut BIOCUM der „reine“ IWBT-Prozentanteil bei ca. 7 % liegen.²⁷ Im aktuellen Branchenreport von Ernst & Young (Ernst

²⁷ Mehrfachnennungen waren bei der Befragung möglich. Mit anderen Worten: Es gibt Biotechnologieunternehmen, die sowohl im Bereich Gesundheit und Medizin als auch im Bereich industrielle, weiße Biotechnologie tätig waren. Die Summe der Prozentwerte über alle Biotechnologie-Segmente (Gesundheit und Medizin, Tiergesundheit, Landwirtschaft, industrielle Biotechnologie, unspezifische Forschungsmethoden und Sonstiges) lag bei rund 190, d. h. im Durchschnitt ist jedes Unternehmen in zwei Segmenten tätig. Der Anteil „reiner“ IWBT-Unternehmen beträgt somit rund 7 % (13 % / 190 %).

&Young 2006) werden 5 % der Biotechnologieunternehmen der WIBT zugeordnet (für die Beschreibung einiger Erfolgsbeispiele für KMU in der IWBT siehe Zinke 2004).²⁸

Tabelle 2.7: Eckdaten der deutschen Biotech-Kern-Branche (enge Definition)*

Jahr	Anzahl der Unternehmen	Anzahl der Beschäftigten - allgemein	Anzahl der Beschäftigten in F&E
2000	351 ¹ (332 ²)	9.791 ¹ (10.673 ²)	5.736 ²
2001	386 ¹ (365 ²)	13.218 ¹ (14.408 ²)	7858 ²
2002	382 ¹ (360 ²)	12.353 ¹ (13.400 ²)	7.308 ²
2003	378 ¹ (350 ²)	10.836 ¹ (11.535 ²)	6.120 ²
2004	380 ¹ (346 ²)	9.675 ¹ (10.089 ²)	5.413 ¹ (5.380 ²)
2005	375	9534	5116

*Ernst & Young konzentriert sich auf einen ausgewählten Kern von Biotech-Unternehmen - die Definition hierfür wurde für den Report 2006 geändert. ¹ Hochgerechneter Wert aus dem Report 2006 auf Grund einer Methodikänderung. ² Ursprünglicher Wert aus den früheren Reports

Quelle: Jährliche Ernst & Young-Reports

Tabelle 2.8: Eckdaten der deutschen Biotech-Kern-Branche (weite Definition)

Jahr	Anzahl der Biotech-Unternehmen	Anzahl der KMUs innerhalb der Biotech-Unternehmen	Anzahl der Beschäftigten innerhalb der Biotech-KMU
1998	538	439	-
1999	543	479	-
2000	538	492	16.500 ¹
2001	604	525	19.800 ¹
2002	597	533	18.890 ¹
2003	561	502	16.120 ¹
2004	541, davon ca. 7 % IWBT- Unternehmen (7 % = 13/190, s. obige Ausführungen)	481	14.437 ²

¹ Wert beinhaltet auch biotechnologisch ausgerichtete Arbeitsplätze, die in ausgegründeten, ausschließlich auf Biotechnologie konzentrierten Untereinheiten von Großkonzernen angesiedelt sind.

² Wert beinhaltet nicht die biotechnologisch ausgerichteten Arbeitsplätze, die in ausgegründeten, ausschließlich auf Biotechnologie konzentrierten Untereinheiten von Großkonzernen angesiedelt sind. Hochgerechneter Wert aus dem Report 2006 auf Grund einer Methodikänderung

Quelle: biotechnologie.de 2006

²⁸ Auch hier waren Mehrfachnennungen möglich, allerdings bezieht sich die Berechnung der Prozentwerte auf alle Nennungen, d. h. der Gesamtwert beträgt hier 100 %.

Verfügbarkeit von Venture Capital für die Biotechnologie

Die Zahlen zur Verfügbarkeit von Risikokapital in der gesamten Biotechnologie zeichnen folgendes Bild. Im Zeitraum 1990 bis 2001 zeigt sich ein starker Anstieg der Venture-Capital-Investitionen auf knapp 500 Mio. € im Jahr 2001 (Nusser und Gaisser 2005). Zwischen 2001 und 2005 ist die investierte Gesamtsumme in die Biotechnologie wieder auf knapp 100 Mio. € (2005) gesunken (Tabelle 2.9). Ein Teil des Rückganges ist auf die generell negative Entwicklung am Venture-Capital-Markt zurückzuführen, der Anteil der Biotechnologie an den Gesamtinvestitionen ist aber auch von knapp 11 % im Jahr 2001 auf gut 3 % im Jahr 2005 zurückgegangen. Nach einer aktuellen Unternehmensumfrage von BIOCOM waren im Jahr 2005 44 % der kleinen und mittleren Biotechnologieunternehmen Venture Capital finanziert, ²⁹ 35 % der Biotechnologieunternehmen haben Fördermittel von Bund, Ländern oder Kommunen erhalten (biotechnologie.de 2006). Insgesamt liegt Deutschland im internationalen Vergleich beim Beteiligungskapital in der Biotechnologie hinter andere Länder wie z. B. Großbritannien zurück. Mögliche Gründe für die Probleme der Biotechnologie im deutschen Beteiligungskapitalmarkt sind folgende (Soete 2006):

- Die geringen Möglichkeiten eines Exits an die Börse.
- Die öffentliche Förderung des Beteiligungskapitalmarktes seit Mitte der 90er-Jahre führt zwar an sich zu einer höheren Bereitstellung an Risikokapital. Internationale Kapitalgesellschaften investieren aber ungern in Biotechnologieunternehmen, wenn öffentliche Kapitalgeber beteiligt sind oder die anderen Kapitalbeteiligungsgesellschaften sich öffentlich refinanzieren.

Tabelle 2.9: Beteiligungskapitalinvestitionen in Deutschland 1999 bis 2005

Jahr	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Investitionen gesamt (Mio. €)	2.816	4.451	4.435	2.506	2.481	3.766	3.040
Seed	187	388	172	77	27	22	6,56
Start-up	733	1.213	982	484	265	332	298
Expansion	996	1.562	1.376	783	411	612	950
Biotechnologie	215	494	498	216	106	150	97,55

Quelle: BVK 2000-2005

Der genaue Anteil für die IWBT an diesen Venture-Capital-Investitionen kann nicht bestimmt werden, er wird aber auf unter 5 % geschätzt (Kircher 2006). Eine neuere Studie (Rammer et al. 2006) zeigt, dass zwischen 1991 und 2004 nur rund 8 % der

²⁹ Ernst & Young Angaben zur Venture-Capital-Finanzierung von Biotechnologieunternehmen zeigt einen Anteil von nur einem Drittel (Ernst & Young 2006)

Biotechnologieneu Gründungen im Bereich IWBT mit Beteiligung eines VC-Gebers erfolgten, im Bereich der roten Biotechnologie waren es knapp 14 %. Auch die Expertengespräche und eine spezifische Auswertung der Einschätzung von Kernbiotechnologieunternehmen in der schriftlichen Befragung zur Verfügbarkeit von Risikokapital (siehe Kapitel 2.1) bestätigen, dass die Biotechnologieunternehmen in der IWBT größere Probleme als Unternehmen der roten Biotechnologie haben, Venture-Capital-Investoren zu finden. Als aktuelle Positivbeispiele in der Biotechnologie gelten die Di-revo GmbH in Köln und die Combinature GmbH in Berlin, die im Jahr 2004 19 bzw. 4 Mio. € Venture-Capital-Finanzierung erhalten haben (Kircher 2006). Dieses Finanzierungsproblem in der IWBT wird auch nicht durch Börsengänge oder stärkere öffentliche Förderung kompensiert (u. a. Flaschel und Sell 2005). Die Studie von Rammer et al. (2006) zeigt, dass zwischen 1991 und 2004 nur knapp 14 % der Biotechnologieneu-gründungen im Bereich IWBT mit direkter Projektförderung durch den Bund erfolgten, im Bereich der roten Biotechnologie waren es knapp unter 29 %.

Verschiedene Studien zeigen, dass die Gründungsdynamik in enger Korrelation zur Verfügbarkeit von Risikokapital steht (u. a. Schudy 2006). Die Baisse an den Wachstumsmärkten und VC-Märkten hat sich negativ auf die Gründungs- und Wachstumsdynamik, vor allem junger Biotechnologie-Unternehmen, ausgewirkt. Auch wenn sich am originären Geschäft der Biotechnologieunternehmen in Deutschland möglicherweise keine Verschlechterungen ergeben haben, sollte die geringere Kapitalausstattung im Vergleich zu den US-amerikanischen Firmen zur Vorsicht anhalten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die geringe Gründungsdynamik und die geringe Verfügbarkeit von Risikokapital von den Akteuren (sowohl in der schriftlichen Befragung als auch in den Experteninterviews und Literaturlauswertungen) überwiegend als Innovationshemmnisse gesehen werden. Allerdings ist, wie auch die Ausführungen in diesem Abschnitt gezeigt haben, nicht ganz klar, wie stark sich diese Hemmnisse negativ auswirken, da die Branchenstruktur, die Vielfalt der Geschäftsprozesse und -modelle sowie die Anwenderbranchen doch z. T. große Unterschiede zur roten Biotechnologie aufweisen. Wahrscheinlich sind einzelfallspezifische Analysen hier ein sinnvoller Weg, um negative Ausstrahleffekte einer geringen Gründungsdynamik und Verfügbarkeit von Risikokapital im konkreten Einzelfall zu untersuchen.

2.5 Systembereich 4: Marktattraktivität

2.5.1 Bedeutung der Marktattraktivität für den IWBT-Innovationsstandort

Bei innovativen IWBT-Prozessen und Produkten handelt es sich um sehr stark forschungs- und wissensbasierte Prozesse und Produkte, für deren Entwicklung, Zulassung, Herstellung und Vermarktung unterschiedliche Kompetenzen kombiniert werden müssen. Neben die traditionell wichtigen Disziplinen wie z. B. Chemie treten neue Disziplinen wie Bioverfahrenstechnik, Molekularbiologie, Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie hinzu. Daneben sind für die Prüfung, Marktzulassung und Vermarktung umfangreiche Kenntnisse, u. a. zu rechtlichen und regulatorischen Fragen, Fragen des Marketings und der Information und Ausbildung potenzieller Anwender erforderlich. Damit ein Unternehmen bereit ist, diese Kompetenzen aufzubauen, bedarf es einer entsprechenden attraktiven Marktsituation, die hohe Umsätze erwarten lässt. Damit übt eine hohe Marktattraktivität auch eine hohe Anziehungskraft auf innovative Aktivitäten der Firmen aus. Auch das Konzept der Vorreitermärkte (u. a. Beise und Cleff 2004, Beise et al. 2002) weist auf die Bedeutung der Nachfrageseite für die Wettbewerbsfähigkeit hin. Diesem Konzept zufolge können ein hohes Nachfrageniveau und eine hohe Qualität der inländischen Nachfrage die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen dauerhaft erheblich stärken. Eine Nachfragesituation, die von hohen Einkommens- und niedrigen Preiselastizitäten oder hohen Pro-Kopf-Einkommen geprägt ist bzw. eine Nachfrage mit hohen Qualitätsansprüchen und großer Bereitschaft, Innovationen aufzunehmen, ist daher förderlich für die Diffusion von Innovationen.

Im Bereich Pharma und der roten Biotechnologie zeigte sich, dass auf Grund der hohen Marktdynamik des US-Marktes mit teilweise zweistelligen jährlichen Wachstumsraten in den 1990er-Jahren der Standort USA ein bevorzugtes Land für Produkt-einsteinführungen wurde (Nusser und Gaisser 2005). Gleichzeitig zeigen die Patent-, Publikations- und Umsatzanalysen sowie die regionale Aufschlüsselung der Anzahl neuer Wirkstoffe, dass die technologische Dominanz der US-Pharmaunternehmen gestiegen ist (Nusser und Gaisser 2005). Die „technologische Lücke“ zwischen den USA und dem Rest der Welt scheint größer zu werden. Die beiden gleichlaufenden Trends deuten darauf hin, dass die Nachfragefaktoren eine sehr wichtige Rolle bei der Erhaltung und dem Ausbau der Innovationskraft spielen können.

Damit ist die Gestaltung der Nachfrageseite ein entscheidender Faktor zur Stärkung des IWBT-Innovationsstandortes Deutschland.

2.5.2 Empirische Projektergebnisse

2.5.2.1 Art der wirtschaftlichen Potenziale

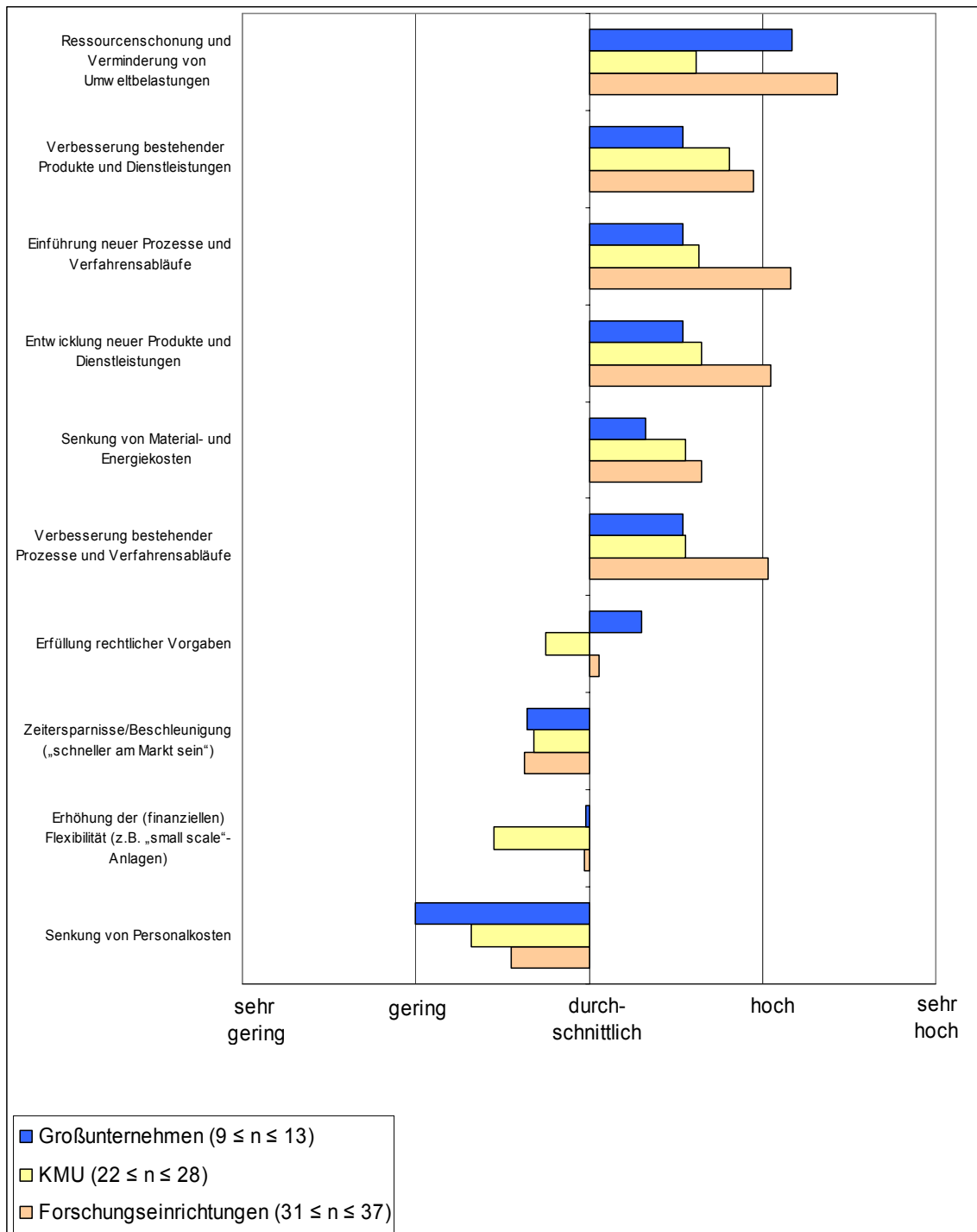
Damit neue Technologien, Produkte und Prozesse sich im Wettbewerb am Markt durchsetzen, müssen sie gegenüber traditionellen Technologien, Produkte und Prozesse komparative Wettbewerbsvorteile aufweisen, insbesondere hinsichtlich der Qualität/Funktionalität, Kosten, der Beschleunigung von Prozessen (um schneller „time to market“ zu sein), oder Erhöhung der Flexibilität (z. B. durch „Small-scale“-Anlagen). Für diese Wettbewerbsvorteile durch den Einsatz von IWBT gibt es bereits einige Beispiele (siehe z. B. OECD 1998, OECD 2002, Braun et al. 2006, Festel et al. 2004). In einigen Fällen (z. B. bei Vitamin C) können beispielsweise mehrstufige chemische Schritte durch einen Fermentationsschritt biotechnologisch ersetzt werden (Sotaert und Vandamme 2006). Biotechnologische Prozesse helfen zudem oftmals zu einer reineren Herstellung von Produkten mit weniger Abfallprodukten. Als Ergebnis ergibt sich häufig Kosteneinsparungspotenziale, bei Riboflavin konnten beispielsweise die Produktionskosten um ca. 50 %, die Mindestanlagengröße um den Faktor 10 und der Investitionsbedarf um ca. 40 % gesenkt werden (Festel et al. 2004). Diese Fallstudien aus der Literatur stellen allerdings nur Einzelbeispiele dar. Für die Beschleunigung des „time-to-market“ (Zeitdauer von Forschungsbeginn bis zur kommerziellen Verwertung) gibt es bisher wenige Hinweise. Beispielsweise benötigte DSM für die biotechnologische Herstellung von 1,3-Propandiol ca. sieben Jahre und damit eher länger als für die meisten Einführungen von traditionellen Chemieprozessen (Drumm 2005).

Durch welche wirtschaftlichen Potenziale sich die IWBT auszeichnet, wurde im Rahmen der Studie untersucht. Wie Abbildung 2.29 deutlich zeigt, sehen die Akteure der schriftlichen Befragung die wirtschaftlichen Potenziale der IWBT vor allem in der

- Ressourcenschonung und Verminderung von Umweltbelastungen,
- Verbesserung bereits existierender sowie der Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen,
- Verbesserung bereits existierender sowie der Einführung neuer Prozesse und Verfahrensabläufe,
- Senkung von Material- und Energiekosten.

Eine Senkung der Personalkosten, eine Beschleunigung von Prozessen und damit verbundene Zeitersparnisse sowie eine erhöhte Flexibilität werden mit der Einführung und zunehmenden Anwendung der industriellen, weißen Biotechnologie nicht erwartet.

Abbildung 2.29: Gegenwärtige wirtschaftliche IWBT-Potenziale



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Obige Ergebnisse wurden durch die Experteninterviews und die Workshop-Teilnehmer bestätigt. Dabei sind folgende wichtige Ergänzungen zu erwähnen:

- Einige Experten sehen insgesamt den wirtschaftlichen Beitrag von IWBT bisher als eher gering an. Große Einigkeit scheint aber hinsichtlich hoher Zukunftspotenziale der IWBT zu bestehen, vor allem hinsichtlich des Beitrages zur Einführung neuer Produkte, Qualitätssteigerung, Kostensenkung und Ressourcenschonung. Ob diese Potenziale zukünftig realisiert werden können, hängt aber neben der technologischen Machbarkeit stark von den rechtlichen Rahmenbedingungen ab (s. hierzu ausführlich Kapitel 4).
- Das Potenzial für eine Zeitersparnis (z. B. durch Beschleunigung von Forschungsprozessen) wird dagegen aktuell und zukünftig als gering eingeschätzt. Teilweise würde sich bei einer stärkeren Konzentration auf eine Zeitersparnis ein Zielkonflikt z. B. zur Einführung neuer Produkte ergeben. Es wurde betont, dass sich nicht gleichzeitig alle Vorteilsdimensionen bei der Einsetzung von IWBT-Verfahren bzw. bei der Einführung neuer IWBT-Produkte realisieren lassen.
- Welche Vorteile IWBT-Verfahren/-Produkte für eine erfolgreiche Diffusion bzw. Marktdurchdringung haben müssen, kann pauschal nicht beantwortet werden. Dies hängt entscheidend davon ab, ob völlig neue Märkte mit neuen Produkten/Prozessen erschlossen werden, oder ob IWBT-Prozesse/-Produkte etablierte Prozesse/Produkte substituieren sollen. Insbesondere bei letzterem sind Zeit- und Kostenersparnisse entscheidende Diffusionskriterien.

Branchenspezifische Unterschiede im Antwortverhalten

Während bei den Forschungseinrichtungen sich keine Unterschiede zwischen Akteuren der Grundlagenforschung und der angewandten Forschung zeigen, gibt es bei den Unternehmen deutliche Branchenunterschiede. Für die forschenden, mittelständischen Biotechnologieunternehmen ist die Bedeutung der IWBT durchwegs höher als bei der Gesamtheit aller Akteure; dies trifft besonders bei der Entwicklung und Verbesserung von Produkten/Dienstleistungen, aber auch von Prozessen zu. Die Akteure der wichtigen Anwenderbranchen Chemie, Pharma und Lebensmittel stufen die Bedeutung der IWBT vor allem bei der Ressourcenschonung/Umweltauflagen höher ein als der Gesamtdurchschnitt aller Akteure. Von der Pharmaindustrie wird zudem die Bedeutung der IWBT für die Flexibilität höher eingeschätzt als vom Gesamtdurchschnitt.

2.5.2.2 Gefährdungspotenziale

Neben den positiven wirtschaftlichen Potenzialen, die im vorigen Abschnitt beschrieben wurden, stellt sich bei der Erforschung, Entwicklung und Diffusion bzw. Marktdurchdringung neuer Technologien auch stets die Frage nach den Risiken bzw. Gefährdungspotenzialen neuer Technologien.

Die umfassenden Experteninterviews zeichnen hier folgendes Bild: Es besteht übereinstimmende Einigkeit, dass die industrielle, weiße Biotechnologie keine bzw. nur sehr

geringe Gefährdungspotenziale aufweist. Zwar weisen chemische Prozesse z. T. ein hohes Risikopotenzial auf, das aber gut beherrscht wird. Es wurde öfters betont, dass die IWBT sogar zur Reduktion von Risiken beitragen kann: Z. B. kann in der Fettchemie durch Biokatalyse der Einsatz von Lösemitteln reduziert werden. Enorme Chancen werden vor allem auch im Hinblick auf die Schonung wichtiger Ressourcen gesehen.

Das vorhandene Gefährdungspotenzial ist prozessabhängig. In der Regel erfolgt der Enzymeinsatz jedoch in geschlossenen Dosiersystemen. Aktive Enzyme verlassen nur in geringem Umfang die Prozesse, da sie in deren Verlauf zumeist vollständig inaktiviert werden. Vor allem bei der Enzymherstellung sollte eine Risikominimierung erfolgen. Weitere Gefährdungen werden darin gesehen, dass zufällig pathogene Stämme entstehen können. Zudem kann es bei der Züchtung gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) zu pleiotropen Effekten und erst langfristig sichtbaren Nachteilen kommen.

2.5.2.3 Marktvolumen und Marktwachstum

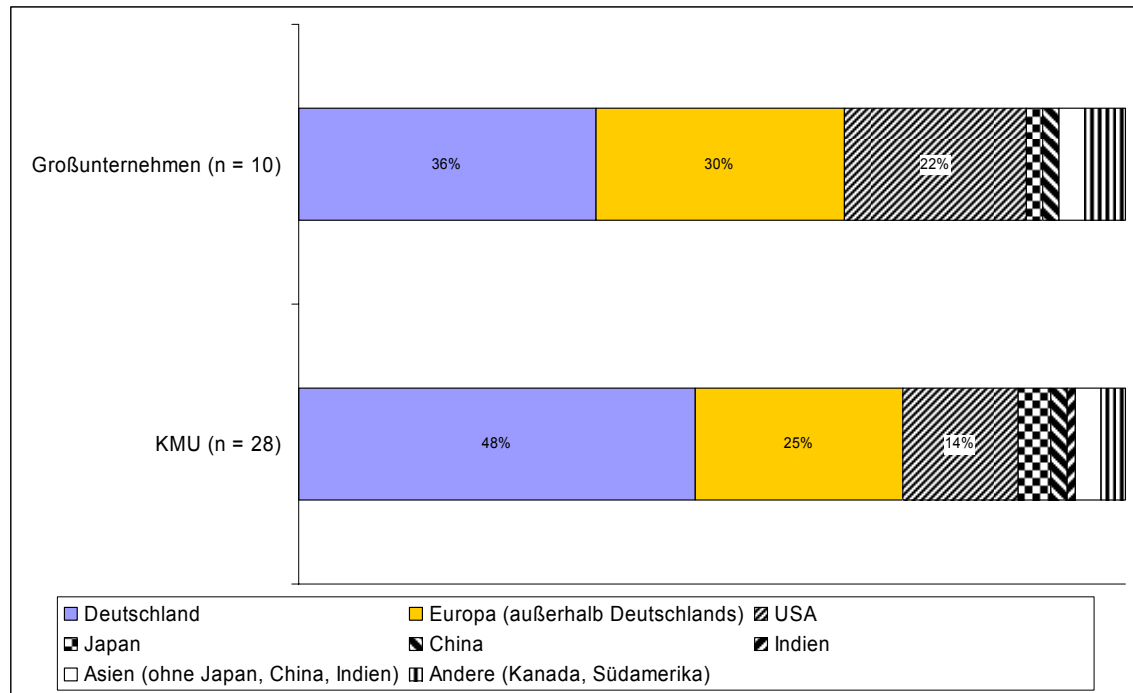
Die Ausführungen in Kapitel 2.1 deuten darauf hin (Abbildung 2.1 und Abbildung 2.2, S. 15 ff.), dass die Marktgröße und das zukünftige Marktwachstum im Bereich der industriellen, weißen Biotechnologie als durchschnittlich bewertet werden. Im Vergleich mit den wichtigsten Konkurrenzländern ergibt sich ein ähnliches Bild. Mit anderen Worten: Die Marktgröße und das zukünftige Marktwachstum stellen in Deutschland kein Wettbewerbsnachteil bzw. Innovationshemmnis dar, allerdings ergibt sich aber auch kein entscheidender Wettbewerbsvorteil des Standortes Deutschland, die eine Vorreitermarkt-Position begünstigen.

2.5.2.4 Umsatzvolumen in verschiedenen Ländern

Zur Charakterisierung und Einschätzung der Bedeutung einzelner Märkte wurden die Unternehmen in der schriftlichen Befragung dieser Studie nach ihren aktuellen und zukünftigen Absatzmärkten befragt. Abbildung 2.30 zeigt, dass sich kleine und mittlere Unternehmen (KMU) und große Unternehmen im Jahr 2004 hinsichtlich der Zusammensetzung ihrer Absatzmärkte nicht gravierend unterscheiden. Deutschland ist in 2004 mit 48 % (KMU) und 36 % (Großunternehmen) mit Abstand der wichtigste Absatzmarkt, gefolgt von der EU (ca. 25 %) und den USA (ca. 15-20 %). Die asiatischen Länder spielen derzeit mit einem Umsatzvolumen von rund 10 % noch eine untergeordnete Rolle. Die sonstigen Länder (insb. Südamerika und Kanada wurden hier genannt) machen in der Regel einen Umsatzanteil von 3 bis 5 % aus. Diese Ergebnisse zeigen, dass bereits heute über 50 % des Umsatzes im Ausland erzielt werden. Dabei bestehen deutliche Unterschiede hinsichtlich der Bedeutung des Auslandsatzes

zwischen den einzelnen Unternehmen, branchenbezogene Aussagen sind auf Grund der Bandbreite nicht möglich.

Abbildung 2.30: Umsatzvolumen 2004 in verschiedenen Ländern



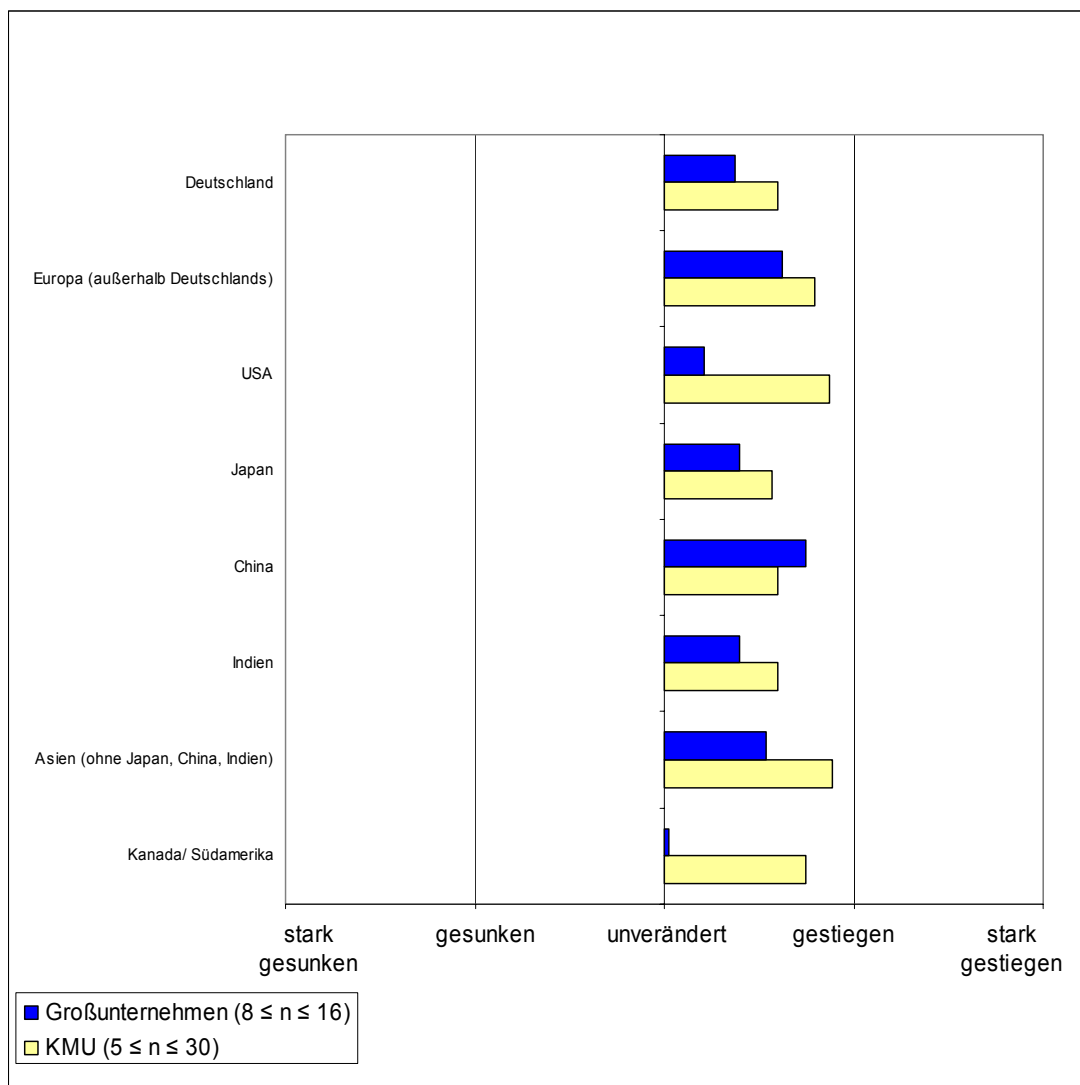
Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

Abbildung 2.31 zeigt, dass die Umsätze in den Jahren 2000 bis 2005 in allen Ländern moderat gestiegen sind. Lediglich für die Großunternehmen ergab sich eine Stagnation in den USA sowie bei den sonstigen Ländern (insb. Kanada und Südamerika). Die Ergebnisse hinsichtlich der zukünftigen Umsatzentwicklung zeichnen folgendes Bild (Abbildung 2.32): Die Umsätze werden in den Jahren 2006 bis 2010 in allen Ländern moderat steigen. Das stärkste Umsatzwachstum wird in den USA und den asiatischen Ländern erwartet. Das zukünftige Umsatzwachstum fällt in Deutschland am geringsten aus, alle Länder außerhalb Deutschlands entwickeln sich besser. Der Anteil des Auslandsumsatzes wird sich daher voraussichtlich erhöhen. Die Experteninterviews und Workshop-Teilnehmer bestätigten dieses Bild. Hervorgehoben wurde das bereits hohe Niveau des US-Umsatzvolumens. Die zukünftig erwartete Steigerung wird dadurch größere Effekte haben als z. B. das Wachstum in Indien.

Die Zahlen zeigen, dass es sich bei den Absatzmärkten der industriellen, weißen Biotechnologie um dynamische Wachstumsmärkte mit dauerhaft stabilen Wachstumsraten handelt. „Überzogene“ Erwartungen (z. B. wie Anfang des Jahrtausends an die Internetbranche) sollten allerdings nicht gehegt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass nicht

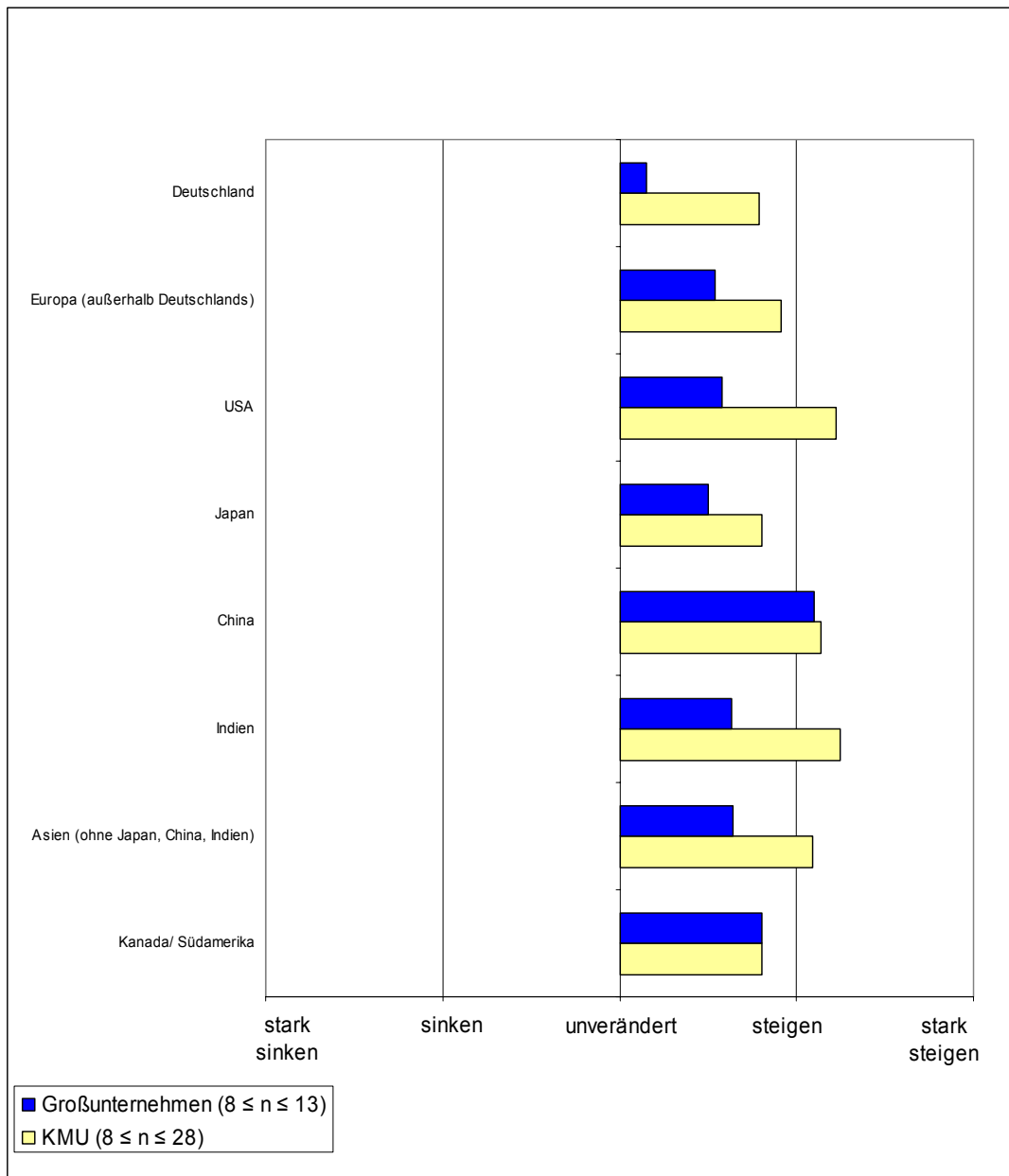
mit einem überdurchschnittlichen starken Marktwachstum in den nächsten 5 Jahren zu rechnen ist. Diese Ergebnisse wurden in den Expertengesprächen und dem Workshop weitestgehend bestätigt. Dies bestätigt die These „Evolution statt Revolution“, nämlich dass sich ein technologischer Strukturwandel in der Regel graduell und nicht schockartig vollzieht (u. a. Nusser 2000). Die industrielle, weiße Biotechnologie wird hier keine Ausnahme bilden. Daher sollten die Umsatzerwartungen in naher Zukunft nicht zu hoch angesetzt werden, denn nach Euphoriephasen folgen häufig auch Ernüchterungsphasen, die oftmals negative dauerhafte Ausstrahleffekte nach sich ziehen (u. a. weiterer Rückgang von Risikokapital, wenn sich Erwartungen nicht erfüllen).

Abbildung 2.31: Entwicklung Umsatzvolumen 2000-2005 in verschiedenen Ländern



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Abbildung 2.32: Entwicklung Umsatzvolumen 2006-2010 in verschiedenen Ländern



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

2.5.2.5 Aktuelle und zukünftige wirtschaftliche Bedeutung in verschiedenen Anwendungsfeldern

Hinsichtlich der aktuellen (Jahr 2005) und zukünftigen (Jahr 2025) wirtschaftlichen Bedeutung (gemessen am Umsatz und der Beschäftigung) der industriellen, weißen Biotechnologie für verschiedene Wirtschaftsbranchen zeichnen die Ergebnisse der schrift-

lichen Befragung sowohl für Großunternehmen (Abbildung 2.33), kleine und mittelständische Unternehmen (Abbildung 2.34) als auch für die Forschungseinrichtungen hinsichtlich der aktuellen Situation (Abbildung 2.35) folgendes Bild:

- Die wichtigsten Anwendungsfelder liegen aktuell und zukünftig in den Branchen Pharma, FuE-Dienstleistungen, Umwelttechnik³⁰, Lebensmittel/Getränke, Fein-/Spezialchemikalien, Bio-Kraftstoffe und Bio-Energie und künftig Landwirtschaft (durch Umstellung auf Biomasserohstoffbasis). Mit anderen Worten: Die IWBT ist von der Natur der Sache her vor allem in der Prozessindustrie wichtig.

In Kapitel 3.3.3 (Tabelle 3.6, S. 215) finden sich für die wichtigen Anwenderbranchen Chemie-, Pharma- und Lebensmittelindustrie sowie die Landwirtschaft konkrete IWBT-Umsatzanteile für die Jahre 2004 und 2025, auf deren Basis die Beschäftigungsanalysen durchgeführt wurden.

- Die Anwendungsfelder mit mittlerer Bedeutung sind Bulkchemikalien (vor allem in 2025), Anlagenbau (Bedeutung ist verknüpft mit Bulkchemikalien), Textil, Leder, Papier, Forstwirtschaft/Holzbe- und -verarbeitung (durch Umstellung auf Biomasserohstoffbasis).
- Die Anwendungsfelder mit aktuell und zukünftig geringer Bedeutung sind Bergbau/Rohstoffgewinnung sowie der Fahrzeugbau.
- Die Bedeutung der industriellen, weißen Biotechnologie nimmt in allen Anwendungsfeldern bis 2025 zu. Diese Ergebnisse untermauern die Aussagen des vorigen Abschnittes, dass es sich bei der industriellen, weißen Biotechnologie um einen dynamischen Wachstumsmarkt mit dauerhaft stabilen Wachstumsraten handelt.

Bei dieser Beurteilung der wirtschaftlichen Bedeutung in den Anwendungsfeldern ist die branchenspezifische Auswertung besonders interessant: Einerseits ist bei den Akteuren einer bestimmten Branche ein größeres Know-how über die Marktpotenziale der eigenen Branche zu vermuten, andererseits kann nicht ausgeschlossen werden, dass sie bewusst sehr optimistische Einschätzungen bezüglich ihrer Branche angeben. Auf Grund der z. T. geringen Fallzahl für einige Branchen, lassen sich im Folgenden nicht für alle Branchen Aussagen ableiten. Zudem sind die Ergebnisse vorsichtig zu interpretieren:

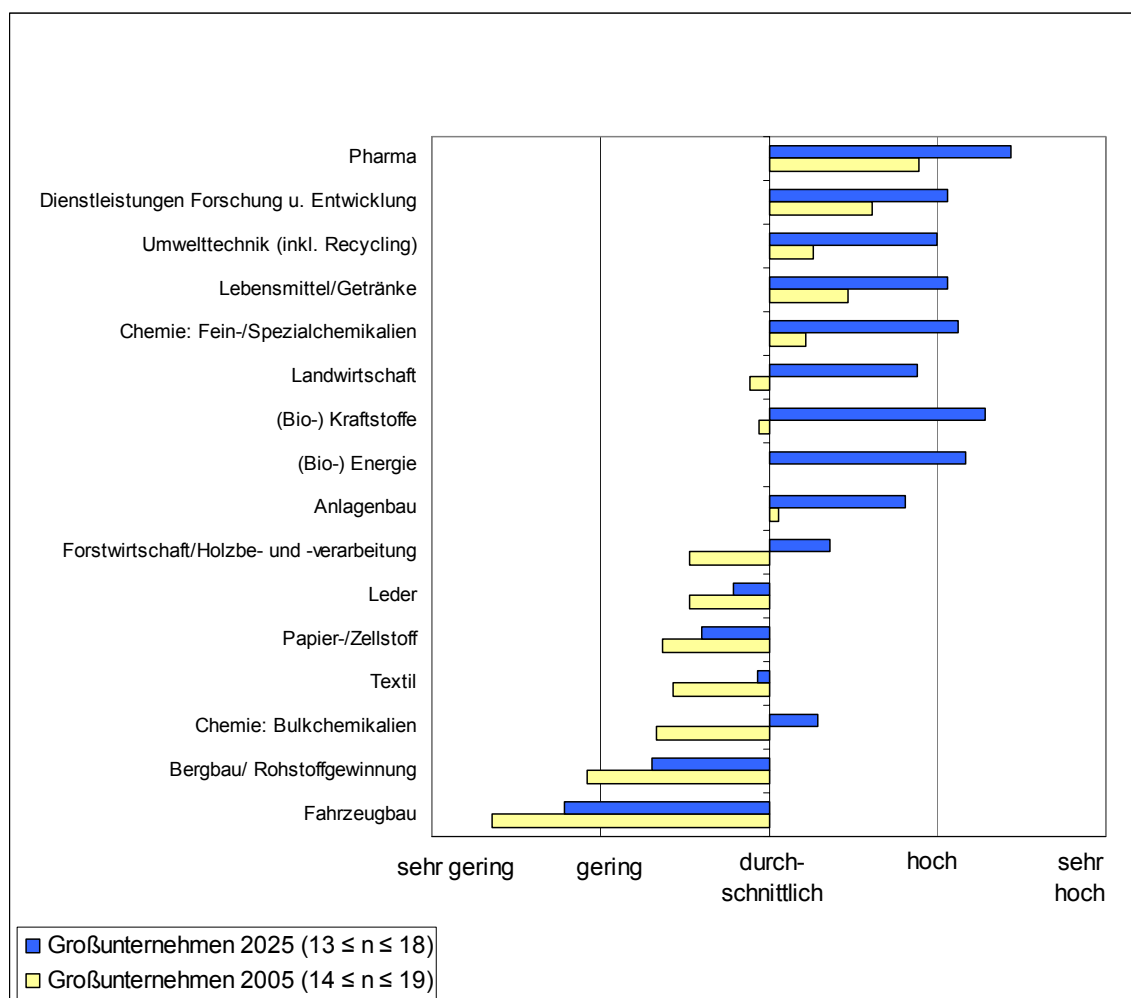
- Während bei Fein- und Spezialchemikalien die Akteure der Chemiebranche die Gesamteinschätzung teilen, zeigt sich bei den Bulkchemikalien ein interessantes Bild:

³⁰ Die Umwelt(bio)technik wird laut der in dieser Studie verwendeten IWBT-Definition (vgl. Kapitel 1.2) nicht der IWBT, sondern der grauen Biotechnologie zugerechnet. Da die Erfahrungen in früheren Projekten zeigen, dass viele Akteure eine derartige Unterscheidung oftmals nicht durchführen, wurde die Umwelttechnik bei der schriftlichen Befragung berücksichtigt. Die Ergebnisse fanden aber z. B. keinen Eingang in die Berechnungen der IWBT-Beschäftigungseffekte in den Anwenderbranchen (vgl. Kapitel 3.3).

Aktuell wird die Bedeutung geringer eingeschätzt als vom Gesamtdurchschnitt aller Akteure, die zukünftigen Erwartungen sind aber optimistischer.

- In den Bereichen Pharma, Textil, Leder, Bioenergie und -kraftstoffe sehen die Akteure der jeweiligen Branche die aktuelle und zukünftige Bedeutung höher als die Befragten insgesamt.
- Bei Lebensmittel/ Getränke und Landwirtschaft zeigt sich kein abweichendes Bild der Akteure dieser Branche vom Durchschnitt der Gesamtheit.

Abbildung 2.33: Aktuelle und zukünftige wirtschaftliche Bedeutung in verschiedenen Anwendungsfeldern (Großunternehmen)

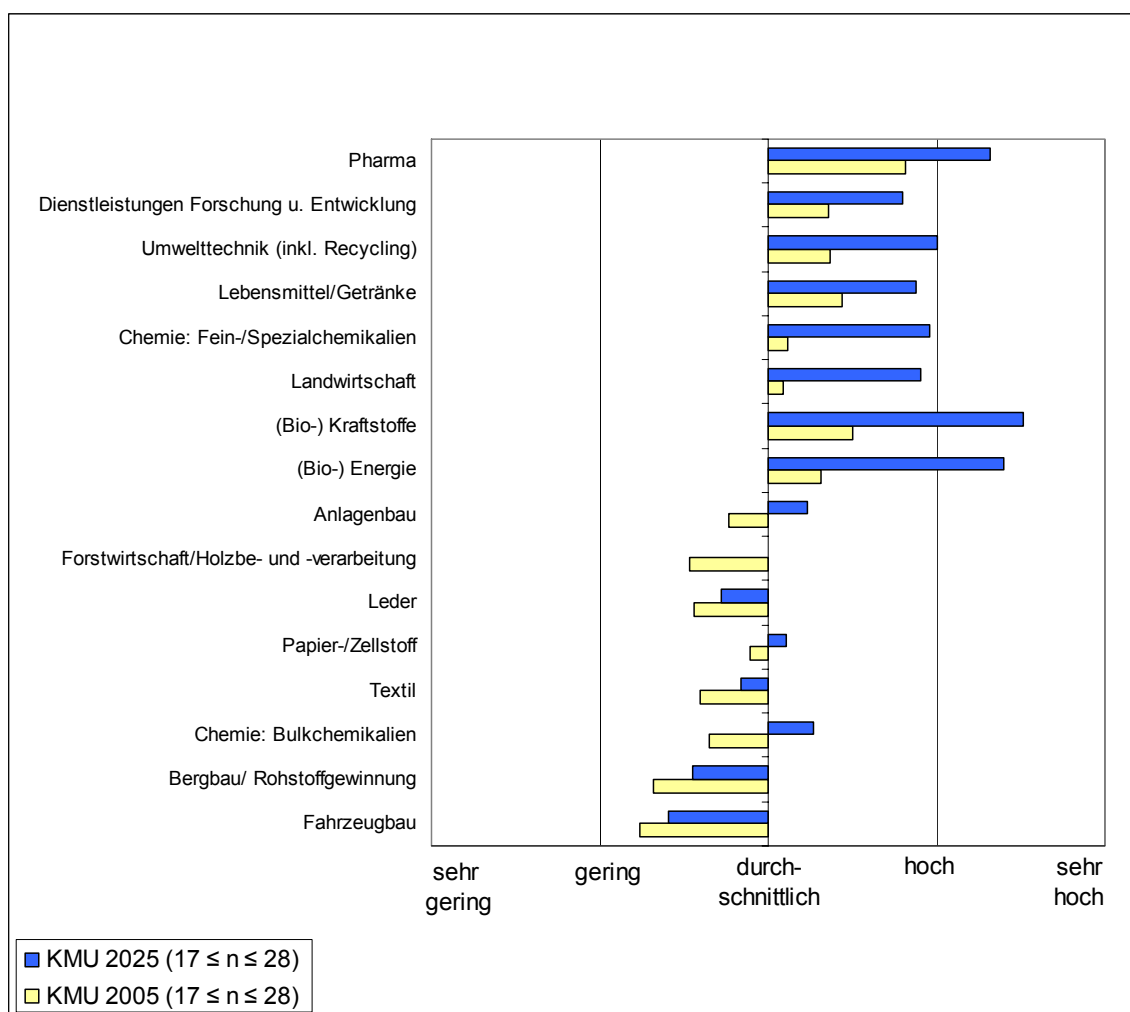


Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Die Experten in den Interviews und im Workshop bestätigen die Ergebnisse zur aktuellen und zukünftigen Bedeutung der Anwendungsfelder weitgehend. Abweichungen bzw. vertiefende Meinungen zeigen sich bei folgenden Aspekten:

- Bei der aktuellen und zukünftigen Bedeutung von Biokraftstoffen und -energie bestehen deutliche Meinungsunterschiede. Einige Experten sehen diese Bereiche als überbewertet an, andere hingegen bestätigen obige Ergebnisse.
- Obige Ergebnisse zeigen, dass die heute bedeutenden Anwenderbranchen auch zukünftig von hoher Bedeutung sind. Diese „zeitlich stabile“ Struktur hinsichtlich der Bedeutung einzelner Wirtschaftsbranchen wird von den Akteuren unterschiedlich gesehen. Eine Änderung könnte sich durch Entwicklung diverser Einflussfaktoren vollziehen, z. B. wenn nachwachsende Rohstoffe für den Bedarf nicht ausreichen.

Abbildung 2.34: Aktuelle und zukünftige wirtschaftliche Bedeutung in verschiedenen Anwendungsfeldern (kleine und mittelständische Unternehmen KMU)

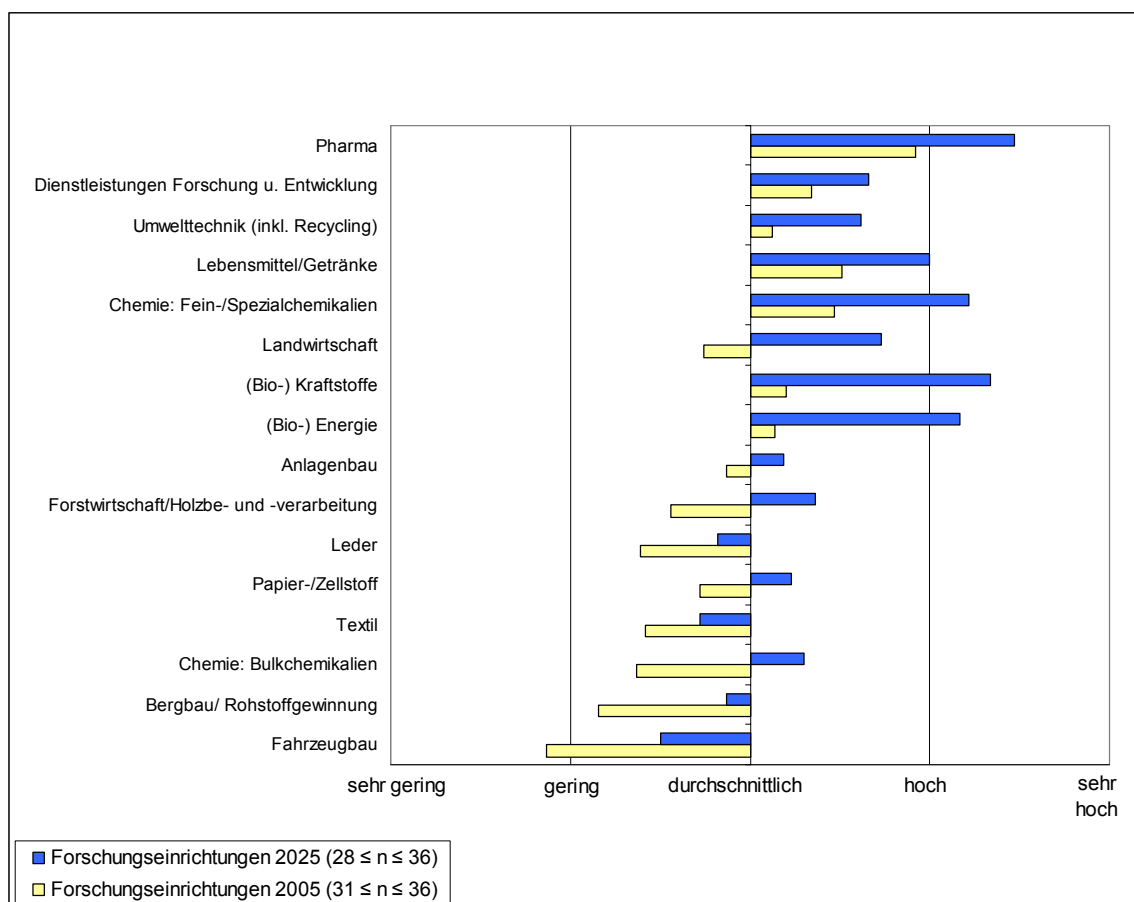


Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Zusätzlich wurden die Akteure in der schriftlichen Befragung befragt, in welcher Größenordnung sie in den verschiedenen Anwendungsfeldern in Deutschland mit einer

Substitution traditioneller Methoden, Prozesse, Dienstleistungen, Produkte durch IWBT-Methoden, -Prozesse-, -Produkte und -Dienstleistungen rechnen. Die Ergebnisse der schriftlichen Befragung lassen sich qualitativ wie folgt zusammenfassen: Das Substitutionspotenzial wird in den Anwendungsfelder als am höchsten erachtet, deren wirtschaftliche Bedeutung am höchsten eingestuft wird. Dies sind aktuell und zukünftig die Branchen Pharma, FuE-Dienstleistungen, Umwelttechnik, Lebensmittel/Getränke, Fein-/ Spezialchemikalien, Bio-Kraftstoffe und Bio-Energie und künftig Landwirtschaft.

Abbildung 2.35: Aktuelle und zukünftige wirtschaftliche Bedeutung in verschiedenen Anwendungsfeldern (Forschungseinrichtungen)



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Die branchenspezifischen Auswertungen hinsichtlich des Substitutionspotenzials zeigen folgende Besonderheiten:

- Während bei den Fein- und Spezialchemikalien die Akteure der Chemiebranche die Gesamtschätzung teilen, wird bei den Bulkchemikalien aktuell die Substitution von der Chemieindustrie selbst als geringer eingeschätzt.

- In den Bereichen Lebensmittel/Getränke, Bioenergie und -kraftstoffe sehen die Akteure der jeweiligen Branche die aktuelle und zukünftige Substitution tendenziell höher als die Befragten insgesamt.

Die Experten des Workshops bestätigten obige Ergebnisse zu Substitutionspotenzialen tendenziell in ihrer Struktur.

2.5.2.6 Biotechnische Verfahren, Produkte bzw. Produktgruppen in relevanten Anwendungsfeldern und Branchen

Im Folgenden werden die hinter diesen Branchenbewertungen liegenden Verfahren, Produkte bzw. Produktgruppen untersucht. Dabei wird für verschiedene Branchen überblicksartig dargestellt, welche aktuell eingesetzten und potenziell einsetzbaren biotechnologischen Verfahren zur Herstellung der Produkte bzw. Produktgruppen erforderlich sind. Die Darstellungen stützen sich, sofern nicht anders angegeben, auf Literaturauswertungen (OECD 1998, Hüsing et al. 1998, Hüsing et al. 2000, OECD 2001, Gaisser et al. 2002, Hüsing et al. 2003a, BACAS Royal Belgian Academy Council of Applied Science 2004, Dechema 2004, Crank et al. 2004, Patel et al. 2006, Soetaert und Vandamme 2006, Reiss et al. 2006).

2.5.2.6.1 Chemische Industrie

Die chemische Industrie nimmt im Hinblick auf eine Biobased Economy eine Vorreiterposition und Schlüsselrolle ein. Günstige Voraussetzungen hierfür sind, dass diese Branche traditionell innovativ ist, hohe Anteile ihres Umsatzes in Forschung und Entwicklung investiert und auch langfristige FuE-Strategien verfolgt. Alle international aktiven Unternehmen haben inzwischen in-house Biotechnologiekompetenzen aufgebaut, die durch internationale Netzwerke ergänzt werden. Experten gehen davon aus, dass sich die Biotechnologie mittelfristig als integraler Bestandteil der Chemie etablieren, in zunehmendem Maße gleichberechtigt neben chemischer Synthese sowie homogener und heterogener Katalyse zum Einsatz kommen und – zumindest in bestimmten Segmenten des Chemiemarktes, s. u. – die Wettbewerbsfähigkeit wesentlich mit bestimmen wird (Marscheider-Weidemann und Hüsing 2004). Gleichzeitig ist die chemische Industrie Vorleister für die Branchen Lebensmittel/Getränke, Textil, Zellstoff/Papier und erbringt – zusammen mit dem Maschinen- und Anlagenbau – einen wesentlichen Anteil der Innovationsleistungen dieser Branchen (Hüsing 2004).

Einsatzbereiche für Biokatalysatoren in der chemischen Industrie ergeben sich vor allem in folgenden Bereichen:

- *Synthese von chiralen Substanzen in enantiomerenreiner Form.* Chirale Substanzen in enantiomerenreiner Form finden vor allem Einsatz als Synthesestufen für Wirk-

stoffe in Pharmazeutika und Agrochemikalien (z. B. Pestiziden), zunehmend aber auch in Lebens- und Futtermitteln (z. B. funktionelle Lebensmittel). Auf Grund ihrer hohen Spezifität und Selektivität weisen biotechnische Verfahren komparative Vorteile bei der Synthese chiraler Substanzen bzw. für die Racemattrennung auf. Sie haben demzufolge in diesen Bereichen ihren aktuellen und auch künftigen Haupt-einsatzbereich (Blaser und Studer 1999). Entscheidenden Einfluss auf den Bedarf nach chiralen Synthesen und damit auch auf den künftigen Stellenwert von Enzymen in der organischen Synthese wird die künftige Zulassungspolitik haben. Aller Voraussicht nach wird der Bedarf nach enantiomerenreinen Substanzen insbesondere bei Pharmazeutika und in etwas schwächerer Form auch bei Agrochemikalien steigen. Bei der Herstellung von enantiomerenreinen Feinchemikalien und Pharmazeutika müssen Biokatalysatoren grundsätzlich mit enantioselektiven chemisch-katalytischen Verfahren und chemischen Synthesen mit Enantiomertrennung konkurrieren, werden aber in zunehmendem Maße gleichberechtigt mit diesen Alternativen zum Einsatz kommen (Blaser et al. 2001).

- *Synthese von Fein- und Spezialchemikalien*, z. B. für Anwendungen als funktionelle Bestandteile von Lebens- und Futtermitteln, aber auch für Performance-Chemikalien und -materialien für verschiedenste Anwendungen.
- *Weitergehende Erschließung von Biomasse als Rohstoff für die chemische Industrie* im Rahmen einer Biobased Economy. Bioethanol wird hierfür als ein Schrittmacher und Türöffner eingeschätzt.
- *Erschließung des Segments der Bulkchemikalien*, insbesondere ihrer Herstellung ausgehend von Biomasse als Rohstoff. Von besonderem Interesse sind Polymere und Werkstoffe, Bio-Kraftstoffe (Kapitel 2.5.2.6.8) sowie die biotechnische Herstellung von Plattformchemikalien, von denen ausgehend umfassende Produktportfolios synthetisiert werden können (Patel et al. 2006; Werpy, Petersen 2004).
- Gewinnung hochwertigerer Produkte aus Nebenprodukten und Reststoffen (Thomas et al. 2002).
- Substitution traditioneller chemischer Synthesen, wenn Bioprozesse einen Prozess- oder Produktvorteil bieten (Thomas et al. 2002).

In den letzten Jahren sind zahlreiche Übersichtsartikel zum aktuellen und künftigen Einsatz von Biokatalysatoren in der chemischen Industrie und insbesondere in der Feinchemikalienproduktion veröffentlicht worden (z. B. Johnson et al. 1998, Bull et al. 1999, Schulze et al. 1999, Koeller et al. 2001, Schmid et al. 2001, Beilen et al. 2002, Huisman et al. 2002, Kirk et al. 2002, Ogawa et al. 2002, Schmid et al. 2002, Thomas et al. 2002, Zhao et al. 2002, Schoemaker et al. 2003, Liese et al. 2000, Straathof et al. 2002, Hüsing et al. 2003b, Werpy und Petersen 2004, Gavrilescu und Chisti 2005, Lorenz und Eck 2005, Marscheider-Weidemann und Hüsing 2004, Panke et al. 2004,

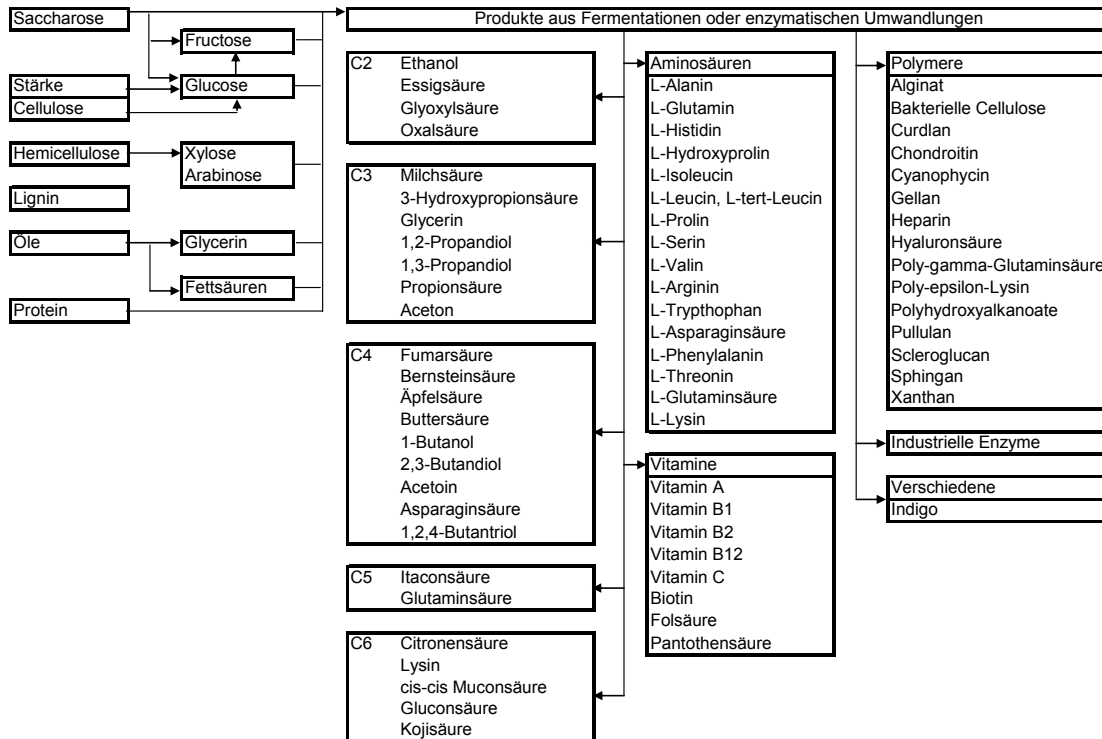
Patel 2006, Kircher 2006, Ragauskas et al. 2006, Schedel 2006, Soetaert und Vandamme 2006, Schmid et al. 2002, Zhao et al. 2003).

Eine Übersicht über die aus Biomasse mittels fermentativer bzw. enzymatischer Verfahren herstellbaren Produkte gibt Abbildung 2.36, detailliertere Informationen sind Tabelle 2.10 zu entnehmen.

Isolierte Enzyme werden zur Produktion von Chemikalien erst seit Ende der 60er-Jahre eingesetzt. Insbesondere im letzten Jahrzehnt hat es einen sprunghaften Anstieg von Biotransformationsverfahren gegeben, die in der chemischen Industrie im industriellen Maßstab durchgeführt werden (Abbildung 2.37). Bis 2002 waren somit mindestens 134 Biotransformationsprozesse³¹ zur Produktion von Fein- oder Massenchemikalien im industriellen Maßstab implementiert worden.

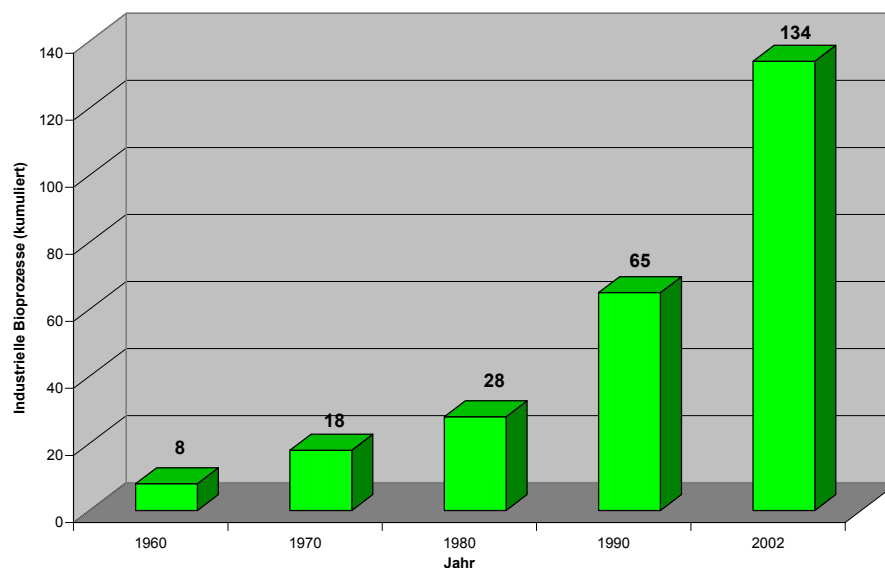
³¹ Hierbei wurden Prozesse berücksichtigt, die folgenden Kriterien entsprachen: Verwendung von Enzymen oder ganzen Zellen oder Kombinationen davon, entweder frei oder immobilisiert; Produkt Fein- oder Massenchemikalie, die nach der Reaktion aufgearbeitet wird; Implementierung im industriellen Maßstab (oder dies zumindest angekündigt); Produktionsvolumen > 100 kg/Jahr; Umsetzung einer Vorstufe zum Endprodukt. Fermentationen, in denen die Produkte de novo ausgehend von einer Kohlenstoff- und Energiequelle, wie z. B. Glucose, durch den Primärstoffwechsel gebildet werden, sind nicht berücksichtigt (z. B. Ethanol). Auch die sehr bedeutenden Einsatzbereiche von Enzymen in der Lebensmittelproduktion (z. B. Brot-, Käse-, Bierherstellung) und in Waschmitteln sind hier nicht einbezogen; der Fokus liegt auf Produkten in der chemischen Industrie, die jedoch auch Einsatz z. B. in der Lebensmittelproduktion finden können (z. B. Stärkehydrolysate, Vitamine).

Abbildung 2.36: Überblick über Chemikalien, die aus den Hauptbestandteilen von Biomasse durch etablierte oder mögliche biotechnische Verfahren hergestellt werden können



Quelle: Patel et al. 2006, S. 11

Abbildung 2.37: Kumulative Anzahl von Biotransformationsverfahren, die bis 2002 im industriellen Maßstab implementiert wurden



Quelle: Straathof et al. 2002

Tabelle 2.10: Überblick über Chemikalien, die durch etablierte oder mögliche biotechnische Verfahren hergestellt werden können

Substanz	Weltproduktion (Mio. t/a)	Syntheseweg	Entwicklungsstand	Hauptanwendungen, Markttreiber
Glucose	5 bis 20	a) enzymatische Hydrolyse von Stärke	etabliert, technisch ausgereift, kommerzielle Produktion im großtechnischen Maßstab	Süßung von Speisen und Getränken Substrat für Fermentationen, Rohstoff für (bio)chemische Non-Food-Anwendungen, Potential hier noch unterschätzt Hydrierung von Glucose zu Sorbit: Sorbit als Intermediat für Tenside
		b) Hydrolyse von Cellulose durch eine Kombination aus thermomechanischer Behandlung, Säurehydrolyse und Einsatz von Cellulasen	Produktion im Pilotmaßstab	großes Potential als Rohstoff für Fermentationen und für (bio)chemische Non-Food-Anwendungen, da reichlich vorhanden und billig Treiber: Bioethanol-Produktion aus Lignocellulose-haltiger Biomasse

Fortsetzung Tabelle 2.10

Substanz	Weltproduktion (Mio. t/a)	Syntheseweg	Entwicklungsstand	Hauptanwendungen, Markttreiber
Fructose	Glucose-Fructose Sirup: 10,1 (Trockenmasse, 1995) kristalline Fructose: 0,24	enzymatische Hydrolyse oder Säurehydrolyse von Stärke zu Glucosesirup, anschließend enzymatische Isomerisierung von Glucose zu Fructose mit Glucoseisomerase	etabliert, ausgereift, kommerzielle Produktion im großtechnischen Maßstab Konkurriert mit alternativen Verfahren und alternativen Rohstoffen: - Enzymatische Hydrolyse von Inulin, - Säurehydrolyse von Saccharose zu Glucose und Fructose, chromatographische Trennung von Glucose und Fructose, - Enzymatische Hydrolyse von Saccharose mit Invertase (β -D-Fructofuranosidase) aus <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Hauptanwendung: Süßung von Speisen und Getränken Treiber: moderates Potenzial für Non-Food-Anwendungen auf Grund des hohen Preises und im Vergleich zu z. B. Glucose und Sorbit schwierigerer Chemie Treiber: kann zu Lävulinsäure und 5-(Hydroxymethyl)furfural umgesetzt werden
Sorbit D-Glucit	1,1	a) Hydrierung von Glucose mit Nickelkatalysatoren in Batch-Prozessen b) fermentative Produktion von Sorbit und Glucosäure aus Fructose und Glucose durch <i>Zymomonas mobilis</i>	etabliert, ausgereift, kommerzielle Produktion im großtechnischen Maßstab	Hauptanwendung in Speisen als kalorienarmer Süßungsmittel und Feuchtigkeits-speicher Konkurriert mit Glycerin Treiber: Kommerzialisierung von Non-Food-Derivaten Konkurrenzfähigkeit zur Hydrierung von Glucose (a) unwahrscheinlich

Fortsetzung Tabelle 2.10

Substanz	Weltproduktion (Mio. t/a)	Syntheseweg	Entwicklungsstand	Hauptanwendungen, Markttreiber
Alkylpolyglycoside (APG)	0,05-0,07	a) Säure-induzierte Glycosylierung von Glucose mit einem langkettigen Fettalkohol b) Transglycosylierung eines kurzkettigen Alkylglucosids mit einem langkettigen Alkohol	etabliert, kommerzielle Produktion im großtechnischen Maßstab	Tenside, Detergenzien, Produkte zur Körperpflege Treiber: Nachhaltigkeit: Herstellung unter Verwendung von erneuerbaren Rohstoffen, biologisch abbaubar, nicht toxisch, geringe Hautreizungen
Methyl- α -D-glucosid		Erhitzen von Glucose und Methanol in Anwesenheit von wasserfreiem Natriumchlorid	kommerzielle Produktion im kleintechnischen Maßstab	Dämmstoff
5-Hydroxymethylfural		Dehydratisierung von Fructose		Kunststoffe auf Basis von Phenolen und Harnstoffformaldehyden
Ethanol	32	a) Fermentation von Saccharose oder Stärke zu Ethanol (95 %) b) chemische Synthese (5 %)	kommerzielle Produktion mit Saccharose und Stärke als Rohstoff, Produktion im Pilotmaßstab mit Lignocellulose-haltigen Rohstoffen	Alkoholische Getränke, industrielle Anwendungen: Lösungs-, Desinfektionsmittel, Treibstoff
Aceton	3	ABE Fermentation mit <i>Clostridium acetobutylicum</i> ; weitere Produkte: 1-Butanol, Ethanol	1982 eingestellt; Rekommerzialisierung für 2007 angekündigt	Lösungs- und Extraktionsmittel
L-Glutaminsäure	1,5	Fermentation	kommerzielle Produktion	Geschmacksverstärker

Fortsetzung Tabelle 2.10

Substanz	Weltproduktion (Mio. t/a)	Syntheseweg	Entwicklungsstand	Hauptanwendungen, Markttreiber
1-Butanol	1,2	ABE Fermentation	1982 eingestellt, Kommerzialisierung für 2007 angekündigt	Lösungsmittel und Verdüner für Lacke, Ausgangsstoff für die Herstellung von Estern und Ethern, Treibstoff
Citronensäure	1,0	Fermentation	kommerzielle Produktion	Säuerungsmittel
Glycerin	0,75	a) synthetisches Glycerin aus Propylen (10 %) b) natürliches Glycerin als Nebenprodukt der (enzymatischen) Umwandlung von Fetten und Ölen zu Fettsäuren oder Fettsäuremethylestern (90 %) c) Fermentation d) Nebenprodukt der Biodiesel-Produktion (Fettsäuremethylester)	a) kommerzielle Produktion b) kommerzielle Produktion c) entwickelt für die kommerzielle Produktion, aber industriell nicht relevant	d) Rohstoff für Fermentationen
L-Lysin	0,7	Fermentation mit <i>Corynebacterium</i> oder <i>Brevibacterium</i>	Kommerzielle Produktion	Futtermittelzusatz
Essigsäure	a) 7 b) 0,19	a) Carbonylierung von Methanol b) Fermentation für den Einsatz im Nahrungsmittelbereich	b) kommerzielle Produktion für den Nahrungsmittelbereich	Herstellung von Vinylacetat und anderen Polymeren
Milchsäure	0,15	a) Reaktion von Acetaldehyd mit Blausäure, anschließend Hydrolyse des entstandenen Lactonitrils b) Fermentation	a) und b) kommerzielle Produktion, b) von größerer Bedeutung als a)	umweltfreundliche Lösungsmittel, z. B. Ethylacetat, Polymere (PLA), Produkte der Körperpflege, Speisen und Getränke

Fortsetzung Tabelle 2.10

Substanz	Weltproduktion (Mio. t/a)	Syntheseweg	Entwicklungsstand	Hauptanwendungen, Markttreiber
Propionsäure	0,13	a) chemische Synthese über Carboxylierung von Ethylen, Oxidation von Propanal oder direkte Oxidation von Kohlenwasserstoffen b) Fermentation mit <i>Propionibacterium shermanii</i>	b) kommerzielle Produktion im kleintechnischen Maßstab, da beschränkt auf spezifische Anwendungen	Lebensmittelproduktion, Geruchsstoffe
Gluconsäure	0,1	chemische, elektrolytische, katalytische oder biochemische Oxidation von Glucose oder Glucose-haltigen Rohstoffen; hauptsächlich fermentative Oxidation der Glucose durch <i>Aspergillus</i> oder <i>Gluconobacter</i>	kommerzielle Produktion	Gluconsäure und Natriumgluconat als Komplexbildner für Detergenzien
Vitamin C	0,08	a) Reichstein Prozess: sechs chemische Schritte und ein fermentativer Oxidationsschritt (D-Sorbit zu L-Sorbitose) b) bakterielle Biotransformation für die Synthese von Reichstein Intermediaten (Produktion von 2-Keto-L-gulonol durch die Oxidation von D-Glucose oder D-Sorbit oder L-Sorbitose) c) biologische Umwandlung von 2-Keto-L-gulonol zu L-Ascorbinsäure d) direkte Biosynthese von L-Ascorbinsäure in Eukaryoten (Pflanzen, Algen, Hefen)	b) Bedeutungsgewinn gegenüber a), c) und d) industriell nicht relevant	
L-Sorbitose	0,05	Fermentation	kommerzielle Produktion	
Antibiotika		Fermentation, enzymatische Umwandlung	kommerzielle Produktion	Pharmazeutika

Fortsetzung Tabelle 2.10

Substanz	Weltproduktion (Mio. t/a)	Syntheseweg	Entwicklungsstand	Hauptanwendungen, Markttreiber
Industrielle Enzyme		a) Fermentation, auch heterologe Expression in GVO b) transgene Pflanzen	a) kommerzielle Produktion b) hauptsächlich Produktion im Labor- bis Pilotmaßstab	Industrielle Stoffumwandlungen
Xanthan	0,04	Fermentation mit <i>Xanthomonas campestris</i>	kommerzielle Produktion	Nahrungsmittel, Pharmabereich, Produkte der Körperpflege, Erd- förderung
Zuckeralkohole, z. B. Erythrit	0,03		kommerzielle Produktion	Lebensmittel
L-Threonin	0,03	Fermentation	kommerzielle Produktion	Futtermittelzusatz
Vitamin B2	0,03	Fermentation	kommerzielle Produktion	Lebensmittel, Pharma
Äpfelsäure	0,025	a) Hydratation von Maleinsäureanhydriden b) enzymatische Umwandlung von Fumarsäure zu L-Äpfelsäure	a), b) kommerzielle Produktion	Lebensmittel
Bernsteinsäure	0,015	a) Oxidation von cyclischen Komponenten (Ringöffnung) b) Fermentation, auch von GVO	a) kommerzielle Produktion b) Produktion im Pilotmaßstab bis hin zur kommerziellen Produktion	Süßungsmittel für Lebensmittel, großes Potenzial als Substrat für Fermentationen und Non-Food-Anwendungen
L-Asparaginsäure	0,013	enzymatische Aminierung von Fumarsäure mit Aspartase	kommerzielle Produktion	Produktion des Süßstoffs Aspartam (10 000 t/a)
Fumarsäure	0,012	Fermentation, enzymatische Umwandlung	kommerzielle Produktion	Säuerungsmittel für Lebensmittel, Tierfutterzusatz; Herstellung ungesättigter Polyester-Harze, Herstellung von Bernsteinsäure

Fortsetzung Tabelle 2.10

Substanz	Weltproduktion (Mio. t/a)	Syntheseweg	Entwicklungsstand	Hauptanwendungen, Markttreiber
L-Phenylalanin	0,01		kommerzielle Produktion	Lebensmittel, Pharma
Pullulan	0,01	Fermentation mit <i>Aureobasidium</i>	kommerzielle Produktion	Verpackungen
Cyclodextrin	0,005	enzymatische Degradation von Stärke mit Cyclo-dextringlycosyltransferase	kommerzielle Produktion	
Itaconsäure	0,004	Fermentation mit <i>Aspergillus terreus</i>	kommerzielle Produktion	Polymerproduktion
L-Arginin	0,0015		kommerzielle Produktion	Pharma
L-Alanin	0,0012		kommerzielle Produktion	Pharma
L-Tryptophan	0,0012		kommerzielle Produktion	Pharma
L-Glutamin	0,0010		kommerzielle Produktion	Pharma
L-Hydroxyprolin	0,0001		kommerzielle Produktion	Pharma
L-Leucin	0,0008		kommerzielle Produktion	Pharma
L-Prolin	0,0008		kommerzielle Produktion	Pharma
L-Serin	0,0003		kommerzielle Produktion	Pharma
L-Histidin	0,0003		kommerzielle Produktion	Pharma
L-Isoleucin	0,00055		kommerzielle Produktion	Pharma
L-Valin	0,00005		kommerzielle Produktion	Pharma
Hyaluronsäure	0,00005	Fermentation mit <i>Streptococci</i>	kommerzielle Produktion	Pharma
bakterielle Cellulose		Fermentation mit <i>Acetobacter xylinum</i>	kommerzielle Produktion	Pharma

Fortsetzung Tabelle 2.10

Substanz	Weitproduktion (Mio. t/a)	Syntheseweg	Entwicklungsstand	Hauptanwendungen, Markttreiber
Gellan		Fermentation mit <i>Sphingomonas paucimobilis</i>	kommerzielle Produktion	Verdickungsmittel
Polyglutaminsäure		a) chemische Synthese b) Fermentation	b) kommerzielle Produktion	Spezialpolymer
Polylysin		a) chemische Synthese b) Fermentation	b) kommerzielle Produktion	Spezialpolymer
Vitamin A		Fermentation	kommerzielle Produktion	Lebensmittel, Pharma
Vitamin B1		Fermentation	kommerzielle Produktion	Lebensmittel, Pharma
Vitamin B12	0,000020	Fermentation	kommerzielle Produktion	Lebensmittel, Pharma
Biotin		Fermentation	kommerzielle Produktion	Lebensmittel, Pharma
Folsäure		Fermentation	kommerzielle Produktion	Lebensmittel, Pharma
Pantothensäure		Fermentation	kommerzielle Produktion	Lebensmittel, Pharma
Kojisäure		Fermentation mit <i>Aspergillus oryzae</i>	kommerzielle Produktion	
1,2-Propandiol	1,5	a) synthetisiert aus Propylenoxid und Wasser b) katalytische Reduktion von fermentativ hergestellter Milchsäure c) Fermentation von Hexosen und Pentosen mit pathway-engineered GVO	a) kommerzielle Produktion b, c) Produktion im Labormaßstab	Herstellung ungesättigter Polyester und Polyetherpolyole

Fortsetzung Tabelle 2.10

Substanz	Weitproduktion (Mio. t/a)	Syntheseweg	Entwicklungsstand	Hauptanwendungen, Markttreiber
1,3-Propandiol	>0,08	a) katalytische Umwandlung von entweder Ethylenoxid, Acrolein oder Glycerin b) bakterielle Fermentation von Glycerin c) Fermentation in Mischkultur oder 2-Phasen-Fermentation von Glucose d) Fermentation von Glucose mit pathway-engineered <i>E. coli</i>	a) kommerzielle Produktion b, c) Produktion im Labormaßstab d) seit 2006 kommerzielle Produktion	Herstellung von Polytrimethylenterephthalat (PTT)
2-Propanol (Isopropanol, Isopropylalkohol)		modifizierte ABE Fermentation mit <i>Clostridium</i>		
3-Hydroxypropionsäure		a) Synthese aus Acrolein b) Fermentation mit pathway engineered GVO	a) kommerzielle Produktion b) Produktion im Labormaßstab	Herstellung von Polymeren, auch biologisch abbaubaren Polymeren, z. B. Polyester
Glyoxysäure		a) Oxidation von Glyoxal mit 65 % Salpetersäure; Hauptnebenprodukt Oxalsäure b) Fermentation		
Oxalsäure	0,124 (1990)	a) Oxidation von Kohlenhydraten/Molasse/landwirtschaftlichen Abfällen mit Salpetersäure b) Oxidation von Ethylenglycol mit Salpetersäure c) Oxidation von Propylen mit Salpetersäure d) Produktion aus Kohlenmonoxid e) fermentative Produktion aus Kohlenhydraten oder Fetten mit Pilzen wie z. B. <i>Aspergillus</i>	a-d) kommerzielle Produktion mit Produktionsvolumina a) > c) > b, d) e) Produktion im Labormaßstab	synthetische Intermediate, Reduktionsmittel, Fällungsmittel für Calciumionen, Komplexbildner für die Salze von Schwermetallen

Fortsetzung Tabelle 2.10

Substanz	Weitproduktion (Mio. t/a)	Syntheseweg	Entwicklungsstand	Hauptanwendungen, Markttreiber
Buttersäure	0,05	a) Flüssig-Phasen-Oxidation von n-Butyraldehyd mit Sauerstoff b) Fermentation mit <i>Clostridium butyricum</i> oder <i>Bacillus butylicus</i>	a) kommerzielle Produktion b) Produktion im Labormaßstab	
2,3-Butandiol		a) Synthese aus Buten (Cracking Gase) b) Fermentation	a) kommerzielle Produktion b) eingestellt	
1,2,4-Butantriol		a) NaBH ₄ -Reduktion von veresterter D,L-Apfelsäure b) Fermentation aus Xylose oder Arabinose mit pathway engineered <i>E. coli</i>	a) kommerzielle Produktion b) Produktion im Labormaßstab	Sprengstoffe, Treibstoffe, für chirale Synthesen
cis-cis-Muconsäure		Fermentative Produktion mit pathway engineered <i>E. coli</i>	Produktion im Labormaßstab	
Alginat	0,03	a) Isolierung aus der Biomasse von Braunalgen b) fermentative Produktion mit <i>Azotobacter/Pseudomonas</i>	a) kommerzielle Produktion b) Produktion im Labormaßstab	Verdickungsmittel
Curdlan		Fermentation mit <i>Agrobacterium</i> und <i>Rhizobium</i>		Nahrungsmittel, Feinchemikalien
Chondroitin				Feinchemikalien für pharmazeutische Anwendungen und analytische Untersuchungen
Heparin				Feinchemikalien für pharmazeutische Anwendungen und analytische Untersuchungen

Fortsetzung Tabelle 2.10

Substanz	Weitproduktion (Mio. t/a)	Syntheseweg	Entwicklungsstand	Hauptanwendungen, Markttreiber
Cyanophycin		heterologe Produktion dieses cyanobacteriellen Polymers in Bakterien	Produktion im Labormaßstab	
Polyhydroxyalkanoate	0,001 (kumulativ)	a) bakterielle Fermentation b) transgene Pflanzen	Produktion im Labor- bis Pilotmaßstab	Verpackungen
Scleroglucan		Fermentation mit <i>Sclerotium</i> oder <i>Schizophyllum</i>		Feinchemikalien für pharmazeutische Anwendungen
Sphingan		Fermentation mit <i>Sphingomonas paucimobilis</i>		
Indigo	0,03	a) chemische Synthese: Ringschluss von N-Phenylglycin mit Natriumamid b) Fermentation von Glucose unter Verwendung rekombinanter <i>Escherichia coli</i> -Stämme	a) kommerzielle Produktion im großtechnischen Maßstab b) Produktion im Labor- und Pilotmaßstab, keine kommerzielle Produktion	Farbstoff

Quelle: eigene Darstellung (Basis: Literaturquellen s. Beginn Abschnitt 2.5.2.6)

Diese bislang industriell implementierten Prozesse zeichnen sich durch folgende Charakteristika aus (Straathof et al. 2002):

- *Produkttyp:* Industrielle biokatalytische Verfahren dienen ganz überwiegend der Herstellung von natürlich vorkommenden Verbindungen bzw. ihrer Derivate. Hierzu zählen Kohlenhydrate, Fettderivate, Steroide, Peptide und β -Lactame, Aminosäuren, sekundäre Alkohole, Nucleotide sowie andere chirale und nicht-chirale Substanzen. Dabei handelt es sich bei über 90 % der Produkte um chirale Substanzen. Bei etwa der Hälfte der Prozesse beruht die Enantiomerenreinheit der Produkte auf dem Einsatz entsprechender enantiomerenreiner Vorstufen, in den anderen 50 % der Prozesse wird die Enantiomerenreinheit durch den Biotransformationsschritt über kinetische Auflösung bzw. asymmetrische Synthese erzielt. Insbesondere diejenigen Verfahren, die in größeren Produktionsvolumina durchgeführt werden (z. B. β -Lactame), unterliegen meist einem starken Wettbewerb in Bezug auf effiziente Produktionsverfahren und haben eine Produktlebenszeit am Markt, die eine forschungsbasierte Optimierung der Produktionsprozesse erlaubt.
- *Anwendungsbereiche:* Gemessen an der Zahl der industriellen Biotransformationsverfahren ist der Pharma- und Feinchemikaliensektor der wichtigste Anwendungsbereich für industrielle Biotransformationsverfahren: hier sind mehr als 50 % der Verfahren implementiert, gefolgt von Anwendungen im Agro-Food-Bereich. Etwa 75 % aller industriellen Biotransformationsverfahren zielen auf Anwendungen im Pharma- sowie Agro-Food-Sektor ab. Demgegenüber sind Anwendungen in den Bereichen Kosmetika, Polymere und Futtermittel sowie Sonstige von untergeordneter Bedeutung. Berücksichtigt man hingegen zusätzlich die Produktionsvolumina dieser Prozesse, so gewinnt der Agro-Food-Sektor an Bedeutung, da hier großvolumige (> 20.000 t/Jahr) Prozesse, insbesondere für die Produktion von Kohlenhydraten und Fettderivaten, durchgeführt werden.
- *Katalysatortyp:* Am häufigsten werden freie oder immobilisierte Zellen als Biokatalysatoren eingesetzt (63 von 134 Verfahren). Freie oder immobilisierte Enzyme kommen in 40 von 134 Verfahren zum Einsatz; für 31 Verfahren liegen keine Informationen zum verwendeten Katalysatortyp vor. Die Biotransformationen beruhen zum größten Teil auf der Katalyse durch Hydrolasen (knapp 50 % der Prozesse), gefolgt von Redoxbiotransformationen (katalysiert durch oxidierend bzw. reduzierend wirkende ganze Zellen oder isolierte Oxidoreductasen), Lyasen, Transferasen und Isomerasen. Der Einsatz von Biokatalysatoren in organischen Lösungsmitteln hat bislang nur eingeschränkt Einzug in die industrielle Anwendung gehalten: zurzeit werden weniger als 10 industrielle Biotransformationsverfahren in organischen Lösungsmitteln ohne eine separate Wasserphase durchgeführt. Im industriellen Maßstab werden aber durchaus organische Phasen in monophasischen oder biphasischen Gemischen eingesetzt.
- *Prozesseffizienz:* Für die Analyse der Prozesseffizienz wurden ausschließlich Verfahren ausgewertet, die auf chemisch-pharmazeutische Anwendungen abzielen (64

von 134 Prozessen). Sie betreffen die Produktion von Aminosäuren, Alkoholen, Kohlenhydraten, β -Lactamen, Nucleotiden, Säuren, Epoxiden, Hydroxyaromaten, Aminen und Amiden. In diesen Prozessen lag die Produktausbeute gut über 80 %, oft auch über 90 %, wobei üblicherweise Produktkonzentrationen von >50-100 g/l für Aminosäuren und Carboxylsäuren sowie >200 g/l für Kohlenhydrate und Amide erzielt werden. Die erreichbaren Endkonzentrationen werden wesentlich von der Toxizität und Löslichkeit der jeweiligen Produkte bestimmt. Die Produktivitäten liegen meist höher als 1 g/l·h. Zur Katalysatorproduktivität, angegeben als Substrat/Katalysator-Verhältnis, liegen kaum Daten aus industriellen Prozessen vor.

Feinchemikalien

Im Jahr 2000 belief sich die Produktion von Fein- und Spezialchemikalien durch die chemische Industrie in Deutschland auf 10,2 Mio. t. Das sind 7,6 % der gesamten Chemieproduktion (ca. 134 Mio. t) (Marscheider-Weidemann und Hüsing 2004). Fein- und Spezialchemikalien zeichnen sich durch Charakteristika aus, die in Tabelle 2.11 zusammengefasst sind und im nachfolgenden Text mit Bezug zur Biokatalyse erläutert werden.

Tabelle 2.11: Charakteristika der Feinchemikalienproduktion

Moleküle	Synthese	Anforderungen an Katalyse
Komplex (Isomere, Stereochemie etc.)	Vielschrittige Verfahren	Hohe Chemo-, Regio- und Stereoselektivitäten
Mehrere funktionelle Gruppen	Klassische organische Reaktionen, Katalyse als Ausnahme	Einpassung des katalytischen Schritts in den Gesamt-Syntheseprozess
Begrenzte thermische Stabilität	Batch-Prozesse in Lösung	Hohe Aktivität bei niedrigen Temperaturen
Mittlere bis hohe Wertschöpfung	Kurze Entwicklungszeiten	Sofortige Verfügbarkeit kommerzieller Katalysatoren
Kleine Produktionsmengen (1-10.000 t/Jahr)	Multipurpose-Anlagen	Einfache Technologie

Quelle: Blaser 2000

Dass der derzeitige Schwerpunkt des Einsatzes biotechnischer Verfahren in der Chemie bei der Produktion von Fein- und Spezialchemikalien liegt, ist darauf zurückzuführen, dass in diesem Sektor die spezifischen Eigenschaften biokatalytischer Verfahren, nämlich hohe Spezifität, Selektivität (insbesondere Enantioselektivität) komparative Vorteile gegenüber „herkömmlicher Synthesechemie“ bieten. Gerade die Feinchemikalienproduktion ist durch hohe E-Faktoren (Quotient aus kg Nebenprodukt pro kg er-

wünschtem Produkt) gekennzeichnet und daher vergleichsweise umweltbelastend. Dies liegt an den meist komplexen Molekülstrukturen, die konventionell durch vielschrittige Synthesen aufgebaut werden müssen, der begrenzten thermischen Stabilität, was die Ausbeute verringert, und an den oft hohen Anforderungen an die Reinheit des Produkts, was mit vielen Aufarbeitungsschritten mit hohem Einsatz an Lösungsmitteln, Salz- und Nebenproduktenfall einhergeht. Außerdem werden wegen der relativ kurzen Produktlebenszyklen einmal etablierte Produktionsprozesse meist beibehalten und nicht optimiert. Gleichzeitig ist die Toleranz gegenüber hohen Produktionskosten wegen der meist hohen Wertschöpfung ebenfalls hoch. Deshalb kann der Beitrag biotechnischer Verfahren bei der Feinchemikaliensynthese als hoch eingeschätzt werden.

Trotz der relativen Vorzüglichkeit biotechnischer Verfahren sind sowohl biokatalytische als auch katalytische Prozesse oder Verfahrensschritte in der Feinchemikaliensynthese (noch) die Ausnahme. Etwa 80 % der Reaktionen in der Feinchemie (inkl. Reaktionen, die von Agrorohstoffen ausgehen) werden nicht-katalytisch durchgeführt (Barrault et al. 2002). Nach Experteneinschätzung wäre es wünschenswert und angemessen, wenn homogene, heterogene und biotechnische Katalysatorsysteme als gleichwertig angesehen und allein im Hinblick auf ihren Beitrag zur Lösung eines gegebenen Syntheseproblems ausgewählt würden (Richter 2003). Ein wichtiger Grund für die unterdurchschnittliche Nutzung der Katalyse bei der Feinchemikaliensynthese ist, dass bei Feinchemikalien die Produktprofitabilität stark von der benötigten Zeitdauer bis zur Kommerzialisierung („time to market“) abhängt. Für die Entwicklungszeit für den Produktionsprozess bleiben nur wenige Monate bis 1-2 Jahre. Deshalb kommen bei der Etablierung des Produktionsprozesses ganz überwiegend Technologien zum Einsatz, die bereits vorrätig sind bzw. in kurzer Zeit mit absehbarem Erfolg an die Problemstellung adaptiert werden können. Hier hatte die Biotechnologie noch Probleme. In den letzten Jahren wurden jedoch verschiedene Ansätze und Technologien entwickelt, die eine rasche und kostengünstige Anpassung von (Bio-)Katalysatoren ermöglichen (Kapitel 2.2.2.2), und es entstehen Firmen, die sich auf diese Dienstleistung spezialisiert haben.

Bulkchemikalien

Wenn auch der Einsatzbereich biotechnischer Verfahren aktuell und künftig primär bei der Herstellung von Fein- und Spezialchemikalien liegt, so ist in jüngerer Zeit das Interesse gewachsen, das Potential biotechnischer Ansätze auch für die Synthese von Massenchemikalien auszuloten. Die Produktion von Bulkchemikalien ausgehend von Biomasse unterscheidet sich in wesentlichen Punkten von der biotechnischen Produktion von Fein- und Spezialchemikalien (Tabelle 2.12) und stellt damit besondere Herausforderungen an die Entwicklung wettbewerbsfähiger Bioprozesse.

Tabelle 2.12: Grundlegende Unterschiede in der Produktion von Fein- und Bulkchemikalien

	Bulkchemikalien	Feinchemikalien
Produktionsvolumen	groß (> 20.000 t/Jahr)	klein (1-10.000 t/Jahr)
Produktpreise	niedrig	hoch
Gewinnspannen	gering	hoch
Lebenszyklus der Prozesse bzw. Produkte	lang	kurz
Chemie	einfach	anspruchsvoll
Art der Innovation	Prozess	Produkt
Wettbewerb	Kosten	Performance

Quelle: Marscheider-Weidemann und Hüsing 2004; Patel et al. 2006

Tabelle 2.13: Übersicht über derzeit biotechnisch aus Biomasse hergestellte Massenchemikalien

Bulkchemikalie	Weltjahresproduktion (Mio. t/Jahr)
Ethanol	32
Glucose	5-20
Fructose	10,1
Aceton	3 (aufgegeben)
L-Glutaminsäure	1,5
1-Butanol	1,2 (aufgegeben)
Sorbit	1,1
Citronensäure	1,0
Glycerin	0,75 (keine biotechnische Herstellung)
L-Lysin	0,7
Furfural	0,2-0,3 (keine biotechnische Herstellung)
Essigsäure	0,19 (fermentativ hergestellt)
Milchsäure	0,15*)
Polymilchsäure (PLA)	0,14*)
Propionsäure	0,13 (inkl. nicht-biotechnischer Prozesse)
Gluconsäure	0,1
Vitamin C	0,08
Alkylpolyglycoside	0,05-0,07
L-Sorbose	0,05
Xanthan	0,04
Zuckeralkohole, z. B. Erithritol	0,03
L-Threonin	0,03
Vitamin B2	0,03
Äpfelsäure	0,025

*) Angabe ist Kapazität, nicht Produktion

Quelle: Patel et al. 2006

Bereits heute wird eine größere Anzahl an Massenchemikalien biotechnisch auf Biomassebasis hergestellt (Tabelle 2.13). Dies steht im Gegensatz zu der weit verbreiteten Annahme, dass biokatalytische Verfahren nur für die Fein- und Spezialchemikalienproduktion geeignet seien. Gleichwohl ist zu konstatieren, dass diese Produkte nur einen sehr kleinen Anteil an der Gesamtchemikalienproduktion haben und zudem überwiegend Anwendung im Lebens- und Futtermittelsektor sowie als Kraftstoff finden. Dennoch werden sie als Türöffner und Schrittmacher für die Erschließung neuer Bioprozesse für Bulkchemikalien eingeschätzt, was jedoch noch erhebliche Anstrengungen in den kommenden Jahrzehnten erfordern wird. Hierzu gehört nicht nur die konsequente und erfolgreiche Anwendung der in Kapitel 2.2.2.2 beschriebenen Technologien, sondern auch die Erschließung neuer Biomassequellen, z. B. von Lignocellulose, für fermentative Verfahren.

Es lassen sich die folgenden Strategien identifizieren, nach denen der Markt für künftig biotechnisch hergestellte Bulkchemikalien erschlossen werden kann:

- *Direkte Substitution einer bislang petrochemisch hergestellten Bulkchemikalie:* Bei dieser Strategie wird eine Bulkchemikalie, die zurzeit aus petrochemischen Rohstoffen chemisch hergestellt wird, durch eine identische Substanz ersetzt, die biotechnisch aus Biomasse hergestellt würde. Beispiele sind biotechnisch hergestellte Essigsäure, die petrochemisch produzierte ersetzt 1,3-Propandiol oder 1,2-Propandiol, das durch Hydrogenierung von fermentativ hergestellter Milchsäure statt durch chemische Synthese erhalten wird; oder Ethylen, das aus Bio-Ethanol statt durch Cracken von Naphtha gewonnen wird. Vorteile dieser Strategie liegen darin, dass die Märkte schon entwickelt und die Markttreiber und Wettbewerber gut bekannt sind. Nachteilig ist allerdings, dass die biobasierten Produkte in einem Kostenwettbewerb mit optimierten Prozessen in ggf. bereits abgeschriebenen Anlagen bestehen müssen.
- *Wettbewerb auf Funktionalitätsbasis:* Diese Strategie beruht darauf, dass das biotechnische Produkt nicht notwendigerweise identisch mit dem petrochemischen sein muss, sofern vergleichbare oder sogar überlegene Funktionalitäten bereitgestellt werden können. Beispiele sind biobasierte Polymilchsäure, die die petrochemisch hergestellten Polymere PET, Polystyren, Polypropylen ersetzen könnte; oder PTT auf Basis von Bio-1,3-Propandiol, das Nylon oder PET substituieren könnte; oder biobasiertes Ethyllactat, das andere organische Lösungsmittel ersetzen könnte. Der Preiswettbewerb mit petrochemischen Konkurrenzprodukten könnte gemildert werden, wenn die biobasierten Produkte Qualitätsvorteile bieten oder neuartige Anwendungsbereiche erschließen könnten. Besondere Herausforderungen stellen sich, wenn es sich um neue, bislang auch nicht auf petrochemischer Basis produzierte Produkte handelt, da dann nicht nur biotechnische Herstellverfahren entwickelt, sondern auch die entsprechenden Zielmärkte erstmalig unter hohem Ressourcen- und Zeitbedarf systematisch erschlossen werden müssten. Beispiele sind Polymere

mit Bernsteinsäure als Polymerbaustein, 2,5-Furandicarboxylsäure als funktionelles Substitut für Terephthalsäure, oder Isosorbid-Diester als neuer Weichmacher.

- *Plattformchemikalien als Ausgangspunkt interessanter Produktbäume:* Diese Strategie fokussiert auf Plattformchemikalien, von denen ausgehend ein großes Produktportfolio durch weitergehende (chemische oder biotechnische) Umsetzungen und Derivatisierungen erschlossen werden kann, und die deshalb in großen Mengen benötigt werden. Als vielversprechende Kandidaten werden beispielsweise Milchsäure, Bernsteinsäure, Lävulinsäure oder Sorbit eingeschätzt.
- *Verwertung aller Biomassebestandteile:* Für die Wirtschaftlichkeit von Prozessen, die von Biomasse als Rohstoff ausgehen, ist entscheidend, inwieweit es gelingt, auch Nebenprodukte und Reststoffe einer möglichst hochwertigen Nutzung zuzuführen. Verbindungen, die in großen Mengen in Biomasse vorkommen, aber zugleich potenziell in vielfältiger Weise nutzbar sein könnten, sind Glycerin, Xylose und Arabinose, Lävulinsäure und Lignin.

Produktionsplattform Gentechnisch veränderte Pflanzen

Synergien zwischen industrieller, weißer Biotechnologie und grüner Gentechnik bestehen zumindest dort, wo mit Hilfe der grünen Gentechnik Biomassesubstrate zu niedrigeren Kosten bzw. höherer Qualität (z. B. leichtere Umwandlung in fermentierbare Substrate, weniger Hemm- und Reststoffe) bereitgestellt werden können. Inwieweit sich auch wesentliche Prozessschritte in grüne Pflanzen verlagern lassen, so dass sie eine alternative Produktionsplattform für Chemikalien darstellen, ist aus heutiger Sicht schwierig zu beurteilen. Zumindest für wasserlösliche Substanzen mit niedrigem Molekulargewicht sollten Mikroorganismen die grundsätzlich besser geeignete Produktionsplattform darstellen, wenn sie diese Metabolite ins Medium sekretieren können, da für pflanzliche Produktionssysteme die osmotischen Effekte der Akkumulation hoher Produktkonzentrationen nachteilig sein dürften. Für komplexe Produkte mit hohem Molekulargewicht hingegen könnten industrielle weiße Biotechnologie und die Grüne Gentechnik durchaus konkurrierende Ansätze darstellen. Beispiele sind

- Herstellung modifizierter Kohlenhydrate (Stärke, Fruktane, Cellulose) mit neuartigen technologischen oder biologischen Eigenschaften,
- Substitution der derzeitigen Fructoseherstellung (enzymatische Stärkehydrolyse und Glucoseisomerisierung) durch die Gewinnung von Polyfructanen aus gentechnisch veränderten Pflanzen und deren enzymatischer Hydrolyse,
- Substitution der Derivatisierung natürlicher Öle durch die Synthese maßgeschneiderter Öle in gentechnisch veränderten Pflanzen,
- Produktion neuartiger Polymere in Pflanzen (z. B. Polyhydroxyalkanoate, Proteinfasern, Aminosäurepolymere).

2.5.2.6.2 Lebensmittel- und Getränkeherstellung

Da sich die Ursprünge der Biotechnologie in der Lebensmittel- und Getränkeherstellung finden, werden biotechnische Ansätze traditionell bereits bei einer Vielzahl von Verfahren auf drei Ebenen eingesetzt (Menrad et al. 2003):

- *Landwirtschaftliche Urproduktion:* Bio- und gentechnische Verfahren spielen in der landwirtschaftlichen Pflanzen- und Tierproduktion eine Rolle.
- *Analytik, Prozess- und Qualitätskontrolle und Lebensmittelüberwachung:* Molekularbiologische Analyse- und Nachweisverfahren werden in der Rohstoff- und Produktanalytik, in der Prozesssteuerung, sowie in der Qualitätskontrolle und Lebensmittelüberwachung eingesetzt. Neben lebensmittelspezifischen Qualitätsparametern (z. B. Gehalt an wertgebenden Inhaltsstoffen) sind Verfahren für die Reinheits- und Identitätskontrolle, den Herkunftsnachweis, für die Überprüfung des Hygienezustands, der Nachweis der Verwendung gentechnisch veränderter Organismen bzw. Rohstoffe sowie für den Gehalt an Schadstoffen, Allergenen oder antinutritiven Substanzen von besonderem Interesse.
- *Lebensmittelverarbeitung:* Zahlreiche Lebensmittel werden durch fermentative bzw. enzymatische Verfahren hergestellt, so dass zu ihrer Herstellung Starterkulturen und Enzyme eingesetzt werden. Beispiele sind Brot und Backwaren (Hefen und Sauerteigkulturen), alkoholische und andere fermentierte Getränke, die Herstellung von Milchprodukten wie Käse, Joghurt, Kefir, lactosereduzierter Milchprodukte oder fermentierte Milchgetränke, die Herstellung von Fleischwaren (Starterkulturen für Rohwurst- und Schinkenherstellung, Enzyme für die Fleischextraktherstellung), der Einsatz von Enzymen in der Frucht- und Gemüsesaftherstellung, Obst- und Gemüseverarbeitung durch Fermentation (z. B. Sauerkraut, Sojaprodukte). Darüber hinaus werden enzymatische Verfahren zur Modifikation der Makronährstoffe Kohlenhydrate, Proteine und Öle und Fette eingesetzt. So erfolgt beispielsweise die enzymatische Stärkehydrolyse zu Glucose und die Isomerisierung zu Glucose-Fructose-Sirups im großtechnischen Maßstab (Weltjahresproduktion je 5-20 Mio. t). Die enzymatische Herstellung von Proteinhydrolysaten ist Stand der Technik, die enzymatische Produktion bioaktiver Peptide in der Entwicklung. Durch enzymatische Modifizierung von Fetten und Ölen können u. a. strukturierte Lipide oder Öle mit erhöhtem ernährungsphysiologischen Wert hergestellt werden. Ein weiterer bedeutsamer Anwendungsbereich ist die biotechnische Herstellung von Hilfsstoffen, insbesondere Enzyme. Der Weltmarkt für Enzyme, die für Lebensmittelanwendungen eingesetzt werden, beläuft sich 2005 auf etwa 750 Mio. US\$. Hauptanbieter von Lebensmittelenzymen sind Novozymes, DSM, Danisco und AB Enzymes. Eine Übersicht über enzymatische Verfahren in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie gibt Tabelle 2.14. Darüber hinaus ist die biotechnische Herstellung von Zusatzstoffen ein Wachstumsmarkt (insbesondere Geschmacksverstärker, Süßstoffe, Aminosäuren, Vitamine, Aromen, Farbstoffe, Konservierungsstoffe, Emulgatoren, Verdickungs- und Feuchthaltemittel). Der Markt für – biotechnisch herstellbare – Inhaltsstoffe von funktionellen Lebensmitteln beläuft sich in Europa zurzeit auf etwa 1 Mrd. €. Daran

haben Carotinoide den größten Anteil (29 %), gefolgt von den Vitaminen C und E (22 %) und mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFAs) (18 %), sowie sekundären Pflanzenstoffen (5-7 %). Allerdings werden diese Substanzen nur zu 30 % des Marktvolumens in funktionellen Lebensmitteln eingesetzt. Weitere Anwendungsgebiete sind Tierfutterzusätze (33 %), Nahrungsergänzungsmittel und rezeptfreie Medikamente (26 %), Farbstoffe und Prozesshilfsmittel in der Lebensmittelverarbeitung (5 %) sowie Pharmazeutika- und Kosmetikbestandteile (4 %) (TAB 2005).

Seit Jahren ist in der Lebensmittelindustrie ein Trend zu einerseits sehr preiswerten Produkten, andererseits zu hochpreisigen und qualitativ hochwertigen Produkten zu verzeichnen, während das mittlere Preis- und Qualitätssegment immer mehr ausdünnert. Gleichzeitig ist der Wettbewerb intensiv und die Gewinnspannen in den meisten Marktsegmenten gering. Überdurchschnittliche Margen können jedoch in bestimmten Teilsegmenten (zumindest temporär) realisiert werden, darunter Convenience Food, Funktionelle Lebensmittel mit besonderem Gesundheitsnutzen sowie Lebensmittel, die Modetrends oder besondere Zielgruppen bedienen (z. B. internationale Spezialitäten („ethnic food“); Sportlernahrung, Partygetränke) (Menrad 2001). Vor diesem Hintergrund kommt der Biotechnologie in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie – zusätzlich von den traditionellen biotechnischen Verfahren – wachsende Bedeutung zu, wenn sie signifikante Beiträge leistet zu folgenden Zielen:

- Kostensenkung durch Ertrags- und Ausbeuteerhöhung, Verkürzung von Prozessdauer und Reifezeiten, dadurch höherer Durchsatz durch die Anlagen, Erschließung kostengünstiger Rohstoffe, Vermeidung von Fehlproduktionen und Qualitätsmängeln, Verringerung der erforderlichen Zahl der Prozessschritte, Valorisierung bzw. Verringerung von Rest- und Abfallstoffen,
- Erhöhung von Prozesssicherheit und -stabilität,
- Erhöhung der Produktqualität bzw. Gewährleistung eines einheitlich hohen Niveaus,
- Innovative Produkte mit höheren Gewinnmargen, insbesondere Lebensmittel und Getränke mit gesundheitlichem Zusatznutzen (Funktionelle Lebensmittel und Getränke) (TAB 2005, Menrad 2003, Menrad et al. 2000), Convenience-Lebensmittel, Lebensmittel für besondere Zielgruppen mit besonderen Ernährungsansprüchen (z. B. Babies, Senioren, Sportler, Allergiker).

Hierfür werden die in Kapitel 2.2.2.2 dargelegten Technologien eingesetzt. Eine Besonderheit des Lebensmittelmarktes innerhalb der industriellen weißen Biotechnologie ist es, dass der Einsatz insbesondere gentechnisch veränderter Lebensmittelrohstoffe und gentechnisch veränderter Starterkulturen, in geringerem Maße auch von Enzymen und Zusatzstoffen, die mit Hilfe gentechnisch veränderter Organismen produziert wurden, durch die ablehnende Haltung von Handel und Verbrauchern stark eingeschränkt ist (Gaskell et al. 2006, Lusk et al. 2005, Marris et al. 2001). Deshalb werden die Po-

tenziale der Genomik und gentechnischen Optimierung zwar durchaus im Rahmen von Forschungsarbeiten ausgelotet, für die eigentliche Produktion zurzeit aber nicht bzw. nur für permissivere Teilmärkte eingesetzt. Um Kundenbedürfnissen Rechnung zu tragen, werden Produkte teilweise in verschiedenen Versionen („mit Gentechnik“, gentechnikfrei) angeboten.

Tabelle 2.14: Einsatzbereiche von Enzymen in der Lebensmittel- und Getränkeproduktion

Teilbereich	Wirkprinzip bzw. Prozess/Ziel des Enzymeinsatzes
Stärkeindustrie	Stärkemodifikation Stärkeverarbeitung zu Dextrinen, Glucose, Maltose, Fructosesirups
Milchverarbeitung	Einsatz von Enzymen zur Käseherstellung Einsatz von Enzymen zur Beschleunigung der Käsereifung, zur Produktion von Geschmacksstoffen Verhinderung von Fehlgärungen durch Lysozymzusatz Herstellung lactosereduzierter Milch durch enzymatische Lactosespaltung
Alkohol-, Bier- und Weinherstellung	Steigerung der Vergärbarkeit, Verkürzung/Effizienzsteigerung des Mälzprozesses Abbau von Trübstoffen, Verbesserung der Filtrierbarkeit Erhöhung der Traubensaftausbeute, Beeinflussung der Farbstofffreisetzung Stickstoffsteuerung, Kältestabilisierung
Obst- und Gemüseverarbeitung, Safterstellung	Schonende Mazerierung, Erhöhung der Saftausbeute, Effizienzsteigerung beim Pressen, Verbesserung der Filtrierbarkeit
Backwarenherstellung	Verbesserung der verfahrenstechnischen Eigenschaften und der Backeigenschaften der Teige und Mehle Erhöhung der Gebäckhaltbarkeit
Synthesen von Farb-, Aroma-, Geschmacksstoffen und Vitaminen	Substitution von chemischen Synthesen durch Biosynthesen
Fleischverarbeitung	Fleischzartmachung
Proteinverarbeitung	Gelatineproduktion aus Häuten und Knochen Herstellung bioaktiver Peptide
Öl/Fettverarbeitung	Enzymatische Entschleimung von Pflanzenölen Enzymatische Modifikation von Fetten zur Gewinnung von Mono- und Diglyceriden, von strukturierten Lipiden

Quelle: eigene Darstellung (Basis: Literaturquellen s. Beginn Abschnitt 2.5.2.6)

2.5.2.6.3 Umwelttechnik

Im Rahmen dieser Studie sind insbesondere Beiträge, die biotechnische Verfahren im Rahmen industrieller Produktionsprozesse in der Chemie-, Lebensmittel- und Getränke-, Textil-, Papier- und Zellstoff- und Lederindustrie zu einem produktionsintegrierten Umweltschutz leisten können, von Relevanz. Sie werden in den entsprechenden Branchenkapiteln ausführlich behandelt. Für weiterführende Literatur siehe Hüsing et al. 1998; OECD 1998; Hüsing et al. 2000; OECD 2001; Gaisser et al. 2002; Hüsing et al. 2003b; Marscheider-Weidemann, Hüsing 2004.

Von großer Bedeutung, allerdings nicht Gegenstand dieser Studie sind biotechnische Verfahren im nachsorgenden Umweltschutz: Breit etabliert sind insbesondere biotechnische Verfahren der Wasser- und Abwasserbehandlung und der Behandlung von festen Abfällen und Reststoffen, z. B. durch Kompostierung oder mit dem Ziel der Biogasgewinnung. Darüber hinaus kommen Biofilter und Biowäscher in der Abluftbehandlung zur Entfernung von Geruchsstoffen und toxischen Substanzen zum Einsatz. Kontaminierte Böden und Standorte können mit Hilfe biotechnischer Verfahren behandelt und saniert werden. Biotechnische Verfahren spielen auch in der Umweltanalytik und -überwachung eine Rolle (Paitan et al. 2003).

2.5.2.6.4 Textilherstellung und -veredelung

Biotechnische Verfahren werden in der überwiegend auf nasschemischen Prozessen beruhenden Textilherstellung und -veredelung erst seit wenigen Jahren eingesetzt, doch wächst ihre Bedeutung. Die aktuellen und potenziellen Einsatzbereiche liegen in (Ramachandran und Karthik 2004, Holme 2004, Duran und Duran 2000)

- der Bereitstellung von Faserrohstoffen bzw. der Fasererzeugung,
- der Analytik und Qualitätskontrolle,
- der Aufbereitung der Fasern zu Textilien und deren Veredelung,
- der Bereitstellung von Prozesshilfsstoffen, die aus Biomasse bzw. mit Hilfe biotechnologischer Verfahren hergestellt werden,
- Beiträgen zur Entwicklung „intelligenter“ Textilien („smart textiles“).

Darüber hinaus kann die Textilindustrie auch Spezialgewebe für die Biotechnologie bereitstellen, die beispielsweise als Trägermaterialien für Enzyme oder für Zellen und Gewebe im Rahmen des Tissue Engineering eingesetzt werden könnten.

Nur der Vollständigkeit halber seien auch biotechnische End-of-pipe-Verfahren zum nachsorgenden Umweltschutz erwähnt, die speziell für den Einsatz in der Textil(veredelungs)industrie angepasst wurden, die jedoch nicht zum Gegenstandsbereich

dieser Studie gehören. Hierzu zählen z. B. der mikrobielle bzw. enzymatische Abbau von Farbstoffen und Textilhilfsmitteln wie z. B. der Einsatz von Peroxidasen für die Abwasserentfärbung.

Im Folgenden wird auf die oben erwähnten Anwendungsbereiche näher eingegangen.

Bereitstellung von Faserrohstoffen bzw. Fasererzeugung

Stand der Technik ist die markergestützte Züchtung von faserliefernden Nutzpflanzen. Zudem wird in großem Umfang gentechnisch veränderte Baumwolle angebaut. Nach Angaben der ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications) belief sich die Weltanbaufläche für insekten-, herbizid- und insekten- und herbizid-resistente Baumwolle 2005 auf 9,8 Mio. Hektar und damit auf 28 % der Weltanbaufläche für Baumwolle (35 Mio. Hektar) (James 2005). Bislang hat nur die gentechnische Veränderung von Input-Traits kommerzielle Bedeutung erlangt, an der gentechnischen Modifikation von Fasereigenschaften wird jedoch geforscht. Hierzu gehört die Entwicklung gentechnisch veränderter Baumwollsorten mit farbigen Fasern - dadurch soll der Einsatz von Bleich- und Farbstoffen in der Textilveredlung verringert werden können (Hamlyn und McCarthy 2001). Von Interesse ist auch die Verbesserung der Eigenschaften von Flachs- und Hanffasern (Ebskamp 2002). Bei tierischen Fasern ist die Verbesserung der Produktivität von Seidenspinnern, Schafen und Ziegen und die Veränderung der Fasereigenschaften von Naturseide bzw. Wolle Gegenstand der Forschung.

Darüber hinaus bietet die Gentechnik die Möglichkeit, durch heterologe Expression von Genen, die an der Faserbiosynthese beteiligt sind, Naturfasern in heterologen Wirten herzustellen und damit erstmalig einer technischen Nutzung überhaupt zugänglich zu machen. Im Erfolgsfall besteht die Option, Modifikationen in solche heterolog produzierten Fasern einzuführen. Paradebeispiel hierfür sind Forschungsarbeiten, die auf die Produktion künstlicher Spinnenseide z. B. in Nutzpflanzen oder Nutztieren abzielen (Lazaris et al. 2002, Scheibel 2004, Scheller und Conrad 2004).

Darüber hinaus werden künftig biobasierte Polymerfasern an Bedeutung gewinnen. Bereits kommerzialisiert sind Polymerfasern auf der Basis von Polymilchsäure (PLA), die durch Polymerisierung von biotechnisch aus Maisstärke hergestellter Milchsäure hergestellt werden, sowie Polypropylenterephthalat-Fasern, die den biotechnisch hergestellten Baustein 1,3-Propanediol enthalten. Die Entwicklung und Kommerzialisierung ähnlicher Polymere wird für die kommenden Jahrzehnte erwartet (Crank et al. 2004).

Analytik und Qualitätskontrolle

Biotechnische Analyseverfahren können eingesetzt werden für

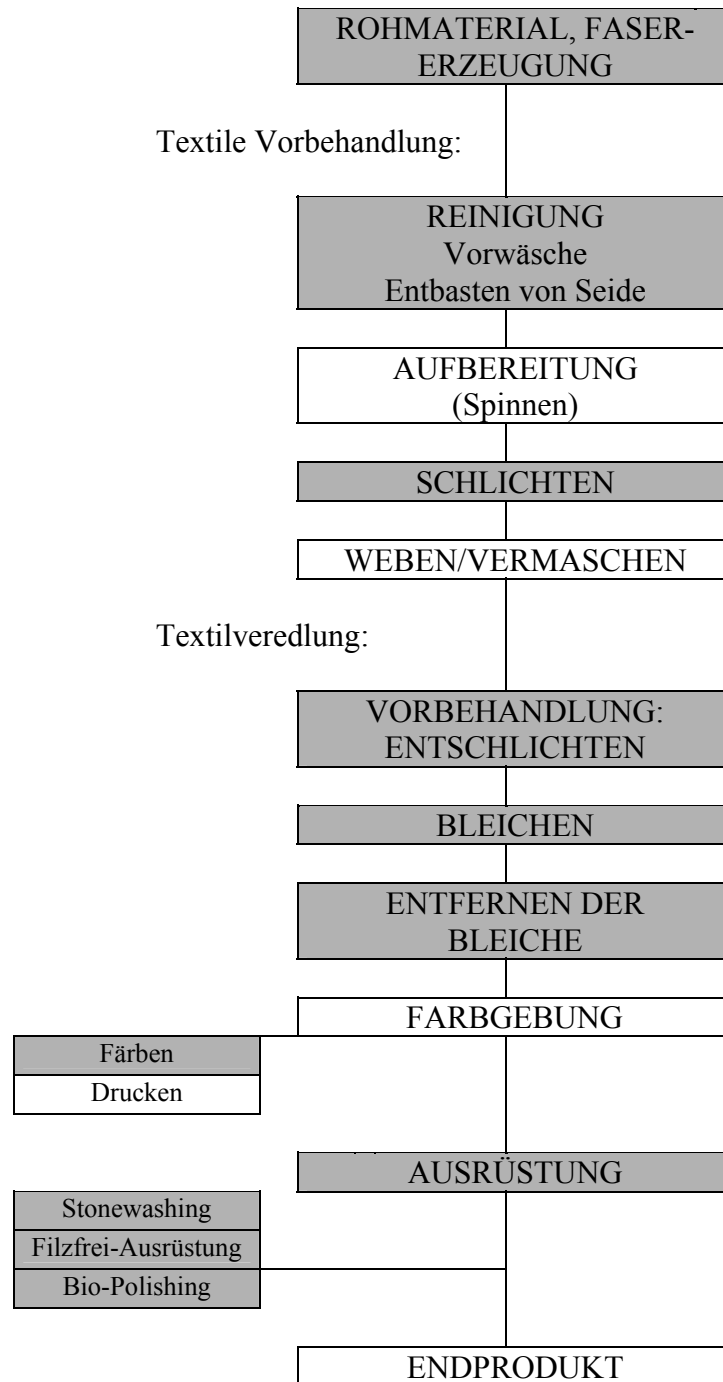
- Selektive Nachweise von Flotteninhaltsstoffen in der Prozess- und Abwasserkontrolle,
- Identitätsnachweise von Fasern, z. B. zur Qualitäts- und Identitätsüberprüfung, ob Textilien korrekt deklariert sind,
- Mikrobielle Prüfverfahren von Textilien.

Aufbereitung der Fasern zu Textilien und deren Veredelung

Wachsende Bedeutung kommt dem Einsatz von Enzymen bei der Gewebeerstellung und -veredelung zu. Enzyme können in der Textilveredelung dort eingesetzt werden, wo Gewebe für nachfolgende Prozess-Schritte vorbereitet werden. Hierzu zählen die Entschlichtung von Geweben, das Bleichen und die Entfernung von Bleichmittelresten, das Färben sowie das Ausrüsten bestimmter Gewebearten. Für die Herstellung der Rohware durch Spinnen, Weben und Vermaschen konnten hingegen keine vergleichbar relevanten biotechnischen Verfahren identifiziert werden. Durch den Einsatz biotechnischer Verfahren können neue Produktqualitäten erzielt, Prozessschritte eingespart und einfacher steuerbar werden sowie der Verbrauch an Wasser, Chemikalien und Energie reduziert werden. Abbildung 2.38 fasst die möglichen Einsatzbereiche biotechnischer Verfahren entlang der Verfahrensschritte der Textilherstellung zusammen.

- *Vorwäsche*: In der Vorwäsche werden Faserbegleitstoffe, die die späteren Veredelungsschritte stören könnten, von den Fasern entfernt. Stand der Technik sind enzymatische Verfahren zum Entbasten von Seide sowie das enzymatische Bioscouring von Baumwolle mit Hilfe von Pektinasen und Cellulasen. Letzteres wurde als Alternative zum alkalischen Abkochen entwickelt (Tzanov et al. 2001). Die Auszeichnung dieses Verfahrens mit dem United States Presidential Green Chemistry Award 2001 hatte nach Meinung von Kirk et al. (2002) eine Schrittmacher- und Signalfunktion für die Einführung weiterer enzymatischer Aufarbeitungsschritte in der Produktion von Baumwolltextilien. Im Entwicklungsstadium befinden sich enzymatische Verfahren zur gleichzeitigen Entfernung von Begleitsubstanzen der Baumwolle und zur Entschlichtung (Opwis et al. 2006) sowie die Kombination von enzymatischer Bleiche, Entschlichtung und Vorbehandlung in einem Verfahrensschritt.

Abbildung 2.38: Überblick über die aufeinander folgenden Verfahrensschritte bei der Textilherstellung (textile Kette).



Anwendungsbereiche für biotechnische Verfahren

Quelle: Hüsing et al. 1998

- *Schlichten und Entschlichtung*: Das Schlichten, d. h. die Beschichtung der Kettfäden zur Erhöhung der Reißfestigkeit erfolgt konventionell mit Gelatine, Guar- oder Johannisbrotkernmehl, Polyvinylalkohol, Methacrylat, wasserlöslichen Cellulosederivaten, Stärkeprodukten und weiteren wasserlöslichen Polysacchariden. Bei Verwendung von wasserlöslichen Polysacchariden sind die Schlichten leichter auswaschbar und tragen damit zur Kosteneinsparung bei. Beim Entschlichten ist die Entschlichtung von Stärkeschlichten mit Amylasen Stand der Technik. Sie wird von vielen Firmen routinemäßig eingesetzt. Künftig könnte die enzymatische Entschlichtung mit einer Wertstoffgewinnung aus den hoch BOD-belasteten Abwässern gekoppelt werden. Weitere Potenziale liegen in der biotechnischen Herstellung neuer Schlichtematerialien sowie in der Entwicklung enzymatischer Entschlichtungsverfahren auch für synthetische Schlichten (Polyvinylalkohol, Polyacrylate).
- *Bleichen*: In der Jeansstoffveredlung wurde das konventionelle Bleichverfahren durch eine Biobleiche mit dem Laccase-Mediator-System substituiert.
- *Enzymatische Entfernung von Bleichmittelresten*: Praxisreife hat die enzymatische Entfernung von Resten des Bleichmittels H_2O_2 mit Katalasen und Peroxidasen erlangt. Inzwischen wird dieser Prozess in der industriellen Fertigung eingesetzt. Eine ökologische und ökonomische Kosten-/Nutzenanalyse wurde von Etschmann et al. 1999 durchgeführt, in dem gezeigt werden konnte, dass sich 6-8 % der Kosten im Vergleich zum herkömmlichen Verfahren einsparen lassen. In der Entwicklung befinden sich optimierte Enzyme, die auch für den Einsatz in kontinuierlichen Prozessen geeignet sind.
- *Färben*: Um die Fixieraten von Stoffen an die Faser zu erhöhen, wird erforscht, wie die Fasern enzymatisch so modifiziert werden können, dass „Andockstellen“ für Farb- oder Ausrüstungshilfsstoffe an der Faseroberfläche geschaffen werden. Außerdem kann die Farbstoffverankerung an der Faser selbst enzymatisch katalysiert werden. Entsprechende Enzyme stehen kurz von der Markteinführung. Die Substitution chemisch-synthetischer durch biosynthetisch hergestellte Farbstoffe und Pigmente ist eine weitere Option für biotechnische Verfahren in der Textilveredlung.
- *Enzymatisches Stonewashing (Biostoning)*: Seit 1989 werden Cellulasen eingesetzt, um Bimssteine, die zur Erzielung des „Used-Look“ in der Jeansmode verwendet werden, teilweise oder ganz zu ersetzen. Der Durchdringungsgrad bei der Herstellung von Denimjeansstoffen liegt bei fast 100 %. Cellulasen können auch bei anderen Wash-out-Artikeln als Jeans zum Erzielen von modischen Oberflächeneffekten angewandt werden. Eine Neuentwicklung, die bereits vereinzelt von Textilveredlern eingesetzt wird, ist ein Enzym-Mix-Präparat, welches ermöglicht, Entschlichtung und Biostoning in einem Verfahrensschritt durchzuführen.
- *Filzfrei-Ausrüsten von Wolle*: Seit vielen Jahren wird die Antifilzausrüstung von Wolle mit Hilfe von Enzymen erforscht (Breier 2000), doch konnten sich die resultierenden Verfahren noch nicht flächendeckend durchsetzen. Hauptproblem ist zurzeit, dass die Qualität des enzymatischen Filzfrei-Ausrüstens nicht den Kriterien des

Wollsiegel-Gütezeichens entspricht und den potenziellen Anwendern dadurch Nachteile beim Absatz des Produkts entstehen.

- *Enzymatische Strukturveränderungen von Wolle:* Stand der Technik, jedoch aus Kostengründen nur selten technisch angewendet, ist der Einsatz von Proteasen zum Erzielen verschiedener Griffvariationen (z. B. kaschmirähnlicher Griff, Veredlung billiger Qualitäten).
- *Biopolishing:* Seit 1988 werden Cellulasen zur Veredlung von Baumwollgeweben und Viskose eingesetzt, um folgende Effekte zu erzielen: geringere Bildung von am Gewebe haftenden Flusenbällchen (Pillings), die das Gewebe unansehnlich und abgetragen aussehen lassen, Erzielung von Weichgriff, Glanz, Glätte und guter Oberflächenoptik. Biopolishing verbessert auch die Qualitätseigenschaften neuartiger Regeneratcellulosefasern. Der Einsatz von Cellulasen ist in der kommerziellen Anwendung verbreitet, allerdings durch das Produktionsvolumen der Regeneratfasern begrenzt.

Potenziale zur Ausweitung des Einsatzes der oben angeführten Verfahren werden in ihrer Übertragung auf andere, bislang wenig genutzte Naturfasern wie z. B. Hanf gesehen. Da Kunstfasern aber einen größeren Anteil am Textilmarkt haben als Naturfasern, bestehen Herausforderungen darin, Verfahren zur enzymatischen Modifikation und Funktionalisierung auch für Kunstfasern zu entwickeln.

Bereitstellung von Prozesshilfsstoffen, die aus Biomasse bzw. mit Hilfe biotechnologischer Verfahren hergestellt werden

Zu den biotechnisch hergestellten Prozesshilfsstoffen, die bereits breit eingesetzt werden bzw. werden können, zählen Enzyme, Stärkeschichten sowie grenzflächenaktive Substanzen (Biotenside). Potenziale liegen in der Herstellung von Textilfarbstoffen. siehe Künftig könnten Textilfarbstoffe wie z. B. Indigo biotechnisch produziert werden. Die mikrobielle bzw. enzymatische Hilfsstoffproduktion in Färbe- und Waschprozessen mit Bestandteilen der Abwasserflotten als Substrat ist Gegenstand aktueller Entwicklungsarbeiten.

Beiträgen zur Entwicklung „intelligenter“ Textilien („smart textiles“)

Textilien können auch als Träger für die Immobilisierung von Enzymen eingesetzt werden. Erste Anwendungen könnten Filter sein, die sich selbst enzymatisch reinigen bzw. durch Beschichtung z. B. mit Antikörpern oder Sonden selektiv Substanzen binden und dadurch die Filterleistung spezifisch erhöhen. Vorteile textiler Filtermaterialien liegen in ihrer Durchströmbarkeit und ihrer variablen Form. Darüber hinaus sind „smart textiles“ und Schutzkleidung, z. B. mit integrierten Biosensoren, möglich.

Spezialgewebe für die Biotechnologie

Darüber hinaus kann die Textilindustrie auch Spezialgewebe für die Biotechnologie bereitstellen. Zu denken ist beispielsweise an Trägermaterialien für die Immobilisierung von Enzymen, Antikörpern oder Sonden oder an textile Gerüstsubstanzen für Zellen und Gewebe, die im Rahmen des Tissue Engineering eingesetzt werden könnten.

2.5.2.6.5 Lederherstellung

Um tierische Häute zu Leder zu verarbeiten, sind 14 bis 15, meist nasschemische Prozessschritte erforderlich. Sie dienen dazu, die Häute zu reinigen und für die nachfolgenden Prozessschritte aufzuschließen, durch Gerbung zu konservieren und dem resultierenden Leder bestimmte Eigenschaften zu verleihen (Saravanabhavan et al. 2005). Der Einsatz von Enzymen, insbesondere von Proteasen, die die Eiweißstrukturen der Häute modifizieren, hat in der Lederherstellung eine lange Tradition (Choudhary et al. 2004).

Proteasen und Lipasen werden zusammen mit Detergenzien zur Reinigung der Häute und zum Entfernen von Schmutz, Fett und Fleischresten eingesetzt. Durch Einwirkung von Proteasen wird die Oberflächenstruktur der Häute aufgeschlossen, damit z. B. Gerb- und Beizchemikalien besser eindringen und wirken können (Thanikaivelan et al. 2004). Neben einer Erhöhung der Effizienz der eingesetzten Enzyme bestehen Potenziale zur Ausweitung biotechnischer Verfahren über die bislang etablierten Anwendungen hinaus in folgenden Bereichen:

- Enzymatische Enthaarung: Seit Jahren wird an der Entwicklung enzymatischer Enthaarungsverfahren gearbeitet, die die in stark alkalischer Lösung ablaufende chemische Enthaarung ersetzen könnte. Herausforderungen bestehen darin, eine vollständige Haarentfernung zu gewährleisten, ohne die Oberfläche der Häute anzugreifen und damit die Lederqualität zu beeinträchtigen (Gupta und Ramnani 2006, Saravanabhavan et al. 2004).
- Biotechnische Produktion von Prozesshilfsmitteln, wie z. B. pflanzlichen Gerbstoffen oder Biotenside,
- Enzymatische Oberflächenmodifizierung und -funktionalisierung von Häuten zur Erzielung besonderer Effekte und Lederqualitäten,
- Beiträge zum Lederrecycling: Biotechnische Beiträge zum Lederrecycling liegen in der Rückgewinnung von Chrom aus chromgegerbtem Leder, um es wieder in der Gerbung einsetzen zu können, sowie in der Umwandlung von Lederkollagen in nutzbare Produkte.
- Wertstoffgewinnung aus Reststoffen der Lederproduktion: Bei der Lederherstellung fallen Reststoffe biologischen Ursprungs an, wie z. B. Haare, an den Rohhäuten an-

hängende Fleisch- und Fettreste, Lederabschnitte. Neben der etablierten Kompostierung, Umsetzung zu Biogas, Herstellung von Proteinhydrolysaten z. B. für Futtermittel besteht Bedarf, weitere hochwertige Verwertungsmöglichkeiten zu erschließen.

- Einsparung von Prozessschritten (Saravanabhavan et al. 2005).

2.5.2.6.6 Papier-/Zellstoff

Da die Zellstoff- und Papierindustrie den Naturstoff Holz verarbeitet, bieten sich vielfältige Potenziale zum Einsatz biotechnischer Verfahren, beginnend beim Faserrohstoff Holz über die Zellstoff- und Holzstofftechnik sowie Altpapieraufbereitung bis hin zur Papiererzeugung und Papierveredlung sowie der Reststoffverwertung. In der Regel werden Kombinationen aus biotechnischen, chemischen und physikalischen Verfahren favorisiert.

Viele biotechnische Verfahren in der Papier- und Zellstoffindustrie wurden bereits in einzelnen Unternehmen erprobt oder haben im Technikumsmaßstab ihre Anwendungsnähe bzw. -reife bewiesen. Das enzymatische Bleichen von Zellstoff mit Xylanasen sowie der enzymatische Zellstoffaufschluss haben einen gewissen Durchdringungsgrad in der industriellen Anwendung erreicht bzw. es wird ihnen ein hohes Potenzial dafür zugemessen (Bhat 2000, Vigsoe et al. 2002). Die folgenden biotechnischen Verfahren kommen für den Einsatz in der Zellstoff- und Papierindustrie in Betracht:

- *Biopulping*: Unter Biopulping versteht man die Bebrütung von Holzhackschnitzeln mit Weißfäulepilzen (Breen und Singleton 1999). Biopulping erleichtert den mechanischen Holzaufschluss, entfernt beim Kochen das Lignin schneller und ermöglicht eine deutliche Energieeinsparung (El Sakhawy 2002). In Amerika wurde ein Biopulping-Verfahren im 50-t-Maßstab erfolgreich durchgeführt und eine Firma zur Kommerzialisierung des Verfahrens gegründet. Nachteilig ist, dass die Bebrütung der Hackschnitzel über einen so langen Zeitraum erfolgen muss, dass bei der durchschnittlichen Kapazität von Zellstofffabriken sehr große Lagerflächen für die Holzschnitzel erforderlich sind.
- *Cellulaseinsatz bei der mechanischen Zellstofferzeugung*: Die mechanische Zellstofferzeugung wird bisweilen kombiniert mit einer enzymatischen Vorbehandlung durch Cellulasen. Dadurch kann der benötigte Energieeintrag reduziert und die Faserqualität verbessert werden (Bhat 2000).
- *Biobleaching (Biobleiche)*: Biobleichen mit Lignin-abbauenden Enzymen werden nur bei wenigen Kraft-Anlagen älterer Bauart eingesetzt. Zur Bleichung von alkalisch hergestellten Zellstoffen werden Xylanasen weltweit in ca. 20 Zellstoffwerken eingesetzt. In Deutschland wird davon kein Gebrauch gemacht, da bei Sulfitzellstoffen

erwartungsgemäß keine Wirkung von Hemicellulasen nachzuweisen ist. Ein für die Biobleiche interessanteres Enzym ist die Laccase, die in Gegenwart von Cosubstraten, so genannten Mediatoren, Lignin oxidativ abbauen kann (Riva 2006). Das Laccase-Mediator-System ist für die Zellstoffindustrie für die Delignifizierung oder zur Bleiche in größerem Maßstab interessant geworden, seit neue, biologisch abbaubare Mediatoren eine verbesserte und kostengünstigere Verfahrenstechnik versprechen (Bajpai 2004, Bajpai 2005, Rodriguez Couto und Toca Herrera 2006).

- *Enzymatische Entfernung von Störstoffen der Papiererzeugung (Pitch)*. Unter Pitch werden Störstoffe der Papiererzeugung wie Lipide (Mono-, Di-, Triglyceride, Wachse), Harze, freie Fettsäuren und unverseifbare Bestandteile (Sterole) zusammengefasst. Kommerzialisiert und großtechnisch eingesetzt wird unter anderem ein Verfahren der Firma Nippon Paper Industries in Japan, in dem mit einer Lipase, die aus dem Pilz *Candida rugosa* isoliert wurde, eine bis zu 90 %ige Hydrolyse von Triglyceriden erzielt werden kann (Jaeger und Reetz 1998). An der Ausweitung der enzymatischen Verfahren zur Pitch-Kontrolle von mechanischen und Sulfit-Zellstoffverfahren auch auf alkalische Pulpen wird gearbeitet (Gutierrez et al. 2001).
- *Enzymatische Altpapieraufbereitung und -modifizierung*. Zwei Ansätze werden bei der Altpapieraufbereitung verfolgt: die enzymatisch herbeigeführte Verbesserung der Entwässerungseigenschaften und das enzymunterstützte Deinking. Zum enzymatischen Deinken werden Cellulasen, Hemicellulasen, Pektinasen, Ligninasen, Amylasen und Lipasen eingesetzt. Verschiedene Unternehmen in den USA und Niederlanden bieten bereits Technologien und Enzyme für das enzymatische Deinken an. Pilotstudien z. B. an der University of Georgia unter Beteiligung der US-amerikanischen Firma Enzymatic Deinking Companies und ein EU-Kooperationsprojekt zwischen Forschungseinrichtungen und Unternehmen haben die industrielle Einsetzbarkeit sowie die ökonomischen und ökologischen Potenziale des enzymatischen Deinkens demonstriert (Bhat 2000). Entsprechende Verfahren sind inzwischen kommerzialisiert und können zu Qualitätsverbesserungen, Produktivitätsgewinnen und Kosteneinsparungen beitragen (Tausche 2005).

Somit gibt es in der Papier- und Zellstoffindustrie mehrere praxisreife bzw. praxisnahe biotechnische Verfahren. Darüber hinaus ist es Gegenstand längerfristiger Forschungsarbeiten, Holz liefernde Pflanzen mit Hilfe der Gentechnik in Bezug auf ihre Cellulose- und Ligninzusammensetzung zu optimieren, da die Struktur und der Gehalt an Lignin die technische Nutzung von Holz und Holzbestandteilen begrenzt. Strategien zur Ligninmodifizierung zielen ab auf die

- Herunterregulierung der Ligninbiosynthese,
- die Modifikation der Ligninzusammensetzung und -struktur sowie
- die bessere Anpassung des lignocellulosehaltigen Materials an die Verarbeitungsschritte.

Voraussetzung hierfür ist die In-vitro-Vermehrung von Bäumen, somatische Embryogenese für die klonale Vermehrung, effiziente Gentransfersysteme für verschiedene Baumarten mit verschiedenen Holztypen (Hart-, Weich-, Nadelholz), Klonierung und Charakterisierung von Ligninbiosynthesegenen, die gleichzeitige Änderung der Expression mehrerer Gene, und ein umfassendes Verständnis der Ligninbiosynthese. Mittlerweile wurden transgene Pflanzen mit veränderter Expression von einem oder mehreren an der Ligninbiosynthese beteiligten Genen sowohl in Modellorganismen als auch wirtschaftlich bedeutsamen Arten hergestellt (Merkle und Dean 2001, Halpin und Boerjan 2003, Boudet et al. 2003).

Untersuchungen an vier Jahre alten transgenen Pappeln zeigte eine verbesserte Delignifizierung, einen verringerten Chemikalienbedarf und eine höhere Qualität des resultierenden Kraft-Zellstoffs, während das Wachstum der Bäume und ihre Fitness nicht beeinträchtigt waren (Pilate et al. 2002, Chiang 2006). Darüber hinaus konnte auch gezeigt werden, dass sich Lignocellulose aus transgenen Pappeln leichter mit Cellulasen hydrolysieren ließ und damit möglicherweise ein geeignetes Ausgangsmaterial für Ethanolproduktionen auf Lignocellulosebasis darstellt (Dinus 2001, Dinus et al. 2001, Boudet et al. 2003). In den letzten Jahren hat insbesondere in den USA die Zahl und Fläche von Feldversuchen mit ligninmodifizierten Bäumen zugenommen. Daran beteiligt ist u. a. ArborGen, ein Joint Venture aus mehreren der größten holz- und papierverarbeitenden Unternehmen, wie z. B. International Paper, Fletcher Challenge Forests and Westvaco Corp. Diese Unternehmen haben in den letzten Jahren mehr als 60 Mio. US\$ in die Entwicklung transgener Bäume investiert (Nehra et al. 2005). Die Auswirkungen transgener Bäume auf die Umwelt werden in Wissenschaft und Gesellschaft kontrovers diskutiert (TAB 2005).

2.5.2.6.7 Bergbau/ Rohstoffgewinnung

Die Nutzung von acidophilen, chemolithotrophen eisen- und schwefeloxidierenden Mikroorganismen zur Gewinnung von Metallen ist heutzutage eine sehr gut etablierte Technik im Bergbau und wird kommerziell in großem Maßstab betrieben. Das Bioleaching wird zur Gewinnung von Kupfer, Zink, Nickel, Uran und Gold aus Gesteinen oder metallhaltigen Lösungen eingesetzt. Es zeichnet sich durch seine niedrigen Kosten und die einfachen Verfahren aus. Bei diesen Prozessen werden unlösliche Metallsulfide zu löslichen Metallsulfaten oxidiert. Die meisten industriellen Verfahren nutzen mesophile Mikroorganismen. Wesentlich erweiterte Nutzungsmöglichkeiten in Bezug auf die auf diese Weise förderbaren Metalle, auf die laugbaren Gesteinsarten und auf erhöhte Produktivitäten werden jedoch von in der Entwicklung befindlichen Verfahren erwartet, die thermophile Mikroorganismen nutzen (Rawlings 2002, Acevedo 2002).

2.5.2.6.8 (Bio-) Energie und (Bio-) Kraftstoffe

Für die Herstellung von Energieträgern aus Biomasse kommen grundsätzlich mehrere Biomassequellen in Betracht (Claassen et al. 1999). Dies sind

- bioorganische Reststoffe aus industriellen Produktionsprozessen und Siedlungsabfällen;
- bioorganische Reststoffe aus der landwirtschaftlichen Produktion und Verarbeitung, so z. B. Stroh und Stängel;
- Energiepflanzen, die speziell für die Gewinnung von Pflanzenmaterial für die Energieerzeugung angebaut werden, so z. B. Weiden, Pappeln, Miscanthus, Zuckerrohr, Mais.

Biomasse kann direkt oder nach spezifischer Aufarbeitung (thermochemische, physikalisch-chemische oder biochemische Umwandlung) in Form von festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen verwendet werden. Dabei unterscheidet man

- biogene Festbrennstoffe, d. h. holzartige und halmgutartige Brennstoffe (für die vorliegende Untersuchung nicht relevant);
- flüssige Brennstoffe z. B. Pflanzenöle und Pflanzenölmethylester, sowie die durch Fermentation herstellbaren Energieträger Ethanol, Aceton mit Butanol und Ethanol (ABE);
- gasförmige Energieträger, z. B. Wasserstoff, Biogas (Methan).

Die biotechnische Herstellung folgender Energieträger ist bereits in der kommerziellen Nutzung bzw. steht kurz vor der Anwendung.

Ethanol: Ethanol findet Verwendung als Bestandteil alkoholischer Getränke, als Chemiegrundstoff, Lösungsmittel, Treibstoff und Treibstoffadditiv. Mehr als 93 % der Weltethanolproduktion (Stand 2003: 40 Mrd. Liter) werden fermentativ erzeugt (Berg 2004). Stand der Technik ist die Verwendung von Zuckern als Substrat, die aus Zuckerpflanzen extrahiert bzw. aus Stärkepflanzen hergestellt werden, die großvolumige Fermentation durch Hefen zu Ethanol und die anschließende Abtrennung des Ethanols durch Destillation. Für die Verwendung von Ethanol als Treibstoff oder Treibstoffadditiv kann die fermentative Ethanolherstellung aus Zucker oder Stärke derzeit wirtschaftlich nur dann mit petrochemischen Treibstoffen konkurrieren, wenn Subventionen in Form von Steuerbefreiungen gezahlt werden (Schmitz 2003, Schmitz 2005).

Forschungsanstrengungen gehen dahin, andere Kohlenstoffquellen als Substrat, insbesondere lignocellulosehaltige Biomasse einsetzbar zu machen. Dabei besteht Forschungsbedarf für fortgeschrittene Vorbehandlungstechnologien, Prozessintegration und Kostenreduktion, Identifizierung und Entwicklung von Enzymen für eine kombinier-

te Hydrolyse und Fermentation. Darüber hinaus wird Optimierungspotenzial gesehen in (Patel et al. 2006)

- Implementierung moderner Prozesstechnologie, -automatisierung und -steuerung,
- Verbesserungen in der Energiebilanz, indem die Energieeffizienz in allen Prozessschritten, insbesondere in der Produktaufarbeitung, verbessert wird,
- Verbesserte Verfahren zur Nutzung von Rest- und Nebenprodukten, Verfahren für höherwertige Verwertungen dieser Produkte,
- Verwendung von Lignocellulose als Substrat anstelle von Saccharose bzw. Stärkehydrolysaten,
- Verringerung der Bildung der Nebenprodukte Glycerin und Succinat,
- Vermeidung von Kontaminationen des Produktionsprozesses,
- Verringerung der Zahl der erforderlichen Prozessschritte, z. B. durch gleichzeitige Lignocellulose-Verzuckerung und Ethanolfermentation,
- Substratdiversifikation für einen Ganzjahresbetrieb.

Aceton, Butanol, Ethanol (ABE): Durch Fermentation mit *Clostridium acetobutylicum* kann im so genannten Weizmann-Prozess Aceton, Butanol und Ethanol produziert werden. Als Nebenprodukt entsteht Wasserstoff. Die ABE-Fermentation stellte besonders in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts das zweitwichtigste Fermentationsverfahren nach der Ethanolproduktion dar (Dürre 1998). Auf dem Höhepunkt der Produktion hatte die größte Produktionsanlage in den USA eine Kapazität von mehr als 18 Mio. Litern (96 Fermenter mit je 189.250 l). Wegen des zunehmenden Konkurrenzdrucks durch petrochemische Verfahren sank jedoch ab den 1950er-Jahren die Bedeutung der fermentativen Verfahren zur Herstellung von Aceton und Butanol rasch. Eine der letzten großen Fermentationsanlagen, eine in Südafrika betriebene Anlage mit einer Fermenterkapazität von mehr als 1 Mio. l, wurde 1982 geschlossen. DuPont und BP haben im Sommer 2006 angekündigt, dass sie im Jahr 2007 eine kommerzielle Biobutanol-Produktionsanlage mit einer Kapazität von zunächst 30.000 t in Großbritannien in Betrieb nehmen wollen. Als Substrat wird Rübenzucker eingesetzt. Während diese Anlage zunächst mit „konventioneller Technologie“ arbeiten wird, um den Markt für Biobutanol auszuloten (<http://www.bp.com>), besteht mittelfristig Bedarf, folgende Aspekte zu optimieren, um eine großtechnische, wirtschaftlich tragfähige ABE-Fermentation wieder zu etablieren (Qureshi et al. 2005, Qureshi et al. 2004, Ezeji et al. 2004, Gapes 2000, Maddox et al. 2000):

- Senkung der Herstellungskosten durch die Erschließung kostengünstiger, in ausreichender Menge verfügbarer Substrate (z. B. Reststoffe),
- Senkung der Herstellungskosten, indem die Destillation durch eine verbesserte, energieeffizientere Produktgewinnung ersetzt wird,

- Erhöhung der Langzeitstabilität, Verlässlichkeit und Reproduzierbarkeit des Prozesses, u. a. durch Vermeidung von Phagenbefall und der Degeneration von Produktionsstämmen,
- Praktischer Betrieb näher an den theoretischen Grenzen der Ausbeuten und Endproduktkonzentrationen,
- Vollständige, hochwertige Nutzung sämtlicher Fermentationsprodukte.

Wasserstoff. Molekularer Wasserstoff lässt sich biotechnisch mit Hilfe isolierter Enzyme (so genannter Hydrogenasen) oder mit Mikroorganismen erzeugen. Eine biologische Wasserstofferzeugung mit Hilfe von Mikroorganismen ist im Zuge von drei verschiedenen Stoffwechselprozessen möglich:

- (1) Biophotolytische Wasserstofferzeugung im Rahmen der oxygenen Photosynthese,
- (2) Photoproduktion von Wasserstoff aus Biomasse im Rahmen der anoxygenen Photosynthese,
- (3) Wasserstofferzeugung aus Biomasse im Rahmen von Gärungsprozessen.

Diese drei Prozesse unterscheiden sich voneinander hinsichtlich

- der Organismengruppe, die zu der jeweiligen Stoffwechselleistung befähigt sind,
- der beteiligten Enzyme und Enzymsysteme,
- der Lichtabhängigkeit des Stoffwechselprozesses,
- der jeweils genutzten Elektronenquelle und
- der gleichzeitig mit Wasserstoff gebildeten weiteren Stoffwechselprodukte.

Eine Übersicht über die drei wasserstoffliefernden Stoffwechselprozesse gibt Tabelle 2.15.

Tabelle 2.15: Charakteristika der Stoffwechselprozesse, die an der biologischen Wasserstofferzeugung beteiligt sein können

Stoffwechselprozess	Organismengruppe	Licht erforderlich	Elektronendonator	Produkte
Oxygene Photosynthese	Grünalgen, Cyanobakterien	ja	Wasser	Wasserstoff, Sauerstoff
Anoxygene Photosynthese	Phototrophe Bakterien	ja	organische Verbindungen oder reduzierte Schwefelverbindungen	Wasserstoff, Kohlendioxid bzw. Wasserstoff, oxidierte Schwefelverbindungen
Gärung	Gärende Bakterien	nein	organische Verbindungen	Wasserstoff, Kohlendioxid, organische Verbindungen

Quelle: Reiß und Hüsing (1993)

Die biophotolytische Wasserstoffgewinnung stellt den Idealtypus eines biologischen Wasserstofferzeugungssystems dar, da Wasser durch sich selbst regenerierende Biokatalysatoren unter Nutzung des Sonnenlichts als Energiequelle zu Wasserstoff und Sauerstoff gespalten wird. Wird der Wasserstoff bei seiner Nutzung verbrannt, wird das Ausgangssubstrat Wasser wieder regeneriert. Die Substrate dieses Prozesses sind Wasser und Kohlendioxid, die Hauptprodukte Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlendioxid und Biomasse. Für eine großtechnische Wasserstoffgewinnung muss das biotechnische Verfahren so optimiert werden, dass die Wasserstoffproduktion maximiert, die Kohlendioxidbindung und Biomassebildung jedoch minimiert werden.

Die Produktion von Wasserstoff aus Biomasse, sei es im Rahmen der anoxygenen Photosynthese oder durch Gärung, ließe sich mit einer Verwertung von biogenen Reststoffen aus Produktionsprozessen koppeln, steht dabei aber teilweise in Konkurrenz zur Biogasproduktion. Bei allen biotechnischen Wasserstoffgewinnungsverfahren fällt Biomasse an. Sie müsste ebenfalls zur Gewinnung von Wertstoffen bzw. Energieträgern genutzt werden.

Zurzeit werden Biowasserstoff-Produktionsanlagen im kleineren Maßstab nur versuchsweise im Rahmen von Forschungsvorhaben betrieben, z. B. auf Hawaii. Für eine großtechnische Anwendung müssen wesentliche Fortschritte auf folgenden Gebieten erzielt werden (Hüsing 1997):

- Annäherung des Wirkungsgrades der Prozesse an das theoretische Maximum,
- Erhöhung der Kosteneffizienz der Prozesse,
- Erhöhung der Langzeitstabilität der Prozesse,
- Erarbeitung eines Gesamtkonzepts für großtechnische Anlagen, die eine umweltverträgliche Versorgung mit Substraten, Wasser, Nährstoffen gewährleisten und auch die als Produkt anfallende Biomasse verwerten. Als Verwertung bietet sich die Gewinnung von Wertstoffen (z. B. Futter- und Lebensmittelsupplemente, Vitamine, Dünger) und Energie an.

Eine industrielle Nutzung wird jedoch nicht vor dem Jahr 2030 bis 2040 erwartet (Cammack et al. 2001).

Bio-Butanol: DuPont und BP haben angekündigt, ab 2007 eine Bio-Butanolanlage mit einer Jahreskapazität von 30.000 t probeweise in Betrieb nehmen zu wollen, die mit der konventionellen Fermentationstechnologie Butanol ausgehend von Rübenzucker produzieren soll. An der weitergehenden Optimierung des Verfahrens wird gearbeitet.

Pflanzenöle zu Biodiesel: Pflanzenöle stellen eine alternative Rohstoffbasis in Form von Bio-Diesel als Ersatz von Diesel auf Erdölbasis dar. Ihre Herstellung selbst benö-

tigt kein biotechnologisches Verfahren. Zumeist werden Öle aus Raps gewonnen, die verestert werden (Kaltschmitt und Hartmann 2001).

Biogas-Produktion: Die Produktion von Biogas aus Biomasse ist ein technisch ausge-reiftes und breit eingesetztes Verfahren. In Deutschland hat insbesondere das Erneuerbare-Energien-Gesetz zum Ausbau der Biogasproduktion seit 2000 beigetragen (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2004).

2.5.2.6.9 Fahrzeugbau

Potenziale zur verstärkten Nutzung von biotechnischen Verfahren und Produkten im Fahrzeugbau ergeben sich in den Bereichen

- **Biokraftstoffe:** Eine verstärkte Nutzung der Biokraftstoffe Bioethanol, Biodiesel, Bio-butanol, Biogas und Wasserstoff (Kapitel 2.5.2.6.8) macht Anpassungen auf Seiten der Kraftfahrzeugtechnik erforderlich. Darüber hinaus sind Qualitätsstandards und -normen sowohl auf der Kraftstoff- als auch der Motoren- und Antriebsseite erforderlich.
- **Werkstoffe:** Im Fahrzeugbau können neuartige Verbundwerkstoffe und Polymere, die auf der Basis von Nachwachsenden Rohstoffen und biotechnischen Verfahren hergestellt werden, Einsatzmöglichkeiten finden (Kapitel 2.5.2.6.1).
- **Lösungsmittel:** Mit Hilfe biotechnischer Verfahren hergestellte umweltfreundliche Lösungsmittel wie z. B. Ethyllactat könnten zur Entfettung in der Fahrzeugproduktion eingesetzt werden (Kapitel 2.5.2.6.1).
- **Mikrobielle Produktion von Siderophoren** als Metallkomplexbildner zur Entrostung von Oberflächen.

2.5.2.6.10 Landwirtschaft

Im Gegenstandsbereich dieser Studie werden pflanzliche Produktionssysteme erfasst, sofern sie der Herstellung von Produkten für industrielle Zwecke dienen. Ausgeschlossen sind nachwachsende Rohstoffe für die energetische Nutzung sowie pflanzliche Produktionssysteme für die Herstellung von Lebensmitteln und Pharmazeutika.

Anwendungen der Biotechnologie in diesem Bereich umfassen daher biotechnische Verfahren der molekularen Diagnostik, die in Züchtungsprogrammen von Nutzpflanzen für die industrielle Nutzung für die markergestützte Selektion zum Einsatz kommen. Als Züchtungsziele für den Industriepflanzenbau stehen folgende Züchtungsziele sowohl für die markergestützte Züchtung als auch für gentechnisch veränderte Industriepflanzen (GVPs) im Vordergrund:

- Steigerung von Ertrag und Leistung,

- Erhöhung der Widerstandsfähigkeit, Einbringen von Resistenzen gegen Krankheitserreger, gegen abiotische Stress,
- Verbesserung der Qualität des pflanzlichen Produkts im Hinblick auf die industrielle Nutzung (insbesondere hoher Gehalt und einheitliche Qualität und Zusammensetzung des relevanten, industriell zu nutzenden Inhaltsstoffs, bessere Verarbeitbarkeit, verringerter Gehalt an Störstoffen),
- Beeinflussung der Fortpflanzungsfähigkeit und Fortpflanzung (z. B. männliche Sterilität für Hybridzüchtung, erhöhte biologische Sicherheit).

Konkret in der Forschung und Entwicklung befindliche Ansätze umfassen gentechnisch veränderte Nutzpflanzen und/oder biotechnische Prozesse zur

- Herstellung neuartiger oder modifizierter Kohlenhydrate, insbesondere modifizierter Stärke und Cellulose, neuartiger Fruktane,
- Etablierung alternativer Produktionsprozesse für Fructose, indem Polyfructane aus GVPs hydrolysiert werden und somit eine Alternative zur enzymatischen Isomerisierung von Stärkehydrolysaten darstellen könnten,
- Etablierung alternativer Produktionsprozesse für Derivate natürlicher Öle und Fette, indem die derzeit industrielle Modifizierung in das pflanzliche Produktionssystem verlagert wird,
- Produktion neuartiger Polymere in Pflanzen (z. B. Polyhydroxyalkanoate, proteinbasierte Fasern wie Elastin, Collagen und Spinnenseide, Aminosäure-Polymere wie Polyasparaginsäure, Cyanophycin).

2.5.2.6.11 Forstwirtschaft, Holzbe- und -verarbeitung

Die wichtigsten biotechnischen Anwendungen mit Relevanz für die Forstwirtschaft bestehen in der Züchtung von Baumarten, die zum einen an – wechselnde – Umwelt- und Stressbedingungen besser angepasst sind, zum anderen im Hinblick auf ihre technologische Nutzung optimiert sind (z. B. Ertrag und Wachstum, Gehalt an technologisch relevanten Inhaltsstoffen). Auf neuere Entwicklungen, den Gehalt und die Struktur der Lignocellulose zu verändern, um auf diese Weise Baumarten mit besserer Eignung für die Zellstoff- und Papierherstellung bzw. für die Umwandlung zu fermentierbaren Substraten zu erhalten, wurde bereits im Kapitel 2.5.2.6.6 eingegangen.

In der Holzverarbeitung, z. B. der Spanplattenherstellung wird an der Substitution chemischer Klebstoffe durch Pilzkulturen bzw. pilzliche Enzyme gearbeitet (Mai und Militz 2004).

2.6 Systembereich 5: Vernetzung von Akteuren

2.6.1 Bedeutung der Vernetzung für ein funktionierendes IWBT-Innovationssystem

Auf Grund der steigenden Komplexität und der Notwendigkeit zu interdisziplinärer Zusammenarbeit innerhalb des biotechnologischer Innovationsprozesses werden zukünftig viele FuE-Projekte nur noch in gut vernetzten Innovationssystemen (u. a. zwischen Universitäten, öffentlichen Forschungseinrichtungen, Unternehmen, Biotech-KMU) durchführbar sein.

Die Ausführungen in Abschnitt 2.3.2, S. 94 ff., sowie frühere Untersuchungen in neuen Technikfeldern (u. a. Beise et al. 1999) zeigen, dass für Unternehmen mit Biotechnologie-Bezug eigene FuE-Aktivitäten sowie wissenschaftliche Informationsquellen (Hochschulen und FuE-Institute) die wichtigsten Informationsquellen sind, d. h. Innovationen werden stark durch neue wissenschaftliche Erkenntnisse gespeist. Damit ist *Nähe der industriellen Akteure zur akademischen Wissensbasis* (u. a. zu den Bereichen Biologie, Chemie, Biochemie, Bioinformatik, Physik) ein entscheidender Wettbewerbsvorteil (u. a. Porter 1990, Reiss et al. 2003). Untersuchungen zeigen, dass sich auch eine enge *Verzahnung inländischer Unternehmen* (u. a. zwischen Unternehmen, Zulieferern und Unternehmen aus verwandten Industrien) innovationsfördernd auswirkt (u. a. Porter 1990). Zur erfolgreichen Umsetzung von Innovationen müssen zudem die Nachfrageseite und die zur technologischen Wissensgenerierung erforderlichen Akteure eng verzahnt sein (Dosi 1988). Ein solches „nationales prosperierendes Innovationssystem“ ist durch ausländische Konkurrenten kaum zu imitieren (u. a. Porter 1990).

Empirische Studien zeigen, dass die enge Kommunikation mit den jeweils relevanten Partnern wichtig und damit die regionale Nähe zum Kooperationspartner von Vorteil ist. Gründe hierfür sind die einfachere (persönliche) Erreichbarkeit, die übereinstimmende Kultur und die Sprache. Die regionale Nähe zum Kooperationspartner ist somit ein wichtiger Standortfaktor für forschungs- und wissensintensive Branchen und Technologien (Beise et al. 1999, Saxenian 1994).

Empirische Studien (Beise et al. 1999) untermauern, dass z. B. für Pharmaunternehmen im Bereich Biotechnologie/Pharmazeutik die Akquisition kleiner Hightechunternehmen im Ausland, internationale Joint Ventures und ausländische Wissenschaftler als Know-how-Quelle in den 1990er-Jahren sehr wichtige *Instrumente des Technologieerwerbs* waren (Beise et al. 1999). Eine Studie von Gambardella et al. (2000) für den Bereich Biotechnologie/Pharmazeutik deutet ebenfalls darauf hin, dass der Lizenzwerb im Laufe der 1990er-Jahre in Deutschland an Bedeutung gewonnen hat.

Die Experteninterviews und der Workshop haben obige Wirkungsmechanismen bestätigt: Auch im Bereich der industriellen, weißen Biotechnologie stellt auf Grund des multidisziplinären Charakters, der hohen Wissensbasierung und den zunehmenden nationalen und internationalen Verflechtungen der schnelle und effiziente Transfer von Wissen und neuen methodischen/technischen Entwicklungen über intensive Kooperationsbeziehungen ein zentraler kritischer Erfolgsfaktor für den IWBT-Innovationsstandort Deutschland dar.

Wie bereits in Kapitel 2.3.1 erläutert, bestehen die Herausforderungen in der IWBT besonders in der Interdisziplinarität und den branchenübergreifenden Anwendungsmöglichkeiten (Flaschel und Sell 2005, Sundmann 2005). Angaben aus der schriftlichen Befragung, Umfragen über Tätigkeitsfelder von Biotechnologieunternehmen und die Literaturlauswertung (z. B. IBTF 2004) zeigen, dass es für IWBT-KMU häufig nicht ausreicht, sich mit ihren Methoden, Prozessen, Produkten und Dienstleistungen nur auf einen Anwendersektor zu spezialisieren³². Die Bereitstellung einer zielgerichteten Angebots für mehrere Anwenderbranchen gestaltet sich aber schwierig, da diese sich bei den konkreten technologischen Bedürfnissen, den Renditen und FuE-Investitionen deutlich voneinander unterscheiden (Sundmann 2005). Auf Grund der „Neuheit“ der benötigten Kooperationsstrukturen werden zukünftig Verbesserungspotenziale im Bereich der Vernetzung der IWBT-Innovationsakteure gesehen.

2.6.2 Empirische Projektergebnisse

Gesamtfazit: Die Ergebnisse aus den Literaturlauswertungen, Experteninterviews, der schriftlichen Befragung und dem Workshop kommen hinsichtlich des Kooperationsverhaltens der verschiedenen Akteure des deutschen IWBT-Innovationssystems zu folgenden Erkenntnissen. Es zeigt sich, dass sowohl für die Vertreter der industriellen FuE als auch für die öffentlichen Forschungsorganisationen die kooperative Forschung von zentraler Bedeutung ist. Die nationale und internationale Vernetzung der IWBT-Akteure ist bereits als sehr gut zu bezeichnen und stellt somit kein Innovationshemmnis dar.

2.6.2.1 Beweggründe für Kooperationen

Die Beweggründe, die für die Durchführung von Kooperationen angegeben wurden, sind kompatibel zu denen, die man aus früheren Studien kennt (u. a. Nusser und Gaiser 2005).

³² Analysen für Großbritannien zeigen, dass erfolgreiche KMU in der IWBT mindestens für drei Anwendersektoren Dienstleistungen/ Prozesse oder Produkte bereitstellen (DTI 2004).

Tabelle 2.16: Hauptgründe für öffentliche Forschungseinrichtungen, FuE-Kooperationen durchzuführen

Gründe für Kooperationen mit anderen öffentlichen Forschungsorganisationen:

- Komplementäres Wissen und Expertise gemeinsam nutzen (FuE-Synergien),
- Klärung wissenschaftlicher Fragen,
- Zusätzliche Forschungsbudgets.

Gründe für Kooperationen mit Unternehmen:

- Weiterentwicklung von Wissen und Technologien: z. B. Entwicklung neuer Anwendungen und Produktionstechnologien, Anpassung der Herstellungsverfahren an Produktionsmaßstab („up-scaling“),
- Zusätzliche Forschungsbudgets.

Tabelle 2.17: Hauptgründe für Unternehmen, mit öffentlichen Forschungseinrichtungen zu kooperieren

- Klärung wissenschaftlicher Fragen,
- Zugang zu spezifischem, komplementärem Know-how (Grundlagen- und angewandtes Wissen),
- Zugang zu neuen Forschungsgebieten mit geringem finanziellen Risiko,
- Zugang zu Einrichtungen, Anlagen und Forschungsmaterialien,
- Zugang zu zusätzlichen Finanzierungsmitteln,
- Prüfung und Validierung biotechnologischer Konzepte, Prozesse und Produkte,
- Zugang zu neuen, hoch qualifizierten Arbeitskräften,
- Reputation.

Tabelle 2.18: Hauptgründe für Unternehmen, mit anderen Unternehmen zu kooperieren

Kleine Unternehmen kooperieren mit großen Unternehmen, weil sie dadurch ...

- Zugang zu neuen (insb. internationalen) Märkten,
- Zugang zu Kenntnissen und Fähigkeiten im Bereich Kommerzialisierung wie z. B. Marketing- und Verkaufsstrategien,
- Zugang zu Kenntnissen und Fähigkeiten im Bereich Produktentwicklung, Herstellungsverfahren an Produktionsmaßstab („up-scaling“) und
- Zugang zu Know-how in Regulierungs- und Gesetzesfragen erhalten.

Große Unternehmen kooperieren mit kleinen Unternehmen, weil sie dadurch ...

- Zugang zu spezifischem FuE-Wissen (u. a. durch Vertragsforschung) und FuE-Plattformtechnologien und
- Schnell und relativ kostengünstig Zugang zu neuen Forschungsgebieten erhalten.

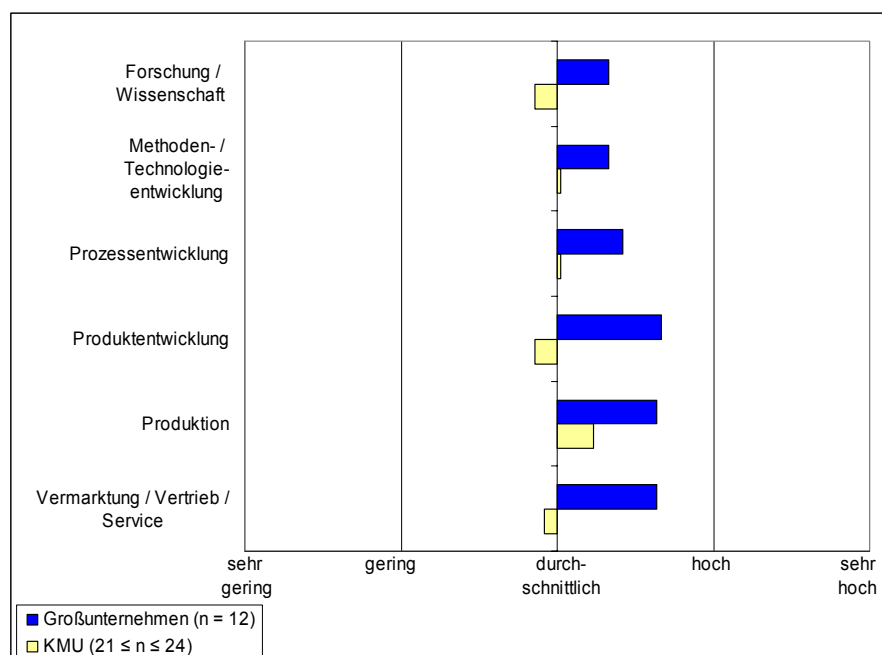
2.6.2.2 Kooperationsaktivitäten in verschiedenen Tätigkeitsfeldern

Hinsichtlich der verschiedenen Tätigkeitsfelder der industriellen, weißen Biotechnologie wurden die Akteure gefragt, welche Bedeutung die verschiedenen Tätigkeitsfelder aktuell im Jahr 2005 haben und wie sich deren Bedeutung innerhalb der nächsten 5 Jahre (2006-2010) entwickeln wird. Dann wurden die Akteure gefragt, welche Bedeutung sie den Kooperationen innerhalb der verschiedenen Tätigkeitsfelder beimessen.

Die Ergebnisse hinsichtlich der aktuellen Bedeutung der Tätigkeitsfelder in 2005 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Bedeutung der IWBT für die Unternehmen ist entlang der gesamten Wertschöpfungskette (Methoden/Technologieentwicklung – Prozessentwicklung – Produkt(neu)entwicklung – Produktion – Vermarktung/Vertrieb/Service) bereits heute durchschnittlich bis hoch (Abbildung 2.39). Für Großunternehmen hat die IWBT eine etwas höhere Bedeutung als für die KMU, vor allem in den späteren Stufen der Wertschöpfungskette. Dieser Unterschied ist zu einem Teil auf die leicht unterschiedliche Branchenstruktur der Großunternehmen und KMU in der Befragung zurückzuführen. Insbesondere die KMU im Bereich der Bioenergie/-kraftstoffe sind ausschließlich in der Produktion tätig. Diejenigen Unternehmen, die zu Kernbiotechnologieunternehmen zählen, sind hingegen auf den meisten Tätigkeitsfeldern ähnlich stark tätig. Eine Konzentration auf den Bereich Forschung wie es sich bei den Umfragen für die gesamte Biotechnologie zeigt (biotechnologie.de 2006), lässt sich für die Akteure der IWBT in dieser Befragung nicht feststellen.

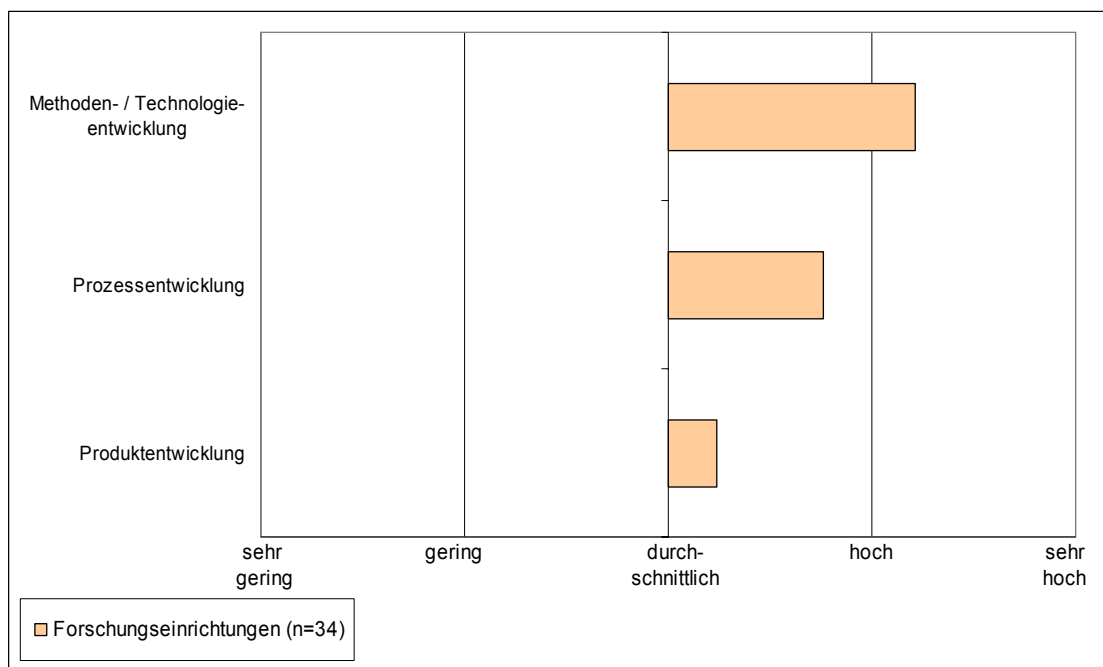
Abbildung 2.39: Bedeutung verschiedener Tätigkeitsfelder im Jahr 2005 (Unternehmen)



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

- Für die Forschungseinrichtungen hat die Methoden- und Technologieentwicklung die höchste Bedeutung, gefolgt von der Prozessentwicklung und der Produktentwicklung (Abbildung 2.40). Der Vergleich mit den Unternehmenswerten zeigt, dass die Forschungseinrichtungen der IWBT in allen Tätigkeitsfeldern in 2005 eine höhere Bedeutung beigemessen haben. Schließlich sind viele der befragten Institute/Lehrstühle auch ausschließlich im Bereich der Biotechnologie tätig. Beim Vergleich zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung zeigt sich für letztere wie erwartet eine höhere Bedeutung der Prozess- und Produktentwicklung.

Abbildung 2.40: Bedeutung verschiedener Tätigkeitsfelder ³³ im Jahr 2005 (Forschungseinrichtungen)



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Die Ergebnisse hinsichtlich der zukünftigen Bedeutung der Tätigkeitsfelder im Zeitraum 2006 bis 2010 lassen sich wie folgt zusammenfassen (Abbildung 2.41):

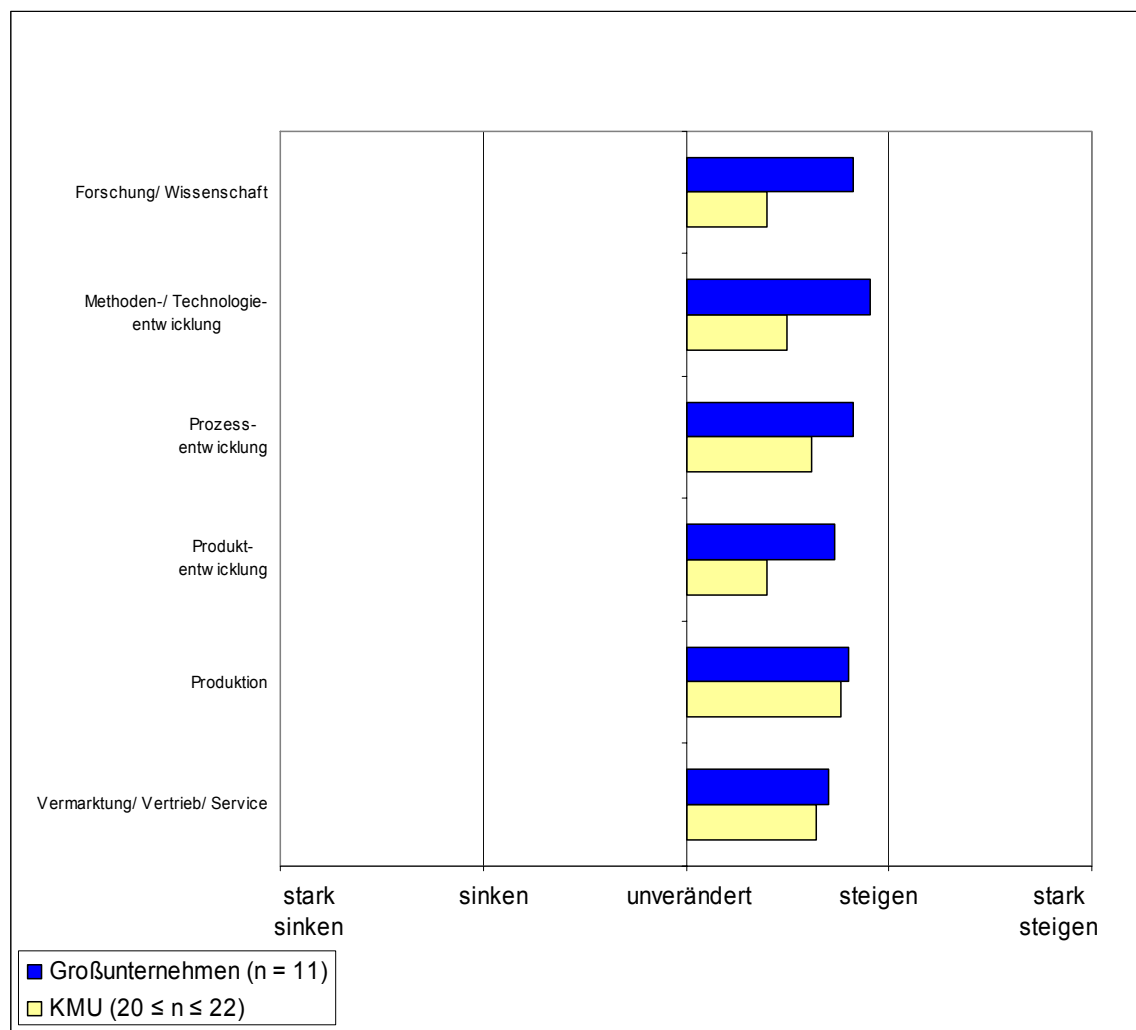
- Die Bedeutung der IWBT für die Unternehmen steigt entlang der gesamten Wertschöpfungskette moderat an. Für Großunternehmen hat IWBT auch zukünftig eine etwas höhere Bedeutung als für die KMU. Branchenunterschiede sind hier kaum zu erkennen.
- Für die Forschungseinrichtungen liegen die Werte im Bereich der Methoden- und Technologieentwicklung, Prozess- und Produktentwicklung ganz leicht oberhalb der Werte der Großunternehmen, d. h. die Bedeutung in allen drei Tätigkeitsfeldern

³³ Stark unternehmensspezifische Tätigkeitsfelder (Produktion, Vermarktung&Vertrieb&Service) wurden bei den Forschungseinrichtungen nicht abgefragt.

steigt moderat. Die Akteure der Angewandten Forschung sehen auch für die Zukunft einen deutlich stärkeren Anstieg in den Bereichen Prozess- und Produktentwicklung als die Befragten der Grundlagenforschung.

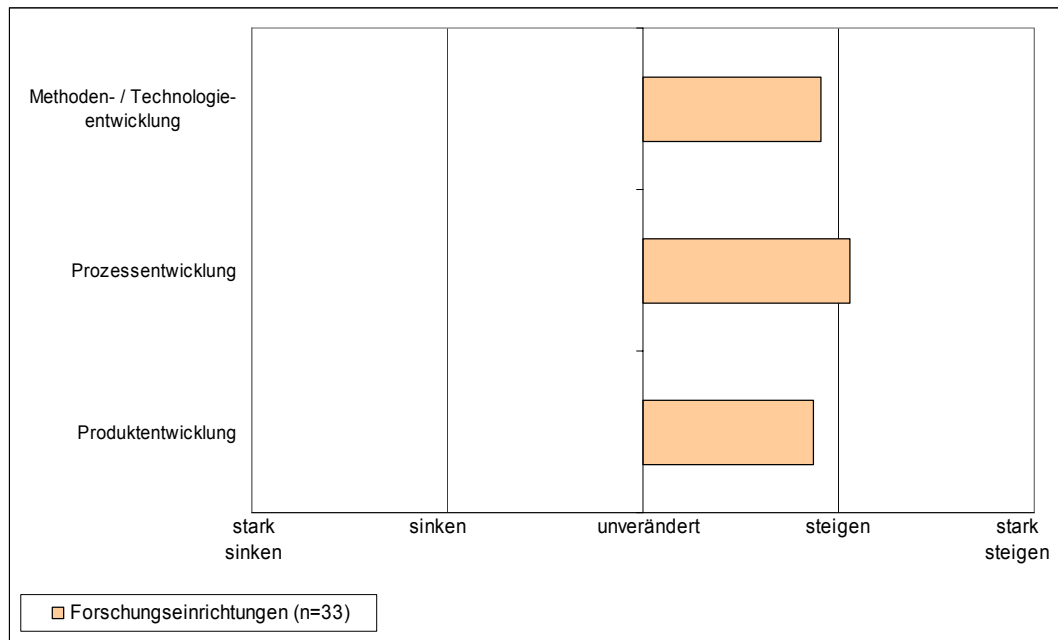
Auch diese Ergebnisse hinsichtlich der aktuellen und zukünftigen Tätigkeitsfelder deuten darauf hin, dass es sich bei der industriellen, weißen Biotechnologie um einen bereits etablierten dynamischen Wachstumsmarkt handelt.

Abbildung 2.41: Bedeutung verschiedener Tätigkeitsfelder in den Jahren 2006-2010 (Unternehmen)



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Abbildung 2.42: Bedeutung verschiedener Tätigkeitsfelder in den Jahren 2006-2010
(Forschungseinrichtungen)



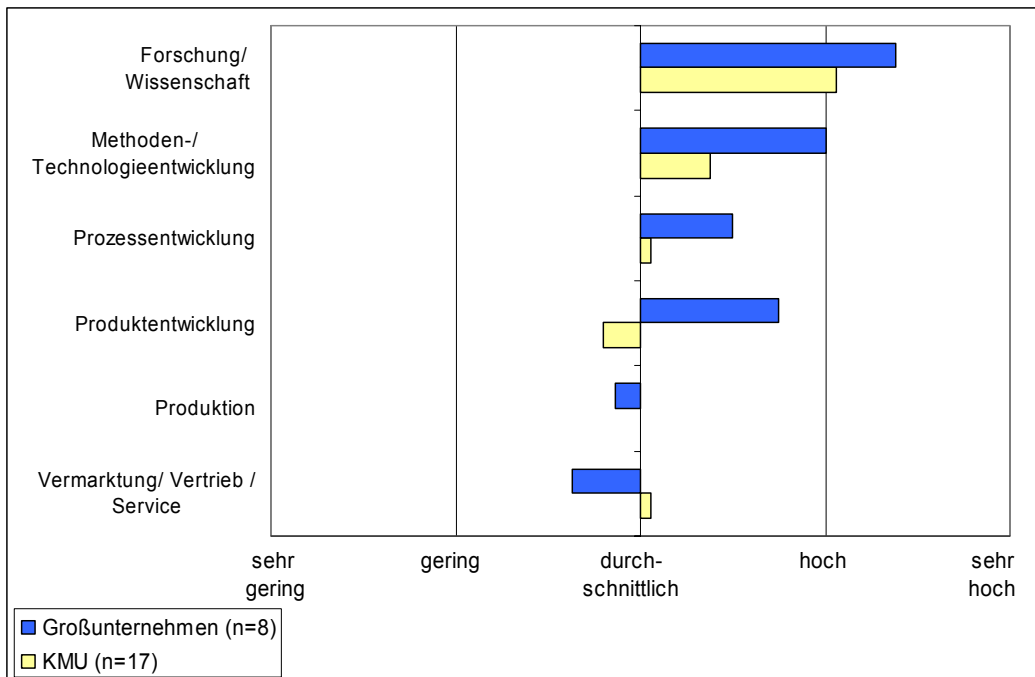
Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Die meisten Befragten haben innerhalb dieser Tätigkeitsfelder bereits viel Erfahrung mit Kooperationen gesammelt. Knapp zwei Drittel der Akteure gaben an, bereits kooperiert zu haben, einige Ausnahmen finden sich in der Lebensmittelbranche und im Bereich der Bioenergie/-kraftstoffe. Die Ergebnisse hinsichtlich der Wichtigkeit der Kooperationen in den verschiedenen Tätigkeitsfeldern lassen sich für das Jahr 2005 wie folgt zusammenfassen:

- Die Bedeutung von Kooperationen ist für die Unternehmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette bereits heute durchschnittlich bis hoch (Abbildung 2.43). Für Großunternehmen haben Kooperationen eine etwas höhere Bedeutung als für die KMU, insbesondere im Bereich der Produktentwicklung. Aktuell liegt der Fokus bei den Unternehmen besonders auf Kooperationen im Bereich der Forschung/Wissenschaft und Methoden-/Technologieentwicklung. Dies deutet darauf hin, dass „noch einige technologische Hindernisse aus dem Weg geräumt werden müssen.“ Wie bereits an anderer Stelle betont, sollten daher „überzogene“ Umsatzerwartungen (z. B. wie Anfang des Jahrtausends an die Internetbranche) in den nächsten 5 Jahren allerdings nicht gehegt werden.
- Für die Forschungseinrichtungen ist die Bedeutung von Kooperationen (ähnlich wie bei den Großunternehmen) bereits heute in allen Tätigkeitsfeldern hoch (Abbildung 2.44). Auffällig ist die bereits heute hohe Bedeutung im Bereich der Produktentwicklung für die Forschungseinrichtungen. Dieser Wert ist auf die hohe Bedeutung der Produktentwicklung in der angewandten Forschung zurückzuführen, die

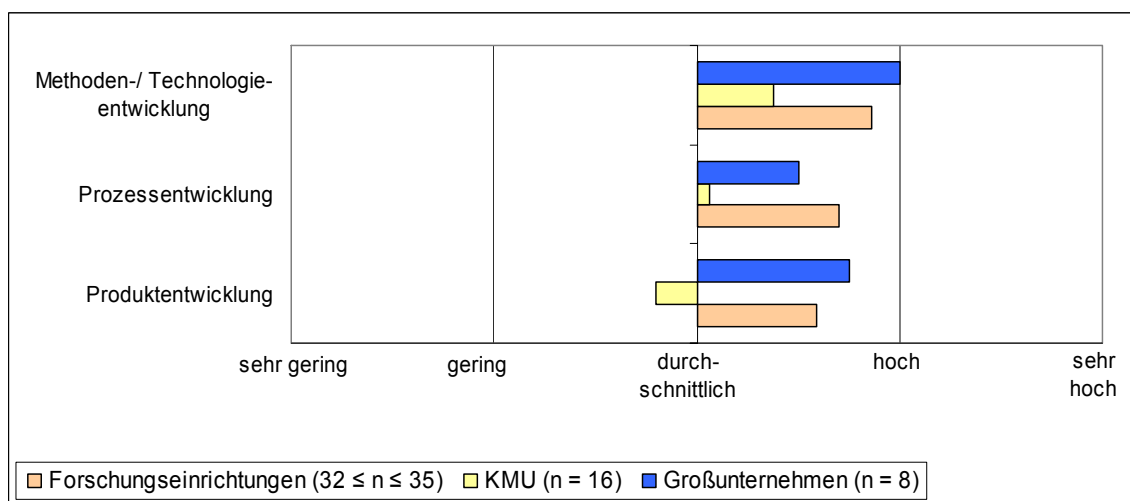
Akteure der Grundlagenforschung schätzen die Kooperationsbedeutung hier analog zu den KMU leicht unterdurchschnittlich ein.

Abbildung 2.43: Wichtigkeit Kooperationen in den verschiedenen Tätigkeitsfelder im Jahr 2005 (Unternehmen)



Quelle: Fraunhofer ISI 2006 (kein Balken = durchschnittlich)

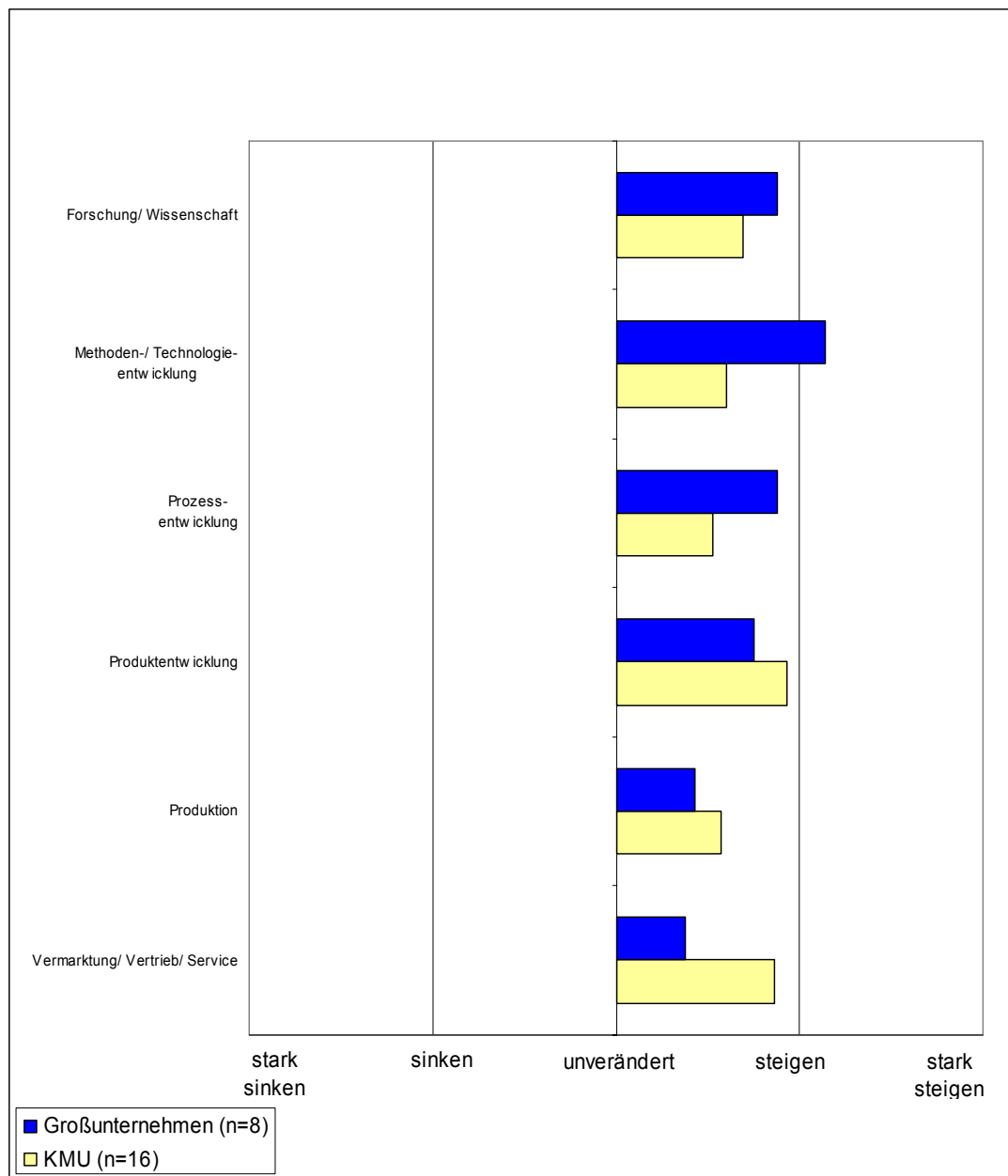
Abbildung 2.44: Wichtigkeit Kooperationen in den verschiedenen Tätigkeitsfelder im Jahr 2005: Forschungseinrichtungen im Vergleich zu Unternehmen



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Die Ergebnisse hinsichtlich der zukünftigen Bedeutung von Kooperationen in den verschiedenen Tätigkeitsfeldern im Zeitraum 2006 bis 2010 lassen sich wie folgt zusammenfassen (Abbildung 2.45). Die Bedeutung der Kooperationsaktivitäten wird zukünftig entlang der gesamten Wertschöpfungskette zunehmen, besonders in den Feldern Forschung/ Wissenschaft, Methoden-/ Technologieentwicklung sowie Prozess- und Produktentwicklung.

Abbildung 2.45: Bedeutung von Kooperationen in verschiedenen Tätigkeitsfeldern in den Jahren 2006-2010 (Unternehmen und Forschungseinrichtungen)

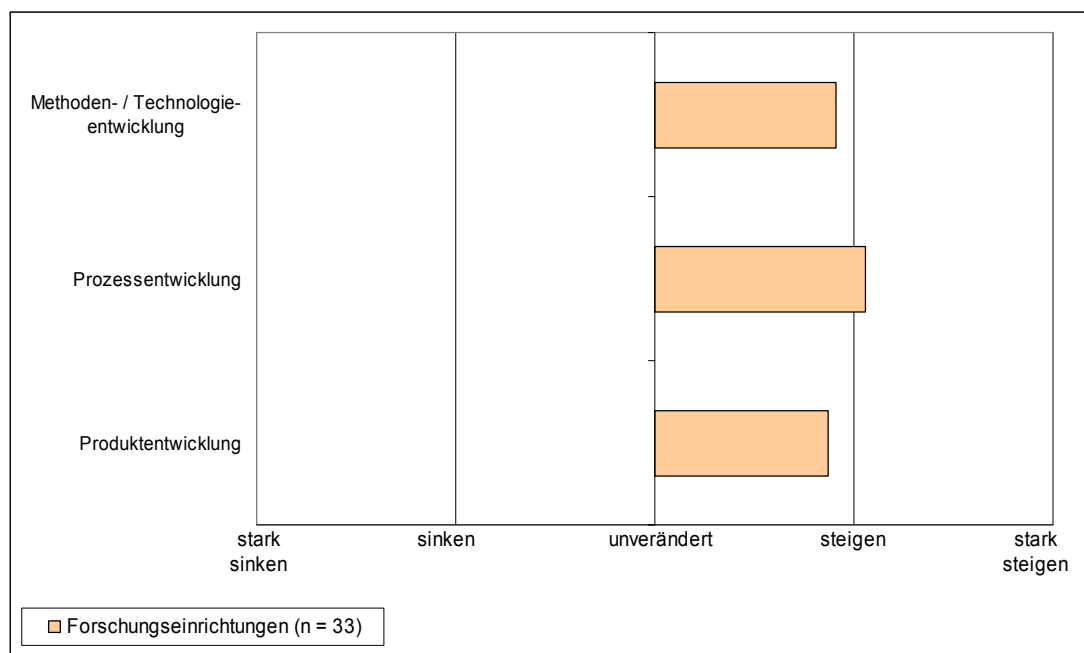


Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Auch diese Ergebnisse hinsichtlich der aktuellen und zukünftigen Bedeutung deuten darauf hin, dass es sich bei der industriellen, weißen Biotechnologie um einen bereits etablierten dynamischen Wachstumsmarkt handelt. Denn oftmals „investieren“ Unternehmen und Forschungseinrichtungen nur dann in Kooperationen, wenn die Chancen hoch sind, dass sich der damit verbundene (teilweise hohe) Zeit- und Kostenaufwand zum Aufbau von Kooperationen voraussichtlich auch mittelfristig amortisieren wird.

Zudem zeigen die Ergebnisse, dass sowohl für die Vertreter der Unternehmen als auch für die öffentlichen Forschungsorganisationen die kooperative Forschung von zentraler Bedeutung ist. Intensive Kooperationsbeziehungen werden als ein zentraler kritischer Erfolgsfaktor für den IWB-T-Innovationsstandort Deutschland angesehen. Daher soll im folgenden Abschnitt untersucht werden, ob sich in Deutschland bereits starke Cluster mit intensiven Kooperationsbeziehungen gebildet haben. Mit anderen Worten: Ist die Nähe der industriellen Akteure zur akademischen Wissensbasis sowie die enge Verzahnung inländischer Unternehmen gegeben, oder gibt es hier Innovationshemmnisse.

Abbildung 2.46: Bedeutung von Kooperationen in verschiedenen Tätigkeitsfeldern in den Jahren 2006-2010 (Forschungseinrichtungen)



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Auffällig ist die große Bandbreite bei den Meinungen der Befragten hinsichtlich der Bedeutung von Kooperationsaktivitäten für unterschiedliche Wertschöpfungsstufen. Während bei Forschung und Entwicklung alle Experten einen hohen Kooperationsbedarf sehen, spalten sich die Meinungen bei der Produktion und Vermarktung.

Die Schwierigkeit der Partnersuche bei den Kooperationen wird von der Mehrheit als gering angesehen, sowohl im nationalen als auch im internationalen Raum (vgl. hierzu auch Abbildung 2.26, S. 100). Der Standort des Kooperationspartners spielt in der Regel bei der Suche nur eine geringe Rolle, da die meisten Akteure global denken. In den Experteninterviews zeigte sich zudem, dass Kooperation teilweise schon recht lange bestehen und eine gute Vertrauensbasis zwischen den Kooperationspartnern besteht.

Einige Experten sehen allerdings Probleme, den geeigneten Kooperationspartner zu finden. Dabei wurden u. a. folgende Hemmnisse genannt: Zu hohe (Anlauf-)Kosten, Probleme bei interdisziplinärer Arbeitsweise, Fluktuation bei Mitarbeitern und die schwierige Frage der Verwertungsrechte.

2.6.2.3 Intensität und Struktur von Kooperationen

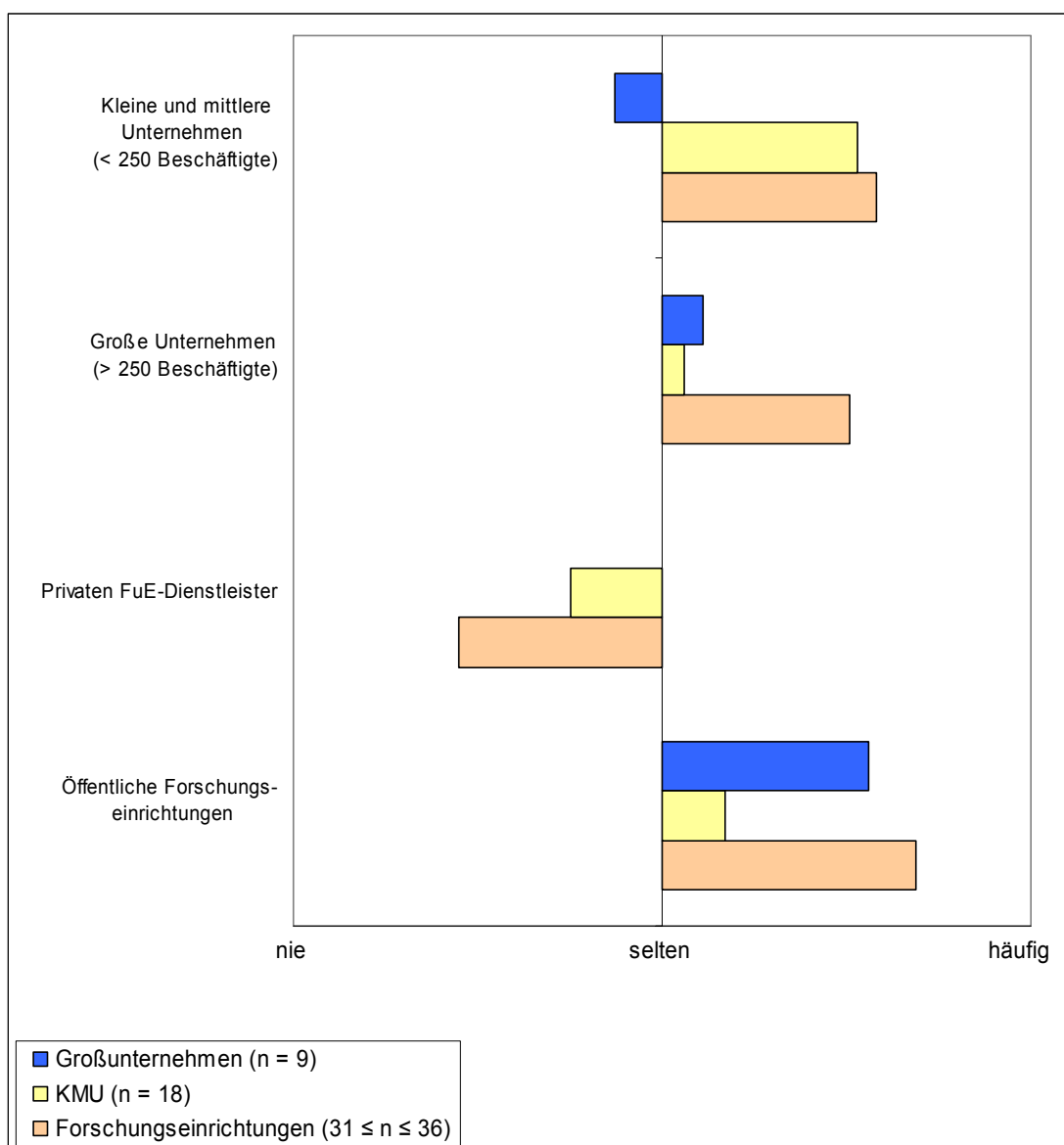
Die Experteninterviews mit Vertretern der Unternehmen und Forschungseinrichtungen ergaben, dass Kooperationen wichtige Quellen für methoden-, prozess- und produktgebundenes Wissen darstellen. Die schriftliche Befragung im Rahmen dieses Projektes, bei der das aktuelle (2005) und zukünftige (2006 bis 2010) Kooperationsverhalten von Unternehmen und Forschungseinrichtungen genauer untersucht wurde, zeichnet folgendes Bild (Abbildung 2.47, Abbildung 2.48):

- Großunternehmen sind nur in sehr geringem Maße in die FuE-Kooperationsnetzwerke integriert. Großunternehmen kooperieren derzeit und zukünftig selten. Wenn Kooperationen eingegangen werden, dann in der Regel mit öffentlichen FuE-Einrichtungen und weniger mit anderen Unternehmen.
- Kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) kooperieren aktuell und zukünftig vor allem mit anderen KMU, aber auch jedoch seltener mit Großunternehmen und öffentlichen Forschungseinrichtungen.
- Öffentliche Forschungseinrichtungen sind in ein großes Kooperationsnetzwerk eingebettet. Dies gilt für die Akteure der Grundlagen- und angewandten Forschung. Sie sind aktuell und zukünftig stark in alle Kooperationsformen eingebunden.
- Mit privaten FuE-Dienstleistern werden von allen Akteuren nie bis selten Kooperationen eingegangen (am häufigsten von den Großunternehmen). Dies scheint auf den ersten Blick im Widerspruch zu stehen mit der aktuellen und zukünftigen Bedeutung von Anwendungsfeldern. Hier wurde von den Akteuren dem Bereich FuE-Dienstleistungen eine hohe Bedeutung beigemessen (Abschnitt 2.5.2.5; S. 117 ff.). Hierfür gibt es aber eine Erklärung, so die Teilnehmer des Workshops und einige Experten. Die FuE-Dienstleister arbeiten intensiv und eng mit den Unternehmen zusammen, allerdings in der Regel in Form von Auftragsforschung oder Auftragsproduktion und nicht in Form von Kooperationen. Für bestimmte Aufgaben wird den FuE-Dienstleistern daher eine wichtige Rolle zugeschrieben (z. B. Sequenzierung mikrobieller Genome, Ermittlung einer Kristallstruktur). Die Geschäftsbeziehungen dauern

häufig nur mehrere Monate und es handelt sich nicht um langfristige Geschäftsbeziehungen (wie z. B. bei Lizenzkooperationen).

- Alle Arten an Kooperationen (außer Kooperationsbeziehungen zu privaten FuE-Dienstleistern) gewinnen im Zeitraum 2006 bis 2010 an Bedeutung. Insbesondere die KMU beabsichtigen, ihre Kooperationsaktivitäten mit anderen Akteuren (insb. anderen KMU) zu intensivieren. Innerhalb der Forschungseinrichtungen planen besonders die Akteure der angewandten Forschung ihre Kooperationen in allen Bereichen auszubauen.

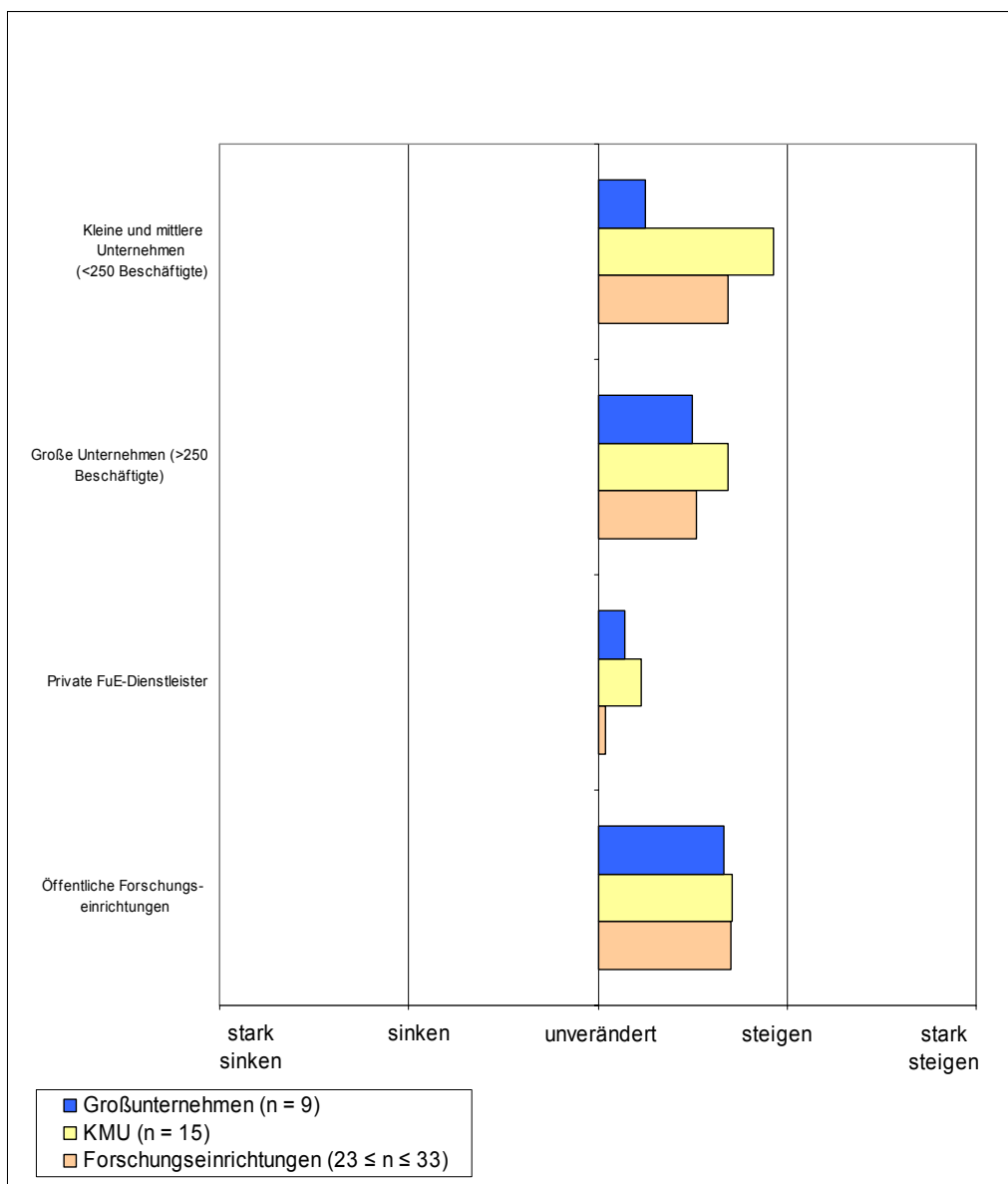
Abbildung 2.47: Häufigkeit von aktEURsspezifischen Kooperationsformen im Jahr 2005 (Unternehmen und Forschungseinrichtungen)



Quelle: Fraunhofer ISI 2006 (kein Balken = selten)

Die Ausführungen zu Abbildung 2.25, S. 97 f., haben gezeigt, dass neben internen Informationen die Auftraggeber und Kunden die wichtigste externe Informationsquelle darstellen. Dies deutet darauf hin, dass die Nachfrageseite (hier häufig neben Endkonsumenten auch Industriekunden) gut in die FuE-Kooperationsnetzwerke integriert ist. Das Wissen und die Erfahrungen der Nachfrageseite hinsichtlich der Bedürfnisse (u. a. der Endkonsumenten) werden dadurch wahrscheinlich adäquat berücksichtigt und früh in den IWBT-Innovationsprozess integriert.

Abbildung 2.48: Häufigkeit von aktorenspezifischen Kooperationsformen im Zeitraum 2006-2010 (Unternehmen und Forschungseinrichtungen)



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Als Fazit kann festgehalten werden: Die Vernetzung nationaler IWBT-Akteure scheint gut zu funktionieren. Die Experteninterviews und der Workshop untermauerten diese Erkenntnis. Dies deutet darauf hin, dass bei der Bildung leistungsfähiger Cluster und Vernetzung der Akteure auf nationaler Ebene keine Innovationshemmnisse existieren.

Exkurs: „Science to Business“ Konzept am Beispiel der Degussa AG

Das Ziel des „Science to Business“-Ansatzes der Degussa AG ist die enge Verknüpfung industrieller und akademischer Forschung an einer dafür geschaffenen Stelle im Unternehmen (CHEManager 22/2005). Im Januar 2006 wurde dafür das neu gegründete „Science to Business Center Nanotronics“ in Marl in Betrieb genommen. Darin sind rund 60 Wissenschaftler beschäftigt, die Investitionssumme beträgt rund 50 Mio. € über fünf Jahre (Oberholz 2004). In Kooperation mit Hochschulen und weiteren Industriepartnern versucht die Degussa AG dabei die interdisziplinäre Zusammenarbeit in der industriellen, weißen Biotechnologie zu intensivieren. Die Tätigkeiten im „Science to Business“-Zentrum umfassen sowohl die Grundlagenforschung als auch die konkrete Produktentwicklung. Forschungsschwerpunkte sind die Entwicklung von effizienten Verfahren für die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen und die Entwicklung bioaktiver Produkte, unter anderem „Drug-Delivery-Systeme“ zum effektiven Wirkstofftransport von Arzneimitteln und Kosmetikinhaltsstoffen.

Dazu werden alle F&E Aktivitäten entlang der Wertschöpfungskette integriert: Fast alle Prozesse (Grundlagenforschung bis hin zur finalen Produktentwicklung) geschehen quasi unter einem Dach. Die Forschungsteams sind dabei interdisziplinär aufgestellt. Wissenschaftler aus akademischen Einrichtungen und Forschungsinstituten werden temporär in die Teams der Degussa AG integriert und stammen aus den Fachrichtungen Chemie, Physik, Prozesstechnik, Nanotechnologie und Halbleitertechnologie. Durch die enge Verknüpfung von Theorie und Praxis verspricht sich die Degussa AG kürzere Entwicklungszeiten und eine schnellere Marktreife der neuen Produkte.

2.6.2.4 Internationalisierungsgrad von Kooperationen

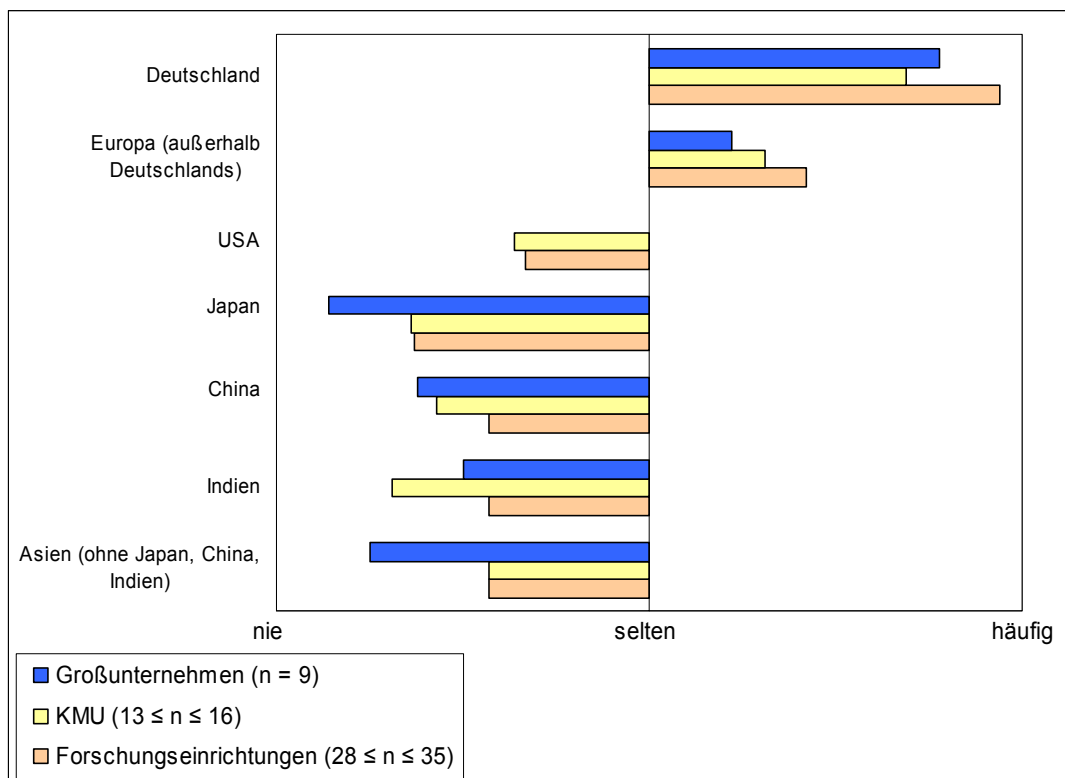
Verschiedenste Studien zeigen, dass Kooperationsaktivitäten mit Unternehmen im Ausland, internationale Joint Ventures und ausländische Wissenschaftler als Know-how-Quelle sehr wichtige Instrumente des Technologieerwerbs sind (u. a. Beise et al. 1999). Die schriftliche Befragung zeichnet hinsichtlich des Internationalisierungsgrades von Kooperationen folgendes Bild (Abbildung 2.49, Abbildung 2.50, Abbildung 2.51):

- Kooperationen konzentrieren sich in 2001-2005, aktuell und in den nächsten 5 Jahren stark auf Deutschland und den europäischen Raum.

- Die USA und der asiatische Raum spielen derzeit eine untergeordnete Rolle. Bei internationalen Kooperationen in einigen asiatischen Ländern wird ähnlich wie in anderen Technologiebereichen die mangelhafte Klärung der Eigentumsrechte als Hindernis gesehen. Kooperationen im asiatischen Raum und den USA werden auch in den nächsten 5 Jahre nur leicht an Bedeutung gewinnen.
- Signifikante Branchenunterschiede lassen sich (unter anderem auf Grund der geringen Fallzahl) nicht erschließen. Bei den Forschungseinrichtungen ist das Antwortverhalten der Grundlagenforschung und angewandten Forschung sehr ähnlich, nur für die Zukunft planen die Akteure der angewandten Forschung häufiger Kooperationen mit Partnern aus allen genannten Ländern.

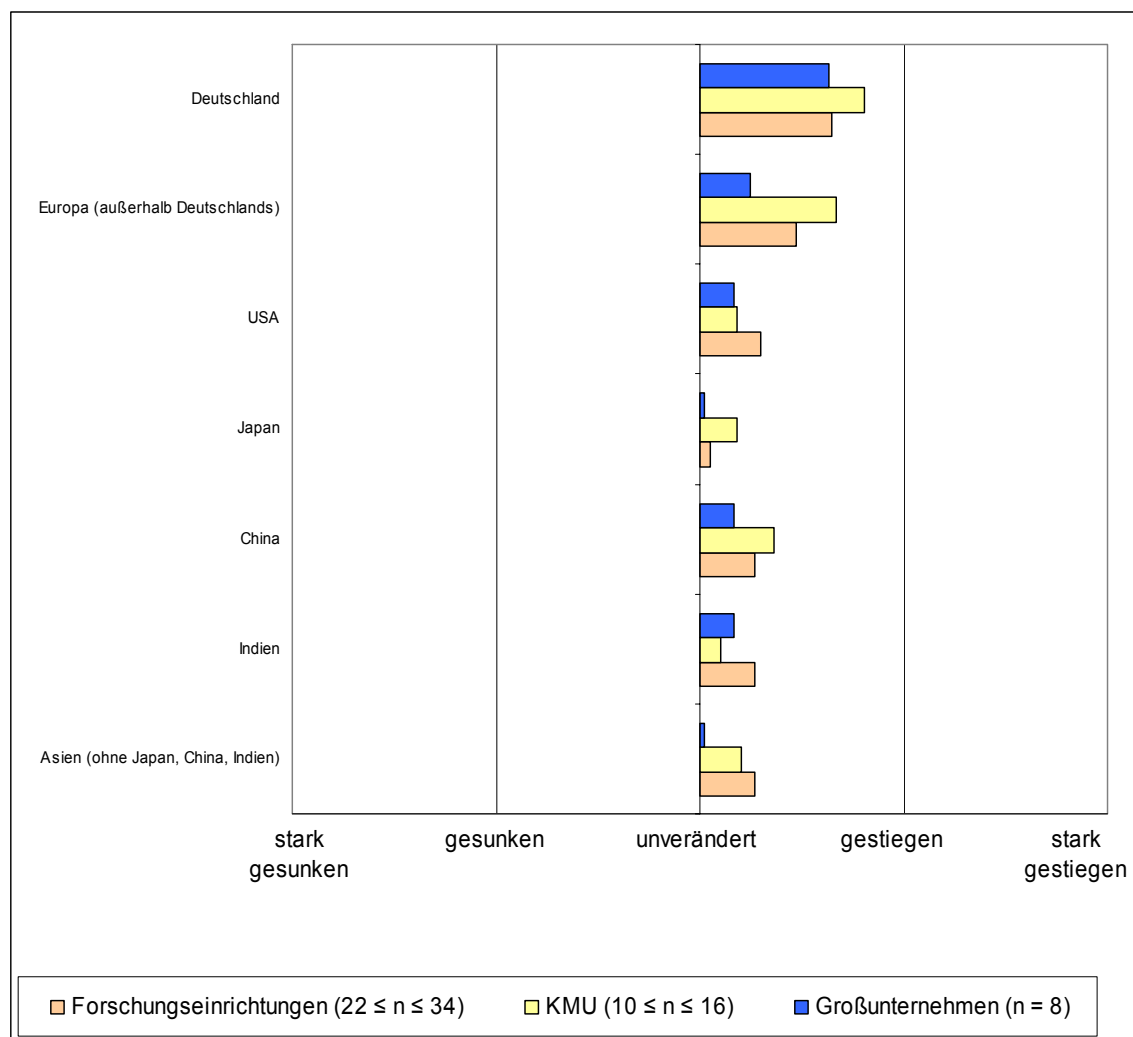
Diese starke Konzentration auf Deutschland und Europa ist im Falle der industriellen, weißen Biotechnologie nicht unbedingt als Innovationshemmnis anzusehen. Da die Chemiebranche als Haupttreiber der IWBT von der Historie sehr stark in Deutschland und Europa vertreten ist, ist die starke „Konzentration“ auf diesen regionalen Raum nicht verwunderlich. Ähnliches gilt im Bereich der roten Biotechnologie. Hier kommen die weltweit größten Pharmaunternehmen aus den USA (z. B. Pfizer). Vor allem in den 1990er-Jahren haben sich die Kooperationsaktivitäten im Bereich der roten Biotechnologie stark auf die USA fokussiert.

Abbildung 2.49: Häufigkeit von Kooperationen mit Partnern aus anderen Ländern im Jahr 2005 (Unternehmen und Forschungseinrichtungen)



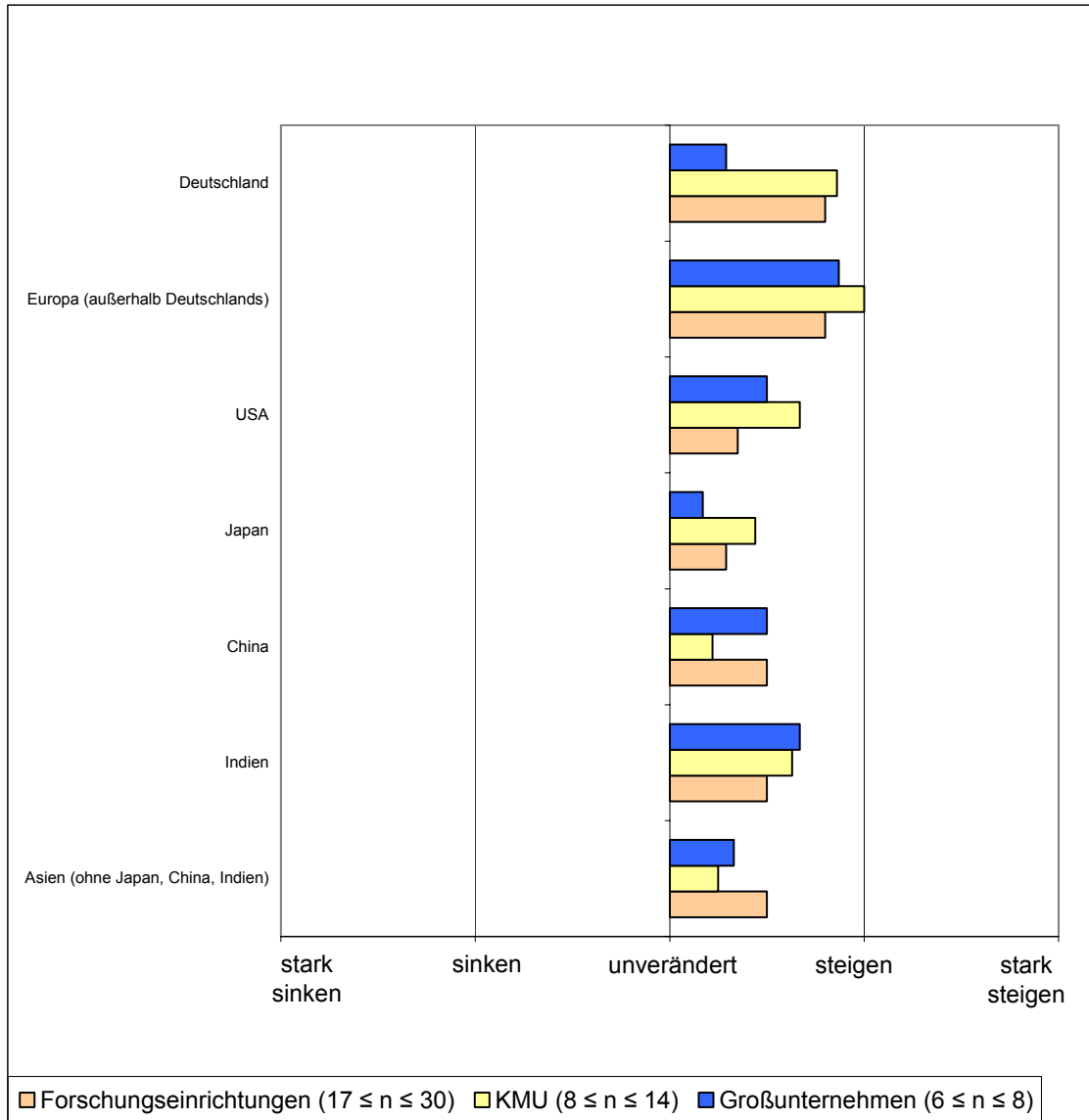
Quelle: Fraunhofer ISI 2006 (kein Balken = selten)

Abbildung 2.50: Häufigkeit von Kooperationen mit Partnern aus anderen Ländern im Zeitraum 2001-2005 (Unternehmen und Forschungseinrichtungen)



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Abbildung 2.51: Häufigkeit von Kooperationen mit Partnern aus anderen Ländern im Zeitraum 2005-2010 (Unternehmen und Forschungseinrichtungen)



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Insgesamt ist zu berücksichtigen, dass klassische Kooperationsverhältnisse nur eine Möglichkeit der Vernetzung sind. Im Folgenden soll deshalb zur Illustration für andere Vernetzungsmöglichkeiten der „Science to Business“ dargestellt werden.

2.6.2.5 Kritische Erfolgsfaktoren für Kooperationen

Ogleich die Ausführungen in den vorigen Abschnitten gezeigt haben, dass es bereits sehr gute IWBT-Netzwerke zu geben scheint, sollen im Folgenden auf Basis von Literaturauswertungen noch einige Faktoren genannt werden, die für Kooperationen in

forschungs- und wissensintensiven Technikfeldern erfolgskritisch sind (u. a. Nusser und Gaisser 2005). Diese können laut Expertenmeinung auch weitestgehend auf die industrielle, weiße Biotechnologie übertragen werden:

- Marktperspektive und geeignete Produktausrichtung des potentiellen Kooperationspartners. So sollten z. B. die von Biotechnologieunternehmen angebotenen Methoden, Prozesse und Produkte für Zielmärkte gedacht sein, die denen der Industrie entsprechen. Außerdem sollten die industriellen Kooperationspartner eine klare Marktperspektive anbieten, die aufzeigt, in welcher Weise Märkte für die neuen Methoden, Prozesse und Produkte entwickelt werden können.
- Des Weiteren kann eine „not invented here“-Einstellung innerhalb großer Unternehmen eine Kooperationsbarriere darstellen. Traditionell sind Großunternehmen an „große Bemühungen“ gewöhnt zur Entwicklung neuer Methoden, Prozesse und Produkte. Den FuE-Mitarbeitern der großen Unternehmen fällt es häufig sehr schwer zu akzeptieren, dass kleine FuE-Einheiten (z. B. innerhalb der Biotechnologieunternehmen), ebenfalls in der Lage sein können, interessante Methoden, Prozesse und Produkte zu entwickeln. Aus diesen Gründen ist es sehr wichtig, dass die Kooperationspartner einen „Promotor“ innerhalb der großen Unternehmen finden, der bereit ist und über die Kompetenzen verfügt, die kooperative Aktivität zu fördern.
- Obgleich FuE-Kooperationen als wichtige Informationsquelle betrachtet werden, den Unternehmen methoden-, prozess- und produktgebundenes Wissen zu liefern, existieren gewisse Grenzen für Kooperationsprojekte. Die in den Unternehmen existierenden Fähigkeiten und Kenntnisse sind immer noch von zentraler Bedeutung für die Entwicklung von neuen Methoden, Prozessen und Produkten. Meist stammen immer noch ein Großteil der Methoden-, Prozess- und Produktentwicklungen aus unternehmensinternen FuE-Aktivitäten. Ein wichtiger Grund hierfür ist der erforderliche hohe Grad der Integration der internen FuE-Aktivitäten, der sich aus der Komplexität des IWBT-Innovationsprozesses ergibt. Integration in diesen Kontext bedeutet, dass Netzwerke innerhalb des unternehmensinternen FuE-Prozesses eingerichtet werden müssen, die das für die Methoden-, Prozess- und Produktentwicklung erforderliche Wissen verbinden. Solch eine Integration wird als ein entscheidender Erfolgsfaktor für die Entwicklung neuer Methoden, Prozesse und Produkte betrachtet. Externe Kooperationspartner sind häufig nicht in der Lage, diese Integration zu liefern, weil eine oder mehrere der erforderlichen Kompetenzen nicht vorhanden sind.

2.7 Systembereich 6: Rahmenbedingungen

2.7.1.1 Rechtliche und politische Rahmenbedingungen

Relevante Zusammenhänge

Innovationssysteme sind komplexe Gebilde, deren Funktion vom Vorhandensein und der Interaktion zahlreicher unterschiedlicher Komponenten abhängt. Dabei können zwischen den unterschiedlichen Funktionseinheiten Friktionen entstehen, die sich negativ auf die Gesamtfunktion des Systems auswirken. Solche Innovationshemmnisse können durch fehlende oder unzureichend ausgeprägte Innovationsfunktionen, durch Mängel bei einzelnen Akteuren des Systems, durch fehlende oder unpassende Rahmenbedingungen oder durch zu intensive oder zu geringe Interaktion zwischen den einzelnen Teilsystemen oder Akteuren hervorgerufen werden. Das Vorliegen von Systemmängeln ist eine wesentliche Begründung für politische und rechtliche Interventionen. Die Rolle der Politik besteht dann vorrangig darin, die (rechtlichen) Rahmenbedingungen (bzw. die Institutionen) des Systems sowie infrastrukturelle Komponenten zu optimieren. Systemmängel bzw. Innovationshemmnisse rechtfertigen somit u. U. staatliche Interventionen, die über die Finanzierung der Grundlagenforschung zur Sicherstellung einer angemessenen Wissensbasis hinausgehen. Entscheidend ist dabei, dass die Wirkung der Maßnahmen auf das Innovationssystem einer kontinuierlichen Evaluation unterworfen ist, so dass die eingesetzten Politikinstrumente den Erfordernissen der dynamischen Entwicklung des Systems angepasst werden können.

Die Stärkung eines Innovationssystems hängt entscheidend von der Effektivität und Effizienz von Regulierungsdesigns ab (u. a. Blind et al. 2004, Bock et al. 2005, Nusser 2005, Nusser und Gaisser 2005). Zulassungsstandards, die wegweisend für Zulassungen in anderen Ländern sind, offene, innovationsgerechte Regulierungsdesigns (z. B. Qualitätsstandards für Endprodukte anstatt die Regulierung von Prozessen), eine gute Zusammenarbeit mit serviceorientierten Zulassungsbehörden (die die Regulierungen in Verordnungen umsetzen) sowie eine hohe Transparenz und Stabilität von Regulierungen (z. B. Zulassungskriterien) und Politik können innovationsfördernd wirken. Zusätzlich zu Regulierungsanforderungen aus technologischer Sicht (z. B. Schutz von Eigentumsrechten an Innovationen) begründen beispielsweise zahlreiche Externalitäten Umwelt- und Sicherheitsregulierungen, die den Markt ganz wesentlich beeinflussen bzw. ihn sogar erst konstituieren (u. a. Beise/Rennings 2005).

Untersuchungen (u. a. Blind et al. 2004) zeigen sehr große branchenspezifische Unterschiede: Regulative Rahmenbedingungen in der pharmazeutischen Industrie, aber auch im Nahrungsmittelsektor haben einen überdurchschnittlichen Einfluss für die Ent-

scheidung von Unternehmen, einen nationalen Markt für die erstmalige Einführung einer Innovation auszuwählen. Für den Maschinenbau oder die Elektrotechnik spielt diese Dimension keine bzw. eine untergeordnete Rolle. Fallstudien deuten ebenfalls auf eine erhöhte Bedeutung der Regulierung im Bereich von Nachhaltigkeitsinnovationen hin. Auswertungen von Fallstudien (u. a. Klemmer et al. 1999; Kemp et al. 2000) sowie Ergebnisse im RIW-Programm des BMBF (u. a. Jacobs et al. 2005) zeigen auf, dass neben zahlreichen (z. T. weichen) Kontextfaktoren auch die Instrumentierung des Regulierungsmusters eine wichtige Rolle spielt.

Zu beachten ist auch, dass die Bedeutung von Regulierungsdesigns sich im Laufe verschiedener Innovationsphasen verschiebt (u. a. Nelson 1994; Utterback 1994). Hierbei lassen sich eine erste Experimentierphase mit zahlreichen Firmeneintritten und -austritten, hoher Technologiediversität und kleinen Nischenmärkten von einer zweiten Phase unterscheiden, die durch hohes Marktwachstum und Konsolidierung der Angebotsseite gekennzeichnet ist. In der ersten Experimentierphase kommt der Generierung neuen Wissens und der Hilfestellung im Suchprozess gesteigerte Bedeutung zu. Die Regulierung kann hier die Legitimität neuer technischer Lösungen, die technologische Diversität und die Etablierung neuer Akteure und Netzwerke begünstigen (z. B. durch einen geeigneten rechtlichen Schutz des geistigen Eigentums). In der zweiten Phase gewinnen Regulierungen, die die Bereitstellung von Ressourcen zur Marktexansion beeinflussen, zunehmend an Bedeutung.

Aus politikwissenschaftlicher Sicht wird ebenfalls die Bedeutung von Regulierungsmustern hervorgehoben (u. a. Jacobs et al. 2005; Blazejczak et al. 1999; Jänicke et al. 1999). Einem Politikstil, der den frühzeitigen Einbezug der relevanten Stakeholder und die Abstimmung der Stakeholder untereinander ermöglicht, der langfristigen Verlässlichkeit und Vorhersehbarkeit der Politik und rechtlichen Rahmenbedingungen sowie der frühzeitigen Etablierung politischer und rechtlicher Infrastrukturen wird dabei eine hohe Bedeutung beigemessen. Zudem zeigen frühere Untersuchungen, dass eine Vielzahl an politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen aus verschiedenen Bereichen das IWBT-Innovationssystem beeinflusst. Dies sind u. a. Industrie-, Innovations-, Forschungs-, Bildungs-, Umweltpolitik. Da diese Bereiche unter verschiedene Verantwortlichkeiten fallen, kommt es im Falle einer unzureichenden Koordination zu Inkonsistenzen und sich gegenseitig widersprechenden Maßnahmen (Reiss et al. 2003).

Empirische Projektergebnisse

Die Experteninterviews im Rahmen des Projektes sowie die schriftliche Befragung (Abbildung 1.3, S. 11) zeigen, dass den Regulierungen, der Verlässlichkeit von Geset-

zen und der Politik im Bereich der IWBT in der Regel ein (sehr) hoher Stellenwert beigemessen wird (z. B. in den Bereichen Gentechnikgesetz, Feedbereich inkl. Freilandversuche, Zuckermarktordnung, Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), REACH bei neuen Produkten, „Novel-Food“-Verordnung für neue Inhaltsstoffe).³⁴ „Zu viele (gesetzliche) Hürden und eine mangelnde politische Verlässlichkeit können möglicherweise eine zunehmende Abwanderung ins Ausland induzieren“³⁵ oder „keine Investition ohne Rechtssicherheit“, so einzelne Expertenmeinungen.

Hinsichtlich der rechtlichen Rahmenbedingungen ergibt sich kein einheitliches Bild; vielmehr hängt die Bewertung stark vom jeweiligen IWBT-Anwendungsfeld ab. In der schriftlichen Befragung (vgl. Kapitel 2.1: Abbildung 2.1 und Abbildung 2.2, S. 15 ff.) werden die rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen im Bereich der industriellen, weißen Biotechnologie als ungünstig bewertet. Die detaillierten Untersuchungsergebnisse hinsichtlich der Bewertung der rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen im Rahmen der Experteninterviews zeigen ein differenziertes Bild und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Antworten der Experten waren hier z. T. sehr konträr und differenziert. D. h., es ist nicht eindeutig bestimmbar, ob z. B. Umweltauflagen oder andere Regularien (in Summe) positiv oder negativ auf das IWBT-Innovationssystem wirken, da sie teilweise als Last, teilweise aber auch als Treiber für Innovationen empfunden werden. Die Bandbreite spiegelt sich in nachfolgenden Zitaten wider:

Eher positive Einzelmeinungen: z. B. „sicherheitsrelevante Regelungen und ein sehr hoher Sicherheitsstandard durch die Regularien wirken positiv und sollten nicht aufgegeben werden“, „Im Entsorgungsmarkt und Abwasserbereich sind gesetzliche Regelungen der Treiber für Innovation“, „Gentechnikgesetz ist nach der Novellierung gut handhabbar“, „Gentechnik im Allgemeinen gut geregelt für Mikroorganismen“ „positiv wirken EEG, Steuerbefreiung für Biokraftstoffe, Klärschlammverordnung, Düngemittelverordnung, Wasserrahmenrichtlinie, TA-Siedlungsabfall oder die aktuelle Förderung; negativ wirken REACH (u. a. bei der Zulassung von Gemischen), die Biostoffverordnung und das Gentechnikgesetz“, „keine hemmenden Regelungen bezüglich des Enzymeinsatzes im Vergleich zu klassisch chemischen Produkten“, „momentanen Regulierungen sind o. k.“, „keine signifikante Benachteiligung oder Bevorzugung der IWBT im Vergleich z. B. gegenüber den chemischen

³⁴ Wenige Experten vertraten auch eine konträre Sicht („... Regulierungen haben keine wesentliche Bedeutung, denn vorrangig sind Wirtschaftlichkeit und Kosten“).

³⁵ Eine einzelne Expertenmeinung untermauert dies auf anschauliche Weise: „... ich kann nur warnen, wenn in der IWBT das Gleiche passiert wie in der grünen Biotech, in der weltführende Forschungseinrichtungen aus der Zeitung erfuhren, dass ein wichtiges staatlich geförderte Projekt (gefördert von einem Ministerium) durch das andere Ministerium gestoppt wurde. Dies war für mich ein Grund, nicht nach Deutschland zu gehen!“

Verfahren“, „Deutschland wird bei den Regulierungen oft von anderen europäischen Ländern in einer Vorreiterrolle gesehen“, „Regulierungen haben in der Vergangenheit zur Entstehung neuer Geschäftsfelder geführt: z. B. Verbot von MTBE als Treibstoffzusatz begünstigt ETBE sowie Bioethanol oder Verbot von Knochenmehl als Tierfutterzusatz hat Phytasegeschäft wesentlich befördert“, „Regulierung von Enzymen aus GVO zum Einsatz in Lebensmitteln nach wie vor vergleichsweise günstig im Vergleich zur sonstigen GMO-Regulierung im Food-Bereich“.

Eher negativ: z. B. „insgesamt überreguliert, dadurch aufwändig und langwierig“, „Das Regulationswerk ist komplex und unübersichtlich, dies ist insbesondere für kleinere Firmen ein großes Problem“, „Regularien wirken oft stark einschränkend, da keine zeitlichen Limits für die Entscheidungen bestehen“, „Keine Probleme bei nicht gentechnisch veränderten Organismen; große Probleme jedoch bei gentechnisch veränderten Organismen (u. a. hinsichtlich der Pflanzenbiotechnologie)“, „Unklare Regelung bei Kennzeichnungen von Inhaltsstoffen und kaum Möglichkeiten zum Ausloben positiver Effekte“, „negativ wirkt z. T. die Novel-Food-Verordnung, die zu Unklarheiten bei der Bewertung von Lebensmittelzutaten führt und neue durch unendlich lange und komplizierte Genehmigungsverfahren praktisch verhindert“, „negativ wirken Regularien bei Zulassung von Zusatzstoffen und nachwachsenden Rohstoffen“, „Für REACH gilt: Hilfsmittelformulierungen können nicht in der EU zugelassen, sondern nur für den Einsatz in z. B. Südostasien entwickelt werden; d. h. Produktinnovationen der Hilfsmittelhersteller nützen nicht den europäischen Anwendern“, „negativ wirken einige Regularien für biotechnologische Produkte im Pflanzenschutz (z. B. Gewässerreinigung durch Bakterien in öffentlichen Gewässern)“.

Regulierungen im Bereich der „geschlossenen Systeme“ (Fermenter, Zellkulturen) werden eher positiv bewertet und scheinen den Akteuren weniger Probleme zu bereiten. Hingegen Regulierungen im Bereich der „offenen Systeme“ (z. B. Freilandversuche) werden eher negativ bewertet. Einzelne Experten betonten die Notwendigkeit fallspezifischer Bewertungen: So können z. B. einzelne Umwelt- und Arbeitsschutzauflagen in Einzelfällen neue IWBT-Prozesse vorantreiben (z. B. Substitution von Altanlagen durch neue, umweltfreundliche IWBT-Prozesse) oder aber zur Aufgabe der Produktion bzw. zur Verlagerung ins Ausland führen.

- Die Zuckermarktverordnung (und ähnliche Regelungen) verändern die relativen Rohstoffpreise negativ im Vergleich zu Konkurrenzländern außerhalb Europas. Davon sind u. a. die Stärkerhersteller und die Landwirtschaft betroffen, die Anwender von IWBT nicht zwingend, da sie sich auf Weltmarkt bedienen können. Mit anderen Worten: Die Zuckerpreisordnung dürfte laut einzelner Experten für die IWBT-Industrie insgesamt keine negativen Auswirkungen haben, da letztlich fermentierbarer Zucker zu Weltmarktpreisen zur Verfügung steht, ggf. aber aus Weizen statt aus der Zuckerrübe. Die positiven wie negativen Effekte sind daher eher in den vorgelagerten Sektoren, d. h. bei den Landwirten und den Agrarrohstoffverarbeitern (Zuckerfabriken, Stärkerhersteller) zu finden.

Zudem verschlechtert sich durch solche Landwirtschafts-Regularien die Wettbewerbsfähigkeit von IWBT-Produkten im Vergleich zu Produkten auf Basis fossiler

Rohstoffe (z. B. „Weltweit muss die petrochemische Industrie keine Steuern auf den Teil des Erdöls zahlen, der als Rohstoff verwendet wird, sondern nur auf den Teil, der zur Energiegewinnung dient. Ein Nachteil für die IWBT sei es daher, wenn auf Zucker als Rohstoff Steuern gezahlt werden müssten.“).

- Einige Regulierungen wurden meist negativ bewertet (z. B. Genetchnikgesetz inkl. Freilandversuche, Basel II und Wegfall Verlustvortrag im Kontext von Finanzierung und das Außensteuergesetz im Kontext des Transfers von Intellectual Property Rights), ohne dass jedoch (selbst wenn explizit danach gefragt wurde) die ganz konkreten negativen Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge genannt werden konnten (i. S. v. welche Aspekte wirken denn in welcher Weise negativ).
- Die Bewertungsergebnisse waren häufig an Branchenbesonderheiten geknüpft: z. B. „Regulierungen für die Zulassung von Pharmaprodukten sind meist klar geregelt“, „Regulierungen für den Food-Bereich sind in Ordnung, obgleich sie wenig Akzeptanz in der Bevölkerung finden“, „es gibt zu viele Hemmnisse in der grünen Biotechnologie und somit eventuell eine Gefährdung für die IWBT, neue geeignetere Rohstoffe zu erhalten (z. B. Gesetz zur Freisetzung von rekombinaten Pflanzen)“.
- Bürokratie sowie die Serviceorientierung und Expertise der Behörden wurde öfter als Hemmnis genannt („... neue Stoffe, die auf den Markt gebracht werden, unterliegen z. B. der Novel-Food-Verordnung, bei der die Zulassung aufwändig ist und lange dauert“, „aufwändige Beantragung und hoher Kostenaufwand für Datenbeschaffung“, „Genehmigungsvorgänge können noch wesentlich schneller werden“, „Mangelnde Sachkenntnis der Genehmigungsstellen“, „Sachkompetenz der Behörden muss gesteigert werden“, „Tierfutterzulassung dauert ca. 3 Jahre“, „hinderlich ist die sehr starke Zersplitterung in Bundesländern und Behörden“). Als Verbesserungsvorschlag wurde von einzelnen Experten eine Zentralisierung und EU-Konformität genannt (s. hierzu ausführlich Kapitel 6).
- Eine Inkonsistenz in politischen Entscheidungen, eine mangelnde Abstimmung innerhalb Europas sowie ein Alleinweg Deutschlands im Kontext rechtlicher Rahmenbedingungen könnte weit reichende negative Auswirkungen auf den IWBT-Innovationsstandort Deutschland haben, so einige Experten. In diesem Kontext betonten einige Experten, dass die Regularien inzwischen bereits sehr stark EU-geprägt sind.

2.7.1.2 (Lohn-)Kosten -, Produktivitäts- und Unternehmenssteuerniveau

Verschiedene Untersuchungsergebnisse zu diesem Themenbereich (z. B. Kosten Rohstoffbasis) werden an anderen Stellen behandelt (u. a. Abschnitt 2.1, Kapitel 4 und 6), weshalb an dieser Stelle auf eine Darstellung verzichtet wird. Was die an anderen Stellen der Studie kaum behandelte Lohnkostenseite betrifft, scheint es allerdings keine zentralen Hemmnisse in Deutschland zu geben, da z. B. die Produktionsprozesse sehr kapitalintensiv sind („... die Lohnkosten sind als Standortfaktor zumindest für die Produktion nicht so entscheidend, da die Prozesse weitgehend automatisiert sind, man

braucht nur etwa 3-4 Leute pro Schicht“). Dies bestätigt die Erkenntnisse aus anderen Untersuchungen: Analysen für die deutsche Metall- und Elektroindustrie (Kinkel et al. 2004) zeigen beispielsweise, dass bei „Nicht-Verlagerern“ der Produktion ins Ausland das Verhältnis von Kapitalkosten zu Arbeitskosten signifikant höher ist als bei deutschen Produktionsverlagerern, die ihre Produktionsprozesse in Osteuropa oder Asien durchführen.

2.7.1.3 Verbraucherakzeptanz

Insgesamt zeigt sich, dass die schriftliche Befragung alleine ein zu negatives Bild zeichnet (vgl. Kapitel 2.1: Abbildung 2.1 und Abbildung 2.2, S. 15 ff.). Vor allem die Großunternehmen bewerten die Verbraucherakzeptanz in der schriftlichen Befragung im Bereich der industriellen, weißen Biotechnologie als ungünstig.

Die Experteninterviews und verschiedene Studien zeichnen jedoch ein sehr viel stärker differenziertes und positiveres Bild hinsichtlich der öffentlichen Akzeptanz im Bereich der IWBT (vgl. Kapitel 2.1, 4.1.1). Das Ausmaß der Verbraucherakzeptanz ist stark an die verschiedenen Anwenderbranchen gebunden. Bis auf die Gentechnik im Bereich der Lebensmittel und Landwirtschaft scheint die Verbraucherakzeptanz in der IWBT in vielen Fällen kein Innovationshemmnis darzustellen. Ebenso wie im Gesundheits- und Medizinbereich ist die öffentliche Akzeptanz beim Einsatz der Biotechnologie in industriellen Produktionsprozessen in der Regel gegeben. Ein Grund hierfür dürfte auch sein, dass ein Großteil der IWBT-Methoden, -Prozesse, -Produkte und -Dienstleistungen industrielle Zwischenprodukte sind, deren Nachfrager industrielle Kunden aus anderen Wirtschaftsbranchen sind, die wiederum vor allem „kosten- und qualitäts-gesteuert“ sind.

In diesem Kontext sind auch EU-weite Studien im Bereich der Biotechnologie zu nennen, die u. a. die Grundeinstellung zur Biotechnologie abfragen. Hier zeigt sich tendenziell eine Skepsis in den Ergebnissen der Eurobarometer-Umfragen (Eurobarometer 2006). Beispielsweise sind nur 33 % der Befragten in Deutschland optimistisch bezüglich des Zukunftspotenzials der Biotechnologie, dies ist im internationalen Vergleich wenig. Zwar zeigen frühere Befragungen eher geringe Sorgen über den Einsatz von gentechnisch veränderten Enzymen, der Einsatz von gentechnisch veränderten Lebensmitteln wird in Deutschland und den europäischen Ländern aber eher abgelehnt (Eurobarometer 2003). Diese Ergebnisse werden im Rahmen der Studie bestätigt.

Wie stark sich die Verbraucherakzeptanz auf das Nachfrageverhalten der Akteure auswirkt, kann daher nicht generell gesagt werden, die Auswirkungen sind meist technikspezifisch und hängen von dem jeweiligen Anwendungsfeld ab. Untersuchungen zur Bedeutung von Technikakzeptanz (z. B. Hüsing et al. 2002) auf die Nachfrage zeigen

beispielsweise, dass wenn die Technikanwendung einen hohen Nutzen verspricht (z. B. Schutz von Gesundheit oder Umwelt) und dieser gleichzeitig nicht auch auf anderem Wege erreichbar ist, die Risikowahrnehmungen eine sehr untergeordnete Rolle für Entscheidungen und Bewertungen spielen. Dies zeigt sich auch bei empirischen Untersuchungen zu Teilbereichen der Gentechnik (Slaby et al. 2001). Diese differenzierte Sicht bestätigt sich auch in den Experteninterviews. Aktivitäten im Bereich der roten Biotechnologie und der IWBT, die dem Schutz von Gesundheit oder der Umwelt dienen können, existiert ein höheres Bewusstsein und eine höhere Akzeptanz für Biotechnologie-Innovationen.

Insgesamt zeigt sich somit, dass die Verbraucherakzeptanz in der IWBT in aller Regel kein Innovationshemmnis zu sein scheint.

3 Aktuelle und zukünftige Beschäftigungspotenziale der industriellen, weißen Biotechnologie

3.1 Untersuchungsdesign und Methodik

3.1.1 Konzept zur Messung der Beschäftigungseffekte der IWBT

Für die Analyse der IWBT-Beschäftigungseffekte werden nicht nur die unmittelbar im Bereich der IWBT forschenden und produzierenden Unternehmen betrachtet, sondern zusätzlich die Effekte in Anwender- und Vorleistungsbranchen berücksichtigt (z. B. Menrad et al. 2003, Janssen-Timmen und Moos 2004). Zur Analyse dieser Beschäftigungseffekte der IWBT wurde ein auf drei Säulen basierendes Untersuchungskonzept genutzt (Abbildung 3.1), das die unterschiedlichen Arten von Beschäftigungswirkungen berücksichtigt (vgl. Menrad et al. 2003):

Direkte Beschäftigungswirkungen in den Teilsegmenten der IWBT

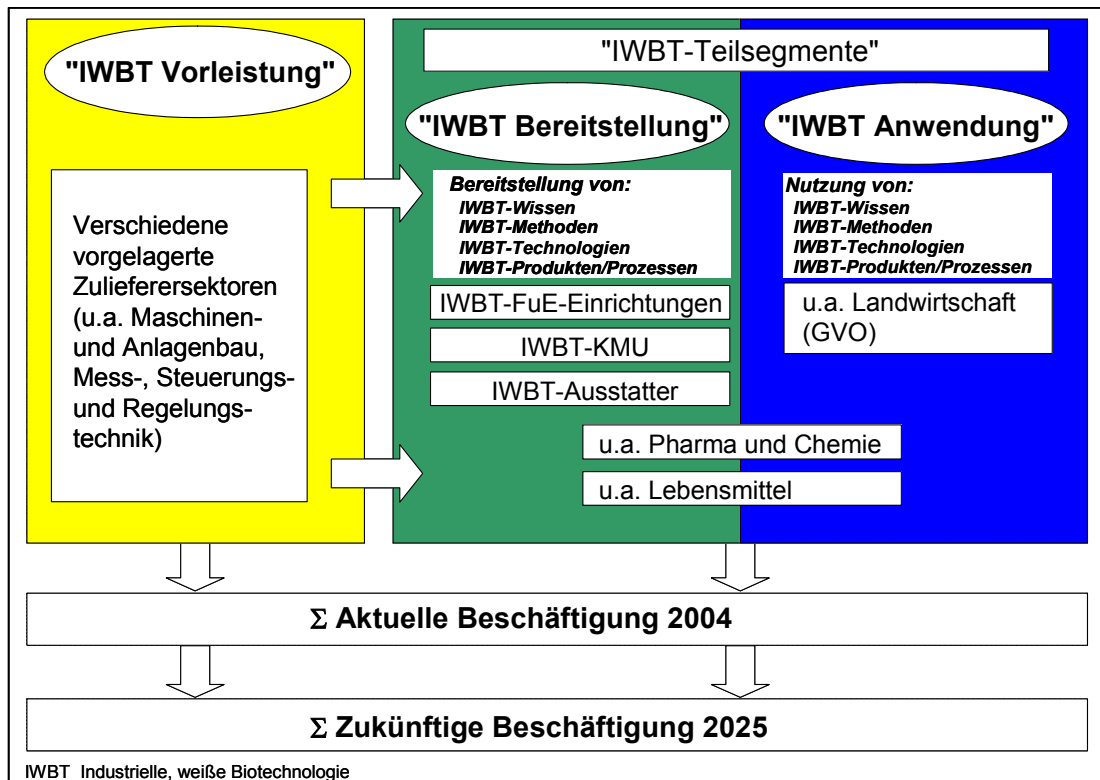
- Direkte Beschäftigungseffekte in Unternehmen oder Forschungseinrichtungen, die sich unmittelbar mit der Erforschung und Entwicklung von IWBT-Wissen (insb. Technologien, Methoden und Prozessen) beschäftigen („IWBT Bereitstellung“). Auf Grund der verwendeten Definition (s. Abschnitt 2) werden Pflanzenzüchtungsunternehmen nicht berücksichtigt, da diese der grünen Biotechnologie zuzuordnen sind.
- Direkte Beschäftigungseffekte in anderen Wirtschaftszweigen der Volkswirtschaft, die Methoden, Produkte oder Prozesse der IWBT anwenden und nutzen („IWBT Anwendung“). Hierbei werden nur die der IWBT Bereitstellung direkt nachgelagerten wichtigen Anwenderindustrien in die Untersuchungen einbezogen, d. h. konkret die Chemie- und Pharmabranche sowie die Lebensmittelindustrie und Landwirtschaft. Auf Grund der verwendeten Definition werden in der Landwirtschaft nur diejenigen Effekte berücksichtigt, die in Verbindung mit gentechnisch veränderten Organismen in Verbindung stehen.

Beschäftigungswirkungen in vorgelagerten Zulieferersektoren

- Vorleistungseffekte der „IWBT-Teilsegmente“: Der gesamtwirtschaftliche Beschäftigungseffekt der IWBT wird allein mit den direkt Erwerbstätigen in den „IWBT-Teilsegmenten“ (d. h. Akteuren, die das IWBT-Wissen bereitstellen sowie denen die dieses IWBT-Wissen nutzen und anwenden) nur teilweise erfasst. Durch ihre Investitionstätigkeiten (u. a. Forschungslaboreinrichtungen, Produktionsanlagen) und Ausgaben für Vorleistungskäufe (u. a. Leistungen von privaten FuE-Dienstleistern, Ingenieuren und Unternehmensberatungen) sind die IWBT-Teilsegmente an der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung beteiligt. Diese Lieferverflechtungen mit anderen Wirtschaftssektoren induzieren zusätzliche Beschäftigungseffekte in vorgelager-

ten Zulieferersektoren („IWBT Vorleistung“), die in einer Gesamtbetrachtung berücksichtigt werden müssen.

Abbildung 3.1: Konzept zur Analyse der Beschäftigungseffekte der IWBT



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Für die Analyse der direkten Beschäftigungswirkungen der IWBT werden für die in diesem Feld tätigen universitären und außeruniversitären FuE-Einrichtungen, kleinen und mittelständischen IWBT-Unternehmen sowie IWBT-Ausstatter die Erwerbstätigen ermittelt („IWBT Bereitstellung“). „IWBT-Ausstatter“ sind solche Unternehmen, die wissenschaftliche (Labor) Geräte und die dafür notwendigen Reagenzien und Verbrauchsmaterialien herstellen, die in den „IWBT-Teilsegmenten“ Verwendung finden.

Bei den Beschäftigungswirkungen in den Anwenderbranchen werden vor allem die Branchen Pharma, Chemie, die Lebensmittelindustrie und die Landwirtschaft untersucht.³⁶ Innerhalb dieser Branchen werden die Marktsegmente (d. h. Produktgruppen)

³⁶ In der Chemiebranche wird der an Bedeutung zunehmende Bereich Bioethanol miteinbezogen. In der Landwirtschaft werden Biogasanlagen miteinbezogen.

mit Bezug zur IWBT identifiziert und analysiert. Die Pharma-, Chemie- und Lebensmittelbranche nehmen bezüglich der Bereitstellung und Anwendung/Nutzung von IWBT-Wissen eine Zwischenstellung ein: Einerseits entstehen in den unternehmenseigenen FuE-Abteilungen direkte Beschäftigungseffekte durch die Erforschung und Weiterentwicklung von Methoden, Prozessen oder Produkten (Bereitstellung von IWBT-Wissen). Andererseits dienen Methoden der IWBT in diesen Branchen auch beispielsweise dazu, die Toxizität von Chemikalien zu untersuchen. Diese Anwendung und Nutzung von IWBT-Methoden und -Ansätzen führt zu weiteren Beschäftigungseffekten („IWBT Anwendung“). Eine genaue Trennung dieser Beschäftigungseffekte der IWBT in „IWBT Bereitstellung“ und „IWBT Anwendung“ ist auf Grund der vorliegenden Datenbasis in diesen „Anwenderbranchen“ nicht möglich. Daher werden im Rahmen dieser Studie die Beschäftigungswirkungen in den Branchen Pharma, Chemie und Lebensmittel vollständig den Beschäftigungseffekten „IWBT Anwendung“ zugerechnet.

Bei der Analyse der Beschäftigungseffekte „IWBT Anwendung“ ist zu berücksichtigen, dass die Methoden, Prozesse oder Produkte der IWBT mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und Intensität die verschiedenen Märkte durchdringen. Zudem unterscheidet sich die Situation und voraussichtliche zukünftige Entwicklung hinsichtlich Marktvolumen und Wettbewerbsverhältnissen, Zahl der betroffenen Arbeitsplätze und Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen sowie der verfügbaren Datenbasis deutlich zwischen den verschiedenen IWBT-Anwendungsfeldern. Daher werden die Beschäftigungswirkungen der IWBT differenziert nach den wichtigsten Anwenderbranchen Chemie (inkl. Bioethanol), Pharma/Medizin, Lebensmittelherstellung und -verarbeitung und Landwirtschaft (inkl. Anteil Energie/Strom aus Biogasanlagen) ermittelt. Die Marktdurchdringung, d. h. der IWBT-Anteil am Gesamtumsatz, wurde im Rahmen des Projektes auf Basis einer schriftlichen Befragung und eines Workshops durchgeführt. Dabei zeigte sich im Rahmen des Workshops, dass die quantitativen Daten („IWBT-Substitutionspotenzial“) aus der schriftlichen Befragung zur Bedeutung der IWBT in den verschiedenen Anwenderbranchen aus Sicht der Experten „zu hoch“ waren. Deshalb wurde im Rahmen von Experteninterviews sowie auf Basis von IWBT-Patentanalysen (s. Abschnitt 2) die aktuelle und zukünftige IWBT-Marktdurchdringung qualitätsgesichert.

Die Vorleistungseffekte der „IWBT-Branche“ entstehen einerseits bei der Bereitstellung biotechnologischer Methoden, Produkte oder Prozesse als auch in den Anwenderindustrien, in denen durch die Anwendung und Nutzung von IWBT beispielsweise neue Investitionen getätigt werden. Diese Beschäftigungseffekte entstehen in einer Vielzahl von Wirtschaftssektoren und können über eine Input-Output Analyse quantifiziert werden (vgl. S. 193 f.).

Beschäftigungseffekte neuer Technologien

Im Folgenden werden die wichtigsten Effekte aufgezeigt, die bei der Analyse der Beschäftigungswirkungen neuer Technologien und somit auch der IWBT berücksichtigt werden sollten (vgl. Hagemann 1985, Klauder 1986, Blattner 1996, Hagemann et al. 1998, Meyer-Krahmer 1999 sowie Walz 2002):

Niveaueffekte

- Nachfrage nach Produktinnovationen: Wenn durch neue IWBT-Prozesse/-Produkte bestimmte Produktinnovationen entstehen, können sie die Endnachfrage erweitern und damit beschäftigungssteigernd wirken. Allerdings gilt dies nur in dem Ausmaß, in dem es nicht zur Verdrängung substituierter konventioneller Produkte kommt.
- Maschinenherstellungsargument: Die im Produktionsprozess in den Anwenderindustrien eingesetzten Methoden, Prozesse und Produkte der IWBT müssen erst hergestellt werden. Dadurch entstehen positive Beschäftigungseffekte bei den IWBT-Herstellern („Ausstatter“), den Herstellern von Investitionsgütern (IWBT-Produktionsanlagen) und deren Zuliefererunternehmen. Dem sind allerdings die vermiedenen Investitionen bei den traditionellen Prozessen gegen zu rechnen, die durch die Prozesse bzw. Produkte der IWBT substituiert werden.
- Steigerung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit: Wenn auf Grund des Einsatzes von IWBT-Prozessen/-Produkten Preise gesenkt oder neue Produktfunktionen oder -qualitäten angeboten werden, kann es zu erhöhten Exporten und/oder geringeren Importen kommen. Dadurch erhöht sich der Saldo aus Export- und Importnachfrage, wodurch eine positive Wirkung auf die inländische Beschäftigung erzielt werden kann. Im Fall der IWBT sind drei Bereiche zu unterscheiden, auf die dieses Argument zutreffen kann: die auf Grund besserer Prozesse (z. B. geringerer Energie- und Ressourcenverbrauch) erhöhte preisliche Wettbewerbsfähigkeit der IWBT anwendenden Industrien, die qualitative Wettbewerbsfähigkeit der Hersteller von IWBT-Wissen (Technologien, Methoden, Prozessen, Produkten oder Dienstleistungen) sowie die qualitative Wettbewerbsfähigkeit bei Produktinnovationen, die durch IWBT bei den Anwenderunternehmen erst möglich werden.
- Freisetzungshypothese in den Anwenderbetrieben durch Prozessinnovationen: Kommt es auf Grund von Prozessinnovationen zu Produktivitätssteigerungen, so erhöht (bei konstantem Niveau und konstanter Struktur des Outputs) der technischer Wandel primär die Arbeitsproduktivität. Übertragen auf die hier betrachtete IWBT bedeutet dies, dass es zu Produktivitätssteigerungen und damit Freisetzungseffekten in den Anwenderbranchen (z. B. chemische Industrie, Lebensmittelindustrie) kommen könnte.
- Real-Einkommenseffekte: Wenn IWBT-Prozesse die Produktivität steigern oder die Kosten senken, führen sie zu Effizienzgewinnen. Diese können in Form geringerer Preise oder erhöhter Gewinn- bzw. Lohneinkommen zu realen Einkommenserhö-

hungen führen. Die dadurch induzierten sektoralen Nachfrageverschiebungen führen zu entsprechenden Beschäftigungseffekten.

Struktureffekte

Neben diesen Effekten auf das Output-Niveau sind auch strukturelle Verschiebungen zwischen den wirtschaftlichen Sektoren zu erwarten. Wenn z. B. IWBT-Prozesse/-Produkte zu einem verstärkten Einsatz nachwachsender Rohstoffe (z. B. bei Bioethanol im Chemiesektor) führen, kommt es zu einer Verschiebung in den Wertschöpfungsketten zu Lasten anderer Rohstoffe bzw. Energieträger. Neben den damit verbundenen Anpassungserfordernissen ist zu berücksichtigen, dass die Sektorstruktureffekte auch zu Folgewirkungen auf die Beschäftigung führen können:

- Werden durch die IWBT verstärkt Produktionsbereiche bzw. Wirtschaftssektoren mit hohen Importanteilen begünstigt, kommt es tendenziell zu einem Abfluss der Nachfrage (u. a. nach Vorleistungs- und Investitionsgütern) ins Ausland mit negativen Beschäftigungseffekten in Deutschland. Werden umgekehrt Wirtschaftssektoren begünstigt, die durch geringe Importanteile gekennzeichnet sind (z. B. öffentlicher FuE-Sektor, unternehmensbezogene Dienstleistungen, Landwirtschaft) kommt es zu einer Importsubstitution und damit einem Anstieg der Inlandsnachfrage (z. B. wenn petrochemisch-basierter Kraftstoff auf Basis von ausländischem Rohöl durch Bioethanol aus heimischen Zuckerrüben ersetzt wird). Dies induziert positive Beschäftigungseffekte.
- Ein sektoraler Strukturwandel hin zu arbeitsintensiven Branchen (z. B. Dienstleistungssektoren) begünstigt einen Anstieg der Beschäftigten. Umgekehrt werden weniger Arbeitskräfte benötigt, falls weniger arbeitsintensive Branchen (u. a. kapitalintensive Industriesektoren mit hoher Produktivität) an Bedeutung zunehmen.

Diese Wirkungsmechanismen sind methodisch schwierig zu erfassen und können mit keinem Modellansatz „vollständig“ analysiert werden. Tabelle 3.1 zeigt auf, welche Effekte im Rahmen dieses Projektes in welcher Weise berücksichtigt werden können.

Für die Gesamtbewertung der Beschäftigungswirkungen der IWBT wird ein Ansatz verfolgt, der sich an den *Wertschöpfungsketten*, die mit dem Einsatz der IWBT verbunden sind, orientiert. Damit werden alle Wirtschaftsaktivitäten, die an der Erforschung, (Weiter-) Entwicklung, Anwendung und Diffusion bzw. Marktdurchdringung von Methoden, Prozessen, Produkten und Dienstleistungen der IWBT beteiligt sind, einbezogen.

Im Vordergrund der Analyse stehen folglich nicht makroökonomische Wirkungsmechanismen (z. B. Zinseffekte), sondern durch spezifische technische Änderungen ausgelöste strukturelle Wirkungen. Damit wird nicht eine makroökonomische, sondern eine

mesoökonomische, einzelne Wirtschaftssektoren unterscheidende Analyseebene gewählt. Hierbei werden die Auswirkungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette auf wichtige ökonomische Größen wie z. B. Produktion und Beschäftigung analysiert.

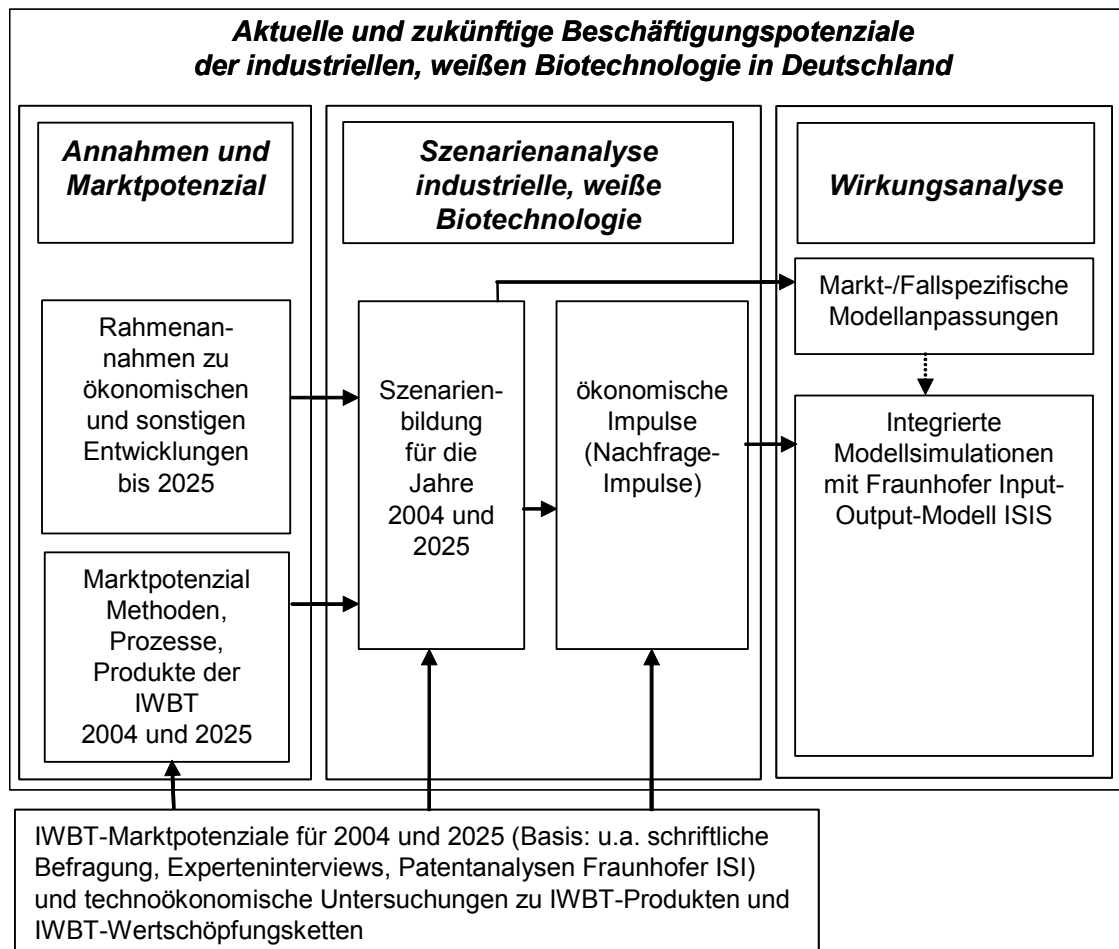
Tabelle 3.1: Berücksichtigung technologiebedingter Beschäftigungseffekte

Technologische Effekte	Art der Berücksichtigung in diesem Projekt
Nachfrage nach Produktinnovationen	Wird indirekt in den Szenarien über potenzielles Marktwachstum und Marktdurchdringung abgebildet. Basis hierfür sind qualitative und semi-quantitative Ergebnisse (z. B. zu IWBT-Umsatzanteilen) aus Experteninterviews und schriftlicher Befragung sowie Literatur- und Statistikauswertungen
Maschinenherstellungsargument	Wird durch Investitionsströme und deren Vorleistungsverflechtungen im Input-Output Modell abgebildet
Steigerung internationale Wettbewerbsfähigkeit	Wird indirekt in den Szenarien abgebildet. Basis sind Ergebnisse aus Experteninterviews und schriftlicher Befragung (z. B. zu IWBT-Umsatzanteilen) sowie Literatur- und Statistikauswertungen und gesamtwirtschaftlichen Zukunftsstudien (u. a. Prognos)
Freisetzungseffekte	Wird über Projektionen von sektoralen Produktivitätsentwicklungen im Input-Output-Modell berücksichtigt
Real-Einkommenseffekte	Indirekt über Einbezug von Daten von gesamtwirtschaftlichen Zukunftsstudien (u. a. Prognos)
Struktureffekte (veränderte Beschäftigungs- und Importintensitäten)	Wird indirekt in Szenarien (IWBT-relevante ökonomische Nachfrageimpulse, IWBTspezifische Vorleistungsstrukturen, und strukturelle Nachfrageverschiebungen) abgebildet (s. o.). Unterschiedliche Beschäftigungs- und Importintensitäten der verschiedenen 71 Branchen im Input-Output-Modell können Struktureffekte nachzeichnen.

Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Zur Erfassung dieser strukturellen Effekte wird bei der vorgesehenen Modellierung an eine so genannte **technologisch fundierte Mikro-Makro-Brücke** angesetzt (Abbildung 3.2), die insbesondere bei den wirtschaftlichen Auswirkungen technologischer Neuerungen auf Sektorebene eingesetzt wird. Im Unterschied zu aggregierten makroökonomischen Modellen, in denen jeder reale Markt bzw. Sektor- sowie Technikbezug verloren geht, übersetzt dieser Ansatz die durch den Technikeinsatz ausgelösten Veränderungen in ökonomische (Nachfrage-)Impulse. Durch Verwendung dieses Modellansatzes besteht die Möglichkeit, Rückkoppelungen zwischen der Makro- und Mikroebene zu modellieren.

Abbildung 3.2: Schematische Darstellung Mikro-Makro-Brücke bei der Analyse der Beschäftigungswirkungen der IWBT



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Für die Berechnung der Beschäftigungseffekte wird das am Fraunhofer ISI entwickelte ISIS-Modell (Integrated Sustainability Assessment System) eingesetzt. Der Kern besteht aus einem Input-Output Modell. Dieses Modell basiert auf den aktuellen Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2002. Darin wird die deutsche Volkswirtschaft in 71 Produktions- und Dienstleistungssektoren (s. Anhang Tabelle A-1) und sechs Endnachfragesektoren, darunter die private Konsumnachfrage und die Ausfuhr, unterteilt. Dabei werden die Lieferungen von Waren und Dienstleistungen zwischen den produzierenden Sektoren (Zwischennachfrage) sowie von diesen an die Endnachfragesektoren abgebildet (siehe Anhang A.1 für eine ausführliche Beschreibung des Input-Output-Modells). An entsprechenden Stellen (u. a. Bildung „eigener IWBT-Teilsegmente“, Produktivitätsfortschreibung) wird mittels geeigneter statistischer Quellen eine Anpassung an das Jahr 2004 und 2005 vor-

genommen. Durch das ISIS-Modell werden die Auswirkungen von Veränderungen in der Zwischen- und Endnachfrage nach Methoden, Prozessen und Produkten der IWBT auf die gesamte Wirtschaft simuliert. Als Dateninput für die Input-Output-Modellberechnungen werden die ökonomischen (Nachfrage) Impulse verwendet, die sich aus der Bewertung der aktuellen und zukünftigen Marktpotenziale der IWBT auf Basis einer schriftlichen Befragung, Experteninterviews und Patentanalysen des Fraunhofer ISI ergeben.

Produktivitätseffekte in den Anwendersektoren sowie Veränderungen in den Vorleistungsinputs werden durch fallspezifische Modellanpassungen der durch die IWBT besonders betroffenen Branchen bzw. Branchensegmente berücksichtigt. Der Einsatz der Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen der IWBT betrifft nämlich einige Sektoren der Volkswirtschaft in besonders hohem Ausmaß, die in der 71 Sektoren-Grundstruktur des ISIS-Modells nicht disaggregiert vorliegen, sondern nur als Teilbereich einer oder mehrerer Branche erfasst sind. Sie können durch die Bildung neuer Sektoren (d. h. sog. „IWBT-Sektoren“) und deren Integration in das Modell in eine fallspezifisch angepasste Analyse einbezogen werden. Dazu ist die Vorleistungsstruktur dieser neuen IWBT-Teilsegmente zu definieren und sie müssen über die entsprechenden Koeffizienten (z. B. Vorleistungsstruktur-Vektoren, Beschäftigungsintensitäten) in das Modell eingefügt werden. Durch derartige Modellanpassungen wird es möglich, die vorgegebene Struktur des ISIS-Modells auf die fallspezifischen Anforderungen der IWBT hin auszurichten. Durch Ankopplung eines qualifikations-spezifischen Beschäftigungsmoduls lassen sich zudem Auswirkungen auf die Qualifikationsanforderungen (Datenbasis: Mikrozensus) für das Jahr 2004 ableiten, die aus dem Einsatz der Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen der IWBT resultieren.

Die mit dem skizzierten Ansatz ermittelten ökonomischen Folgewirkungen des Einsatzes der IWBT werden durch Validitätsprüfungen, Sensitivitätsanalysen und Konsistenzchecks auf Robustheit gegenüber alternativen Annahmen und (technologischen) Entwicklungspfaden geprüft.

3.1.2 Szenarienanalysen

Szenarienanalysen bilden die Basis für die Berechnung der aktuellen und zukünftigen Beschäftigungspotenziale der IWBT (vgl. Kapitel 3.1.1).

Mit der Szenarienanalyse³⁷ bezeichnet man dabei einen methodischen Ansatz, um einen Blick in eine künftige, mit zahlreichen Unsicherheiten behaftete Welt zu werfen. Szenarien sind also keine Vorhersagen über den künftigen Zustand der Welt oder allgemein eines Systems im Sinne von Prognosen. Vielmehr sind sie „Bilder“ oder Skizzen möglicher künftiger Situationen. Szenarien sind in sich selbst konsistente Geschichten über die Art und Weise, wie sich die Welt oder das betrachtete System im Zeitablauf entwickeln bzw. in welchem Zustand sie / es sich zu einem bestimmten künftigen Zeitpunkt befinden wird. Szenarien lenken die Aufmerksamkeit auf kausale Prozesse und Entscheidungspunkte und stellen damit eine Methode dar, für einen gegebenen Zusammenhang besonders wichtige Einflussfaktoren auf die künftige Entwicklung herauszuarbeiten und verschiedene mögliche Entwicklungslinien explizit zu machen. In diesem Sinne sind Szenarien Hilfsmittel für langfristige strategische Entscheidungen.

Die Art und Weise, wie der Untersuchungsgegenstand bei einer Szenarioanalyse abgebildet (modelliert) wird, und welche beeinflussenden Kausalitäten zwischen den Einflussfaktoren berücksichtigt werden, entscheidet wesentlich über den notwendigen Aufwand bei der Szenarioentwicklung. Bei der Abbildung des Untersuchungsgegenstandes wird in der Regel zwischen dem sog. Gegenstandsbereich und dem Umfeldbereich unterschieden. Der Gegenstandsbereich ist der im Rahmen der Szenarienanalyse eigentlich interessierende Teil der Realität. In dieser Studie sind dies z. B. die IWBT-Teilsegmente, d. h. die Bereitstellung von biotechnologischen Methoden, Prozessen, Produkten und Dienstleistung sowie deren Anwendung bzw. Nutzung in den direkt nachgelagerten Anwenderbranchen und die daraus resultierenden Beschäftigungseffekte IWBT Bereitstellung, IWBT Anwendung und IWBT Vorleistung. Der Umfeldbereich repräsentiert zunächst den „Rest der Welt“ und ist das Komplement des Gegenstandsbereichs. Der Umfeldbereich wird allerdings in der Regel auf die aus Sicht der Szenarioentwickler wesentlichen Randbedingungen reduziert, die für den Einsatz der unterschiedlichen umweltbelastenden Prozesse von Bedeutung sind. Diese Rahmenannahmen dienen der Einbindung des Gegenstandsbereichs in einen Gesamtzusammenhang. Im Extrem würde die Begründung aller Einflussfaktoren eine unendliche Kette wissenschaftlicher Argumente erfordern. Indem Szenarien entworfen werden und explizit Annahmen über die Entwicklung von Umfeldbedingungen gemacht werden, wird dieser „regressus ad infinitum“ abgeschnitten. Bei Szenarien im Bereich der IWBT gehören hierzu Annahmen u. a. zur allgemeinen sowie sektorspezifischen Wachstumsentwicklungen in Deutschland, aber auch zur Entwicklung des Welthandels (vgl.

³⁷ Vgl. Kahn/Bruce-Briggs 1972, Batelle/Dornier/ISI 1976, Jochem 1988, Schwartz 1991, VDI 1991, Shoemaker 1995, Gausemeier et al. 1997, Jouvenel 2000, Godet 2000.

Anhang A.2). Mit Hilfe der Szenariotechnik wird damit das Ziel verfolgt, ein Bild einer möglichen Zukunft mit einer Kombination von Rahmenbedingungen zu entwickeln, das die Anforderungen der Plausibilität und Konsistenz erfüllt.

Die Vorgehensweise bei der Durchführung der Szenarienanalysen kann schematisch in mehrere Schritte unterteilt werden:

- In einem ersten Schritt werden die Szenarien konkretisiert und abgegrenzt. Hierbei muss der Gegenstandsbereich der Szenarien bestimmt werden. Des Weiteren ist eine Festlegung der zeitlichen und räumlichen Dimension erforderlich. Typischerweise werden hierbei Stichjahre gewählt, wie z. B. in dieser Studie Szenarienbetrachtungen für die Situation in Deutschland im Jahr 2004 und 2025.
- In einem zweiten Schritt erfolgt die Spezifizierung der Annahmen im Gegenstandsbereich. Hierbei müssen die Annahmen im Gegenstandsbereich wie z. B. Marktdurchdringung von IWBT-Methoden, -Prozessen und -Produkten sowie notwendige Prozessschritte (inkl. der dazugehörigen Kostenstrukturen) in den Bereitstellungs- und Anwenderbranchen getroffen werden.
- Für jedes Gebiet der wirksamen (einflussreichen) Bedingungen wird eine mögliche Entwicklung in der Art ausgewählt, dass keine offensichtlichen Widersprüche zu den Annahmen und zwischen den einzelnen Entwicklungen (z. B. IWBT-Marktdurchdringung in den unterschiedlichen Anwenderbranchen) auftreten (Konsistenz-Kriterium). Die Gesamtheit der ausgewählten und als konsistent abgestimmten Entwicklungen definiert dann ein *Szenario*.

Im Wesentlichen gibt es zwei Ansätze, die bei der Entwicklung von Szenarien verfolgt werden: eine zielorientierte und eine explorative Szenarienbildung. Bei den zielorientierten Szenarien stehen die Bedingungen, unter denen vorgegebene Ziele erreicht werden, im Vordergrund des Interesses. In dieser Studie wird hingegen ein explorativer Ansatz verwendet. Die stärksten Triebkräfte und gestaltenden Kräfte, die auf die Bereitstellung und Anwendung bzw. Nutzung biotechnologischer Methoden, Prozesse und Produkte einwirken, werden identifiziert, wie z. B. das Wirtschaftswachstum, der Strukturwandel, die Außenhandelsbeziehungen auf der Nachfrageseite, aber auch die absehbaren Veränderungen auf der Angebotsseite (z. B. techno-ökonomische Größen). Wenn ein Szenario mit einem explorativen Ansatz entwickelt wird, sind die Ergebnisse wichtiger Indikatoren wie z. B. die IWBT-Beschäftigungseffekte noch offen bzw. in einem offenen Entwicklungsraum.

3.2 Direkte Beschäftigungswirkungen bei der Bereitstellung von IWBT-Wissen („IWBT Bereitstellung“)

3.2.1 Arbeitsplätze in öffentlichen Forschungseinrichtungen

Deutschland hat ein sehr differenziertes System an öffentlichen FuE-Organisationen, die in der Biotechnologie insgesamt und in der IWBT speziell tätig sind (Reiss und Hinze 2004). Demnach ist die Erfassung der gesamten Beschäftigungseffekte in diesem Bereich schwierig und an einige Annahmen gebunden. Dies gilt sowohl für die universitäre als auch außeruniversitäre Forschung.

Universitäre Forschungseinrichtungen

Es gibt keine regelmäßig erhobene Statistik die Auskunft über die Anzahl von Hochschulpersonal gibt, die einer bestimmten Technologie zurechenbar sind. Nur in einer Sondererhebung des Statistischen Bundesamtes (StaBu) wurde für das Jahr 1992 der Umfang an Personal an Hochschulinstituten mit biotechnologischer Forschung für verschiedene Wissenschaftszweige (z. B. Mathematik/Naturwissenschaften, Humanmedizin, Agrar-, Forst- und Ernährungswissenschaften sowie Ingenieurwissenschaften) ermittelt (Hetmeier et al. 1995). Ausgehend von dieser Erhebung wurde zunächst der Anteil der mit biotechnologischer Forschung beschäftigten Wissenschaftler und des sonstigen Personals (z. B. Verwaltungs- oder technische Angestellte) an dem gesamten an Hochschulen beschäftigten Personal der jeweiligen Wissenschaftszweige bestimmt. Anschließend wurde hieraus der Anteil der in der IWBT tätigen Beschäftigten geschätzt.

Unter Nutzung dieser Koeffizienten wurde in einem ersten Schritt das mit biotechnologischer Forschung an Hochschulen betraute Personal für die Jahre bis 2003 errechnet, da von Seiten des BMBF das FuE- und sonstige Personal an Hochschulen nach Wissenschaftszweigen in regelmäßigen Abständen veröffentlicht wird (BMBF 1996, 2000b, 2002, 2005). Dieses Verfahren sichert, dass insbesondere das aus „Grundmitteln“ finanzierte Personal an Hochschulen mit erfasst wird und nicht nur die aus Drittmitteln finanzierten Beschäftigten.

Unterstellt man den „Biotechnologie-Anteilskoeffizienten“ des StaBu von 1992, so ist die Zahl der Beschäftigten an Hochschulinstituten, die sich mit biotechnologischer Forschung befassen, von 12.200 im Jahr 1992 auf knapp 13.300 im Jahr 2003 gestiegen (Tabelle 3.2). Es sind dabei im Zeitablauf keine großen Veränderungen in der Struktur der relevanten Wissenschaftszweige zu erkennen. Mit etwa 5.600 Beschäftigten entfällt der größte Teil des Personals auf die Humanmedizin, gefolgt von den Naturwissenschaften/Mathematik mit etwa 5.300 Beschäftigten im Jahr 2002. Im letztgenannten

Feld haben vor allem die Biologie und Chemie eine besondere Relevanz (Hetmeier et al. 1995). Gegenüber den beiden erstgenannten Wissenschaftszweigen sind die Agrar-, Forst- und Ernährungswissenschaften mit etwa 1.400 Beschäftigten sowie die Ingenieurwissenschaften mit rund 900 Beschäftigten nur in eingeschränktem Umfang mit biotechnologischen Fragestellungen befasst.

Der Anfang der 1990er-Jahre ermittelte StaBu-Koeffizient „Anteil des mit biotechnologischer Forschung betrauten Personals“ wurde in einem zweiten Schritt angepasst. Hierzu wurde als Proxy die Zunahme des Anteils der Biotechnologie-Publikationen am Gesamtpublikationsaufkommen herangezogen. Dieser Anteil stieg von durchschnittlich 3,2 % in 1991-93 auf ca. 7,0 % in 2000/01 (Reiss et al. 2003), d. h. er hat sich mehr als verdoppelt. Diese Annahme hinsichtlich der Anpassung des StaBu-Koeffizienten (Multiplikation mit $\sim 2,2 = 7/3,2$) wird durch weitere Indikatoren zur öffentlichen Forschung untermauert. Das BMBF hat seine finanzielle Ausgaben zur Projektförderung³⁸ in der IWBT zwischen 1996 und 2004 um 85 % erhöht, also nahezu verdoppelt (BMBF 2005). Daraus ergibt sich eine Bandbreite der Biotechnologie-Beschäftigten von 25.000 bis 29.000 Beschäftigte für die universitären Forschungseinrichtungen.

In einem abschließenden dritten Schritt wurde dann der „Anteil der IWBT-Beschäftigten an den gesamten Biotechnologie-Beschäftigten“ ermittelt. Da der Output von Forschern sich in der Regel über Publikationen, aber auch über Patente messen lässt, wurde ein Proxy verwendet, der sich aus mehreren Komponenten zusammensetzt. Einerseits wurde der Anteil der IWBT-Publikationen an gesamten Biotechnologie-Publikationen berücksichtigt, der für die beiden Jahre 2003/04 in Deutschland etwa bei knapp unter 4 % lag (s. Abschnitt 2). Der IWBT-Patentanteil an den gesamten Biotechnologie-Patenten betrug in den beiden Jahren 2003/04 rund 13 % (s. Abschnitt 2). Da der Schwerpunkt der universitären Forschungseinrichtungen im Publizieren liegt, wurde diese Komponente stärker gewichtet. Als Proxy für den „Anteil der IWBT-Beschäftigten an den gesamten Biotechnologie-Beschäftigten“ in den universitären Forschungseinrichtungen wurde eine Bandbreite von 6 % bis 8 % unterstellt. Dieser Proxy wird im Folgenden auch für die außeruniversitären Forschungseinrichtungen verwendet.³⁹ Die Untergrenze der Biotechnologie-Beschäftigten (25.000) wurde mit 6 %, die Obergrenze (29.000) mit 8 % multipliziert. Für die Modellberechnungen in Abschnitt 3.6.1 wurde

³⁸ Mit diesem Indikator werden nur Drittmittel, aber keine Grundmittel erfasst. Daher dient dieser Indikator nur zu Untermauerung der Entwicklung und wird nicht selbst zur Berechnung herangezogen.

³⁹ Wohlwissend, dass sich hier der Schwerpunkt etwas stärker in Richtung Patentieren statt Publizieren verschiebt. Dennoch dürfte auch hier die Bandbreite den IWBT-Anteil realistisch widerspiegeln.

daher für die Szenarien eine Bandbreite von 1.500 bis 2.300 Beschäftigte für die universitären Forschungseinrichtungen in 2004 angenommen.

Tabelle 3.2: Personal an Hochschulinstituten mit biotechnologischer Forschung (Basis: StaBu-Koeffizient 1992) (in Tausend)

Jahr	Naturwissenschaften/ Mathematik	Medizin	Ingenieurwissenschaften	Agrarwissenschaften ¹⁾	Insgesamt ²⁾ (in Tsd.)
1992 ³⁾	5,4	4,2	1,0	1,6	12,2
2003	5,3	5,6	0,9	1,4	13,3
2004	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.
2004	Insgesamt Biotechnologie: Anpassung StaBu-Koeffizient: Zunahme Anteil Biotechnologie-Publikationen am Gesamtpublikationsaufkommen (von 3,2 auf 7 %)				25 - 29
2004	Szenarienwerte IWBT 2004: Anteil IWBT an Biotechnologie: 6 % - 8 %				1,5 - 2,3
¹⁾ Einschließlich Forst- und Ernährungswissenschaften ²⁾ Wissenschaftler, klinisches und sonstiges Personal ³⁾ Quelle: Hetmeier et al. 1995					

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006 (n.v. = nicht verfügbar)

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

In der Sondererhebung des Statistischen Bundesamtes von 1992 wurde auch ermittelt, wie viele Institute verschiedener außeruniversitärer Forschungseinrichtungen (z. B. Helmholtz-Zentren, Max-Planck-Institute, Fraunhofer-Institute, Institute der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried-Wilhelm Leibniz sowie Bundesforschungsanstalten) sich mit biotechnologischer Forschung beschäftigen. Ähnliche Erhebungen wurden auch in verschiedenen Ländern Europas durchgeführt (Gießler und Reiss 2000). Dadurch konnten die sich mit biotechnologischer Forschung befassenden Institute in verschiedenen Typen von außeruniversitären Forschungseinrichtungen ermittelt werden. Weitere Berichte zu Aktualisierungen im biopharmazeutischen Bereich (Reiss und Hinze 2004) und aktuelle Änderungen (z. B. neue Fraunhofer-Institute) wurden berücksichtigt. Die Zahl der an den jeweiligen Instituten beschäftigten Forscher und sonstigen Angestellten für die relevanten Institute wurde durch Angaben in den jeweiligen Jahresberichten und Internet-Recherchen ermittelt. In außeruniversitären Forschungseinrichtungen sind im Jahr 2004 knapp unter rund 25.500 bis 26.000 Beschäftigte mit Fragen der Biotechnologie befasst (Tabelle 3.3).

Tabelle 3.3: Personal an außeruniversitären Forschungseinrichtungen mit biotechnologischer Forschung im Jahr 2004

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen	Zahl der Arbeitsgruppen/Institute/Zentren	Personal (in Tausend) insgesamt ¹⁾
Ressortforschung u. a. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz (BMELV): z. B. Robert-Koch-Institut, Paul-Ehrlich-Institut	12	5,7
Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried-Wilhelm Leibniz (WGL)	16	3,3
Hermann von Helmholtz Gemeinschaft deutscher Forschungszentren (HGF)	6	8,7
Max-Planck-Gesellschaft (MPG)	29	7,3
Fraunhofer-Gesellschaft für angewandte For- schung (FhG)	6	0,7
Insgesamt Biotechnologie	-	~ 25,5 -26,0
Szenarienwerte IWBT 2004: Anteil IWBT an Biotechnologie: 6 % - 8 %	-	1,5 - 2,1
¹⁾ Wissenschaftler, technisches und sonstiges Personal		

Quelle: Erhebungen und Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

Im Vergleich zur Erhebung des Statistischen Bundesamtes, das für das Jahr 1992 insgesamt 18.200 Beschäftigte an außeruniversitären Forschungseinrichtungen feststellte (Hetmeier et al. 1995) hat sich ihre Zahl bis zum Ende des Jahrzehnts um etwa 7.000-8.000 erhöht. Ein Vergleich mit Daten (gleiches Erhebungsverfahren) aus dem Jahre 2000 in Höhe von ca. 22.000 (Menrad et al. 2003) zeigt, dass sich die Beschäftigungsdynamik im außeruniversitären Forschungsbereich auch nach dem Jahre 2000 fortgesetzt hat. Den höchsten Anteil machen mit mehr als 8.700 Beschäftigten die 6 Zentren der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren (HGF) sowie die 29 Institute bzw. Arbeitsgruppen der Max-Planck-Gesellschaft mit zusammen knapp 7.300 Beschäftigten aus.

Als Proxy für den „Anteil der IWBT-Beschäftigten an den gesamten Biotechnologie-Beschäftigten“ in den außeruniversitären Forschungseinrichtungen wurde ebenfalls eine Bandbreite von 6 % bis 8 % unterstellt. Für die Modellberechnungen in Ab-

schnitt 3.6.1 wurde daher für die Szenarien eine Bandbreite von 1.500 bis 2.100 Beschäftigte in 2004 angenommen.

3.2.2 Arbeitsplätze in der privaten Wirtschaft

3.2.2.1 Arbeitsplätze in den Biotech-KMU

Bisher steht keine einheitliche Datengrundlage über die Anzahl kleiner und mittelständischer IWBT-Unternehmen (Biotech-KMU) und ihrer Beschäftigten zur Verfügung. Es existieren mehrere Erhebungen des Feldes wie z. B. die jährlichen Umfragen von Ernst & Young und der Biocom AG sowie die Mehrfachbefragung des Statistischen Bundesamtes (Ernst & Young 1996-2005, Mietsch 2000-2004, Statistisches Bundesamt 2005). Die Unterschiede zwischen diesen Datenerhebungen ergeben sich vorrangig durch die verschiedenen Definitionen, welche Unternehmen zum Kern der Biotechnologie gezählt werden können. Für die Modellberechnung der Beschäftigungseffekte wurden die Angaben des Statistischen Bundesamtes verwendet, da diese die OECD-Definition verwendet, und sich daher für internationale Vergleichbarkeit eignen und zudem der Definition entspricht, die für die schriftliche Befragung im Rahmen dieses Projektes verwendet wurde (s. Abschnitt 1.2). Im Jahr 2004 sind gemäß den Zahlen des Statistischen Bundesamtes rund 12.000 Personen in den kleinen und mittelständischen IWBT-Unternehmen beschäftigt (Tabelle 3.4). Dieser Wert liegt oberhalb der Angaben von Ernst & Young, aber unterhalb der Biocom-Daten.

Aus den bisherigen Befragungen des Statistischen Bundesamtes ist keine direkte Bestimmung der Anzahl an IWBT-KMU und deren Beschäftigten möglich. Daher wurde die Anzahl der Beschäftigten indirekt anhand der Unternehmensumfrage der BIOCUM AG (biotechnologie.de 2006) bestimmt. Demnach sind 13,2 % der Biotechnologie-KMUs in der IWBT tätig, allerdings nicht ausschließlich (s. Abschnitt 2). Da bei dieser Umfrage Mehrfachnennungen möglich waren⁴⁰ summieren sich die Nennungen auf 188,9 %. Daher wurde unter der Annahme, dass ein linearer Zusammenhang existiert zwischen Anteil Unternehmen und Anteil Beschäftigten, wurde ein Anteil der IWBT-Beschäftigten an der gesamten Biotechnologie von 7 % (= 13,2 / 188,9) unterstellt. Für die Modellberechnungen in Abschnitt 3.6.1 wurde für die Szenarien der Beschäftigungswert 800 (=12.000 x 7 %) in 2004 angenommen.

⁴⁰ Es gibt Biotechnologieunternehmen, die sowohl im Bereich Gesundheit und Medizin als auch im Bereich industrielle, weiße Biotechnologie tätig sind. Die Summe der Prozentwerte über alle Biotechnologie-Segmente (Gesundheit und Medizin, Tiergesundheit, Landwirtschaft, industrielle Biotechnologie, unspezifische Forschungsmethoden und Sonstiges) lag bei rund 190 %, d. h. im Durchschnitt ist jedes Unternehmen in zwei Segmenten tätig.

Tabelle 3.4: Biotech-KMU Deutschland: Beschäftigtenzahlen 1995-2004 (in Tsd.)

Jahr	Beschäftigte Biotech-KMU (in Tausend)		
	Ernst & Young	Statistisches Bundesamt	Biocom AG
2004	10,1	12,0	14,4
Szenarienwerte IWBT 2004: Anteil IWBT an Biotechnologie: 7 %	---	0,8	---

Quellen: Ernst & Young 2005, BIOCOM 2005 und 2006, Statistisches Bundesamt 2005

3.2.2.2 Arbeitsplätze bei den IWBT-Ausstattern

IWBT-Ausstatter liefern die notwendigen Ausrüstungsgegenstände und Verbrauchsmaterialien für FuE-Einrichtungen und Unternehmen, die sich unmittelbar mit der Erforschung und Entwicklung, Produktion oder Vermarktung biotechnischer Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen im Kontext der IWBT beschäftigen. Da sie nicht nur die Kern-Biotechnologieunternehmen, sondern auch die Anwenderbranchen mit spezifischen Apparaten und Geräten ausstatten, sind die Beschäftigungseffekte vergleichsweise hoch. Verstärkend wirkt die hohe Exportintensität dieser Unternehmen.

Zur Erfassung der Biotechnologie-Ausstatter hat das Statistische Bundesamt einen Ansatz gewählt, der von der BIOCOM AG (Mietzsch 2003) vorgezeichnet wurde und seit einigen Jahren praktiziert wird. Das Statistische Bundesamt verwendet in seinen Biotechnologie-Umfragen verschiedene Unternehmenskategorien. Zu den Biotechnologie-Ausrüstern bzw. -ausstattern gehören demnach Unternehmen, die in nennenswertem Umfang technische Produkte bzw. Dienstleistungen für Biotechnologiefirmen oder FuE-Einrichtungen anbieten und nicht selbst mit modernen biotechnischen Verfahren arbeiten.

Entsprechend der aktuellen Sondererhebung 2005 (Statistisches Bundesamt 2005) sind im Jahr 2004 rund 23.700 Beschäftigten bei den Biotechnologie-Ausstattern beschäftigt. Unter der Annahme, dass ein linearer Zusammenhang existiert zwischen den Biotechnologieunternehmen und deren Ausstatter, wurde analog zu den Biotech-KMU auch für die Ausstatter ein Anteil der IWBT-Beschäftigten an der gesamten Biotechnologie von 7 % unterstellt. Für die Modellberechnungen in Abschnitt 3.6.1 wurde für die Szenarien der Beschäftigungswert 1.700 (=23.700 x 7 %) in 2004 angenommen.

3.2.2.3 Abschätzung der Beschäftigung 2025 IWBT Bereitstellung

Die direkte Beschäftigung in den Teilsegmenten der IWBT Bereitstellung in den Szenarien für 2025 wurde wie folgt berechnet: Für die Universitäten/ FuE-Einrichtungen wurde (da keine Umsatzzahlen verfügbar sind) in Anlehnung an die Wachstumsrate im öffentlichen FuE-Sektor in einer Prognos-Studie (vgl. ausführlich Abschnitt 3.3.3 und Anhang A.2) sowohl für die Untergrenze 2004 und Obergrenze 2004 ein jährliches Beschäftigungswachstum von 0,7 % bis 2025 unterstellt.⁴¹

Bei den IWBT-Ausstattern erfolgte (da keine Umsatzzahlen verfügbar sind) ein analoges Vorgehen für die Untergrenze 2025 (knapp unter 0,7 % Beschäftigungswachstum p. a.). Bei den Biotech-KMU der IWBT lagen Umsatzzahlen in 2004 vor. Hier wurde entsprechend dem unterstellten realen Umsatzwachstum für den öffentlichen FuE-Sektor (analog zur Prognos-Studie, vgl. Anhang A.2) ein realer Umsatzzuwachs von rund 79 % bis 2025 unterstellt. Die Werte für die Obergrenze 2020 bei den Biotech-KMU der IWBT und den IWBT-Ausstattern ergeben sich aus dem unterstellten Marktwachstum bzw. Wachstums des Produktionsvolumens in den Anwendersektoren (vgl. ausführlich Abschnitt 3.3.3). D. h., es wurde eine lineare Koppelung dieser Segmente der IWBT Bereitstellung an die IWBT Anwendung unterstellt. Im Ergebnis heißt das: Über alle Anwenderbranchen hinweg kommt es etwa zu einer etwas mehr als Verdoppelung des Produktionsvolumens. Bei den Biotech-KMU der IWBT wurde daher ebenfalls jeweils ein realer Umsatzzuwachs von rund 130 % bis 2020 unterstellt. Das Beschäftigungswachstum der IWBT-Ausstatter wurde an das der Biotech-KMU der IWBT gekoppelt, allerdings wurden im Vergleich zu den KMU geringere Produktivitätszuwächse bei den Ausstattern angenommen.⁴²

41 Folgende wichtige Annahmen liegen der Prognos-Studie zu Grunde: Damit Deutschland in vielen Bereichen auch zukünftig eine technologische (Mit-)Führerschaft halten und möglicherweise ausbauen kann, ist ein intensiver und offener Wissens- und Technologietransfer zwischen öffentlicher und industrieller Forschung und Entwicklung ein zentraler Erfolgsfaktor. Neben der industriellen FuE in den Unternehmen ist daher ein starker öffentlicher Wirtschaftssektor Forschung und Entwicklung erforderlich (u. a. universitäre und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, private FuE-Dienstleister). Dieser strategisch bedeutende Wirtschaftssektor für die deutsche Volkswirtschaft wird daher zukünftig weiter wachsen. Von entscheidender Bedeutung sind hier die politischen Rahmenbedingungen. Einerseits werden durch den Staat finanziell Forschungsförderung und eigene Forschung und Entwicklung betrieben, andererseits kann er wichtige Rahmenbedingungen für das Ausmaß industrieller FuE-Aufwendungen festlegen. Insgesamt wird von einer steigenden Erwerbstätigkeit bis 2020 in diesem sehr arbeitsintensiven Wirtschaftssektor ausgegangen werden.

42 Die geringeren Ausstatter-Produktivitäten wurden angelehnt an die Produktivitätszuwächse des ISIS-Modellsektors Mess-/Steuerungs-/Regelungstechnik.

3.2.3 Zusammenfassung direkte Brutto-Beschäftigungseffekte in den Teilsegmenten IWBT Bereitstellung

Die direkt Erwerbstätigen (in Vollzeitäquivalenten) in den Teilsegmenten IWBT Bereitstellung für die Jahre 2004 und 2025 lassen sich wie folgt zusammenfassen: Bei den direkt Beschäftigten in den Anwenderbranchen handelt es sich um Vollzeitäquivalente (FTE). Die Werte für 2004 und 2025 berücksichtigen u. a. anwenderbranchenspezifische Arbeitsintensitäten. Die Werte für 2025 bilden u. a. Produktivitätsfortschritte und die abnehmende inländische Wertschöpfungsintensität ab.

Tabelle 3.5: Direkte Brutto-Beschäftigungseffekte 2004 und 2025 in den Teilsegmenten der IWBT Bereitstellung (in Tausend)

Teilsegmente IWBT Bereitstellung	Direkte Brutto- Erwerbstätige 2004/05 (in Tausend)	Direkte Brutto- Erwerbstätige 2025 (in Tausend)
Szenariowerte Universitäten und außer-universitäre FuE-Einrichtungen	3,0 - 4,4	3,5 - 5,1
Szenariowerte Biotech-KMU IWBT	0,8	0,9 - 1,1
Szenariowerte IWBT-Ausstatter	1,7	1,9 - 2,4
Summe	5,4 – 6,9	6,3 - 8,6

Quelle: Fraunhofer ISI 2006. Basis: Eigene Input-Output-Modellberechnungen, Prognos 2002 bzgl. Produktions- und Beschäftigungswachstum bis 2025 in relevanten Wirtschaftsbranchen

3.3 Direkte Beschäftigungseffekte in den Anwenderindustrien („IWBT Anwendung“)

3.3.1 Forschungsdesign

Vorhandene Untersuchungen (u. a. Statistisches Bundesamt 2002, 2005; Ernst&Young 2000-2006, Mietzsch 2002-2004, BMBF 2000, Becher und Schuppenhauer 1996, Hetmaier et al. 1995) zu den quantitativen Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie bzw. der IWBT beruhen weitgehend auf Befragungen von Experten und Unternehmen sowie Abschätzungen der zukünftigen Entwicklung auf Basis von Plausibilitätsüberlegungen oder Hochrechnungen von Befragungsergebnissen. Zukunftsbezogene quantitative Extrapolationen der Beschäftigungswirkungen auf Basis konsistenter Szenarien fehlen bislang. Viele der bisherigen Studien bzw. Erhebungen „beschränken“ sich in der Regel bei den Beschäftigungseffekten „lediglich“ auf die direkt Beschäftigten in den kleinen und mittelständischen Kern-IWBTunternehmen und/oder auf die IWBT-Ausstatter (u. a. jährliche Ernst&Young-Berichte, Sondererhebung des Statistischen Bundesamtes 2005). Auch die zukünftige Entwicklung des IWBT-relevanten qualifikationsspezifischen Arbeitskräfteangebots oder die Arbeitsnachfrage der Wirtschaft nach qualifizierten IWBT-Arbeitskräften wird kaum berücksichtigt.

Zusammenfassend ergeben sich somit folgende Grenzen der verfügbaren Studien zu Beschäftigungseffekten der IWBT in den Anwenderindustrien:

- Keine bzw. unvollständige Differenzierung nach verschiedenen nachgelagerten Anwenderindustrien (u. a. Pharma-, Chemie- und Lebensmittelindustrie, Landwirtschaft). Diese Aspekte werden im Rahmen dieser Studie ausführlich in diesem Abschnitt 3.3 (insb. qualitativ) sowie in Abschnitt 3.6 (quantitativ) untersucht.
- Keine bzw. unzureichende quantitative Berücksichtigung von Beschäftigungseffekten in vorgelagerten Zulieferersektoren (z. B. Maschinen- und Anlagenbau, Baugewerbe). Diese Aspekte werden im Rahmen dieser Studie im nachfolgenden Abschnitt 3.4 ausführlich untersucht.
- Keine quantitativen zukunftsbezogenen Extrapolationen von Beschäftigungseffekten, d. h. keine konsistenten Beschäftigungsszenarien. Die zukunftsbezogenen Szenarien werden ausführlich in diesem Abschnitt 3.3 (insb. qualitativ) sowie in Abschnitt 3.6 (quantitativ) untersucht.
- Keine bzw. unzureichende Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklung des IWBT-relevanten Angebots an qualifizierten Arbeitskräften und der qualifikationsspezifischen Arbeitsnachfrage nach IWBT-Arbeitskräften. Diese Aspekte werden in dieser Studie in Abschnitt 3.6.2 analysiert.

Im Rahmen dieses Projektes wurden diese Elemente in ein konsistentes Gesamtforschungsdesign integriert. Einige der oben beschriebenen Aspekte waren bereits in

einer früheren Studie des Fraunhofer ISI für die gesamte Biotechnologie berücksichtigt, wo insbesondere Beschäftigungseffekte für das Jahr 2000 untersucht wurden (Menrad et al. 2003). Wie diese Studie zeigte, entstehen die größten Beschäftigungseffekte der Biotechnologie in den Anwenderbranchen.

Zu den Beschäftigungswirkungen in den Anwenderindustrien der IWBT zählen Arbeitsplätze, die in einem direkten engen Zusammenhang mit der Nutzung und Anwendung von Methoden, Prozesse und Produkte der IWBT stehen. Schwierigkeiten bei der Quantifizierung dieser Wirkungen bereitet die Problematik der Abgrenzung, welche Arbeitsplätze in einen konkreten Zusammenhang mit IWBT gebracht werden können.⁴³

Im Mittelpunkt der nachfolgenden Betrachtung steht die Identifikation von **direkten** Arbeitsplätzen, die mit der Anwendung und Nutzung biotechnischer Methoden, Prozesse und Produkte **direkt** in Zusammenhang stehen. Die damit zusammenhängenden Beschäftigungseffekte in den vorgelagerten Zulieferersektoren werden im nachfolgenden Abschnitt 3.4 sowie in Abschnitt 3.6 ausführlich untersucht.

Der Charakter der Schlüsseltechnologie führt dazu, dass die IWBT nicht passfähig zum Gliederungsschema traditioneller Wirtschaftszweig-Klassifikationen ist und sich keinem der dort abgegrenzten Wirtschaftszweige klar und eindeutig zuordnen lässt, da ein solches technologisches Paradigma für zahlreiche und unterschiedliche Wirtschaftszweige einen wesentlichen Schlüsselfaktor darstellt. Verschiedene Studien und Experteninterviews zeigen, dass aktuell und zukünftig die wichtigsten direkten Anwendungsfelder (i. S. v. „erste Ebene der IWBT Bereitstellung direkt nachgelagerten Sektoren“) in folgenden Bereichen liegen: Chemie (inkl. Bioethanol), Pharma, Lebensmittelproduktion und -verarbeitung und zukünftig in der Landwirtschaft (inkl. Anteil Energie/Strom aus Biogasanlagen) ⁴⁴.

Die wiederum dieser „ersten Ebene der direkten Anwendersektoren“ (insb. der Chemie) nachgelagerten Sektoren der „zweiten, dritten etc. Ebene“ (z. B. Leder-, Textil-Papier- und Zellstoffindustrie, die meist Chemievorleistungsgüter nutzen) werden nicht berücksichtigt, da diese vor allem statistisch nicht bzw. nur sehr „unsauber“ erfasst

⁴³ Dieses Problem bei Beschäftigungswirkungsanalysen gilt nicht speziell für die Biotechnologie oder IWBT, sondern allgemein für alle neuen Technologien.

⁴⁴ Hierbei ist zu beachten, dass in der Landwirtschaft weltweit zwar bereits eine ganze Reihe gentechnisch veränderter Pflanzen kommerziell erhältlich sind und auch bereits in beträchtlichem Umfang angebaut werden, doch bestand seit 1999 bis 2003 in der EU ein so genanntes Quasi-Moratorium, das dazu führte, dass über Anträge zur Markteinführung gentechnisch veränderter Organismen in der EU nicht mehr entschieden wurde und diese auch nur im Rahmen von Freisetzungsversuchen angebaut wurden (Coss 1998, TAB 2005, Meyer 2000, James 2005).

werden können. Damit erfolgt möglicherweise eine gewisse Unterschätzung der Effekte. Denn Studien zeigen, dass die Beschäftigungswirkungen von Innovationen auch zu einem bestimmten Teil indirekt, d. h. bei den „Nutzern“ von Innovationen, insbesondere im expandierenden (wissensintensiven) Dienstleistungsbereich anfallen (u. a. Legler et al. 2005). Hier stellt sich allerdings auch die Frage hinsichtlich der direkten Verknüpfung zur IWBT, denn z. B. könnte man theoretisch auch die Verkäuferin im Handel, die das IWBT-basierte Waschmittel in das Regal einräumt (d. h. eine der letzten Stufen der Wertschöpfungskette), den IWBT-Beschäftigungseffekten zuordnen. In diesem Projekt findet jedoch eine „Beschränkung“ auf die erste nachgelagerte Ebene der IWBT Bereitstellung statt, d. h. die direkt nachgelagerten Anwenderbranchen werden berücksichtigt, was „wissenschaftlich State-of-the-Art“ ist.

3.3.2 Charakterisierung von Anwendungsfelder der IWBT in verschiedenen Branchen

Die Anwendungsfelder der IWBT sowie die IWBT-basierten Produkte bzw. Produktgruppen sind bereits ausführlich in Abschnitt 2.5.2.5 beschrieben worden, weshalb an dieser Stelle auf eine „IWBT-spezifische“ Beschreibung der Anwenderbranchen und der Bedeutung der IWBT für die Anwendungsfelder verzichtet wird. Vielmehr werden einige wichtige allgemeine Kennzahlen zu den Anwenderbranchen genannt (z. B. Umsatz- und Beschäftigungszahlen), um im weiteren Verlauf die direkten Beschäftigungswerte der IWBT-Teilsegmente besser einordnen zu können. Die Charakteristika der wichtigsten Anwenderbranchen (u. a. verschiedene Statistiken des Statistischen Bundesamtes und Stifterverbandes) sowie relevante Entwicklungstendenzen (u. a. Prognos 2002)) werden nachfolgend kurz skizziert.

Chemie (inkl. Pharma/ Grundstoffchemie):

Deutschland ist nach den USA und Japan und vor China und Frankreich mit einem Umsatz von 136,4 Mrd. € der drittgrößte Chemieproduzent der Welt. Die chemische Industrie (u. a. BASF, Bayer, Degussa, Merck, Henkel) ist gemessen am Umsatz die viertgrößte Branche in Deutschland. In 1.700 Unternehmen arbeiten knapp über 460.000 Beschäftigte, 91 % dieser Unternehmen haben weniger als 500 Beschäftigte. Mit 7,5 Mrd. € wurden im Jahr 2003 18,2 % der FuE-Aufwendungen der deutschen Wirtschaft von der chemischen Industrie getätigt. Die chemische Industrie produziert eine breite Palette an Produkten für die verschiedenen Lebensbereiche. Sie stellt im Wesentlichen Vorprodukte für andere Industriezweige her. Zu dieser Gruppe gehören anorganische Grundchemikalien und Petrochemikalien (34 %), Fein- und Spezialchemikalien (25 %), Pharmazeutika (21 %) und Polymere (20 %). Im Jahr 2003 wurden insgesamt rund 70 % der Chemieproduktion an industrielle Weiterverarbeiter geliefert.

Die pharmazeutische Industrie als Teil der chemischen Industrie (u. a. Boehringer Ingelheim, Bayer, Sanofi Aventis, Fresenius, Schering) beschäftigt in Deutschland ca. 115.000 Mitarbeiter. Die Pharma-Aufwendungen für Forschung und Entwicklung betragen in 2004 rund 4 Mrd. €.

Die Märkte der Chemiebranche (inkl. Pharma) sind bereits sehr stark international ausgerichtet, der Trend wird sich in den kommenden Jahrzehnten aber weiterhin fortsetzen. Den möglichen Exportchancen steht der weltweite Standortwettbewerb gegenüber. Hier wird der Einsatz neuer Technologien (insbesondere im Bereich der roten und industriellen, weißen Biotechnologie) eine bedeutende Rolle spielen. Insgesamt wird das Nachfragepotenzial auf dem Weltmarkt zu einer deutlichen Umsatz- und Wertschöpfungssteigerung dieser Branche führen. Allerdings wird dies voraussichtlich nur mit einer konsequenten Nutzung der Produktivitätspotenziale und einer Branchenkonzentration gelingen, so dass die direkte Beschäftigung in der Gesamtbranche in Summe vermutlich abnehmen wird.

Lebensmittelverarbeitung:

Die deutsche Lebensmittel- oder Ernährungsindustrie, die sich mit der Herstellung und Verarbeitung von Lebensmitteln befasst, beschäftigte im Jahr 2003 über 500.000 Mitarbeiter in 5.880 Unternehmen und erzielte einen Umsatz von 128 Mrd. €. Die weit überwiegende Anzahl der Betriebe dieser Branche ist klein- und mittelständisch (KMU), über 70 % der Betriebe haben weniger als 100 Mitarbeiter. Gerade in diesen KMU sind die Mittel für FuE sehr gering, so dass die FuE-Aufwendungen der gesamten Branche mit 0,5–1 % des Umsatzes „nur“ knapp 1 Mrd. € betragen. Auf Grund geringer Margen bestehen Unternehmensstrategien zum einen in der Spezialisierung auf hocheffiziente Produktionsverfahren unter Nutzung modernster Technik, zum anderen in der Fokussierung auf Marktsegmente mit überdurchschnittlichen Wachstumsraten bzw. Gewinnspannen, wie z. B. naturbelassene Lebensmittel oder aber Lebensmittel mit gesundheitlichem Zusatznutzen (Functional Food). Zu ihrer Herstellung werden spezielle funktionelle Inhaltsstoffe benötigt, die in vielen Fällen mit Hilfe der IWBT herstellbar sind. Da sich die Ursprünge der Biotechnologie in der Lebensmittel- und Getränkeherstellung finden, sind biotechnische Ansätze in diesem Industriezweig traditionell weit verbreitet, doch finden Neuentwicklungen zur IWBT auf Grund der geringen Gewinnspannen und der geringen Forschungsintensität der Lebensmittelindustrie vor allem in vorgelagerten Zulieferersektoren (insb. Chemieindustrie) statt.

Auf Grund stagnierender Bevölkerungszahlen (in industrialisierten Ländern) und des erreichten Wohlstandsniveaus sind viele Märkte im Bereich der Lebensmittelverarbeitung reif und gesättigt. In Verbindung mit starkem Wettbewerbsdruck aus dem Ausland

sind deshalb nur geringe Wachstumsraten zu erwarten. Zusätzlich wird ein zu erwartender Konzentrationsprozess das Produktivitätswachstum beschleunigen, so dass die Zahl der Erwerbstätigen deutlich zurückgehen wird.

Landwirtschaft:

Die deutsche Landwirtschaft hat mit ca. 870.000 Erwerbstätigen im Jahr 2004 einen Anteil an der Gesamtwirtschaft von gut 2 %. Der Umsatz beträgt (einschließlich Subventionen) ca. 44 Mrd. € und ist auf über 400.000 Betriebe aufgeteilt (BMVEL 2005). Die Branche ist auf Grund der hohen Anzahl an Selbständigen von vielen kleinen Betrieben geprägt. Die durchschnittliche Betriebsgröße stieg allerdings in der Vergangenheit kontinuierlich an. Dies ist wichtig, um im stärker werden internationalen Wettbewerb bestehen zu können (Prognos 2002). Insgesamt ist Deutschland ein Netto-Importeur im Weltagrarhandel (BMVEL 2005). Die FuE-Aufwendungen sind mit ca. 115 Mio. € gering und liegen deutlich unter 1 % des Umsatzes. Ca. zwei Drittel dieser FuE Aufwendungen werden für interne Forschung verwendet, 40 Mio. € werden für FuE an externe Institutionen und Unternehmen vergeben (Stifterverband 2006).

Im Rahmen des fortschreitenden Strukturwandels wird die Bedeutung der Landwirtschaft auch in Zukunft weiter abnehmen. Durch die Bio- und Gentechnik sind aber wachsende Teilmärkte denkbar, beispielsweise bei Medizinpflanzen für die Pharmaindustrie oder durch die Produktion von Biomasse für die Verwendungsbereiche Biokraftstoffe und Bioenergie (u. a. für Bioethanol oder den Betrieb von Biogasanlagen). Insgesamt wird es aber durch das relativ starke Produktivitätswachstum weiterhin zu einem Beschäftigungsabbau in diesem Wirtschaftssektor kommen.

Art der wirtschaftlichen Potenziale der IWBT

Die konkreten Wirkungsmechanismen von neuen Technologien auf Beschäftigung sind sehr komplex und vielschichtig. Voraussetzung dafür, dass neue Technologien in größerem Ausmaß beschäftigungswirksam werden, ist zunächst deren erfolgreiche Anwendung und Marktdurchdringung. Neue Technologien wie die IWBT bzw. Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen der IWBT setzen sich im Wettbewerb am Markt nur dann durch, wenn sie im Vergleich zu existierenden bzw. etablierten Technologien besser zur

- Entwicklung neuer und Verbesserung bestehender Produkte und Dienstleistungen,
- Einführung neuer und Verbesserung bestehender Prozesse und Verfahrensabläufe,
- Senkung von Kosten (insb. Personal, Material, Energie),
- Zeitersparnisse und Prozessbeschleunigung („schneller am Markt sein“),

- Erhöhung der (finanziellen) Flexibilität (z. B. Ausweitung von „Small-scale“-Anlagen),
- Ressourcenschonung und Verminderung von Umweltbelastungen,
- Erfüllung rechtlicher Vorgaben

beitragen können und insbesondere das wirtschaftliche Risiko, die Innovations- und Anpassungskosten (z. B. neue Anlagen und Prozesse oder Mitarbeiterqualifizierung in den entwickelnden und herstellenden Unternehmen, aber auch bei den Kunden und Abnehmern) nicht zu hoch sind im Verhältnis zum erwarteten Umsatz bzw. Gewinn. Ebenfalls für die Marktdurchdringung unterstützend wirkt die Verfügbarkeit technologie- und marktrelevanter Informationen (z: B. Kosteneffizienz bei Demonstrationsprojekten, konkrete Qualitätsanforderungen seitens der industriellen Kunden, belastbare Nachfragegeschätzungen).

Die Ergebnisse der im Rahmen dieses Projektes durchgeführten schriftlichen Befragung hinsichtlich der wirtschaftlichen Potenziale der IWBT sind in den Abschnitten 2.5.2.1 ausführlich dargestellt worden, weshalb an dieser Stelle nur die wichtigsten Kernaussagen bzw. Schlussfolgerungen mit Bezug auf die Art der Beschäftigungseffekte dargestellt werden.

Neben den reinen Brutto-Beschäftigungswirkungen des Einsatzes der IWBT in den betroffenen Anwenderbranchen interessiert hier vor allem die Frage, ob durch die Anwendung bzw. Nutzung der IWBT überwiegend neue zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen werden (z. B. bei einer Marktausweitung durch die Herstellung völlig neuer Produkte), differenziert nach In- und Ausland, oder ob durch die Anwendung bzw. Nutzung der IWBT in Deutschland „lediglich“ bestehende Arbeitsplätze in den Anwenderindustrien gesichert werden. Zur Analyse dieser Fragestellung wurden Primärerhebungen aus anderen Projekten des Fraunhofer ISI genutzt, Experten aus Wissenschaft und Wirtschaft um ihre Einschätzung zu dieser Frage gebeten sowie Ergebnisse aus technoökonomischen Studien (u. a. Hüsing et al. 1998, Menrad et al. 2003) verwendet.

Pharmaindustrie

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die IWBT in den heute schon betroffenen Segmenten der Pharmaindustrie überwiegend über die Entwicklung und Vermarktung neuer Produkte oder die Anwendung neuer Verfahren Beschäftigungseffekte ausübt. Die Substitution etablierter Prozesse und Produkte spielt zwar auch eine wichtige Rolle, erstreckt sich aber insgesamt auf deutlich weniger Produktgruppen des Pharmasektors. Produktgruppen, denen ein hoher Beitrag zur Schaffung neuer Arbeitsplätze beigemessen wird, sind Nukleinsäuren und Peptone und Proteinderivate. Eine geringe

Bedeutung zur Schaffung neuer Arbeitsplätze wird der Herstellung von Vitaminen beigemessen, wo starke Konkurrenz in asiatischen Ländern, v. a. China, besteht.

Chemische Industrie

Laut Expertenmeinung hat die IWBT derzeit noch einen geringeren, aber zukünftig einen zunehmenden Einfluss auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Chemieindustrie, vor allem bei Enzymen, Aminosäuren, Reagenzien für Diagnostik und Analytik sowie Wasch- und Reinigungsmittel. Gering ist die Bedeutung der IWBT z. B. bei der Herstellung von Farben und Lacken und Schmierstoffen. Zukünftig wird die IWBT auch eine steigende Bedeutung beispielsweise auch für 1-wertige Alkohole, Fettsäuren und -derivate, Monomere für Polymere und Agrochemikalien haben. Nach Einschätzung der befragten Experten hat die IWBT die größte Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit der Branche bei der Herstellung chiraler Substanzen, der Herstellung von Naturstoffen sowie bei den Enzymen.

Produktgruppen, denen zukünftig ein hoher Beitrag zur Schaffung neuer Arbeitsplätze beigemessen wird, sind Reagenzien für Diagnostik und Analytik, Geruchsstoffe und Aromen, Wasch- und Reinigungsmittel, Enzyme und 1-wertige Alkohole. Also größtenteils diejenigen Produktgruppen, für die auch der Einfluss der IWBT auf die Wettbewerbsfähigkeit von den Experten am höchsten bzw. hoch eingestuft wird. Eine geringe Bedeutung zur Schaffung neuer Arbeitsplätze wird der Herstellung von Farben und Lacken, Papier und Aminosäuren beigemessen. Insgesamt deuten die Untersuchungsergebnisse darauf hin, dass in der Chemiebranche eher traditionelle Arbeitsplätze substituiert bzw. gesichert werden, als dass neue Jobs geschaffen werden.

Lebensmittelindustrie

Experten betonten, dass die IWBT bereits heute einen hohen, und zukünftig weiter zunehmenden Einfluss auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Lebensmittelindustrie hat, vor allem Starterkulturen, Hefe; Joghurt, fermentierte Milchgetränke, Milchbestandteile; sonstige fermentierte Getränke; alkoholische Getränke und Käse. Gering wird dagegen der Einfluss der IWBT auf die Wettbewerbsfähigkeit bei der Produktion von Süßwaren und Schokolade, Pasta sowie Obst- und Gemüseverarbeitung eingestuft. Für die kommenden Jahre wird allgemein eine steigende Relevanz der Produkte, Methoden oder Verfahren der IWBT für die Lebensmittelverarbeitung erwartet (neben den oben genannten auch für modifizierte Stärke, Zucker und Zuckerderivate, Frucht- und Gemüsesäfte sowie Fleischzubereitung), auch wenn die bestehenden Akzeptanzvorbehalte in Deutschland den Einsatz der Gentechnik nach Meinung der befragten Experten zumindest verzögern dürfte.

In den genannten Feldern führt die Anwendung der IWBT nach Einschätzung der befragten Experten bislang überwiegend zu einem Ersatz traditioneller Produkte, die zuvor zumeist auf chemischem Wege synthetisiert oder aus verschiedenen Rohstoffen aufgereinigt und gewonnen wurden. Zunehmend gewinnen aber Enzyme oder Lebensmittelinhaltsstoffe an Bedeutung, bei denen erst bio- oder gentechnische Verfahren die Produktion in der geforderten Menge, Qualität und Reinheit ermöglichen. Diese erfolgt jedoch zumeist in der (fein)chemischen Industrie, während in der Lebensmittelverarbeitung teilweise wiederum auf andere Art und Weise gewonnene Substanzen ersetzt werden. Produktgruppen, bei denen es zukünftig zur Schaffung neuer Arbeitsplätze kommen kann, sind Starterkulturen und Hefe; Frucht- und Gemüsesäfte; Joghurt, fermentierte Milchgetränke, Milchbestandteile; sonstige fermentierte Getränke; Zucker und Zuckerderivate. Eine geringe Bedeutung zur Schaffung neuer Arbeitsplätze wird der Herstellung alkoholischer Getränke beigemessen.

Landwirtschaft

Laut Definition werden in der Landwirtschaft nur Arbeitsplätze im Zusammenhang mit gentechnisch veränderten Organismen (GVO) berücksichtigt, da nur die „Prozesse auf dem Acker für industrielle Zwecke“ berücksichtigt werden (s. Abschnitt 2). Hinsichtlich der Befragung der Bedeutung gentechnisch veränderter Organismen für die internationale Wettbewerbsfähigkeit zeichnen die Experteninterviews folgendes Bild: Gentechnisch veränderter Organismen haben aktuell keine Bedeutung auf den Umsatz der Landwirtschaft. Es wird allerdings angenommen, dass die Bedeutung gentechnisch veränderter Organismen in der Landwirtschaft stark zunehmen wird. Für das Jahr 2025 wird von den Experten ein deutlich höherer „Gentechnik-Anteil“ am Umsatz erwartet, auf Grund der gesetzlichen Unsicherheiten ist die Bandbreite der Meinungen aber sehr groß. Für Pflanzen (insbesondere Futterpflanzen, Zuckerrüben) wird die Bedeutung ähnlich wie für die IWBT eingeschätzt, bei den Tieren (z. B. Rinder, Schweine) wird die Gentechnik weiterhin nur eine geringe Rolle haben. Zusätzlich sahen die befragten Experten eine erhebliche Bedeutung bio- und gentechnischer Verfahren für die Produktion zahlreicher Futtermittelzusätze, wie Vitamine, Aminosäuren oder Leistungsförderer, die ohne solche Verfahren oftmals nicht mehr wirtschaftlich produziert werden können. Auch bei der Futtermittelherstellung und -verarbeitung werden weitgehend traditionelle Produkte durch die IWBT ersetzt (wie z. B. konventionell gezüchtete Pflanzensorten, vor allem bei Sojabohnen, Mais und Raps; sowie durch chemische Synthese gewonnene Vitamine).

Die Literaturlauswertung bestätigen obige Ergebnisse: Bei einzelnen Pflanzenarten, die als Rohstoffbasis für pflanzliche Öle und Fette eine erhebliche Bedeutung haben, werden weltweit bereits in beträchtlichem Ausmaß gentechnisch veränderte Pflanzen ein-

gesetzt. Dies gilt insbesondere für Sojabohnen, bei denen im Jahr 2005 ca. 60 % der weltweiten Anbaufläche mit transgenen Sorten bepflanzt wurden (James 2005). Auch bei Raps als einer weiteren wichtigen Rohstoffquelle für pflanzliche Öle und Fette, die auch in der menschlichen Ernährung Verwendung finden, wurden im Jahr 2005 auf etwa 18 % der globalen Anbaufläche transgene Sorten verwendet (James 2005). Auch bei Mais, der ebenfalls häufig als stärkehaltige Rohstoffquelle bei Futtermitteln und Biogasanlagen verwendet wird, wurden im Jahr 2005 14 % der weltweiten Anbaufläche mit transgenen Sorten bepflanzt (James 2005). Angesichts dieser weltweit bereits erheblichen Bedeutung gentechnisch veränderter Pflanzen bei wichtigen Rohstofflieferanten, u. a. für pflanzliche Öle und Fette, ist es nach Einschätzung der befragten Experten nicht auszuschließen, dass diese zukünftig auch in Deutschland zum Einsatz kommen.

Produktgruppen, denen zukünftig ein hoher Beitrag zur Schaffung neuer Arbeitsplätze beigemessen wird, sind u. a. Ölsaaten, Zuckerrüben und Futterpflanzen. Eine geringe Bedeutung zur Schaffung neuer Arbeitsplätze wird u. a. der Herstellung von Obst, Weinmost/Wein und Baumschulerzeugnissen beigemessen. Die Untersuchungsergebnisse deuten darauf hin, dass eher traditionelle Arbeitsplätze substituiert bzw. gesichert werden als dass neue Jobs geschaffen werden.

3.3.3 Methodik zur Bestimmung der Szenarienannahmen für die Anwenderbranchen

Zur quantitativen Ermittlung der Beschäftigungseffekte der Anwendung bzw. Nutzung der Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen der IWBT in den wichtigsten Anwenderbranchen wurde daher im Zuge der Qualitätssicherung mehrere Methoden und Verfahren angewendet, um zu belastbaren Aussagen zu den aktuellen und zukünftigen IWBT-Marktpotenzialen zu gelangen. Als Dateninput für die Input-Output-Modellberechnungen werden die ökonomischen (Nachfrage) Impulse verwendet, die sich aus der Bewertung der aktuellen und zukünftigen Marktpotenziale der IWBT auf Basis einer schriftlichen Befragung, zahlreichen Experteninterviews, Patentanalysen sowie technoökonomischen Studien (u. a. Hüsing et al. 1998, Menrad et al. 1999 und 2003, 1999b, Jungmittag et al. 2000, OECD 1998, Hinze et al. 2001) ergeben.

Da – wie in neuen Technikfeldern auf Grund fehlender bzw. unvollständiger Marktdaten in den Statistiken üblich - die tatsächliche IWBT-Marktdurchdringung bereits in 2004, vor allem aber in 2025 mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist, werden bereits die aktuellen Beschäftigungseffekte in 2004 mit Unter- und Obergrenze im Sinne eines „wahrscheinlichen“ Korridors“ angegeben. Die Grenzen in 2004 sind dabei zu verstehen als „pessimistische und optimistische IWBT-Marktanteilsabschätzung“. Die Unter-

und Obergrenzen der Beschäftigungseffekte für das Jahr 2025 können als „langsame und schnelle Diffusion“ bzw. Marktdurchdringung der IWBT interpretiert werden.

Das methodische Vorgehen lässt sich wie folgt beschreiben: Zunächst wurden die Akteure der Anwenderbranchen in einer schriftlichen Befragung sowohl qualitativ nach der Bedeutung der IWBT in den verschiedenen Anwendungsfelder befragt (s. hierzu Abschnitt 2.5.2.5) als auch quantitativ nach dem aktuellen und zukünftigen IWBT-Substitutionspotenzial und dem IWBT-Marktwachstum in jeder Anwenderbranche (i. S. V. Anwenderbranche gesamt ohne Bezug zu einzelnen Produktgruppen) gefragt. Im weiteren Verlauf des Projektes stellte sich im Workshop und in den Experteninterviews heraus, dass die Angaben der Akteure zu den quantitativen Fragen der IWBT-Marktdurchdringung in der schriftlichen Befragung als „zu optimistisch“ eingestuft wurden. Die Werte wurden entsprechend „nach unten“ angepasst. Zur Qualitätssicherung (Plausibilitäts- und Konsistenzprüfung) wurden weitere Experteninterviews und Literaturauswertungen (u. a. McKinsey 2006) durchgeführt.

Die so ermittelten IWBT-Umsatzanteile wurden dann überführt in Unter- und Obergrenzen für die Szenarien 2004 und 2025. Dabei wurden jeweils die „Ausreißer“ nach oben und unten bei der Festlegung der Ober- und Untergrenzen nicht berücksichtigt. Zudem wurde in einem weiteren Qualitätssicherungsschritt bei der Überführung zu den Unter- und Obergrenzen für die Szenarien auf Basis aktueller Patentrecherchen des Fraunhofer ISI (vgl. Reiss et al. 2006; Ergebnisse derzeit noch nicht veröffentlicht, voraussichtlich Anfang 2007 sind die Ergebnisse zugänglich) eine weitere Plausibilitätsprüfung durchgeführt. Für die Bereiche industrielle, weiße IWBT (sowie die rote und grüne IWBT) wurde der IWBT-Patentanteil an den gesamten Patenaufkommen des jeweiligen (Teil-)Bereiches ermittelt (z. B. Patenanteil IWBT Chemie an Patenten Chemie gesamt). Hier zeigte sich, dass die IWBT-Patentanteilswerte stets in den Szenario-Bandbreiten liegen und hier in der Regel etwas näher an der Untergrenze als an der Obergrenze. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass neue IWBT-basierte Produkte in der Regel teurer sind als bisherige „durchschnittliche“ Branchenprodukte. Mit anderen Worten: Ein Patentanteil nahe der Untergrenze kann kompatibel sein mit einem IWBT-Umsatzanteil an der Obergrenze, da für diese neuen Patente (bei erfolgreicher Umsetzung in Produkte) in der Regel höhere Produktpreise verlangt werden können.

Diese Szenarienwerte (Unter- und Obergrenzen) wurden abschließend, sowohl für jede einzelne Anwenderbranche als auch die Relationen der Anwenderbranchen zueinander, zusätzlich im Rahmen verschiedener Experteninterviews auf Plausibilität und Konsistenz geprüft. Durch dieses Vorgehen wurde für die Anwenderbranchen die aktuelle und zukünftige IWBT-Marktdiffusion für die Szenarien auf eine möglichst fundierte Basis gestellt. Die so ermittelten Szenariowerte mit Unter- und Obergrenzen für die jewei-

ligen Anwenderbranchen, die nachfolgend in Tabelle 3.6 zusammenfassend dargestellt sind, wurden als Datenbasis für die Input-Output-Modellberechnungen verwendet.

Tabelle 3.6: Anwenderbranchen: Szenarienannahmen IWBT-Umsatzanteile 2004 und 2025 (in % bezogen auf den Produktionswert der Gesamtbranche)

Anwenderbranchen	IWBT-Umsatzanteil 2004	IWBT-Umsatzanteil 2025
Szenariowerte Chemie	4-6 %	11-21 %
Szenariowerte Pharma	3-5 %	9-17 %
Szenariowerte Lebensmittel	9-23 %	20-35 %
Szenariowerte Landwirtschaft (GVO*)	0 %	1-2 % *

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006. * Laut IWBT-Definition werden nur die „GVO-Prozesse auf dem Acker“ für industrielle Prozesse berücksichtigt (nicht aber diejenigen GVO-Prozesse zur Herstellung von Nahrungsmitteln sowie die Nicht-GVO-Prozesse).

Im Gegensatz zu kürzlich veröffentlichten Marktstudien⁴⁵, die aktuell von einem noch größeren Markt sowie zukünftig von einem stärkeren Wachstum des IWBT-Marktes insbesondere in der Chemie bis 2010⁴⁶ ausgehen, weisen jedoch alle im Rahmen dieser Studie erhobenen Informationen (vgl. u. a. Kapitel 2.5.2) konsistent darauf hin, dass sich der technologische Wandel, wie bei industriellen Produktionsprozessen häufig der Fall, auch bei der IWBT eher graduell über mehrere Jahre und nicht schlagartig vollziehen wird („Evolution statt Revolution“). Die Zahlen zeigen dennoch einheitlich, dass es sich bei den IWBT-Absatzmärkten um dynamische Wachstumsmärkte mit dauerhaft stabilen Wachstumsraten handelt, die z. T. deutlich über den durchschnittlichen Wachstumsraten der jeweiligen Branchen liegen.

Zu betonen wäre an dieser Stelle, dass derzeit (wie die verschiedenen Marktstudien zeigen) noch erhebliche Unsicherheiten der Akteure bezüglich der zukünftigen Marktdiffusion der Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen der IWBT bestehen, die durch die höheren Bandbreiten in 2025 sichtbar werden. Für junge Technikfelder ist

⁴⁵ Deutsche Bank Research 2007; EuropaBio 2003; Festel et al. 2005, Bachmann et al. 2004, McKinsey 2003 und 2006.

⁴⁶ In den Studien liegt der (allerdings weltweite) IWBT-Umsatzanteil 2010 in der Chemie i.d.R. zwischen 10-20 %. Zu beachten ist, dass in diesen Studien der Umsatzanteil im Laufe der letzten Jahre immer wieder nach unten angepasst wurde (z. B. McKinsey 2003: 20 %, McKinsey 2006: 10 %)

dies nicht ungewöhnlich. Diese Bandbreiten könnte u. a. daran liegen, dass neben den üblichen Unsicherheiten bei zukünftigen Marktpotenzialabschätzungen derzeit häufig Unternehmensentscheidungen hinsichtlich des Einsatzes von IWBT noch nicht in vollem Umfang getroffen worden sind und zur Zeit öfter noch unklar ist, wie viele potenzielle IWBT-Prozesse/Produkte/Dienstleistungen existieren bzw. noch nicht existieren, aber bis 2025 auf den Markt kommen könnten. Die Unter- und Obergrenze der IWBT-Umsatzanteile 2025 können daher interpretiert werden als langsame und schnelle IWBT-Marktdiffusion. Zu betonen wäre an dieser Stelle noch einmal, dass es sich **bei diesen Szenarienwerten um konsistente zukünftige Szenarienbilder, nicht aber um exakte Prognosen handelt** (Abschnitt 3.1.2).

Anschließend wurde der IWBT-basierte Produktionswert auf Basis der Produktionsstatistiken des Statistischen Bundesamtes für Deutschland für das Jahr 2004 ermittelt. Hierzu wurde der Branchen-Produktionswert mit dem jeweiligen IWBT-Umsatzanteil 2004 multipliziert. Hinsichtlich der Produktionswerte für das Jahr 2025 wurde für die Anwenderbranche folgendes Verfahren angewendet. Das Wachstum der IWBT-Produktionswerte resultiert aus zwei Komponenten: Zum einen wachsen die Umsatzanteile innerhalb einer Anwenderbranche (s. Tabelle 3.6). Zum anderen wächst das Produktionsvolumen der Branche insgesamt; die hier unterstellten Annahmen werden nachfolgend beschrieben. Ausgehend von den anwenderbranchenspezifischen Produktionswerten des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2004 wurden die Produktionswerte mit jährlichen Wachstumsraten fortgeschrieben, die auf einer Prognosestudie beruhen (Prognos 2002). Die unterstellten jährlichen realen Wachstumsraten von 2004 bis 2025 sind für die Chemiebranche 2,3 % p. a., die Pharmaindustrie 2,6 % p. a., die Lebensmittelindustrie 1,0 % p. a. sowie die Landwirtschaft 0,2 % p. a. Eine Beschreibung der wesentlichen Annahmen der Prognos-Studie erfolgt in Anhang A.2.

Da diese realen jährlichen Wachstumsraten das Ergebnis 2025 stark beeinflussen, wurde eine zusätzliche Qualitätssicherung durchgeführt. Hierzu wurden auf Basis der Produktionswerte des Statistischen Bundesamtes im Zeitraum 1995 bis 2004 sowohl für die gesamten Anwenderbranchen als auch für die IWBT-basierten Produktionsgruppen die jährlichen Wachstumsraten berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Entwicklungen der Produktionswerte seit 1995 „kompatibel“ zu den angenommenen zukünftigen Branchenentwicklungen bei Prognos sind.⁴⁷ Daher wurden die branchen-

⁴⁷ Hierzu wurde auf das systematische Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken des Statistischen Bundesamtes zurückgegriffen, da dieses eine sehr tief gegliederte Abgrenzung verschiedener Produktgruppen und Produkte zulässt. In diesem Güterverzeichnis wurden diejenigen **IWBT-basierten Produktgruppen** bestimmt, die aktuell und zukünftig bei den einzelnen Wirtschaftszweigen von Methoden, Prozessen und Produkten der IWBT bereits

spezifischen Prognos-Wachstumsraten verwendet. In diesem Zusammenhang sei auch darauf verwiesen, dass andere Prognos-Zukunftswerte (u. a. EWI/Prognos 2005) bereits in einer Reihe anderer Studien für verschiedene deutsche Bundesministerien verwendet wurden. Andere Entwicklungsprozesse wie z. B. die zunehmende Tertiarisierung oder die abnehmende inländische Wertschöpfung (bedingt u. a. durch Produktionsverlagerungen ins Ausland im Zuge der zunehmenden internationalen Arbeitsteilung), die in der Prognos-Studie berücksichtigt werden, wurden ebenfalls an den entsprechenden Stellen in die Fraunhofer Input-Output-Modellberechnungen integriert.

3.3.4 Anwenderbranchen: Direkte Brutto-Beschäftigungseffekte

Zur Ermittlung der von der IWBT betroffenen direkten Erwerbstätigen in den jeweiligen Anwenderbranchen für das Jahr 2004 wurde die Gesamtbeschäftigtenzahl dieser Wirtschaftszweige mit dem „IWBT-Umsatzanteil“ gewichtet. Beim IWBT-Umsatzanteil wird damit implizit berücksichtigt, in welchem Umfang bei den IWBT-basierten Produktgruppen traditionelle Methoden, Prozesse und Produktbestandteile durch biotechnologische Methoden, Prozesse und Produktbestandteile substituiert werden. Die Ergebnisse der Berechnungen mit dem Fraunhofer Input-Output-Modell (ISIS) für die Anwenderbranchen für 2004 und 2025 sind in Tabelle 3.7 zusammengefasst. Bei den direkt Beschäftigten in den Anwenderbranchen handelt es sich um Vollzeitäquivalente (FTE). Die Werte für 2004 und 2025 berücksichtigen u. a. anwenderbranchenspezifische Arbeitsintensitäten. Die Werte für 2025 bilden u. a. Produktivitätsfortschritte und die abnehmende inländische Wertschöpfungsintensität ab.

Für die Realisierung der Beschäftigungspotenziale einer Technologie ist deren Diffusion bzw. Marktdurchdringung entscheidend (u. a. Holwegler 2003). Im vorigen Abschnitt wurde bereits beschrieben, dass bei den Szenarienannahmen die Unter- und Obergrenze der IWBT-Umsatzanteile für das Jahr 2025 als langsame und schnelle IWBT-Diffusion bzw. -Marktdurchdringung interpretiert werden können. Grund hierfür ist, dass viele konkrete Methoden, Prozesse, Produkte, Dienstleistungen der IWBT

beeinflusst werden oder von der technologischen Machbarkeit her biotechnologisch hergestellt werden können. Dazu wurden Technologieanalysen des Fraunhofer ISI und anderen Organisationen genutzt (z. B. Hüsing et al. 1998, Menrad et al. 1998 und 2003, 1999b, Jungmittag et al. 2000, OECD 1998, Hinze et al. 2001). Hierbei zeigte sich, dass bei einigen IWBT-basierten Produktgruppen die Wachstumsraten 1995-2004 oberhalb des Branchendurchschnittes lagen. Bei anderen IWBT-basierten Produktgruppen hingegen lagen die Werte unterhalb des Branchendurchschnittes. Bei einer produktgruppenspezifischen Fortschreibung der Produktionswerte bis 2025 und anschließender Aufsummierung über alle IWBT-basierten Produktgruppen ergaben sich ähnliche „aggregierte“ Wachstumsraten wie die Gesamtbranchen-Wachstumsraten von Prognos. Mit anderen Worten: Die IWBT-basierten Produktgruppen verhalten sich hinsichtlich ihrer Wachstumsentwicklung **in Summe** ähnlich wie der Gesamtbranchendurchschnitt.

noch nicht existieren bzw. sich noch in der Forschung und Entwicklung befinden, aber bis 2025 auf den Markt kommen könnten. Andere hingegen sind bereits am Markt bzw. technologisch umsetzbar, der Umfang der Marktdurchdringung ist aber derzeit noch ungewiss. Die technologische Verfügbarkeit ist zwar eine notwendige Voraussetzung, sie reicht aber allein nicht zur Ausschöpfung der wirtschaftlichen Potenziale aus. Es müssen zusätzliche verschiedenste „Diffusions- bzw. Innovationsbarrieren“ überwunden werden. Zahlreiche empirische Analysen kommen deshalb zu dem Ergebnis, dass die Diffusion von neuen Technologien stets längere Zeiträume in Anspruch nimmt (u. a. Bruland und Mowery 2005, Holwegler 2003, Karshenas und Stoneman 1995). Die innovationsfördernden und innovationshemmenden Faktoren im Bereich der IWBT werden sehr ausführlich in Kapitel 4 dargestellt werden, weshalb auf eine Darstellung an dieser Stelle verzichtet wird.

Tabelle 3.7: Direkte Brutto-Beschäftigungseffekte 2004 und 2025 in den Anwenderbranchen (in Tausend)

Anwenderbranchen	Direkte Brutto-Erwerbstätige 2004 (in Tausend)	Direkte Brutto-Erwerbstätige 2025 (in Tausend)
Szenariowerte Chemie	9,8 - 14,7	20,6 - 39,3
Szenariowerte Pharma	3,4 - 5,7	8,5 - 16,1
Szenariowerte Lebensmittel	69,6 - 177,7	120,7 - 211,3
Szenariowerte Landwirtschaft (GVO) ⁴⁸	0	5,0 - 8,0
Summe	82,8 – 198,1	154,8 - 274,7

Quelle: Fraunhofer ISI 2006. Basis: Eigene Input-Output-Modellberechnungen, IWBT-Umsatzanteile, Produktionswerte Statistisches Bundesamt 2006 Fachserien 4/Fachliche Betriebsteile, Prognos 2002 bzgl. Marktwachstumsraten bis 2025 in den Anwenderbranchen)

3.4 Beschäftigungswirkungen in den vorgelagerten Sektoren („IWBT Vorleistung“)

Die Ermittlung von vorgelagerten Beschäftigungseffekten in den Zulieferersektoren ist ein klassischer Anwendungsbereich für ein volkswirtschaftliches *Input-Output-Modell*, das die Lieferverflechtungen zwischen den Sektoren der Volkswirtschaft auf einem mesoökonomischen, d. h. branchenbezogenen Aggregationsniveau vollständig abbil-

⁴⁸ Laut IWBT-Definition werden nur die „GVO-Prozesse auf dem Acker“ für industrielle Prozesse berücksichtigt (nicht aber diejenigen GVO-Prozesse zur Herstellung von Nahrungsmitteln sowie die Nicht-GVO-Prozesse).

det (u. a. Holub und Schnabl 1994). Ein derartiges Modell erlaubt es, quantitativ zu ermitteln, wie die zusätzliche Güterproduktion in einer (Teil-)Branche bzw. einem Branchensegment der Volkswirtschaft auf alle Sektoren der Volkswirtschaft ausstrahlt, d. h. welche zusätzlichen Produktionsaktivitäten dadurch in der Kette der vorgelagerten Zulieferersectoren bis hin zu den Rohstofflieferanten insgesamt angestoßen werden. Die Erweiterung des Modells um sektoral disaggregierte Beschäftigungskoeffizienten ermöglicht die Ermittlung entsprechender indirekter Beschäftigungseffekte. Für die Berechnungen wurde das am Fraunhofer ISI entwickelte Input-Output-Modell **ISIS** (**I**ntegrated **S**ustainability Assessment **S**ystem) eingesetzt.⁴⁹

Für die Anwendung des Input-Output-Modells auf den Bereich der IWBT waren verschiedene Anpassungen vorzunehmen. Vor allem waren die Vorleistungsstrukturen der untersuchten Teilbereiche IWBT Bereitstellung und IWBT Anwendung zu ermitteln, da diese in der Sektorgliederung des verwendeten ISIS-Modells nicht vorkommen. Primärstatistische Datenquellen für die Ermittlung der Vorleistungsstrukturen der IWBT-Teilsegmente liegen in der Regel nicht vor oder sind nur sehr unvollständig. Die „wenigen“ vorhandenen zugänglichen (technoökonomische) Datenquellen wie z. B. Statistiken, Verbandsdaten, Ergebnisse von früheren (technoökonomischen) Forschungsvorhaben, technische Spezifikationen oder Marktanalysen wurden genutzt. Die Informationen aus diesen Quellen sind jedoch häufig nicht direkt nutzbar, da sie mit jeweils unterschiedlichen Zielsetzungen und Methoden sowie abweichenden Systematiken erhoben werden. Wichtige Unterschiede können die Repräsentativität der Daten, der Zeit- und Ortsbezug oder etwa die Datenklassifikation betreffen. Es ist daher erforderlich, die vorhandenen Daten so zu überarbeiten und zu harmonisieren, dass eine möglichst weitgehende Kompatibilität mit der Systematik des Input-Output-Modells erreicht wird.

Die Schätzung der vorgelagerten Beschäftigungseffekte setzt in der Regel beim Umsatz bzw. Produktionsvolumen im jeweiligen IWBT-Teilsegment an (Teilsegmente IWBT Bereitstellung und IWBT Anwendung). In den Anwenderbranchen wurden diese über die IWBT-Umsatzanteile multipliziert mit den entsprechenden Produktionswerten des Statistischen Bundesamtes bestimmt (s. Abschnitt 3.3.3). Ausgehend von diesen Informationen und der für die Teilsegmente ermittelten Vorleistungsstrukturen lässt sich mit dem ISIS-Modell die resultierende Beschäftigung in den vorgelagerten Zulieferersectoren ermitteln. In einem Fall, nämlich für die Universitäten und FuE-Einrichtungen lagen die benötigten Umsatzdaten bzw. Budgetkostendaten nicht vor,

⁴⁹ Im Anhang A.1 findet sich eine ausführliche Beschreibung des ISIS-Modells sowie der spezifischen Modellanpassungen.

sondern es waren nur die Beschäftigungszahlen verfügbar. Für dieses Teilsegment der IWBT Bereitstellung wurde mittels des Input-Output-Modells eine Kennzahl für einen angepassten Forschungssektor ermittelt, die die Beschäftigten in den vorgelagerten Sektoren pro direkt Beschäftigten in den Universitäten und FuE-Einrichtungen angeben. Durch Multiplikation mit der Zahl der direkt Beschäftigten konnten damit die Beschäftigungseffekte in den vorgelagerten Sektoren ermittelt werden.

Datengrundlagen und methodische Annahmen zu den Vorleistungsstrukturen

Hinsichtlich der Vorleistungsstrukturen lassen sich einige IWBT-Teilsegmente durch bestehende Sektoren des Input-Output-Modells hinreichend gut abbilden, wie z. B. die Pharmazeutische Industrie oder die Lebensmittelverarbeitung, und bedürfen daher nur einer sehr geringen Anpassung. Für andere Segmente war dies nicht ohne weitere größere Anpassungsschritte der Fall. Zur Abschätzung der Vorleistungsstrukturen für diese Teilsegmente wurden die folgenden Schritte durchgeführt. Zunächst wurden die relevanten IWBT-basierten Produktgruppen aus der güterklassenspezifischen Produktionsstatistik des Statistischen Bundesamtes analysiert, um einen passenden, im Input-Output-Modell implementierten Sektor als Grundgerüst für die abzuschätzende Vorleistungsstruktur zu wählen. Auf Basis vorhandener Informationsquellen (u. a. technoökonomische Studien) und von Experteneinschätzungen zu den jeweiligen IWBT-Teilsegmenten (u. a. auch aus früheren Studien des Fraunhofer ISI) wurden dann Anpassungen an diesem Grundgerüst vorgenommen, um die spezifischen Charakteristika der IWBT-Teilbereiche besser abbilden zu können. Insofern stellen die so ermittelten Vorleistungsstrukturen fundierte Schätzungen dar, die den tatsächlichen Vorleistungsverflechtungen recht nahe kommen dürften, aber dennoch mit Unsicherheiten verbunden sind. Diese sind jedoch bei einer technologie- und branchenorientierten Vorgehensweise unvermeidlich. Eigene Primärerhebungen waren im vorliegenden Projektrahmen nicht möglich. Bei derartigen sehr aufwendigen Primärerhebungen müssten im „Idealfall“ das Ausgaben- und Investitionsverhalten der Akteure IWBT Bereitstellung und IWBT Anwendung mit Bezug zu den 71 Wirtschaftssektoren (s. Tabelle Anhang A.1) oder zumindest zu Sektorgruppen (z. B. Transportausgaben, Anteil Kosten für Rohstoffe oder Handelsleistungen, Anteil Investitionsvolumen am Umsatz) abgefragt werden.

In Tabelle 3.8 ist zusammengefasst, wie die Vorleistungsstrukturen der einzelnen IWBT-Teilsegmente ermittelt wurden. In der Regel konnten in einem ersten Schritt Sektoren des ISIS-Modells als Basis (im Sinne von „Prozesse IWBT-Segment sind ähnlich wie die des verwendeten ISIS-Modellsektors“) verwendet werden, bevor in einem zweiten Schritt entsprechende Anpassungen der Vorleistungsstrukturen des ISIS-Modellsektors (u. a. auf Basis technoökonomischer Studien) vorgenommen wurden. Im

Folgendes wird auf einige Anpassungen etwas näher eingegangen, um einen Eindruck zu vermitteln, in welcher Weise das ISIS-Modell für die studienspezifischen Fragestellungen angepasst wurde. Im IWBT-Segment Landwirtschaft wird sich der Einsatz der IWBT-Verfahren in 2025 – gemessen am produktgruppenspezifischen Produktionsvolumen – nur auf den Pflanzenbau, Tierhaltung oder andere Landwirtschaftssegmente (z. B. Sonderkulturen) wurden nicht berücksichtigt. Im ISIS-Modell wird die Landwirtschaft jedoch nicht weiter differenziert. Es war daher für die Modellierung des IWBT-Segments Landwirtschaft 2025 notwendig, die Vorleistungsstruktur des Landwirtschaft-Teilsektors „Pflanzenbau“ zu schätzen. Hierfür konnte auf Daten des Instituts für Marktanalyse und Agrarhandelspolitik an der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) zurückgegriffen werden, die im Rahmen des internationalen Modellverbunds GTAP (Global Trade Analysis Project) zusammengestellt wurden (Brockmeier 1998). Diese Daten differenzieren den Landwirtschaftssektor nach zwölf Subsektoren – davon acht dem Pflanzenbau zuzurechnenden Subsektoren – und stellen deren Verflechtung untereinander sowie mit den übrigen Sektoren der Volkswirtschaft im Sinne einer Input-Output-Tabelle dar. Zusätzlich wurden zur Qualitätssicherung Experteninterviews durchgeführt und Entwicklungen seit den 90er-Jahren wurden auf Basis des ISIS-Modellsektors Landwirtschaft nachgezeichnet und in die Zukunft extrapoliert (z. B. Verflechtungsintensität mit Dienstleistungssektoren).

Tabelle 3.8: Vorgehensweise bei der Ermittlung der Vorleistungsstrukturen für die einzelnen IWBT-Teilsegmente

Teilsegment	ISIS-Modellsektoren mit angepassten Vorleistungsstrukturen
Universitäre und außeruniversitäre FuE-Einrichtungen	Angepasster Sektor „Forschungs- u. Entwicklungsleistungen“
Kleine und mittlere IWBT-Unternehmen	Angepasster Sektor „Forschungs- u. Entwicklungsleistungen“
IWBT-Ausstatter	Sektor „Medizin-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik“
Chemie	Angepasster Sektor „Chemie“ (z. B. stärkere Berücksichtigung nachwachsender Rohstoffe als Rohstoffbasis)
Pharma	Leicht angepasster Sektor „Pharmazeutische Erzeugnisse“
Lebensmittelverarbeitung	Sektoren „Herstellung von Nahrungsmitteln“; „Herstellung von Getränken“
Landwirtschaft	Angepasster Sektor „Landwirtschaft“ auf Basis Vorleistungsstruktur für <u>Pflanzenbau</u> auf Basis von Daten der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

Quelle: Fraunhofer ISI 2006

In der vorliegenden Untersuchung werden Beschäftigungseffekte für die Jahre 2004 und 2025 ermittelt. Statistisch gesicherte sektorspezifische Beschäftigungskoeffizienten liegen vor allem für 2025 jedoch nicht vor. Sie wurden daher geschätzt, wobei für die Schätzung u. a. sektorspezifische Produktivitätsentwicklungen zu Grunde gelegt wurden, die in der Regel im Bereich der durchschnittlichen Produktivitätsentwicklungen zwischen den Jahren 1995 und 2004 liegen, u. U. erfolgten aber Anpassungen der vergangenheitsorientierten Werte, sofern auf Grund von Experteninterviews oder technoökonomischen Studien weitere Informationen verfügbar waren. Zusätzlich wurde zur Qualitätssicherung ein Abgleich der Produktivitätskennziffern mit anderen Zukunftsstudien durchgeführt (u. a. Prognos 2002). Für die IWBT-Segmente im Bereich IWBT Bereitstellung (z. B. Biotech-KMU und FuE-Einrichtungen) wurde auf Basis der Produktivität des ISIS-Modellsektors „Forschung und Entwicklung“ Anpassungen vorgenommen (bspw. eine höhere Produktivität für die KMU im Vergleich zu den Forschungseinrichtungen).

Für die Berechnung der Beschäftigung, die auf Investitionen entfallen (u. a. für Maschinen, Anlagen, Produktionsgebäude), ist es zunächst erforderlich, die entsprechenden Investitionsvolumina abzuleiten. Hierzu wurden in einem ersten Schritt für die angepassten IWBT-spezifischen ISIS-Modellsektoren auf Basis von Daten des Statistischen Bundesamtes sektorspezifische Investitionsanteile (Investitionen in Prozent vom Produktionswert) für den Zeitraum 1995 bis 2004 bestimmt. In einem zweiten Schritt wurde diese sektorspezifischen Investitionsanteile auf Basis von Experteninterviews und technoökonomischen Studien angepasst, wobei hierbei für jedes IWBT-Teilsegment berücksichtigt wurde, welche Investitionsvolumina für einen gezielten Aufbau von IWBT-Produktionskapazitäten induziert werden. Auf Basis spezifischer Investitionsdaten des Statistischen Bundesamtes für den Zeitraum 1995 bis 2004 erfolgte dann in einem dritten Schritt die Aufteilung der Investitionsvolumina auf sektorspezifische Nachfrageimpulse für die Bereichen Anlagen/Maschinen (z. B. auf die Sektoren Herstellung von Maschinen oder Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnikgeräte) und Bauten (z. B. Sektor Hoch- und Tiefbau). Hierzu wurden für die IWBT-Teilsegmente Submodule gebildet und ins ISIS-Modell integriert.

Die hieraus resultierenden quantitativen Beschäftigungseffekte „IWBT Vorleistung“ (indirekt und investitionsinduziert) in den vorgelagerten Zulieferersektoren für die sieben IWBT-Teilsegmente (IWBT Bereitstellung und IWBT Anwendung) werden in Abschnitt 3.6 zusammen mit den direkten Beschäftigungseffekten, an die die vorgelagerten Effekte gekoppelt sind, zusammenfassend dargestellt.

3.5 Haupttreiber für die Beschäftigungseffekte

Im nachfolgenden Abschnitt 3.6 werden die konkreten quantitativen Beschäftigungseffekte umfassend beschrieben. In diesem Abschnitt sollen zuerst die entscheidenden Einflussfaktoren auf die Beschäftigungseffekte untersucht werden, um so die Werte in Abschnitt 3.6 besser zu verstehen und einordnen zu können.

Die Beschäftigungseffekte der IWBT hängen neben den absoluten Größe von Nachfrageimpulsen (z. B. IWBT-Umsatzanteile in den Anwenderbranchen, s. Tabelle 3.6) von den konkreten Prozessstrukturen ab. Insbesondere

- der Produktionsmultiplikator (i. S. d. Verflechtungsintensität der Produktion mit vorgelagerten Zulieferersektoren),
- die Importintensität für die wertschöpfende IWBT-Produktion (IWBT-Segmente sowie deren Vorleistungen) und
- die Arbeits- bzw. Beschäftigungsintensität der Wertschöpfungsprozesse

haben Einfluss darauf, wie stark sich die Güterströme mit Bezug zur IWBT auf die inländische Beschäftigung auswirken.

Der **Produktionsmultiplikator** gibt an, in welchem Umfang ein ausgelöster Impuls, d. h. also die in den IWBT-Teilsegmenten der IWBT Bereitstellung und IWBT Anwendung direkt stattfindende „IWBT-Produktion“ (d. h. die Herstellung und Anwendung/Nutzung der IWBT-Methoden, -Prozesse, -Produkte und -Dienstleistungen) durch den Bezug notwendiger Vorleistungsgüter (s. Abschnitt 3.4) zur Produktionssteigerung beiträgt. Je höher der Produktionsmultiplikator, desto höher sind die ausgelösten Produktionseffekte eines Impulses in den vorgelagerten Zulieferersektoren. In die Berechnung des Produktionsmultiplikators geht als Zähler der Bruttoproduktionswert der Gesamtproduktion ein (Summe aus direkter und vorgelagerter Produktion). Dabei werden die importierten Güter mit eingeschlossen. Im Nenner steht der Bruttoproduktionswert des Impulses, d. h. die direkt beeinflusste Produktion. Ein Produktionsmultiplikator von 2 bedeutet also, dass pro Million € an direkter IWBT-Produktion eine weitere Million € an vorgelagerten Inputs benötigt wird.

Die Analysen der Produktionsmultiplikatoren zeigen deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen IWBT-Teilsegmenten. In den forschungsintensiven Bereichen der Universitäten/Forschungseinrichtungen bzw. der IWBT-KMU ist der Produktionsmultiplikator vergleichsweise gering. Dies ist Ausdruck für die eigene hohe Wertschöpfungsintensität dieser Bereiche und häufig bei Segmenten der Fall, die sich im vorderen Bereich der gesamten Wertschöpfungskette befinden. Bei diesen IWBT-Teilseg-

menten fallen die vorgelagerten Beschäftigungseffekten daher in der Regel⁵⁰ im Vergleich zu den direkten Beschäftigungseffekten „geringer“ aus.

Im Vergleich hierzu sind die Produktionsmultiplikatoren für die Lebensmittelindustrie und die Chemie höher. Unter den betrachteten Sektoren weisen diese Bereiche die höchste Vorleistungsintensität auf, d. h. diese Bereiche sind stark in (nationale und internationale) sehr arbeitsteilige Wertschöpfungsprozesse integriert. Damit ist die eigene Wertschöpfungsintensität geringer als z. B. in FuE-Einrichtungen. Bei diesen IWBT-Teilsegmenten fallen die vorgelagerten Beschäftigungseffekten daher in der Regel im Vergleich zu den direkten Beschäftigungseffekten „höher“ aus.

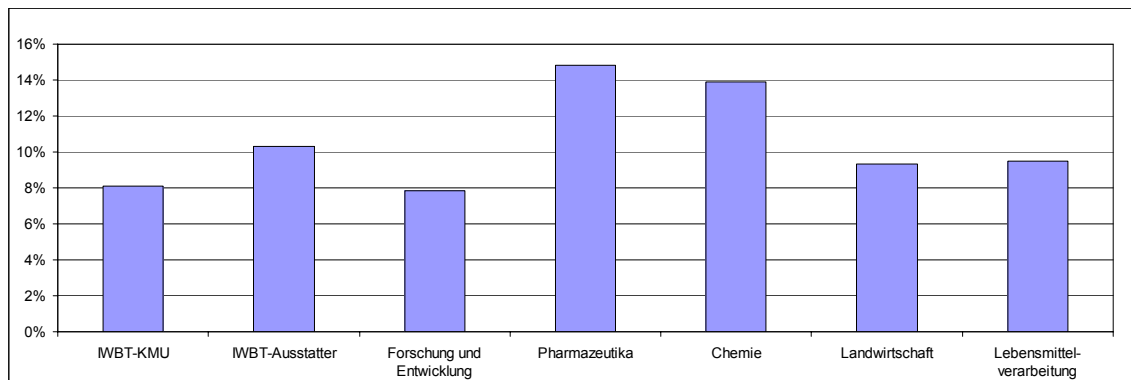
Importanteil: Der Importanteil gibt an, welcher Anteil der inländischen Gesamtproduktion (Summe des direkten und vorgelagerten Bruttoproduktionswertes) auf Importe entfällt. Die im Folgenden ausgewiesenen Importanteile gehen von der inländischen Produktion des Endproduktes als Bezugsgröße und nicht von der inländischen Güternachfrage⁵¹ aus. Je höher der Importanteil, desto geringer ist der Anteil, der auf die Inlandsproduktion entfällt und damit im Inland beschäftigungswirksam werden kann. Mit anderen Worten: Eine starke Zunahme deutscher Produktionswerte (oder auch deutscher Exportwerte) in den IWBT-Teilsegmenten muss sich nicht unbedingt im gleichen Verhältnis beschäftigungssteigernd im Inland auswirken, nämlich dann nicht, wenn immer größere Anteile der für die Güterproduktion benötigten Vorleistungsgüter aus dem Ausland importiert werden. Die Importintensität hinsichtlich Vorleistungsgüter spielt daher eine zentrale Rolle für die inländischen Beschäftigungseffekte.

Die Importintensitäten für die „IWBT-Teilsegmente“ sind in Abbildung 3.3 dargestellt und zeichnen folgendes Bild. Die sehr forschungsintensiven Teilsegmente zur Bereitstellung von IWBT-Wissen („IWBT Bereitstellung“), allen voran die Universitäten und FuE-Einrichtungen, weisen mit Abstand die höchste Inlandsbasierung aus. Umgekehrt weisen einige industrielle Anwenderbranchen, allen voran die Pharmaindustrie, gefolgt von der Chemiebranche, die höchsten Importintensitäten auf. D. h., diese industriellen IWBT-Anwenderbranchen sind sehr stark in die internationale Arbeitsteilung eingebunden. In diesen industriellen Sektoren bedarf es daher höherer Steigerungen des Produktionswertes um die gleichen Beschäftigungseffekte zu erzielen wie im Bereich IWBT Bereitstellung.

⁵⁰ „In der Regel“ deshalb, weil neben dem Umfang der Produktionsverflechtungen die vorgelagerten Beschäftigungswirkungen (IWBT Vorleistung) auch von den Import- und Beschäftigungsintensitäten in den „angestoßenen“ vorgelagerten Zulieferersektoren abhängig sind, wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen.

⁵¹ Hier sind die Importwerte höher, weil nicht nur Vorleistungsgüter, sondern auch z. T. das gesamte Endprodukt importiert wird.

Abbildung 3.3: IWBT-Teilsegmente: Importanteile 2004



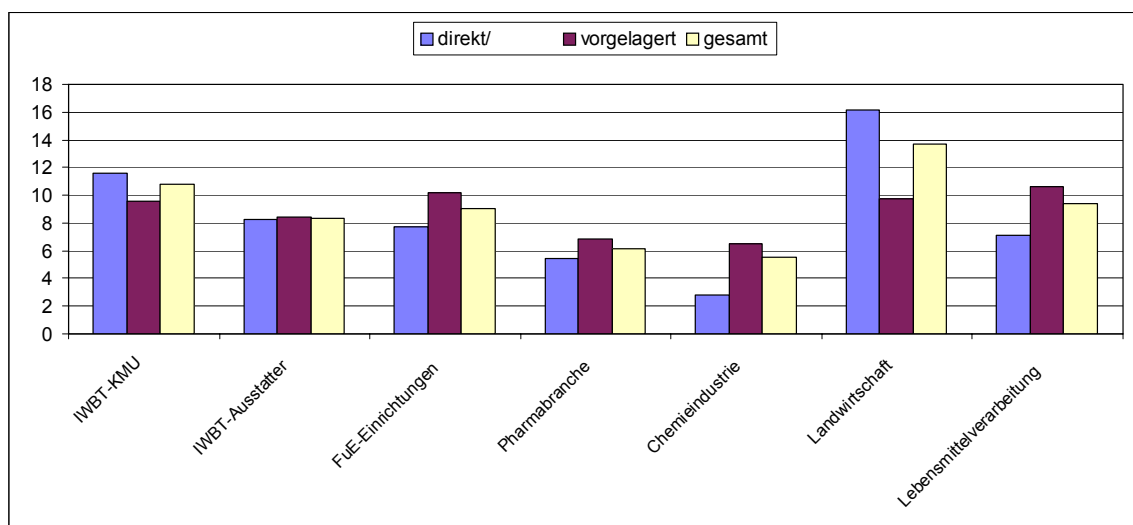
Quelle: Berechnungen von Fraunhofer ISI 2006 (Basis: Aktuellste Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2002)

Arbeits- bzw. Beschäftigungsintensität: Die durchschnittliche Beschäftigungsintensität gibt an, wie viele Personen pro Million € inländischer IWBT-Gesamtproduktion beschäftigt werden. Sie setzt sich aus dem gewogenen Durchschnitt der Arbeitsintensitäten in den direkten IWBT-Teilsegmenten und deren vorgelagerten Zulieferersektoren zusammen. Deutliche Unterschiede lassen sich auch hinsichtlich der Arbeitsintensitäten ausmachen (Abbildung 3.4). Betrachtet man die Teilsegmente IWBT Bereitstellung, so sind die Arbeits- bzw. Beschäftigungsintensitäten besonders hoch bei forschungsintensiven Universitäten und außeruniversitären FuE-Einrichtungen sowie den IWBT-KMU. Bei den Teilsegmenten IWBT Anwendung zeichnen sich die Lebensmittelindustrie durch hohe Arbeits- bzw. Beschäftigungsintensitäten aus. Deutlich geringer sind die Arbeitsintensitäten in der durch kapitalintensive Verbund-Produktionsprozesse geprägten Chemieindustrie, aber auch in der Pharmaindustrie. Für die industriell geprägten Sektoren IWBT Anwendung ist zudem kennzeichnend, dass die Arbeitsintensitäten der vorgelagerten Sektoren (in der Regel deutlich) über den Arbeitsintensitäten der IWBT-Teilsegmente selbst liegen. In der Chemieindustrie, aber auch der Lebensmittelindustrie, ist die Differenz besonders groß. Ein Grund hierfür ist, dass z. T. einige Bereiche der Vorleistungsproduktion der Chemieindustrie (aber auch der Lebensmittelindustrie) überdurchschnittlich arbeitsintensiv sind: z. B. wird angenommen, dass für die Herstellung von Bioethanol oder Lebensmittelprodukten Erzeugnisse aus der Landwirtschaft (z. B. Weizen, Roggen oder Zuckerrüben für Bioethanol oder Kartoffeln für Lebensmittel) benötigt werden, die sehr arbeitsintensiv im Inland produziert werden. Die hohe Arbeitsintensität in Verbindung mit einer geringen Importintensität (z. B. bei Zuckerrüben und Kartoffeln) führt in diesem Fall dazu, dass die von der Chemie ausge-

löste Produktion in vorgelagerten Zulieferersektoren zu relativ (im Vergleich zu den direkten Effekten) hohen Beschäftigungswirkungen führt.

Die den Universitäten/FuE-Einrichtungen sowie IWBT-KMU vorgelagerten Sektoren weisen ebenfalls eine hohe Arbeitsintensität auf, weil diese Sektoren z. B. auf arbeitsintensive Vorleistungen anderer FuE-Einrichtungen oder unternehmensbezogener Dienstleistungen (z. B. Ingenieursdienstleistungen) zurückgreifen.

Abbildung 3.4: IWBT-Teilsegmente: Arbeits- bzw. Beschäftigungsintensitäten in 2004 (in Erwerbstätige pro Million € inländischer Produktionswert)

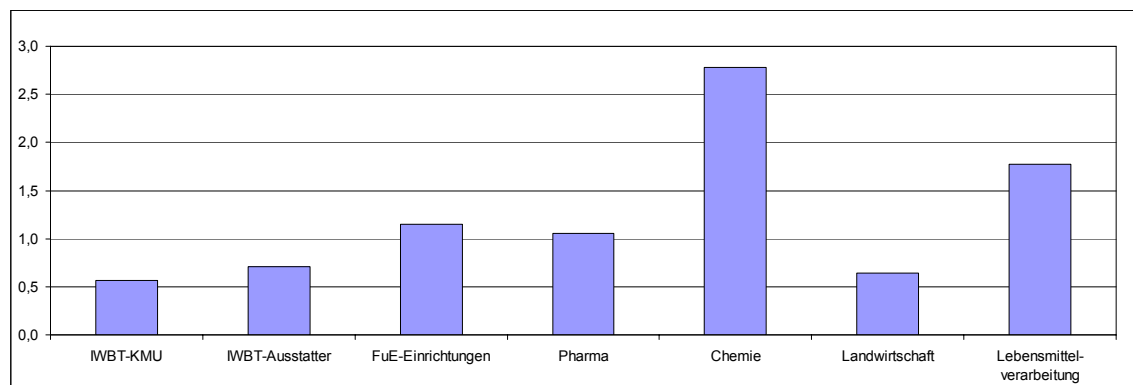


Quelle: Berechnungen von Fraunhofer ISI 2006 (Basis: Aktuellste Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2002)

Die vorgelagerten Beschäftigungseffekte (IWBT Vorleistung) sind somit stark an die vorgelagerte Produktion sowie die Import- und Beschäftigungsintensitäten in den direkten sowie indirekten vorgelagerten Zulieferersektoren gekoppelt. Da die indirekten vorgelagerten Beschäftigungseffekte häufig selbst größer sind als die direkten Beschäftigungswirkungen und damit die Gesamtbeschäftigungspotenziale der IWBT erheblich beeinflussen, wurden für alle IWBT-Teilsegmente die indirekten Beschäftigungsmultiplikatoren berechnet. Die indirekten Beschäftigungsmultiplikatoren geben an, wie viele Arbeitsplätze in vorgelagerten Zulieferersektoren induziert werden durch einen direkten Arbeitsplatz in Segmenten der IWBT Bereitstellung und IWBT Anwendung. Ein indirekter Beschäftigungsmultiplikator von 1 besagt demnach, dass an jedem direkten Arbeitsplatz in den Segmenten IWBT Bereitstellung oder IWBT Anwendung ein weiterer Arbeitsplatz in vorgelagerten Zulieferersektoren (z. B. im Maschinen- und Anlagenbau, Baugewerbe) induziert wird. D. h., je höher der Multiplikator ist, desto mehr werden die

Gesamtbeschäftigungseffekte des IWBT-Teilsegments durch die vorgelagerten Effekte bestimmt. Mit anderen Worten: Bei den IWBT-Teilsegmenten mit hohen indirekten Beschäftigungsmultiplikatoren wird die gesamtwirtschaftliche Beschäftigungsbedeutung mit dem üblichen Indikator der direkt Beschäftigten deutlich unterschätzt. Studien mit dem Erhebungsverfahren der direkt Beschäftigten (z. B. die jährlichen Ernst&Young-Berichte oder die Erhebungen des Statistischen Bundesamtes) unterschätzen die tatsächlichen Beschäftigungspotenziale der Biotechnologie daher in erheblichem Maße. Die Untersuchungsergebnisse zu den indirekten Beschäftigungsmultiplikatoren der IWBT-Teilsegmente sind in Abbildung 3.5 zusammenfassend dargestellt.

Abbildung 3.5: IWBT-Teilsegmente: Indirekte Beschäftigungsmultiplikatoren in 2004 zur Bewertung vorgelagerter Beschäftigungseffekte in Zulieferersektoren



Quelle: Berechnungen von Fraunhofer ISI 2006 (Basis: Aktuellste Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2002)

Am Beispiel der Lebensmittelindustrie sollen einige Zusammenhänge kurz skizziert werden. Andere Sektoren werden im nachfolgenden Abschnitt 3.6.1 beschrieben. Die erheblichen Beschäftigungseffekte in den vorgelagerten Zulieferersektoren sind zum einen in der hohen Vorleistungsintensität der Lebensmittelindustrie zu sehen (z. B. hoher Bedarf an landwirtschaftlichen Rohstoffen). Zum anderen kommt zum Tragen, dass die Vorleistungsproduktion der Lebensmittelindustrie (z. B. in Landwirtschaft) überdurchschnittlich arbeitsintensiv und durch geringe Importintensitäten gekennzeichnet ist, so dass die in den vorgelagerten Zulieferersektoren ausgelöste Produktion ebenfalls zu relativ hohen Beschäftigungswirkungen führt.

Folgendes ist bei den indirekten Beschäftigungsmultiplikatoren zu beachten: Ein kleiner Beschäftigungsmultiplikator bei den indirekt Erwerbstätigen ist nicht gleichbedeutend mit einer geringen Bedeutung für die Gesamtwirtschaft. Vor allem in arbeitsintensiven

Dienstleistungssektoren, wie z. B. FuE-Einrichtungen, sind die Gesamtbeschäftigungseffekte auf Grund der hohen direkten Beschäftigung sehr hoch, obgleich deren Beschäftigungsmultiplikatoren bei den indirekt Erwerbstätigen sehr niedrig sind.

In Kontext mit den direkten und vorgelagerten indirekten Beschäftigungseffekten muss abschließend auf zwei Besonderheiten hingewiesen werden:

Problem der Doppelzählungen: Beim Ausweis von Teil- oder Gesamtsummenwerten entstehen Doppelzählungen. Dies soll an Beispielen illustriert werden: Teile der vorgelagerten Beschäftigungseffekte der IWBT-KMU sind z. T. die direkt Beschäftigten der IWBT-Ausstatter. Teile der vorgelagerten Beschäftigungseffekte in der Pharma- und Chemieindustrie sind z. B. die direkt Beschäftigten in den IWBT-KMU oder außeruniversitären FuE-Einrichtungen (z. B. wenn ein Fraunhofer-Institut industrielle Auftragsforschung für ein Chemie- oder Pharmaunternehmen durchführt). Die Höhe dieser Anteile ist (wenn überhaupt) nur sehr schwer zu quantifizieren. Hierzu wären u. a. umfassende Primärerhebungen erforderlich, die im finanziellen Rahmen dieses Projektes nicht leistbar waren.

Daher werden im nachfolgenden Abschnitt 3.6.1 z. B. nur Summenwerte (über alle IWBT-Segmente sowie IWBT Bereitstellung und IWBT Anwendung) für die direkten Beschäftigungseffekte ausgewiesen. Zudem wird je Teilsegment ein Summenwert der direkten und vorgelagerten Effekte berechnet. In diesen Fällen kommt es zu keiner Doppelzählung. Es wird allerdings kein Summenwert der direkten **plus** vorgelagerten für mehrere IWBT-Teilsegmente (z. B. Summe IWBT Bereitstellung direkt plus vorgelagert oder Summe IWBT Anwendung direkt plus vorgelagert) ausgewiesen. Auch wird kein Summenwert insgesamt ausgewiesen in dem Sinne „die IWBT schafft insgesamt über alle IWBT-Segmente X Arbeitsplätze“, da hier Doppelzählungen wissenschaftlich nicht sauber herausgerechnet werden können.

Problem der „Abhängigkeitsintensität“ zur IWBT: Auf Grund der gewählten methodischen Ansätze, die in den vorigen Abschnitten beschrieben wurden, werden die Beschäftigungseffekte in den direkten sowie indirekten vorgelagerten Bereichen unabhängig davon ermittelt, ob es sich im auslösenden Bereich IWBT Bereitstellung und IWBT Anwendung um stark oder weniger stark durch die IWBT beeinflusste Felder handelt. Wie jedoch die Ausführungen in Abschnitt 2 zu den Anwendungsfeldern gezeigt haben, hat die IWBT in den unterschiedlichen IWBT-basierten Produktgruppen einen unterschiedlichen Einfluss auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit der IWBT-Teilsegmente und innerhalb dieser Segmente auf die verschiedenen Produktgruppen. Vor diesem Hintergrund sind die im nachfolgenden Abschnitt 3.6.1 ausgewiesenen IWBT-Beschäftigungszahlen zu interpretieren. Mit anderen Worten: Jeder direkte und indirekte Arbeitsplatz wird dort gleich bewertet (i. S. v. „alle IWBT-Jobs sind gleich“), unabhängig davon, ob z. B. der Einfluss der IWBT auf die Wettbewerbsfähigkeit sehr gering oder sehr hoch ist. Ein direkter bzw. indirekter vorgelagerter Arbeitsplatz in der Landwirtschaft in 2025 wird demnach gleich bewertet wie ein Arbeitsplatz in der Chemieindustrie, obgleich die Ausführungen in früheren Abschnitten gezeigt haben, dass der Arbeitsplatz in der Chemiein-

dustrie bereits in 2004, aber auch in 2025 stärker durch die IWBT beeinflusst wird. Ein detaillierter differenzierter Ausweis in diesem Kontext, z. B. in „X Arbeitsplätze mit geringem und Y Arbeitsplätze mit starkem IWBT-Bezug“ ist auf Grund der derzeitigen statistischen Datenbasis nicht möglich. Auch hier wären umfangreichere Primärerhebungen erforderlich.

3.6 Gesamtübersicht aller Beschäftigungseffekte 2004 und 2025

3.6.1 Brutto-Beschäftigungseffekte 2004 und 2025

Ausgehend von ökonomischen, technologischen und sonstigen Entwicklungstrends sowie industriellen Verwendungs- bzw. privaten Nachfragepotenzialen wurden in den vergangenen Abschnitten die Annahmen für konsistente Szenarien für die IWBT in Deutschland abgeleitet. Mit Hilfe des Fraunhofer Input-Output-Modells ISIS wurden dann auf Basis der durch die IWBT induzierten ökonomischen Nachfrageimpulse makroökonomische Wirkungsanalysen für die Jahre 2004 und 2025 durchgeführt. Hierbei standen vor allem die absoluten Beschäftigungseffekte der IWBT im Fokus der Untersuchungen. Die Input-Output-Modellberechnungen

- **umfassen positive direkte Brutto-Beschäftigungseffekte der IWBT-Teilsegmente (IWBT Bereitstellung und IWBT Anwendung)**, d. h. die in Deutschland mit der Bereitstellung von IWBT-Know-how in Universitäten/FuE-Einrichtungen, kleinen und mittelständischen IWBT-Unternehmen (KMU), IWBT-Ausstattern sowie der Nutzung von IWBT-Know-how in den Anwenderindustrien der Pharmabranche, Chemieindustrie (inkl. Bioethanol), Lebensmittelindustrie sowie Landwirtschaft verbundenen direkten Beschäftigungseffekte.
- **umfassen positive Brutto-Vorleistungseffekte der „IWBT-Teilsegmente“ (IWBT Vorleistung)**: Durch ihre Investitionstätigkeiten und Ausgaben für Vorleistungskäufe sind die IWBT-Teilsegmente IWBT Bereitstellung und IWBT Anwendung an der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung beteiligt. Diese Lieferverflechtungen mit anderen Wirtschaftssektoren bewirken zusätzliche indirekte vorgelagerte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte in Zulieferersektoren.
- **umfassen nicht negative und Netto-Beschäftigungseffekte**: Neben den positiven Brutto-Beschäftigungseffekten aus dem Zuwachs bei der Bereitstellung und Nutzung von IWBT-Know-how entstehen negative Beschäftigungseffekte. Diese negativen Effekte bzw. negativen Impulse entstehen u. a. auf Grund einer geringeren Verwendung (im Sinne einer relativen Schrumpfung) bei „konventionellen“ Produkten (z. B. fossile Energieträger) und den dadurch vermiedenen Ausgaben und Investitionen. Zudem entstehen kompensatorische Effekte und Budgeteffekte, da z. B. Mehrkosten, die die Bereitstellung und Anwendung von IWBT-Prozessen, Produkten und Dienstleistungen gegenüber traditionellen Prozessen, Produkten und

Dienstleistungen mit sich bringt (z. B. IWBT-Forschungsförderung, Subventionen und -Steuerbefreiungen für Bioethanol) gesamtwirtschaftlich durch Minderausgaben an anderer Stelle (u. a. sinkende private Konsumausgaben auf Grund von Steuererhöhungen) kompensiert werden müssen. Diese Vorgehensweise bei den Berechnungen von Netto-Beschäftigungseffekten würde eine in sich geschlossene Bilanzierung der gesamtwirtschaftlichen Effekte eines zusätzlichen Einsatzes von IWBT-Prozessen, -Produkten und -Dienstleistungen gewährleisten. Die Berechnung derartiger Netto-Beschäftigungseffekte ist jedoch methodisch sehr aufwendig und war im finanziellen Rahmen dieses Projektes nicht leistbar.

Bei der Interpretation solcher negativen Beschäftigungseffekte sollten jedoch stets generelle Trends in den betroffenen Anwenderbranchen berücksichtigt werden: Wenn Deutschland im FuE- und Produktionsbereich nicht auf international wettbewerbsfähige Prozesse, Produkte und Dienstleistungen der IWBT setzt, die in Deutschland erforscht, entwickelt und möglichst lange (industriell) produziert werden können, besteht die Gefahr, dass Unternehmen zukünftig standardisierte Produktionsprozesse bei „klassischen bzw. konventionellen“ Prozessen, Produkten und Dienstleistungen (z. B. auf petrochemischer Herstellungsbasis) in osteuropäische und/oder asiatische Länder verlagern. Dadurch gingen u. U. viele Arbeitsplätze verloren, möglicherweise in der Größenordnung der hier nachfolgend ausgewiesenen positiven Brutto-Beschäftigungseffekte.

Im Folgenden wird zunächst eine Gesamtübersicht aller positiven Brutto-Beschäftigungseffekte dargestellt und die wichtigsten Ergebnisse beschrieben. Anschließend werden alle IWBT-Teilsegmente detailliert beschrieben, bevor in Abschnitt 3.6.2 die Ergebnisse der qualifikationsspezifischen Beschäftigungsanalysen dargestellt werden. Auf Grund des im vorigen Abschnitt beschriebenen Problems der Doppelzählungen werden bestimmte Summenwerte nicht ausgewiesen. Wie in den Abschnitten 3.2 und 3.3 beschrieben, gibt es im Bereich der IWBT (ebenso wie bei anderen neuen Technikfeldern) oftmals keine umfangreichen statistischen Datenquellen, so dass die Ergebnisse in einigen Bereichen mit Unsicherheiten verbunden sind. Um diese möglichst zu reduzieren, wurde wie in den vorigen Abschnitten beschrieben zum einen mit der Szenariotechnik und zum anderen mit plausiblen und konsistenten Unter- und Obergrenzen innerhalb einzelner Szenarien gearbeitet. Dabei wurden durch eine Vielzahl von Methoden und Quellen (u. a. schriftliche Befragung, Experteninterviews, Patentanalysen, technoökonomische Studien) die Szenarienannahmen auf Plausibilität und Konsistenz hin überprüft und damit qualitätsgesichert. Auf Grund der dennoch bestehenden Unsicherheiten werden im Folgenden die Beschäftigungseffekte in Bandbreiten mit Ober- und Untergrenzen angegeben („wahrscheinlicher Korridor“). Diese sind wie folgt zu interpretieren: Da auch die tatsächliche Marktdurchdringung in 2004 mit Unsicherheiten behaftet ist und nicht mit Gewissheit bestimmt werden konnte, werden auch die aktuellen Beschäftigungseffekte in 2004 mit Unter- und Obergrenze angegeben.

Die Grenzen sind dabei zu verstehen als „pessimistische und optimistische IWBT-Marktanteilsabschätzung“. Ausnahmen bilden hier die IWBT-KMU und die IWBT-Ausstatter, für die die Werte in 2004 „mit Sicherheit“ bestimmt werden konnten auf Basis der Erhebungen des Statistischen Bundesamtes.

Die Unter- und Obergrenzen der Beschäftigungseffekte für das Jahr 2025 können als langsame und schnelle Diffusion bzw. IWBT-Marktdurchdringung interpretiert werden. Die Einflussfaktoren auf die Diffusionsgeschwindigkeit werden ausführlich im nachfolgenden Kapitel beschrieben.

Die direkten Beschäftigungseffekte der IWBT-Teilbereiche IWBT Bereitstellung und IWBT Anwendung sowie deren vorgelagerten (indirekten und investitionsinduzierten) Beschäftigungseffekte sind in Tabelle 3.9 zusammenfassend dargestellt. Bei den ausgewiesenen Erwerbstätigen handelt es sich um Angaben in Vollzeitäquivalenten. Die Ergebnisse zeichnen folgendes Bild:

IWBT Bereitstellung (direkte Effekte plus IWBT Vorleistung): Die größte Beschäftigungswirkung (Summe aus direkten und vorgelagerten Effekten BT Vorleistung) geht in 2004 mit rund 6.500 – 9.500 Erwerbstätigen von den Universitäten und außeruniversitären FuE-Einrichtungen aus, gefolgt von den IWBT-Ausstattern mit ca. 2.800 Beschäftigten. Demgegenüber ist die Beschäftigungswirkung von kleinen und mittelständischen IWBTunternehmen – auch unter Berücksichtigung der Vorleistungseffekte – mit etwa 1.300 Beschäftigten vergleichsweise gering. Hinsichtlich der Größenrelationen ergibt sich für das Jahr 2025 ein ähnliches Bild: Etwa 7.600 – 11.100 Erwerbstätige können den Universitäten und außeruniversitären FuE-Einrichtungen, ca. 3.200 – 4.000 Beschäftigte den IWBT-Ausstattern, und etwa 1.400 – 1.900 Beschäftigte den kleinen und mittelständischen IWBT-Unternehmen zugerechnet werden.

IWBT Anwendung (direkte Effekte plus IWBT Vorleistung): Die höchste Zahl an betroffenen Arbeitsplätzen ist in der Lebensmittelindustrie festzustellen, die eine erhebliche Vorleistungswirkung aufweist, so dass in diesem Teilsegment insgesamt (d. h. direkt plus vorgelagert) rund 192.900 – 493.000 Erwerbstätige mit der Nutzung biotechnischer Methoden, Prozesse oder Produkte in Verbindung gebracht werden können. Danach folgt die Chemie mit etwa 37.000 – 55.500 Erwerbstätigen. Demgegenüber ist die Beschäftigungswirkung in der Pharmaindustrie vergleichsweise gering (rund 7.000 – 11.600 Beschäftigte). Hinsichtlich der Größenrelationen ergibt sich für das Jahr 2025 ein ähnliches Bild: Rund 326.000 – 570.500 Erwerbstätige können der Lebensmittelindustrie zugerechnet werden, gefolgt von der Chemiebranche mit etwa 99.300 – 189.600 Erwerbstätigen, vor der Pharmaindustrie (rund 20.100 – 38.000 Beschäftigte) und der Landwirtschaft (ca. 8.100 – 12.900 Beschäftigte).

Im Zusammenhang mit dem Produktionsvolumen ist zu erwähnen, dass bei den getroffenen Annahmen hinsichtlich dem realen Marktwachstum in den Anwender-

branchen und der Entwicklung der IWBT-Umsatzanteile über alle Anwenderbranchen hinweg es zu einem realen Wachstum des IWBT-Produktionsvolumens von plus 130 % kam.

Tabelle 3.9: Zusammenfassung der direkten und indirekten Brutto-Beschäftigungswirkungen der IWB-T in Deutschland, Szenarien für die Jahre 2004 und 2025

	Direkte Brutto-Erwerbstätige * (in Tsd.)		IWB-T Vorleistung: Indirekte/ induzierte Brutto- Erwerbstätige (in Tsd.)		Brutto-Erwerbstätige gesamt (in Tsd.)	
	2004	2025	2004	2025	2004	2025
Szenarien (Summe 1+2)	88,3 – 205,0	161,1 – 283,3	n.v. *	n.v. *	n.v. *	n.v. *
1. IWB-T-Bereitstellung	5,5 - 6,9	6,3 – 8,6	5,2 - 6,8	6,0 – 8,4	n.v. *	n.v. *
- Universitäten/FuE-Einrichtungen	3,0 – 4,4	3,5 – 5,1	3,5 – 5,1	4,1 – 6,0	6,5 – 9,5	7,6 – 11,1
- IWB-T-KMU	0,8	0,9 – 1,1	0,5	0,6 – 0,7	1,3	1,4 – 1,9
- IWB-T-Ausstatter	1,7	1,9 – 2,4	1,2	1,3 – 1,7	2,8	3,2 – 4,0
2. IWB-T-Anwendung	82,8 – 198,1	154,8 – 274,7	154,2 – 362,0	298,7 – 536,3	n.v. *	n.v. *
- Pharmaindustrie	3,4 – 5,7	8,5 – 16,1	3,6 – 6,0	11,6 – 21,9	7,0 – 11,6	20,1 – 38,0
- Chemiebranche	9,8 – 14,7	20,6 – 39,3	27,2 – 40,8	78,7 – 150,2	37,0 – 55,5	99,3 – 189,6
- Lebensmittel	69,6 – 177,7	120,7 – 211,2	123,4 – 315,2	205,3 – 359,3	192,9 – 493,0	326,0 – 570,5
- Landwirtschaft (GVO) **	0	5,0 – 8,0	0	3,1 – 4,9	0	8,1 – 12,9

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006 (Rundungsfehler möglich). n.v. * = nicht verfügbar, da Problem der Doppelzählung

** Laut IWB-T-Definition werden nur die „GVO-Prozesse auf dem Acker“ für industrielle Prozesse berücksichtigt (nicht aber diejenigen GVO-Prozesse zur Herstellung von Nahrungsmitteln sowie die Nicht-GVO-Prozesse). GVO = gentechnisch veränderte Organismen

Zum Problem der Doppelzählungen: Bestimmte Summenwerte werden nicht ausgewiesen, da sie methodisch bedingt z. T. erhebliche Doppelzählungen beinhalten und daher irreführend wären. Am **Gesamt-Summenwert IWB-T-Vorleistung** (IWB-T-Bereitstellung plus IWB-T-Anwendung) soll dies illustriert werden: Die Anwenderbranchen (z. B. Pharma- und Chemiebranche) beziehen Biotechnologie-basierte Vorleistungsgüter von IWB-T-KMU (z. B. industrielle Enzyme) oder IWB-T-Ausstattern (z. B. Bauteile für Laborgeräte). Die Logik des Input-Output-Modells arbeitet mit „Mehrfachrechnen“, d. h. es wird nicht nur die direkte Vorleistung berechnet, sondern auch die Vorleistungen der Vorleistung, die Vor-Vorleistung usw. Die Vorleistungseffekte der IWB-T-KMU sind somit zu bestimmen, jedoch nicht quantifizierbaren Anteilen auch in den Vorleistungen der Pharma- und Chemiebranche berücksichtigt. Eine Aufsummierung über IWB-T-Bereitstellung und IWB-T-Anwendung würde somit diese Vorleistungen zu einem nicht bezifferbaren Anteil doppelt erfassen und wurde daher nicht durchgeführt. Demzufolge ist auch eine Aufsummierung der direkten Beschäftigungseffekte und der Effekte BT-Vorleistung zu einem Wert **Brutto-Erwerbstätige gesamt** nicht möglich. Bei den Brutto-Erwerbstätigen gesamt kommt hinzu, dass auf Grund der beschriebenen Vorleistungsverflechtungen viele indirekt Beschäftigte im Bereich IWB-T-Anwendung direkt Beschäftigte im Bereich IWB-T-Bereitstellung sind. Zudem beziehen Pharmaunternehmen Vorleistungen von der Chemieindustrie oder IWB-T-KMU Vorleistungen von den Ausstattern. Daher können Brutto-Erwerbstätige gesamt für die IWB-T-Bereitstellung, IWB-T-Anwendung und IWB-T-Anwendung plus IWB-T-Bereitstellung nicht ausgewiesen werden.

IWBT Vorleistung: Die Bedeutung der vorgelagerten Beschäftigungseffekte sind in Summe sowohl in 2004 als auch in 2025 größer als die direkten Beschäftigungswirkungen der IWBT. Die Effekte sind für die einzelnen IWBT-Teilsegmente sehr unterschiedlich. Bei den Biotech-KMU, den IWBT-Ausstattern sowie in der Landwirtschaft dominieren die direkten Beschäftigungseffekte, d. h. die vorgelagerten Effekte weisen eine geringere Bedeutung auf. Umgekehrt belaufen sich in der Chemiebranche und in der Lebensmittelindustrie die vorgelagerten Beschäftigungseffekte auf etwa fast das Doppelte bis Dreifache der direkten Beschäftigungswirkung. In den übrigen IWBT-Teilsegmenten sind die direkten und vorgelagerten Beschäftigungswirkungen in etwa gleich hoch. Die Gründe hierfür wurden bereits beschrieben (s. Abschnitt 3.5).

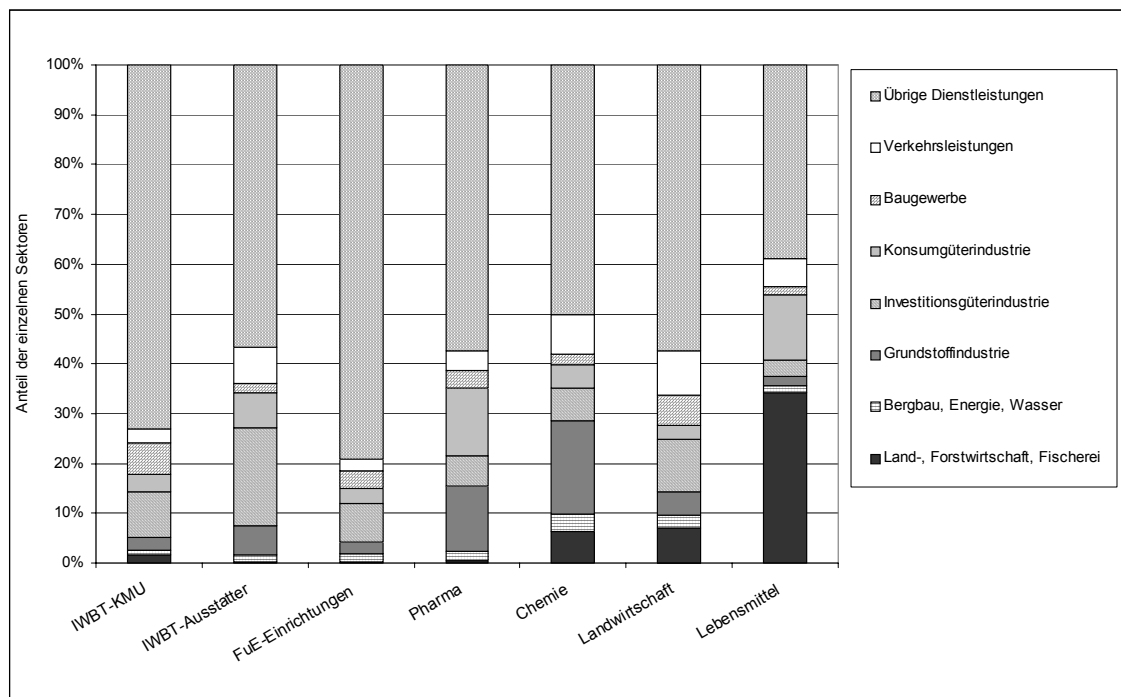
Auf Grund der großen Bedeutung der vorgelagerten Beschäftigungseffekte wurde eine genauere Analyse der sektoralen Aufteilung der vorgelagerten Beschäftigungseffekte durchgeführt. Die Ergebnisse zeichnen folgendes Bild (Abbildung 3.6):⁵² Es ist eine relativ hohe Bedeutung des Dienstleistungsbereichs zu erkennen, der in den meisten Fällen zwischen 40 und 60 % der vorgelagerten Beschäftigten ausmacht, bei den Universitäten/FuE-Einrichtungen und IWBT-KMU sogar 75 bis 80 %. Damit trägt die IWBT in erheblichem Maße zur Stärkung von zukunftsfähigen Dienstleistungssektoren bei. Für die Lebensmittelverarbeitung (und zukünftig in der Landwirtschaft) ergibt sich eine geringere Bedeutung des Dienstleistungsbereichs.

Die benötigten Dienstleistungen umfassen dabei eine breite Leistungspalette, die vom Großhandel über FuE-, Finanz- und Versicherungsdienstleistungen bis hin zu anderen unternehmensbezogenen Dienstleistungen wie z. B. Steuerberatung, Wirtschaftsprüfung, Werbeagenturen oder Laboranalysen reicht. Abgesehen von der hohen Bedeutung der Dienstleistungssektoren sind für die jeweiligen durch die IWBT betroffenen Bereiche jeweils unterschiedliche Schwerpunkte hinsichtlich der Vorleistungslieferanten zu erkennen. Für die Pharmaindustrie und die (Fein)Chemie sind die Sektoren der Grundstoffindustrie, insbesondere Lieferungen aus anderen Feldern der chemischen Industrie relevant. Für die IWBT-Ausstatter spielen Investitionsgütersektoren wie die Mess- und Regeltechnik oder die Hersteller von Metallerzeugnissen eine größere Rolle. Die Lebensmittelverarbeitung fällt insofern aus dem Rahmen, als hier die

⁵² Die Landwirtschaft ist mit aufgeführt, obgleich die Beschäftigungseffekte in 2004 Null sind. Grund hierfür ist, dass die Landwirtschaft in 2025 eine Rolle spielt. Obgleich sich bis 2025 die Vorleistungsstrukturen verändern werden, spiegelt die Abbildung in etwa ein grobes Bild der zukünftigen Güterverflechtungen wider, da sich Vorleistungsstrukturen auch über längere Zeit hinweg häufig nicht „gravierend“ verändern. Auch für die anderen IWBT-Teilsegmente gibt die 2004-Vorleistungsstruktur ein „grobes“ Bild der zukünftigen Vorleistungsstrukturen wieder.

Landwirtschaft (aber auch die Fischerei) mit ihrer hohen Arbeitsintensität maßgeblich zur vorgelagerten Beschäftigungswirkung beiträgt.

Abbildung 3.6: Sektorale Aufteilung der vorgelagerten Beschäftigungseffekte 2004 in den IWBT-Segmenten IWBT Bereitstellung und IWBT Anwendung



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

Im Folgenden werden für alle sieben IWBT-Teilsegmente die detaillierten Beschäftigungseffekte dargestellt, differenziert nach direkten, indirekten (durch den Kauf von Vorleistungsgütern) und investitionsinduzierten Effekten.

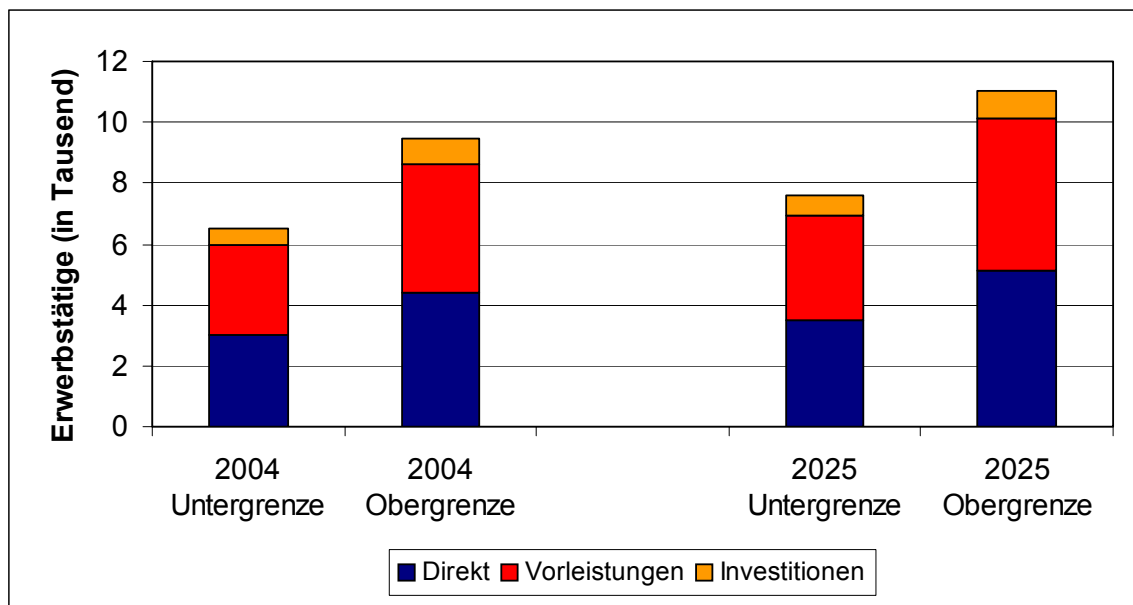
IWBT Bereitstellung: Universitäten und außeruniversitäre FuE-Einrichtungen

Für das Teilsegment Universitäten und außeruniversitäre FuE-Einrichtungen ergeben sich die in Abbildung 3.7 dargestellten Brutto-Beschäftigungseffekte: Die Zahl der Erwerbstätigen steigt von 6.500 – 9.500 in 2004 auf rund 7.600 - 11.100 in 2025.

Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte: In 2004 induziert jeder der 3.000 – 4.400 direkten IWBT-Arbeitsplätze weitere ca. 1,15, d. h. insgesamt 3.500 – 5.100 Arbeitsplätze in vorgelagerten Sektoren (davon entfallen 600 – 800 auf Investitionen). Der Multiplikatorenwert der indirekten und (investitions-)induzierten Beschäftigungseffekte liegt in 2025 bei etwa 1,17. Dieser gleich bleibende Multiplikator-

wert stellt sich deshalb ein, weil sich die Produktivität in den direkten Bereichen ähnlich entwickelt wie in den Bereichen IWBT Vorleistung (z. B. Verflechtung mit anderen öffentlichen FuE-Einrichtungen und unternehmensbezogenen Dienstleistungen) in Summe.

Abbildung 3.7: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2025 für das Teilsegment Universitäten und außeruniversitäre FuE-Einrichtungen



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

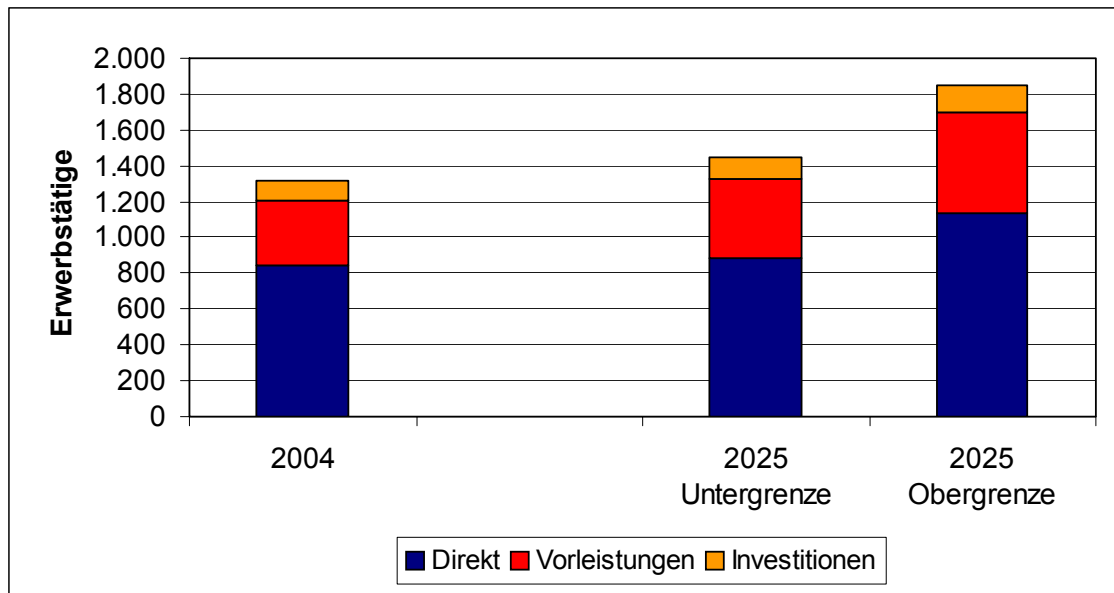
Im gesamten Betrachtungszeitraum sind rund 46 % der Gesamtbeschäftigten mit den direkt Beschäftigten verknüpft, ca. 9 % entfallen auf investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte. Der Anteil der indirekten Beschäftigten in vorgelagerten Sektoren beträgt rund 45 %.

IWBT Bereitstellung: IWBT-KMU

Für das Teilsegment kleine und mittelständische Biotechnologieunternehmen der IWBT (IWBT-KMU) ergeben sich die in Abbildung 3.8 dargestellten Brutto-Beschäftigungseffekte: Die Zahl der Erwerbstätigen steigt von rund 1.300 in 2004⁵³ auf rund 1.400 - 1.900 in 2025.

⁵³ Die direkten 2004-Werte konnten mit Sicherheit bestimmt werden (s. Abschnitt 3.2.2.1). Daher sind die Unter- und Obergrenze in diesem Teilsegment für das Jahr 2004 identisch.

Abbildung 3.8: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2025 für das Teilsegment IWBT-KMU



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

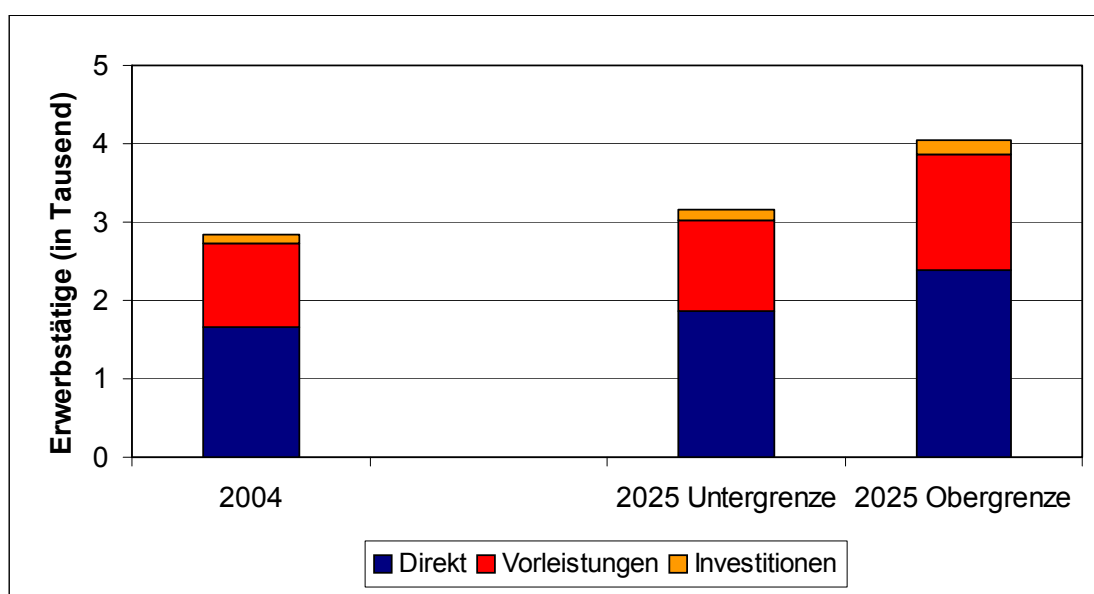
Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte: In 2004 induziert jeder der etwa 800 direkten IWBT-Arbeitsplätze weitere ca. 0,56, d. h. insgesamt ca. 500 Arbeitsplätze in vorgelagerten Sektoren (davon entfallen 100 auf Investitionen). Der Multiplikatorenwert der indirekten und (investitions-) induzierten Beschäftigungseffekte ist in 2020 mit 0,64 etwas höher.

Im gesamten Betrachtungszeitraum sind rund 64 % (2004) bis 61 % (2025) der Gesamtbeschäftigten mit den direkt Beschäftigten verknüpft, ca. 8 bis 9 % entfallen auf investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte. Der Anteil der der indirekten Beschäftigten in vorgelagerten Sektoren steigt leicht von ca. 28 % in 2004 auf 30 % in 2025. Ein wichtiger Grund hierfür ist: Die Produktivitätsentwicklungen in den direkten Bereichen sind etwas höher als die in den vorgelagerten Zulieferersektoren (z. B. öffentliche FuE-Einrichtungen, unternehmensbezogene Dienstleistungen), weshalb die direkt Beschäftigten etwas an Bedeutung verlieren und der vorgelagerte Beschäftigungsbereich leicht an Bedeutung hinzugewinnt.

IWBT Bereitstellung: IWBT-Ausstatter

Für das Teilsegment IWBT-Ausstatter ergeben sich die in Abbildung 3.9 dargestellten Brutto-Beschäftigungseffekte: Die Zahl der Erwerbstätigen steigt von 2.800 in 2004⁵⁴ auf rund 3.200 - 4.000 in 2025.

Abbildung 3.9: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2025 für das Teilsegment IWBT-Ausstatter



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte: In 2004 induziert jeder der 1.700 direkten IWBT-Arbeitsplätze weitere ca. 0,71, d. h. insgesamt 1.200 Arbeitsplätze in vorgelagerten Sektoren (davon entfallen 100 auf Investitionen). Der Multiplikatorenwert der indirekten und (investitions-) induzierten Beschäftigungseffekte liegt in 2020 bei etwa 0,70. Ein wichtiger Grund hierfür ist ebenfalls, dass sich die Produktivität in den direkten Bereichen ähnlich entwickelt wie in den Bereichen IWBT Vorleistung in Summe, weshalb sich der Multiplikatorwert nur wenig ändert.

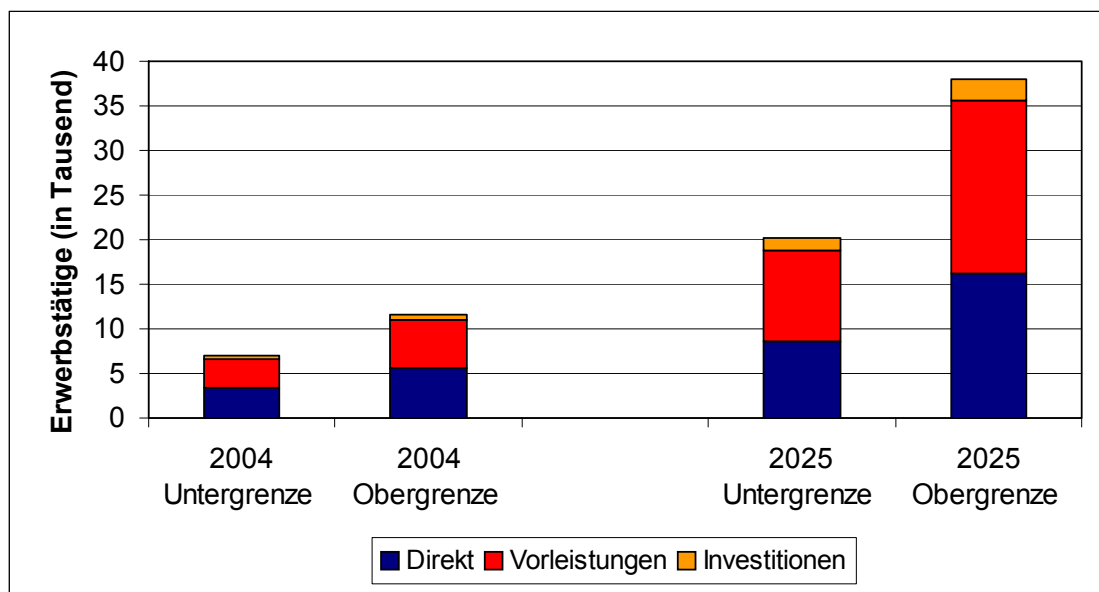
Im gesamten Betrachtungszeitraum sind rund 59 % der Gesamtbeschäftigten mit den direkt Beschäftigten verknüpft, ca. 4 % entfallen auf investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte. Der Anteil der indirekten Beschäftigten in vorgelagerten Sektoren beträgt rund 37 %.

⁵⁴ Die direkten 2004-Werte konnten mit Sicherheit bestimmt werden (s. Abschnitt 3.2.2.2). Daher sind die Unter- und Obergrenze in diesem Teilsegment für das Jahr 2004 identisch.

IWBT Anwendung: Pharmabranche

Für das Teilsegment Pharmabranche ergeben sich folgende Brutto-Beschäftigungseffekte (Abbildung 3.10): Die Zahl der Erwerbstätigen steigt von 7.000 - 11.600 in 2004 auf rund 20.100 - 38.000 in 2025.

Abbildung 3.10: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2025 für das Teilsegment Pharmabranche



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte: In 2004 induziert jeder der 3.400 – 5.700 direkten IWBT-Arbeitsplätze weitere ca. 1,05, d. h. insgesamt 3.600 – 6.000 Arbeitsplätze in vorgelagerten Sektoren (davon entfallen rund 400 – 600 auf Investitionen). Der Multiplikatorenwert der indirekten und (investitions-) induzierten Beschäftigungseffekte steigt bis 2020 auf 1,36. Ein wichtiger Grund für den steigenden Multiplikatorwert liegt ebenfalls in den unterstellten höheren Produktivitätsfortschritten im Pharmasektor im Vergleich zu den Zulieferersektoren sowie eine stärkere Verflechtung mit den Zulieferersektoren (z. B. FuE-Dienstleistungen, unternehmensbezogene Dienstleistungen).

Im gesamten Betrachtungszeitraum sind rund 49 % (2004) bis 42 % (2025) der Gesamtbeschäftigten mit den direkt Beschäftigten verknüpft, ca. 5 % (2004) bis 6 % (2025) entfallen auf investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte. Der Anteil der indirekten Beschäftigten in vorgelagerten Sektoren steigt von ca. 46 % in 2004 auf 51 % in 2025 an. Ein Grund hierfür sind wie oben beschrieben die hohen Produktivitätsfortschritte in der Pharmabranche im Vergleich zu den Zulieferersektoren.

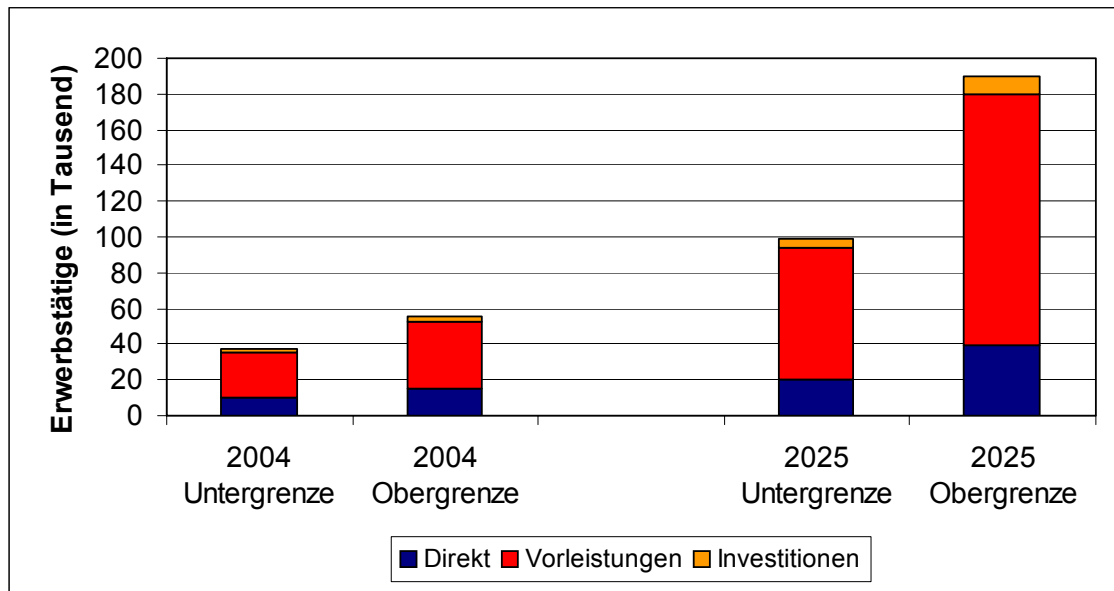
IWBT Anwendung: Chemieindustrie

Für das Teilsegment Chemieindustrie ergeben sich die in Abbildung 3.11 dargestellten Brutto-Beschäftigungseffekte: Die Zahl der Erwerbstätigen steigt von 37.000 - 55.500 in 2004 auf rund 99.300 - 189.600 in 2025.

Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte: In 2004 induziert jeder der 9.800 – 14.700 direkten IWBT-Arbeitsplätze weitere ca. 2,78, d. h. insgesamt 27.200 – 40.800 Arbeitsplätze in vorgelagerten Sektoren (davon entfallen rund 1.800 – 2.700 auf Investitionen). Der Multiplikatorenwert der indirekten und (investitions-)induzierten Beschäftigungseffekte steigt bis 2025 auf 3,82. Dies ist der höchste Multiplikatorwert von allen IWBT-Segmenten. Gründe hierfür sind: Die Ursache für den Anstieg liegt in den unterstellten höheren Produktivitätsfortschritten im Chemiesektor im Vergleich zu den Sektoren in den vorgelagerten Sektoren (z. B. FuE-Dienstleistungen, unternehmensbezogene Dienstleistungen und Baugewerbe) sowie eine stärkere Verflechtung mit den dienstleistungsorientierten Zulieferersektoren. Zudem gewinnt Bioethanol bis 2025 an Bedeutung. Die entsprechenden nicht-fossilen Rohstoffe (z. B. Weizen, Roggen, Zuckerrüben) kommen annahmegemäß größtenteils aus der arbeitsintensiven deutschen Landwirtschaft. Der bereits hohe Wert in 2004 erklärt sich dadurch, dass die Chemieprozesse sehr kapitalintensiv und hochproduktiv sind, so dass die direkten Beschäftigungseffekte sehr gering ausfallen (entsprechend sind die indirekten und investitionsinduzierten Effekte relativ gesehen sehr hoch). Zudem sind die Chemieprozesse in viele sehr differenzierte Prozessschritte untergliedert und oftmals konzentrieren sich einzelne Unternehmen nur auf bestimmte Prozessschritte, so dass die eigene Wertschöpfungsintensität der Chemieunternehmen häufig sehr gering ist. In diesem Kontext ist zu beachten, dass ein Großteil der vielen Vorleistungsgüter wiederum aus dem Chemiesektor selbst kommt.

Im gesamten Betrachtungszeitraum sind rund 26 % (2004) bis 21 % (2025) der Gesamtbeschäftigten mit den direkt Beschäftigten verknüpft, ca. 5 % entfallen auf investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte. Der Anteil der indirekten Beschäftigten in vorgelagerten Sektoren steigt von ca. 69 % in 2004 auf 74 % in 2025 an. Ein Grund hierfür sind wie oben beschrieben die hohen Produktivitätsfortschritte in der Chemiebranche im Vergleich zu den Zulieferersektoren.

Abbildung 3.11: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2025 für das Teilsegment Chemieindustrie



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

IWBT Anwendung: Lebensmittelindustrie

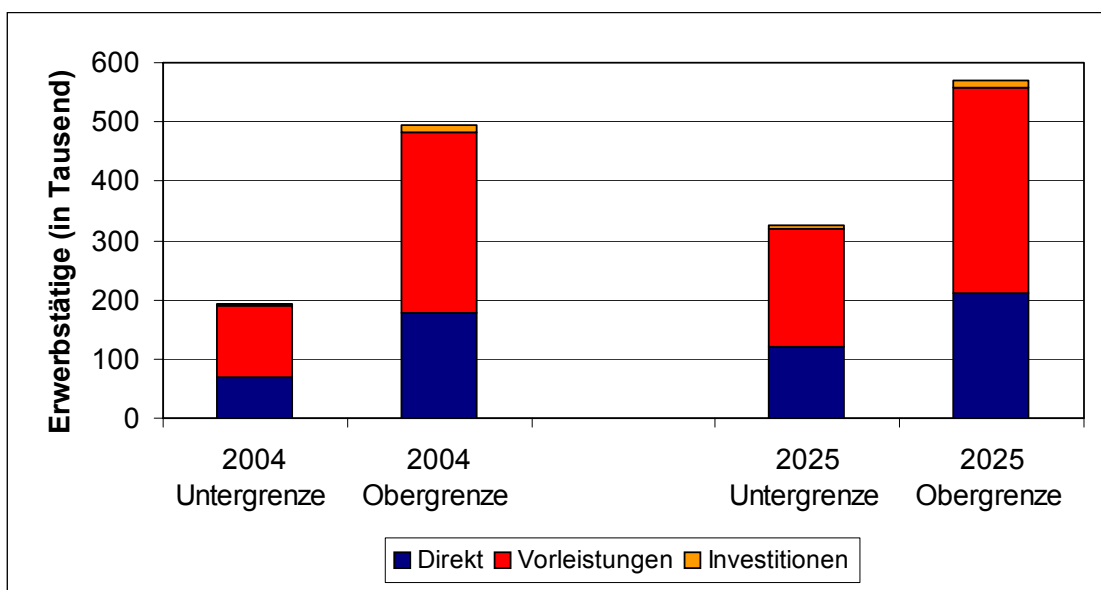
Für das Teilsegment Lebensmittelindustrie ergeben sich die in Abbildung 3.12 dargestellten Brutto-Beschäftigungseffekte: Die Zahl der Erwerbstätigen steigt von 192.900 - 493.000 in 2004 auf rund 326.000 - 570.500 in 2025.

Gründe für die hohe Bandbreite in diesem Segment könnten sein, dass die Akteure bei der IWBT-Definition die Anwendungsfelder unterschiedlich abgrenzen. Zudem dürfte es einen gewissen Bias geben: Die Akteure dürften die Fragen z. T. aus Branchensicht und z. T. aus der Unternehmenssicht beantwortet haben. Es zeigte sich, dass Unternehmen, die bereits heute sehr aktiv in der IWBT sind, höhere Marktdurchdringungsraten angaben als diejenigen, die in geringerem Umfang im IWBT-Bereich aktiv sind. Mit anderen Worten: Die Varianz der Antworten bei den IWBT-Umsatzanteilen war größer als in vielen anderen IWBT-Segmenten (ähnlich groß war die Varianz in der Landwirtschaft). Die hohen Werte sowie die Zuwachsraten spiegeln folgenden Sachverhalt wider: Viele für die Lebensmittelindustrie relevante Methoden, Prozesse und Produkte der IWBT sind bereits erforscht und am Markt eingeführt (s. Abschnitt 3.3.2). Dies spiegeln die bereits heute sehr hohen Werte in 2004 wider. Zukünftig erfolgt eine Marktdurchdringung auf breiterer Basis, weshalb insbesondere diejenigen Akteure, die die Marktdurchdringung in 2004 noch geringer bewerteten (pessimistischer Fall), für die Zukunft bis 2025 höhere Zuwachsraten erwarten. Diejenigen, die die Marktdurch-

dringung bereits heute als hoch ansehen (meist Unternehmen, die bereits heute sehr aktiv in IWB-T-Nischenmärkten sind), erwarten zwar noch Zuwächse bis 2025, diese fallen aber geringer aus, weil bereits für 2004 hohe Werte angegeben wurden. Daher steigt die Obergrenze weniger stark als die Untergrenze.

Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte: In 2004 induziert jeder der 69.600 – 177.700 direkten IWB-T-Arbeitsplätze weitere ca. 1,77, d. h. insgesamt 123.300 – 315.200 Arbeitsplätze in vorgelagerten Sektoren (davon entfallen rund 3.600 – 9.200 auf Investitionen). Der Multiplikatorenwert der indirekten und (investitions-) induzierten Beschäftigungseffekte sinkt bis 2025 leicht auf 1,70. Dieser leichte Rückgang erklärt sich dadurch, dass die Produktivitätsfortschritte im Lebensmittelbereich etwas geringer sind als in den anderen vorgelagerten Sektoren. Ein Grund für den hohen (zweithöchsten) indirekten Multiplikator ist die starke Verflechtung mit der arbeitsintensiven deutschen Landwirtschaft und Fischerei.

Abbildung 3.12: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2025 für das Teilsegment Lebensmittelindustrie



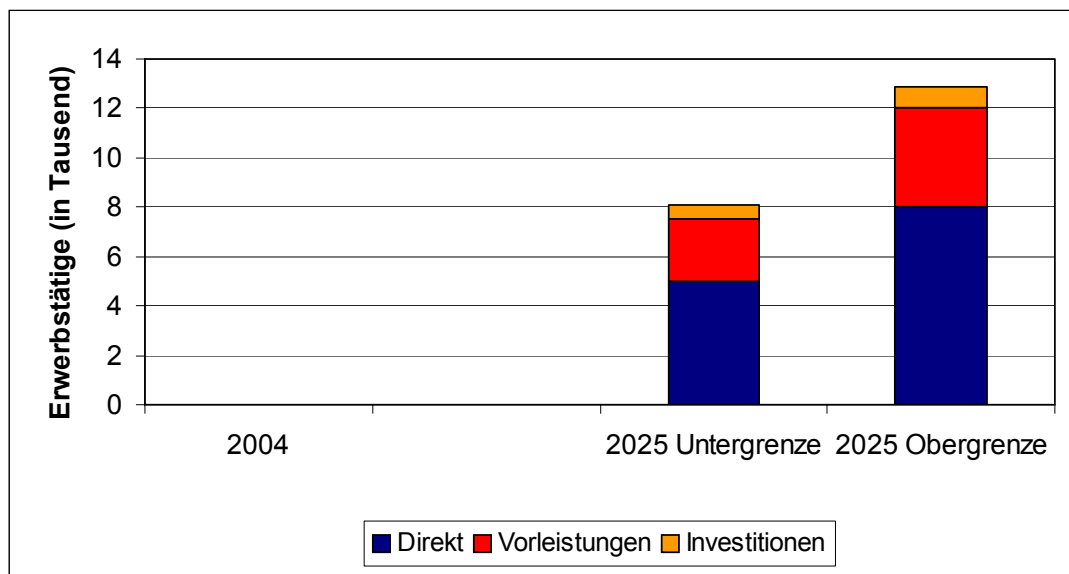
Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

Im gesamten Betrachtungszeitraum sind rund 36 % der Gesamtbeschäftigten mit den direkt Beschäftigten verknüpft, ca. 2 % entfallen auf investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte. Der Anteil der indirekten Beschäftigten in vorgelagerten Sektoren beträgt rund 62 %.

IWBT Anwendung: Landwirtschaft

Für das Teilsegment Landwirtschaft ergeben sich die in Abbildung 3.13 dargestellten Brutto-Beschäftigungseffekte: Die Zahl der Erwerbstätigen steigt von Null in 2004 auf rund 8.100 - 12.900 in 2025. Entsprechend der in diesem Projekt verwendeten IWBT-Definition wurden (in Abgrenzung zur grünen Biotechnologie) nur die „GVO-Prozesse⁵⁵ auf dem Acker“ für industrielle Prozesse berücksichtigt (i. S. v. „Produktionsplattform Pflanze“), nicht aber diejenigen GVO-Prozesse zur Herstellung von Nahrungsmitteln sowie die Nicht-GVO-Prozesse. Mit anderen Worten: Nur landwirtschaftliche Aktivitäten, die im Zusammenhang mit Pflanzen, die für industrielle Zwecke gentechnisch verändert bzw. optimiert werden (z. B. höherer Stärke-, Fett- oder Ölgehalt), wurden bei den Beschäftigungswirkungen berücksichtigt. Hierbei wurde für verschiedene Produktgruppen der industrielle Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen⁵⁶ mit einem produktgruppenspezifischen GVO-Anteil multipliziert, der sich aus ausgewählten Experteninterviews ergab.

Abbildung 3.13: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2025 für das Teilsegment Landwirtschaft



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

⁵⁵ GVO = gentechnisch veränderte Organismen.

⁵⁶ Ergebnis einer aktuell vom Fraunhofer ISI durchgeführten und abgeschlossenen Studie, deren Ergebnisse voraussichtlich Anfang 2007 veröffentlicht werden.

Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte: In 2025 induziert jeder der 5.000 – 8.000 direkten IWBT-Arbeitsplätze weitere ca. 0,61, d. h. insgesamt 3.100 – 4.900 Arbeitsplätze in vorgelagerten Sektoren (davon entfallen rund 600 – 900 auf Investitionen).

In 2025 sind rund 62 % der Gesamtbeschäftigten mit den direkt Beschäftigten verknüpft, ca. 7 % entfallen auf investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte. Der Anteil der indirekten Beschäftigten in vorgelagerten Sektoren beträgt rund 31 %.

3.6.2 Qualifikationsspezifische Beschäftigungseffekte 2004

Die Marktdiffusion von neuen Technologien und Innovationen erfordert einerseits Lernprozesse zur Bereitstellung und Nutzung von in Produkten und Prozessen enthaltenem technologischem Wissen. Andererseits ist der Aufbau von teilweise sehr komplexen Kommunikations- und Vertriebskanälen zur Verbreitung und zur Nutzung von Innovationen unerlässlich (u. a. Nusser 2000). Zur Umsetzung von FuE-Erkenntnissen in international wettbewerbsfähige Produkte müssen daher ausreichend hoch qualifizierte Arbeitskräfte und entsprechende Arbeitsplätze für Hochqualifizierte in einer Volkswirtschaft vorhanden sein. Ein Mangel im Inland an qualifizierten Arbeitskräften oder Arbeitsplätzen kann zu erheblichen dauerhaften Wettbewerbsnachteilen in einem Land führen. Inländische FuE-Erkenntnisse werden z. B. von ausländischen Wirtschaftsakteuren schneller genutzt, oder ausländisches technologisches Know-how kann nicht „importiert“ werden. Dadurch bleiben Produktions-, Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale im Inland ungenutzt.

Im Folgenden wird zur Analyse der qualifikationsspezifischen Beschäftigungseffekte für die Teilsegmente der IWBT, die im vorigen Abschnitt dargestellten quantitativen Beschäftigungseffekte für das Jahr 2004 nach Qualifikationsgruppen differenziert untersucht.

Zur Berechnung der Qualifikationsstruktur in der IWBT für das Jahr 2004 wurden Daten des Mikrozensus verwendet wurden.⁵⁷ Anhand der Wirtschaftszweigsystematik WZ 93 konnte die Ergebnisse auf Sektoren aggregiert, und den verschiedenen Teilsegmenten der IWBT zugeordnet werden. Bei den IWBT-KMU wird auf spezifische Ergebnisse einer aktuellen Studie des IAI (Institut Angewandte Innovationsforschung) zurückgegriffen. Für die Ermittlung der Qualifikationsprofile in den Vorleistungsindustrien wurden die sektoralen Qualifikationsprofile auf Basis des Mikrozensus in das Input-Output-

⁵⁷ Der Vorteil dieser Datenquelle liegt in der Berücksichtigung der Selbständigen, andere Datenquellen (z. B. des IAB) erfassen nur die abhängig Beschäftigten.

Modell des Fraunhofer ISI integriert. Bei den Qualifikationsprofilen werden vier Gruppen von Bildungsabschlüssen unterschieden:

1. kein Abschluss (einschließlich solcher Personen, die lediglich ein berufliches Praktikum oder eine Anlern-Ausbildung absolviert haben),
2. berufliche Ausbildung (oder gleichwertiger Berufsfachschulabschluss),
3. Meister/Techniker (oder gleichwertiger Fachschulabschluss sowie Abschluss der Fachschule in der ehemaligen DDR),
4. Akademiker (Fachhochschule oder Hochschule).

Die Anteile verschiedener Qualifikationsgruppen in den Teilsegmenten der IWBT-Teilsegmente und den Vorleistungsindustrien sind in Tabelle 3.10 zusammenfassend dargestellt.⁵⁸

⁵⁸ Die Landwirtschaft ist mit aufgeführt, obgleich die Beschäftigungseffekte in 2004 Null sind. Grund hierfür ist, dass die Landwirtschaft in 2025 eine Rolle spielt. Die Zahlen in 2004 spiegeln ein grobes Bild der zukünftigen Qualifikationsprofile wider (sozusagen als Anhaltspunkt), da sich Qualifikationsprofile nicht „schockartig, sondern über die Zeit hinweg eher graduell“ verändern. Auch für die anderen IWBT-Teilsegmente können die 2004-Werte als „grober“ Anhaltspunkt der zukünftigen Qualifikationsprofile gesehen werden. Hierbei ist zu beachten, dass in der deutschen Wirtschaft eine Tendenz zur Humankapitalintensivierung zu erkennen ist (s. nachfolgende Ausführungen).

Tabelle 3.10: Berufliche Qualifikationsprofile in den „IWBT-Teilsegmenten“ im Jahr 2004

Qualifikationsprofile der direkt Beschäftigten in den Biotechnologie-Teilsegmenten IWBT Bereitstellung und IWBT Anwendung										
	IWBT-Bereitstellung					IWBT-Anwendung				
	IWBT-KMU *	IWBT-Ausstatter	FuE-Einrichtungen	Pharma	Chemie	Landwirtschaft	Lebensmittel	Gesamtwirtschaft		
Erwerbstätige (FTE)	~800	~1.700	3.000-4.400	3.400-5.700	9.800-14.700	0	69.600-177.700			
Keinen (formellen) Abschluss	2 %	15 %	8 %	12 %	16 %	18 %	21 %	16 %		
Berufliche Ausbildung	33 %	51 %	26 %	53 %	55 %	62 %	64 %	57 %		
Meister/Techniker	2 %	12 %	8 %	10 %	12 %	15 %	10 %	11 %		
Akademiker	63 %	22 %	58 %	25 %	17 %	6 %	6 %	16 %		
Qualifikationsprofile der indirekt und investitionsinduzierten Beschäftigten in den vorgelagerten Zulieferersektoren (IWBT-Vorleistung)										
Erwerbstätige (FTE)	~500	~1.200	3.500-5.100	3.600-6.000	27.200-40.800	0	123.400-315.200			
Keinen (formellen) Abschluss	14 %	18 %	13 %	16 %	17 %	17 %	18 %	16 %		
Berufliche Ausbildung	47 %	58 %	44 %	55 %	57 %	60 %	60 %	57 %		
Meister/Techniker	10 %	9 %	10 %	9 %	9 %	11 %	11 %	11 %		
Akademiker	29 %	16 %	33 %	20 %	16 %	12 %	12 %	16 %		
Qualifikationsprofile der direkt, indirekt und investitionsinduzierten Beschäftigten (IWBT-Bereitstellung + IWBT-Anwendung + IWBT-Vorleistung)										
Erwerbstätige (FTE)	~1300	~2.800	6.500-9.500	7.000-11.600	37.000-55.500	0	193.000-493.000			
Keinen (formellen) Abschluss	6 %	16 %	11 %	14 %	17 %	17 %	19 %	16 %		
Berufliche Ausbildung	38 %	54 %	36 %	54 %	57 %	61 %	61 %	57 %		
Meister/Techniker	5 %	11 %	9 %	10 %	10 %	13 %	10 %	11 %		
Akademiker	51 %	19 %	45 %	22 %	17 %	8 %	10 %	16 %		

Quellen: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006 (Datenbasis: Mikrozensus 2004, Input-Output-Tabellen 2002); Kriegesmann et al. 2005)

Bei den direkt in der „IWBT-Teilsegmenten“ beschäftigten Personen zeigen sich deutliche sektorale Unterschiede bei der qualifikationsspezifischen Arbeitsnachfrage. Die forschungsintensiven Teilsegmente für die Bereitstellung von IWBT-Wissen (IWBT-Bereitstellung) haben einen höheren Akademikeranteil als die Teilsegmente der Anwendung (IWBT-Anwendung). In der Regel weisen diese Segmente ein hoher Anteil an Akademiker auf. Somit ist das nachgefragte Ausbildungsniveau deutlich höher als in der Gesamtwirtschaft. Biotech-KMU und FuE-Einrichtungen weisen ähnlich hohe Akademikeranteile auf, was noch einmal die hohe Forschungsintensität der IWBT-KMU unterstreicht. Die Teilsegmente der IWBT Anwendung weisen niedrigere Akademikeranteile auf. Besonders die Lebensmittelverarbeitung und die Landwirtschaft haben niedrige Akademikerquoten, dafür sind in diesen Teilfeldern die Anteile der Arbeitskräfte mit einer Lehre (oder einem ähnlichen beruflichen Abschluss) mit 62 bzw. 64 % und Techniker-/ Meisterausbildung mit 10 bzw. 15 % hoch. Diese Unterschiede zwischen den Anwendern und Bereitstellern der IWBT lassen sich durch die hohe Forschungsintensität bei der Erforschung und Entwicklung neuer/verbesserter IWBT-Methoden, - Prozesse und -Produkte in der IWBT-Bereitstellung begründen.

Die Betrachtung der Qualifikationsprofile bei den IWBT-Vorleistern weist insgesamt Ähnlichkeiten mit den Werten für die Gesamtwirtschaft auf. Auffällig sind die im Vergleich zur direkten Beschäftigung geringeren sektoralen Unterschiede bei den einzelnen Vorleistungsketten der IWBT-Teilsegmente. Die Begründung hierfür liegt darin, dass die benötigten Vorleistungen für die IWBT Bereitstellung (z. B. Laborausstattung) und IWBT Anwendung (z. B. z. T. auch Laborausstattung, aber auch Dienstleistungen aus Forschung und Entwicklung, Anlagen) sich zwischen den Branchen nur teilweise voneinander unterscheiden (s. Abbildung 3.6). Insgesamt ist der Akademikerbedarf bei den indirekt und investitionsinduzierten Erwerbstätigen der IWBT-Bereitstellung in der Regel höher als in der Gesamtwirtschaft, in der IWBT Anwendung dagegen niedriger. Insbesondere die forschungsintensiven Teilsegmente der IWBT-KMU und FuE-Einrichtungen haben einen besonders hohen Bedarf an Akademikern.

In Summe ergibt sich für die gesamte Beschäftigung in den einzelnen IWBT-Teilsegmenten ein differenziertes Bild. Insgesamt zeigt sich eine ausgewogene Nachfrage nach allen Ausbildungsgruppen. Einige Teilsegmente (IWBT-KMU, IWBT-Ausstatter, Forschung und Entwicklung, Pharmaindustrie) haben einen hohen Bedarf an Akademikern mit gleichzeitig geringerer Nachfrage nach Personen ohne Abschluss oder berufliche Ausbildung. Dagegen beschäftigen insbesondere Teilsegmente in der Anwendung vermehrt Personen mit einer beruflichen Ausbildung und dafür weniger Akademiker.

Entwicklungen beim Arbeitsangebot und -nachfrage von qualifizierten Arbeitskräften im Bereich der IWBT

Die Entwicklung der IWBT-Branche und deren Nachfrage nach qualifiziertem Personal benötigt auf der Arbeitsangebotsseite eine entsprechende Ausbildung. Wie die Ausführungen im einleitenden Abschnitt 3.6.1 gezeigt haben, steigen die IWBT-Beschäftigtenzahlen in Summe über die Teilsegmente deutlich an. Damit steigt aber auch entsprechend die Nachfrage nach qualifizierter Beschäftigung mit IWBT-Bezug von 2004 auf 2025 deutlich an. Zudem ist von einer Wissensintensivierung in den relevanten Branchen auszugehen (s. nachfolgende Ausführungen). Diese potenziellen Effekte durch Nachfrageimpulse auf Grund der Bereitstellung, Anwendung und Diffusion bzw. Marktdurchdringung der Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen der IWBT werden nur dann auf dem Arbeitsmarkt wirksam, wenn die Unternehmen entsprechend qualifiziertes Personal auf dem Arbeitsmarkt vorfinden. Im Folgenden wird daher erörtert, ob und in welchem Umfang kurz- und langfristig Engpässe bei den benötigten Fachkräften zu erwarten sind. Dazu werden die spezifischen Qualifikationsanforderungen in der IWBT, sowie die zu erwartende kurz- und langfristige Entwicklung auf den entsprechenden Arbeits(-teil)märkten dargestellt.

Besondere Qualifikationsanforderungen in der IWBT

Die Bereitstellung, Anwendung und Diffusion bzw. Marktdurchdringung der Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen der IWBT stellen besondere Anforderungen an die Arbeitskräfte, die bisher nur teilweise in die Ausbildung integriert wurden. So wird häufig wie bereits in früheren Abschnitten erwähnt eine fehlende Interdisziplinarität (z. B. zwischen IWBT und Chemie) in der Ausbildung bemängelt sowie ein unzureichender industrierelevanter Bezug der Ausbildungsinhalte (Flaschel und Sell 2005, Dechema 2005). Bei den kleinen und mittelständischen IWBT-Unternehmen wird, neben einem hohen Bedarf an Forschungspersonal, zunehmend Personal mit Tätigkeitsübergreifenden Kenntnissen gesucht. Mit zunehmender Marktreife von IWBT-Produkten fallen zusätzliche Aufgaben und Tätigkeiten an (z. B. Produktion, Zulassung, Marketing, Vertrieb), die von den ursprünglichen, forschungsorientierten Teams nicht mehr vollständig erfüllt werden können. In Deutschland wird das Fehlen von erfahrener Managementpersonal mit Branchenkenntnissen beklagt, das diesen Wandel erfolgreich gestalten könne (Kriegesmann et al. 2005).

Kurzfristige Entwicklung bei Angebot und Nachfrage

Neben diesen speziellen, qualitativen Erfordernissen beim Einsatz und bei der Erforschung der IWBT stellt sich die Frage, ob der quantitative Bedarf am benötigten (qualifizierten) Personal am Standort Deutschland kurzfristig gedeckt werden kann. Engpäs-

se können sowohl in den Anwenderbranchen als auch in anderen Teilsegmenten der IWBT Bereitstellung auftreten, so z. B. in den Biotechnologie-KMU. Für Letztere ermittelt das Institut für angewandte Innovationsforschung IAI anhand einer Umfrage für die kommenden drei Jahre einen steigenden Personalbedarf, bei allerdings stagnierendem Arbeitsangebot (Kriegesmann et al 2005). Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt eine Simulationsrechnung für die Jahre 2005 und 2010 für die gesamte Biotechnologie-Branche (Menrad und Frietsch 2006). Auch hier zeichnen sich Engpässe bei den Biotechnologieunternehmen sowie deren Ausstatter ab.⁵⁹ Für die Anwenderbranchen wirkt das qualifizierte Arbeitsangebot bei den entsprechenden Berufsgruppen gemäß dieser Studie nicht limitierend.

Bei diesem Ergebnis muss beachtet werden, dass die „IWBT-Teilsegmente“ beim Personalbedarf in Konkurrenz mit anderen Sektoren stehen. Dies gilt vor allem für die Berufsgruppe der Naturwissenschaftler und Ingenieure, welche für technische Innovationsprozesse (wie sie für die IWBT charakteristisch sind) von größter Bedeutung ist. Aktuell zeigen sich bei diesen Fachkräften vermehrt Engpässe (BMBF 2006), die sich kurzfristig vermutlich noch verstärken können. Die Bemühungen in Deutschland, dass von der Europäischen Union angestrebte Ziel von 3 % FuE-Ausgaben am Bruttoinlandsprodukt zu erreichen, führen zu einer erheblichen Steigerung des Personalbedarfs nach Forschern und Entwicklern. Das Arbeitsangebot an Fachkräften kann dagegen kurzfristig nur sehr begrenzt erhöht werden.⁶⁰

Längerfristige Entwicklung bei Angebot und Nachfrage

Eine exakte Zukunftsprojektion für das qualifizierte Arbeitsangebot ist für einen längerfristigen Zeitraum im Bereich der IWBT im Rahmen dieses Projektes nicht möglich.⁶¹ Dennoch können durch die Kombination einer kurzfristigen detaillierten Betrachtung

⁵⁹ Diese Analysen haben keinen spezifischen IWBT-, sondern eine allgemeinen Biotechnologie-Bezug.

⁶⁰ Zu kurzfristigen Handlungsmöglichkeiten zählen die Gewinnung von hochqualifizierten Arbeitskräften aus dem Ausland, die Erhöhung der Quote von erwerbstätigen Frauen und die interne Weiterbildung. Allerdings ist in Deutschland bisher keine besondere Aktivität in diesen Bereichen im internationalen Vergleich zu erkennen.

⁶¹ Selbst wenn man die für die Anwendung und Diffusion der IWBT benötigten Akademiker aus den verschiedensten Studienrichtungen (u. a. Chemie, Medizin, Ingenieurwissenschaften, Agrarwissenschaften) genau bestimmt hätte, stellt sich weiterhin die Frage, in welchem Ausmaß die Absolventen dieser Studienrichtungen zukünftig auch von anderen Wirtschaftsbranchen nachgefragt werden. Ein entsprechend umfangreiches Simulationsmodell für alle 71 Wirtschaftssektoren der deutschen Volkswirtschaft plus einem explizit formulierten eigenen IWBT-Modellsektor wäre mit einer Vielzahl von Annahmen für den Zeitraum von 2005 bis 2025 verbunden und würde den Rahmen dieses Projektes sprengen.

und einer langfristig allgemeinen Betrachtung der Akademikerentwicklung qualitativ fundierte Aussagen über mögliche Engpässe getroffen werden. Zur Beurteilung werden die Nachfrage und das Angebot von Arbeitskräften mit den notwendigen Qualifikationen betrachtet.

Die Entwicklung in den vergangenen Jahrzehnten zeigt einen deutlichen Anstieg der Akademikeranteile in der Gesamtwirtschaft und den meisten Wirtschaftssektoren (Frietsch 2004, 2006). Die Zahl der Erwerbstätigen mit Fach-/Hochschulabschluss hat sich zwischen 1975 und 2004 fast verdreifacht (BMBF 2006). Diese „Wissensintensivierung“ zeigt sich auch für alle Teilbereiche der Biotechnologie-Branche (Menrad et al. 2003). Vieles spricht dafür, dass sich dieser Trend in Zukunft fortsetzen wird (Fuchs et al. 2005). Die verstärkte Diffusion der Biotechnologie und anderen Schlüsseltechnologien wird die Nachfrage nach Fachkräften weiter erhöhen.

Das zukünftige Arbeitsangebot an IWBT-relevantem Personal wird entscheidend von der demographischen Entwicklung und der Bereitschaft der jüngeren Generationen, sich für ein entsprechendes Studium oder Ausbildung zu entscheiden, beeinflusst. Die demographischen Veränderungen werden bereits bis zum Zeithorizont 2025 einen deutlichen Einfluss auf das Arbeitsangebot haben.⁶² Mit der zukünftig abnehmende Zahl junger Arbeitskräfte wird das Gesamtarbeitsangebot ab ca. 2015 leicht abnehmen, dies ist insbesondere für das Arbeitsangebot an Fachkräften anzunehmen (Troltsch 2004, Fuchs et al. 2005).⁶³ Eine Besonderheit auf dem deutschen Arbeitsmarkt ist das relativ hohe Qualifikationsprofil der älteren Arbeitnehmer zwischen 55 und 64 Jahren. Die Akademikerquote von ca. 19 % ist in dieser Altersgruppe im internationalen Vergleich sehr hoch (Frietsch 2006). Durch das kurz- und mittelfristige Ausscheiden dieser Arbeitskräfte aus dem Arbeitsmarkt besteht in den nächsten 10 Jahren ein kontinuierlicher Substitutionsbedarf. Analysen zeigen, dass dieser Bedarf sich in den vergangenen 10-15 Jahren relativ kontinuierlich entwickelt hat und auch in Zukunft weiterhin steigen wird (Frietsch 2006). Dies gilt vor allem bei Akademikern aus dem Bereich der Naturwissenschaften und Ingenieure.

⁶² In den folgenden zitierten Studien ist die voraussichtliche Erhöhung des Rentenalters auf 67 nicht berücksichtigt. Eine aktuelle Studie von Fuchs (2006) zeigt, dass durch diese Anhebung des Rentenalters sich der demografische Rückgang des Arbeitsangebots deutlich verzögern würde.

⁶³ Z. B. wird nach Simulationsrechnung von Troltsch (2004) das Arbeitsangebot bei technischen Berufen um ca. 270.000 Beschäftigte zurückgehen. Im Ergebnis befürchten die Studien einen qualifikatorischen „Mismatch“ auf dem Arbeitsmarkt, bei dem ein gleichzeitiger Fachkräftemangel mit einer strukturellen Arbeitslosigkeit einhergeht (u. a. Fuchs et al. 2005).

Das Fachkräfteangebot in den IWBT-relevanten Disziplinen hängt entscheidend von der Studien- und Fächerneigung potenzieller Akademiker ab. Gemäß einer Prognose der Kulturministerkonferenz ist dieser in der zweiten Hälfte der 90er-Jahre deutlich gesunken. Inzwischen ist eine Erholung zu erkennen. Die Gesamtzahl an Hochschulabsolventen wird von ca. 238.500 in 2001 auf ca. 341.400 in 2010 steigen. Auf Grund der demografischen Entwicklung ist fortan bis 2020 nur noch eine geringe Steigerung zu erwarten (KMK 2005). In der fächerspezifischen Prognose der Kulturministerkonferenz sind für die meisten der IWBT-relevanten Studiengänge nur Prognosen bis 2010 verfügbar (Tabelle 3.11).

Tabelle 3.11: Fächerspezifische Prognose Hochschulabsolventen bis 2010 (in 1000)

Fächer	1992	1996	2001	2005	2010
SpKSport	25,9	35,1	36,2	36,9	46,3
RWS	54,7	73,4	64,5	76,4	89,9
Mathematik/ Naturwissenschaften	25,6	29,5	21,5	30,5	40,2
Informatik	4,5	6,3	5,5	10,7	15,5
Physik/Astro	3,6	4,3	2,0	2,6	3,3
Chemie	3,6	4,3	2,1	3,0	3,8
Biologie	4,4	4,7	3,9	5,2	6,0
übrige Naturwissenschaften	9,5	9,9	8,0	8,9	11,5
Medizin	14,2	13,0	11,4	12,5	14,5
Agrar/Forst	5,7	4,9	4,7	4,8	5,6
Ingenieurwissenschaften	44,0	50,0	34,4	37,1	46,6
Maschinenbau	17,0	21,1	10,9	13,4	17,7
Elektrotechnik	10,7	13,2	6,5	7,6	10,8
Bauingenieur	3,5	6,0	6,8	5,0	4,9
übrige Ing.-Studiengänge	12,8	9,7	10,2	11,0	13,2
Kunst/Kult.	7,2	8,6	9,7	10,1	11,6
Insgesamt	246,9	293,9	238,5	275,8	341,4

Quelle: Kulturministerkonferenz 2003 (SpKSport = Sprache, Kunst- und Kultur-, Sportwissenschaften; RWS = Rechts-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften)

Hier zeigt sich zwar im Vergleich zu den 1990er-Jahren, zum „großen Tief“ in 2001 und im Vergleich zu 2005 ein Anstieg beispielsweise in den Bereichen Biologie, Chemie und Ingenieurwissenschaften bis 2010. Allerdings liegen die prognostizierten Absolventenzahlen z. T. unter den Werten der 90er-Jahre. Damit wird Deutschland im internationalen Vergleich bei natur- und ingenieurwissenschaftlichen Absolventen weiterhin zurückliegen. Im Jahr 2004 erwarben nur 7 von 1 000 jungen Menschen pro Jahr einen

naturwissenschaftlich-technischen Abschluss an einer Hochschule (BMBF 2006).⁶⁴ Umfragen zeigen, dass die Gründe für das mangelnde Interesse vor allem in der häufig abschreckenden Behandlung von Technik im Schulunterricht zu suchen sind und die Jugendlichen an ihrer fachlichen Vorbereitung zweifeln (Heine et al. 2006). Möglichkeiten, die Anzahl der Hochschulabsolventen bei den Natur-/Ingenieurwissenschaften zu erhöhen, werden in den folgenden Handlungsfeldern gesehen (Heine et al. 2006): Erhöhung der allgemeinen Studienbereitschaft (z. B. Erleichterung des Hochschulzugangs auch ohne Erwerb der Hochschulreife, Informationsverbesserung), Erhöhung der Entscheidungen für die Ingenieur-/Naturwissenschaften (z. B. durch Stärkung der technischen Bildung an Schulen) und die Erhöhung der Studienerfolgsquote (z. B. durch Angebote, schulische Defizite auszugleichen).

Als Ergebnis dieser (vermutlichen) Entwicklungen beim Arbeitsangebot und der Arbeitsnachfrage können sich erhebliche Engpässe bei den Fachkräften ergeben. Für die „IWBT-Teilsegmente“ wird es zukünftig voraussichtlich noch schwieriger werden, ausreichend qualifiziertes Personal für ihre Arbeitsnachfrage im Jahr 2025 am Standort Deutschland zu bekommen.

⁶⁴ Zwar lässt sich dem entgegenhalten, dass Deutschland im dualen System über adäquate Ausbildungsgänge verfügt, die es in den meisten Ländern nicht gibt und die daher dort im Hochschulsektor durchgeführt werden. Die Entwicklung der Lehrstellen in technischen Berufen ist im vergangenen Jahrzehnt jedoch zu verhalten, um den Mangel an Naturwissenschaftlern und Ingenieuren auszugleichen (BMBF 2006).

4 Innovationsfördernde und innovationshemmende Faktoren und Maßnahmen zur Stärkung des IWBT-Innovationsstandortes Deutschland

Für die Realisierung der Innovations-, Wachstums- und Beschäftigungspotenziale einer Technologie ist deren Diffusion entscheidend (u. a. Holwegler 2003). Die technologische Verfügbarkeit ist zwar eine notwendige Voraussetzung, sie reicht aber allein nicht zur Ausschöpfung der wirtschaftlichen Potenziale aus. Es müssen zusätzliche verschiedenste „Diffusionsbarrieren“ überwunden werden. Zahlreiche empirische Analysen kommen deshalb zu dem Ergebnis, dass die Diffusion von Technologien stets längere Zeiträume in Anspruch nimmt (u. a. Bruland und Mowery 2005, Holwegler 2003, Karshenas und Stoneman 1995). Im Folgenden werden die wichtigsten innovationsfördernden und innovationshemmenden Faktoren dargestellt.

Bereits in Abschnitt 1.5 wurde für die industrielle, weiße Biotechnologie eine „Liste“ kritischer Erfolgsfaktoren für die Entstehung, (Weiter-) Entwicklung, Anwendung und Marktdiffusion entwickelt (Abbildung 1.2, Abbildung 1.3). Im darauf folgenden Kapitel 2 wurden diese kritischen Erfolgsfaktoren auf Basis einer Vielzahl von Indikatoren bewertet. Basis hierfür waren die schriftliche Befragung, Experteninterviews und ein Workshop im Rahmen des Projektes. Zudem wurden umfangreiche Literaturlauswertungen durchgeführt (u. a. Gaisser et al. 2002, Vigsoe et al. 2002, Hüsing 2005, Hüsing et al. 2003, 2000 und 1998, 1998, 1997, Flaschel und Sell 2005, Sauter 1996, von Schell und Mohr 1995, Videbaek 1997, Novo Nordisk 1997, Schönberger 1994).

In diesem Kapitel sollen auf Basis der Literaturlauswertungen und der Erkenntnisse aus Kapitel 2 einerseits sowie weiterer vertiefender Erkenntnisse aus den Experteninterviews (die explizit nach den IWBT-Erfolgsfaktoren entlang der Wertschöpfungskette befragt wurden) andererseits die innovationsfördernden und innovationshemmenden Faktoren zusammenfassend dargestellt werden. Die Innovationshemmnisse können untergliedert werden in

- Branchenübergreifende Innovationshemmnisse, und
- Branchenspezifische Innovationshemmnisse.

Im Gegensatz zu den Hemmnissen für die Einführung biotechnologischer Prozesse, Produkte und Dienstleistungen sind fördernde Faktoren häufig nicht branchenspezifisch, sondern haben in der Regel einen starken Bezug zu einzelnen Wertschöpfungsstufen. Im Folgenden werden daher zunächst die innovationsfördernden Faktoren für einzelne Wertschöpfungsstufen dargestellt. Anschließend werden die innovationsfördernden Erfolgsfaktoren ohne Bezug zu einer Wertschöpfungsstufe dargestellt. Sofern

einzelne branchenspezifische Besonderheiten existieren, werden diese an entsprechenden Stellen erwähnt.

4.1 Innovationsfördernde Erfolgsfaktoren

4.1.1 Innovationsfördernde Erfolgsfaktoren mit Bezug zu Wertschöpfungsstufen

Die innovationsfördernden Erfolgsfaktoren im Bereich **Forschung (Grundlagen- und angewandte Forschung)** lassen sich wie folgt zusammenfassen:⁶⁵

- Sehr gute technologische Wissensbasis (u. a. Publikationen oder veröffentlichtes Wissen als Kompetenzbeleg für Know-how der Forschungsstellen nutzen) sowie ausreichend gut ausgebildete Studenten (insb. in den Naturwissenschaften und der Ingenieurtechnik) auf Basis einer guten Lehre bzw. Ausbildung (u. a. Einbeziehung biotechnologischer Aspekte in die Chemieausbildung und umgekehrt, „aktive“ Förderung der beruflichen Karriere von guten Wissenschaftlern).
- Interdisziplinarität (u. a. fachübergreifender Austausch, interdisziplinäre Forschungsprojekte vor allem von Chemie, Biologie, Informatik und Technik). Hierfür sind Interaktionen mit Kollegen und ein Vertrauen untereinander erforderlich, damit ein guter Informationsaustausch stattfinden kann. In diesem Kontext wurde betont, dass eine hohe anwendungs-/produktspezifische Expertise bei der IWBT erforderlich ist. Die Schnittstelle zwischen biologischer FuE und Prozesstechnologie ist zurzeit aber weder in Unternehmen noch in der akademischen Forschung besonders gut ausgebildet (siehe hierzu auch Dechema 2004, 2005). Zum Teil gibt es größere Schwierigkeiten, die verschiedenen naturwissenschaftlichen und Ingenieursdisziplinen zum wechselseitigen Verständnis und synergistischen Zusammenwirken zu bringen. Die erforderlichen IWBT-Kompetenzfelder (Tabelle 4.1) zeigen das hohe Ausmaß an interdisziplinären Qualifikationsanforderungen im Bereich der IWBT.
- Vernetzung (national und international) von Universitäten mit anderen Universitäten bzw. FuE-Einrichtungen, aber auch Universitäten mit der Industrie, um eine (zumindest partiell) gute Verbindung von Grundlagen- und angewandter Forschung sicherzustellen (siehe hierzu auch u. a. Milken Institute 2006, Drumm 2005, SusChem 2005a, EuropaBio 2005, BACAS 2004). Laut Expertenmeinung existiert eine vorbildliche Zusammenarbeit von Industrie und Forschung z. B. in Österreich und England (vgl. hierzu ausführlich Abschnitt 5.3.3). Die Experten bemängelten in diesem Kontext, dass die Arbeit vieler Transferstellen der Universitäten nicht sehr effektiv ist.

⁶⁵ Im Folgenden sind häufig Zitate einzelner Experten in „ “ gesetzt. Diese dienen dazu, die Befunde plastisch zu untermauern.

- Strategische Forschungsausrichtung: Neben der „fokussierten“ Förderung der Molekularbiologie müssen auch Projekte in anderen Bereichen (u. a. Technologiezentren mit großen Anlagen für Fermentation und Aufarbeitung) zukünftig stärker gefördert werden. Im Fokus sollte die Bearbeitung angewandter Forschungsthemen sein, d. h. die Basis für Forschung sollte laut einzelner Experten die Nachfrage der Wirtschaft, d. h. der Anwender sein (u. a. über Drittmittelförderung). Hierfür ist eine gute Marktforschung erforderlich (siehe hierzu auch Drumm 2005, Sundmann 2005, EuropaBio 2006, Riese und Bachmann 2004). In diesem Kontext wurde von einzelnen Experten zwar betont, dass mehr Dialog zur besseren kommerziellen Umsetzung führen würde. Die Industrie muss hier aber angeben, was der konkrete Bedarf ist. Dass die Industrie solchen Angaben macht, ist allerdings häufig nicht der Fall bzw. unwahrscheinlich (da dies wichtige strategische Unternehmensinformationen offenbart). Andere Experten betonten, dass es bereits eine gute Zusammenarbeit zwischen Forschern und Anwendern gibt, geprägt durch eine gute „Mentalität“ und gegenseitiges Vertrauen. Die Förderung der Forschung in Deutschland sei gut bzw. auf einem gutem Wege, so dass sich insgesamt gute Chancen ergeben. Hier wurden z. B. Fördermaßnahmen wie „BioIndustrie 2021 - Cluster-Wettbewerb zur Entwicklung neuer Produkte und Verfahren in der industriellen Biotechnologie“ als positive Beispiele genannt.

Zudem wurde ein angemessenes Verhältnis von Grundlagen- und angewandter Forschung als wichtig erachtet; derzeit sei eher ein Trend zur Vernachlässigung der angewandten Forschung zu Lasten der Grundlagenforschung zu erkennen.

Tabelle 4.1: Relevante IWBT-Kompetenzfelder

<u>Verfahrenstechnik</u> Prozessführung Systemtechnik Modellierung und Simulation	<u>Biologie</u> Mikrobiologie Gentechnik Genomforschung	<u>Biochemie</u> Enzymologie Physiologie Analytik
<u>Maschinenbau</u> Materialwissenschaften Apparatebau Entsorgungstechnik	Industrielle, weiße Biotechnologie	<u>Bioinformatik</u> Datenbanken Datenanalyse Simulation
<u>Bioverfahrenstechnik</u> Reaktionstechnik Aufarbeitung Mess- und Regelungs- technik	<u>Physik</u> Biophysik Strukturforschung Nanotechnologie Weiche Materie	<u>Chemie</u> Analytische Chemie Physikalische Chemie Naturstoffchemie Organische Chemie

Quelle: Dechema 2004

- Konzentration auf wenige Kompetenzzentren und Forschungscluster („Centers of Excellence“) (siehe hierzu auch Kapitel 5.3.3). Laut Expertenmeinung sollte eine Verteilung „nach dem föderalen Gießkannen-Prinzip“ vermieden werden („Forschungseinrichtungen sollten eigendynamisch fachspezifische schlagkräftige Arbeitsgruppen entwickeln können, daraus folgen Bekanntheit und Drittmittelaufträge“).
- Verfügbarkeit bzw. Auffinden und Optimierung von Produktionsstämmen
- Verfügbarkeit von Finanzmitteln; u. a. Kontinuität und Fokussierung von Förderprogrammen, Langfristigkeit und damit Planbarkeit der Finanzierung, lokal verfügbare Technikumsanlagen als Dienstleistung (inkl. Personal). In diesem Kontext wurde betont, dass die Auswahl exzellenter Forschungsprojekte durch ein effizientes Peer-Review-Verfahren erfolgen sollte. Zu dem wurde betont, dass bei Kooperationsprojekten eine überschaubare Partnerstruktur erforderlich sei („Projekte mit 15 Partnern funktionieren nicht, da keiner mehr weiß, was der andere eigentlich macht“). Auch effiziente Entscheidungsstrukturen bei der Bewilligung von Forschungsprojekten sowie ein kurzer Zeitraum zwischen Antragstellung und Bewilligung seien von Vorteil (siehe hierzu auch Kapitel 5.3.3).
- Verfügbarkeit außeruniversitärer Forschungseinrichtungen: Als wichtiger Erfolgsfaktor wurde die Existenz außeruniversitärer FuE-Einrichtungen genannt, da sich Universitäten häufig durch eine mangelnde Ausstattung, hohe Fluktuation der Mitarbeiter sowie eine fehlende Interdisziplinarität auszeichnen, was die IWBT-Forschung behindert.
- Effektiver und schneller Informationszugang zu öffentlichen Forschungsergebnissen, was vor allem für Forschungsaktivitäten der KMU wichtig ist.
- Akzeptanz und Image der IWBT (siehe hierzu auch Kapitel 2, Zinke 2004, Dechema 2004, BACAS 2004)
- Konsistente und langfristig orientierte politische und rechtliche Rahmenbedingungen zur gleichberechtigten Forschung und Entwicklung sowie der wettbewerbsfähigen Vermarktung von Produkten und Prozessen nicht nur der industriellen, sondern auch der medizinisch-pharmazeutischen und Pflanzenbiotechnologie. In diesem Kontext wurden weniger Regularien für die Forschungsakteure gefordert („Regulierungschugel“).

Die innovationsfördernden Erfolgsfaktoren im Bereich **Entwicklung** lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Verfügbarkeit von qualifiziertem und motiviertem wissenschaftlichem sowie technischem Personal (u. a. sehr gute Ausbildung und Anreize für Naturwissenschaftler sowie positives Denken für Naturwissenschaften schaffen; analog für Ingenieure),
- Ausgeprägte und ausdifferenzierte Forschungslandschaft, die interdisziplinär zusammenarbeitet (siehe hierzu u. a. BACAS 2004, SusChem 2005a),

- Existenz von Demonstrationspilotprojekten bzw. Pilot- und Demonstrationsanlagen sowie Zugang zu diesen Anlagen (siehe hierzu u. a. IBTF 2004),
- Verfügbarkeit von Technologiezentren (die u. a. große Anlagen für Fermentation und Aufarbeitung vorhalten) und Risikokapital für neue bzw. junge Hochtechnologiefirmen (siehe hierzu u. a. Kircher 2006, EuropaBio 2006, Flaschel und Sell 2005), .
- Langfristig orientierte Perspektiventwicklung („Sachlichkeit und weniger Showeffekte“) durch Kontinuität der FuE (u. a. bzgl. Personal und Einrichtungen),
- Bekenntnis der Unternehmen zum Thema („IWB als strategische Ausrichtung“) und gutes Innovations- und Technologiemanagement (u. a. Erfahrung- und Ideenaustausch zwischen den Mitarbeitern),
- Enge Kooperationen von Wissenschaft und Wirtschaft („Anwender/Nutzer“), d. h. stärkere Anwendungsorientierung der FuE-Institute („sollte Transfer von Laborerkenntnissen in die Praxis mit beinhalten⁶⁶“) und höhere Bereitschaft für Kooperationen mit industriellen Kooperationspartnern („mehr Dialog führt zur besseren kommerziellen Umsetzung“) sowie enge Kooperationen zwischen Wirtschaft und Wirtschaft,
- Persönliche Kontakte und stabile Vertrauensbasis,
- gute (Verkehrs-) Infrastruktur und damit kurze Wege bei Kooperationsbeziehungen,
- Prozessvernetzung („Denken in Prozessen und keine isolierten Entwicklungen“),
- Hohe Verfügbarkeit und Qualität sowie niedrige Kosten von Rohstoffen,
- Effiziente Ausgestaltung von Technologietransferstellen,
- Breitere und einfachere Finanzierungsmöglichkeiten sowie „keine föderale Gießkannenförderung“,
- Förderung zur Einführung neuer Technologien (Investitionen in neue Prozesse, vor allem auch für KMUs) in Form von Zuschüssen, Abschreibungserleichterungen, Steuervergünstigungen o. Ä.,
- Konsistente und langfristig orientierte politische und rechtliche Rahmenbedingungen (s. Forschung): u. a. weniger Regularien.

Die innovationsfördernden Erfolgsfaktoren im Bereich **Umsetzung in industrielle Produktionsprozesse** lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Positive Gesamtwirtschaftlichkeitsrechnung („Innovation wird nur umgesetzt, wenn sie sich im Gesamtkontext aller Faktoren rechnet“; „IWB muss ökonomische Vorteile bei Prozessen oder Produkten bieten und/oder neue Geschäftsfelder öffnen“;

⁶⁶ In Deutschland existiert laut Expertenmeinung allerdings öfters eine „Lücke“, wenn es um die Anpassung von „im Prinzip funktionierenden“ neuen Verfahren an die „industrielle Routine“ geht.

„Das ökonomisch Machbare anstreben, nicht das ökologisch Wünschenswerte. Letzteres wird stärker zum Tragen kommen, wenn ersteres gegeben ist.“ (siehe hierzu u. a. Festel et. al 2004, Drumm 2005, EuropaBio 2006).

- „Technologische Effizienz und Kosteneffizienz“: u. a. hohe Raum-Zeit-Ausbeute, hocheffiziente Verfahren wegen des hohen Kostendrucks („Hoher Kostendruck wegen Umweltauflagen“), ressourceneffizientes Downstream Processing, Prozessvernetzung nach den Bioraffinerie-Konzepten, Prozesssicherheit.

Kontinuierliche Optimierung der Produktionsprozesse in Bezug auf Ausbeute, Produktivität, Erzielung Lernkurven- und Skaleneffekte („Economies of Scale“) durch hohe Produktionsmengen („Bau von großen Produktionsanlagen für biobasierte Polymere mit ähnlichen Kapazitäten wie petrochemische Polymere haben Vorzeigecharakter. Wenn NatureWorks und DuPont mit Bio-1,3-Propandiol der Marktdurchbruch gelingt, hätte dies eine entscheidende Signalfunktion. Zu beachten ist, dass die „Economies of Scale“ bei PLA stärker sind als bei Stärke-BAW, d. h. man kann Stärke-BAW auch in kleineren Anlagen effizient produzieren“, „IWBT-Einsatz ist reine Kostenfrage“).

- Hohe Verfügbarkeit und Qualität sowie niedrige Kosten für Rohstoffe („weniger staatliche Steuerung im landwirtschaftlichen Bereich wie z. B. künstlich hochgehaltener Saccharosepreis“) und Energie („zur Erzielung von Kostenvorteilen“). Die Rohstoffe haben zumindest für einige relevante Produkte einen signifikanten Kostenanteil. Insbesondere die relativen Kosten und die zukünftigen diesbezüglich im Vergleich zu fossilen Rohstoffen stellen einen entscheidendes Diffusionskriterium dar (siehe hierzu u. a. Soetaert und Vandamme 2005, Drumm 2005, Marschall 2005, FutureWatch 2005, Europabio 2005, 2006).
- Günstige Marktbedingungen: u. a. „durchsetzbarer Marktpreis“, hohe Marktpotenziale und hohe Marktakzeptanz.
- Verfügbarkeit von Expertise (u. a. Anlagenbau und Betriebsführung), gute Verfahrensentwicklung, hohe Qualität in der technischen Realisierung und geeignetes Personal.
- Verfügbarkeit von ausreichend Finanzkapital (u. a. „gute wirtschaftliche Lage“) sowie ausreichend Risikokapital (Früh- und Wachstumsphasen) für kapitalintensive IWBT-Prozesse,
- Gut ausgebaute Infrastruktur (u. a. Verkehr).
- Hohe Investitionsbereitschaft und Risikobereitschaft der Unternehmen.
- Zugang zu Schlüsseltechnologien (u. a. abhängig von der Kooperationsbereitschaft und dem Kooperationspotenzial der FuE-Einrichtungen).
- Verfügbarkeit von Plattform-Konzepten (z. B. Chemie-Stammbaum).
- Gute Kooperationsbeziehungen Wirtschaft-Wirtschaft.

- Stabile und transparente finanzpolitische Rahmenbedingungen (z. B. Abschreibungsmöglichkeiten, „Rahmenbedingungen, die Vertrauen schaffen und nicht Spielball der aktuellen Politik sind“) und rechtliche Rahmenbedingungen (u. a. Abfallvermeidung oder Umweltschutzgesetzgebung: „Hohe Anforderungen an einzuhaltende Umweltstandards begünstigen Enzymeinsatz“).

Die innovationsfördernden Erfolgsfaktoren im Bereich **der Vermarktung und dem Vertrieb von IWBT-Produkten** lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Marktattraktivität: u. a. Kenntnis hinsichtlich Marktgröße, zukünftiges Marktwachstum, Wettbewerbsprodukte Qualität, Preise und Kosten („Hohe Ölpreise befördern das Commitment zur IWBT“). Einzelne Experten sehen die Marktattraktivität Deutschlands kritisch („Deutschland wird nicht der Markt sein, der das Geschäft antreibt; die Zeiten sind in allen Industriebereichen längst vorbei!“).
- Produkteigenschaften bzw. Wettbewerbsfähigkeit der IWBT-Produkte: u. a. Kundenorientierung der IWBT-Produkte („unmittelbarer Kunden- und Verbrauchernutzen ist zentral“), Preis-Leistungsverhältnis („Niedriger Preis oder zumindest sehr günstiges Preis-Leistungsverhältnis, da es immer noch viele Firmen gibt, bei denen der Einkäufer vor allem den Kilopreis der Prozesshilfsmittel berücksichtigt, aber nicht die Kosten des Gesamtprozesses“, „...neue IWBT-Produkte dürfen nicht teurer sein als herkömmliche und sollten dazu noch bessere Eigenschaften aufweisen“, „Für die Preisgestaltung ist die Anwendung der Plattform-Konzepte (Chemie-Stammbaum) entscheidend“), Innovationsgrad und Qualität („Neue Funktionalitäten der IWBT-Produkte sind wichtig“, „Bei guten IWBT-Produkten geht die Vermarktungen wie von selbst“, „Qualität der IWBT-Produkte ist zurzeit das wichtigste Argument“), Kosten („... im Allgemeinen zählen vornehmlich die Kosten“), Sicherheit und Wirksamkeit.
- Verbraucherakzeptanz bzw. Technikfreundlichkeit: Diese ist besonders bei IWBT-Produkten relevant, die direkt an private (End-)Verbraucher gehen. Dies ist für IWBT-Produkte in der Regel nicht der Fall („IWBT hat wenig direkten Verbraucherkontakt“), da es sich um „Halbzeuge“ bzw. Zwischenprodukte für andere industrielle Weiterverarbeiter handelt. Die Rohstoffbasis kann ein gutes Vermarktungspotenzial bieten („... auf Basis nachwachsender Rohstoffe hergestellt“, „Ressourcenschonung als Vermarktungsargument“, „manche Label wie z. B. Blauer Engel oder Schlagwörter wie z. B. NaWaRo-basiert können wichtig sein“). Die „Verbraucherakzeptanz“ bei Industriekunden ist vor allem „kostengesteuert“. In Deutschland ist im industriellen Weiterverarbeitungsbereich die Akzeptanz der IWBT sicherlich gut („Akzeptanz bei Entscheidungsträgern und Bevölkerung ist zurzeit kein kritischer Punkt, dies muss aber nicht bis in alle Zeiten so bleiben. Insbesondere bei Umweltvorteilen hat IWBT sehr große Potenziale, aber die Versprechungen müssen auch eingelöst und transparent gemacht werden. IWBT darf keine Mogelpackung werden.“).

Eine „objektive“ Aufklärung in den öffentlichen Medien kann entscheidend sein („aufgeklärter Verbraucher ist wichtig“, „Durch genaue, verständliche Information in den Medien aufklären und die Verbraucherakzeptanz stärken“, „Mehr Öffentlich-

keitsarbeit ist erforderlich um einer weit verbreiteten diffusen Angst vor biotechnologischen Verfahren und biotechnologisch hergestellten Produkten zu begegnen. Eine offene und ehrliche Diskussion über die Risiken ist dabei essentiell.“). „Innovationsfeindlichkeit“ des Verbraucher-(und Medien-)verhaltens spielt im Lebensmittelbereich eine entscheidende Rolle, während z. B. im Pharmabereich eine „Innovationsbereitschaft“ zu erkennen ist (u. a. bei Insulin). Im Lebensmittelbereich scheint die Verbraucherakzeptanz für Biotechnologie in Deutschland gut zu sein, außer für die Gentechnologie („Große Bedenken in der Öffentlichkeit gegenüber Gentechnik und GMO. Die ist kritisch, da ohne GMO die Möglichkeiten zu gering sind.“). Oft sind es Marketingprobleme, denn die Akzeptanz hängt entscheidend davon ab, wie und wann die Presse einen Sachverhalt darstellt („... Formaldehyd ist im Shampoo seit 20 Jahren verboten, in Spanplatten wird es erst seit ein paar Jahren zum Problem.“).

- Weniger Regularien (u. a. bei Produktzulassungen)

4.1.2 Übergeordnete innovationsfördernde Erfolgsfaktoren

Die übergeordneten innovationsfördernden Faktoren ohne Bezug zu einzelnen Wertschöpfungsstufen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Flexibilität und Verfügbarkeit von Unternehmensressourcen: Biotechnologische Verfahren sind oftmals kostenintensiv, haben dadurch lange Amortisationszeiten und machen teilweise erhebliche strukturelle Veränderungen in Anlagen und Prozessen sowie Organisationsstrukturen erforderlich (siehe hierzu u. a. Herrera 2004, Drumm 2005, Festel et al. 2004, Riese und Bachmann 2004). Biotechnologische Lösungen erfordern detailliertes Wissen in Enzymtechnik und Biologie, in integrierter Prozesstechnik, Marktstruktur, Marktanforderungen und Kundenwünschen. Damit gehen sie u. U. mit erheblichen Veränderungen in den Unternehmen bezüglich Struktur, Arbeitsabläufen und infrastrukturellen Anforderungen und damit indirekten Kosten einher. Dieser Organisationsaufwand bedeutet aber auch, dass diese Innovationen sich erst nach einer längeren Zeitspanne bezahlt machen. Eine hohe Flexibilität der Unternehmen in der Ressourcenallokation sowie ausreichend finanzielle Ressourcen über längere Zeiträume stellen daher eine wichtige Voraussetzung für Investition in biotechnologische Verfahren und damit für die Diffusion der IWBT dar.

Ökonomische Vorteilhaftigkeit biotechnologischer Methoden, Prozesse und Produkte: Nur Prozess- und/oder Produktinnovationen der industriellen, weißen Biotechnologie, die sich beim Anwender sowohl ökologisch als auch ökonomisch rechnen, haben Aussicht auf eine breite Anwendung und schnelle Marktdiffusion (siehe hierzu u. a. OECD 1998 und 2001, Gaisser et al. 2002, Flaschel und Sell 2005, Festel et al. 2004, Drumm 2005, EuropaBio 2006, Riese und Bachmann 2004). Die FuE-

Aufwendungen in der weißen Biotechnologie und ihren Anwendungsfeldern amortisieren sich häufig auf Grund der erforderlichen Neuinvestitionen und unternehmensinternen Umstrukturierungen erst mittel- bis langfristig. Dies übersteigt jedoch den teilweise sehr kurzen Planungshorizont einiger Unternehmen (vor allem der KMU). Innovationen, die lediglich eine Umweltentlastung ermöglichen, stellen in der Regel keinen ausreichenden Anreiz für ein Engagement der Unternehmen dar. Selbst Unternehmen, die an der vordersten Front der Umweltinnovationen agieren, beschreiben ihr Handeln nicht als „grün auf Grund umweltpolitischer Überzeugung“, sondern es muss sich rechnen. Allerdings sind biotechnische Innovationen dann interessant, wenn sie neue, konkurrenzlose Produkte oder deutlich erhöhte Produktqualitäten ermöglichen.

„Qualität“ der Nachfrage, Unternehmensstrategie und unternehmerische „Innovationskultur“: Umweltbewusste und innovationsorientierte Kunden bzw. Endkonsumenten sowie industrielle Anwender fördern die breite Anwendung und rasche Diffusion der industriellen, weißen Biotechnologie (siehe hierzu u. a. BACAS 2004, Riese und Bachmann 2004). In Branchen, wo Umweltschutzmaßnahmen als direkter Verkaufsparameter und als Möglichkeit zur Kundenbindung eingesetzt werden können, werden biotechnologische Verfahren häufiger eingesetzt. Unternehmen mit einer innovations- und/oder umweltorientierten Gesamtstrategie haben Mechanismen implementiert, die es ihnen ermöglichen, u. a. zukünftige Trends sowie Bedürfnisse und Anforderungen verschiedener Felder, wie Märkte, Technologien, Umweltregulierungen, Kundenwünsche zu antizipieren. Erforderliche unternehmensinterne Kompetenzen werden strategisch ausgebaut, um die Flexibilität auf Veränderungen im Unternehmensumfeld zu erhalten. Diese innovationsfreundliche Gesamtstrategie ist häufig verknüpft mit einer unvoreingenommenen und offenen Belegschaft. So ist es in einem solchen Umfeld auch leichter, biotechnologische Prozesse einzuführen, selbst wenn das Personal keine Vorbildung für die spezifischen Anforderungen der Biotechnologie hat („Nachhaltigkeit ist wesentlicher strategischer Treiber im Unternehmen und in alle Geschäftsbereiche integriert; dies fördert das Commitment zur IWBT“, „IWBT ist ein expliziter Bestandteil der Unternehmensstrategie, daher existiert ein starkes Commitment zur IWBT“). Informationslücken können durch den Aufbau von Informationskanälen, externe Berater und die Etablierung von Kooperationen und Netzwerken sowie eine adäquate Personalpolitik und -entwicklung geschlossen werden.

4.2 Branchenübergreifende Innovationshemmnisse

Die branchenübergreifenden innovationshemmenden Faktoren lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Technologische Probleme

Biotechnologische Prozesse in der industriellen Produktion sehen sich derzeit noch einer Reihe von technologischen Problemen gegenüber, die eine Anwendung und Diffusion der weißen Biotechnologie behindern (siehe hierzu u. a. Herrera 2004, SusChem 2005a, Braun et al. 2006, FutureWatch 2005, EuropaBio 2005, Lievonen 1999). Die technologischen Probleme wurden bereits in Abschnitt 2.2.2.1 sehr ausführlich beschrieben, weshalb hier auf eine erneute Beschreibung der technologischen Hemmnisse verzichtet wird. Diese Ausführungen haben Folgendes gezeigt: Obwohl in den letzten Jahren zahlreiche wissenschaftlich-technologische Durchbrüche erzielt und Methoden entwickelt wurden, die die Voraussetzungen für den Einsatz biotechnischer Verfahren in der industriellen Produktion entscheidend verbessert haben, müssen diese Methoden und Verfahren auch zukünftig konsequent weiterentwickelt und insbesondere für eine breite Anwendung in der industriellen Praxis und für eine schnelle Diffusion angepasst werden. Exemplarisch seien hier nur einige als bislang nur zum Teil gelöste Herausforderungen genannt: Rasche Bereitstellung der erforderlichen Enzyme, eingeschränkte Einsatzmöglichkeit enzymatischer Verfahren (z. B. wässriges Milieu), Optimierung von Stoffwechselwegen durch Metabolic Engineering, Erhöhung der Raum-Zeit-Ausbeuten, Erschließung kostengünstiger Substrate (z. B. lignocellulosehaltige Biomasse), Upscaling, Umgang mit hohem Abwasseraufkommen, Effizienz der Aufarbeitungs- und Aufreinigungsverfahren (Downstream Processing) insbesondere für Bulkchemikalien, aufwändige vorbereitende und nachbereitende Verfahrensschritte, ein im Moment noch zu langes „time-to-market“ sowie eine optimale Integration von chemischen und biotechnischen Verfahren bzw. Verfahrensschritten. In diesem Kontext wurde auch eine unzureichende systematische und frühzeitige Einbindung der Biotechnologie in die Entwicklung industrieller Produktionsverfahren sowie die Integration in die bestehende chemische Produktion als Hemmnis genannt.

Ungünstige Kostenposition und technologische Pfadabhängigkeiten

Eine ökonomische Vorteilhaftigkeit der Verfahren ist für eine breite Anwendung und schnelle Diffusion der weißen Biotechnologie erforderlich (siehe hierzu u. a. Herrera 2004, Drumm 2005, Flaschel und Sell 2005, Festel et al. 2004). Die Restriktionen biotechnologischer Produktionsverfahren werden oftmals auf der wirtschaftlichen Seite gesehen. Die Synthese bestehender Produkte auf chemischem Wege ist meist so günstig, dass die Entwicklung eines biotechnologischen Produktionsverfahrens in der Regel nicht wirtschaftlich ist. Die Entwicklung eines geeigneten Biokatalysators ist beispielsweise sehr kosten- und zeitintensiv und daher ist die Enzymkatalyse häufig bei Nischenprodukten nicht wirtschaftlich. Da die anwendungstechnische Realisierung oft teuer und aufwändig ist (u. a. hohe operative Kosten, FuE-Kosten, Investitionen, Zu-

lassungskosten bei Produktionsumstellung, zeitaufwändige und kostenintensive Genehmigungsverfahren hinsichtlich Umweltauflagen, Toxizität, Humanverträglichkeit), wird dadurch vor allem die Substitution bei klein- bis mittelvolumigen Produkten (z. B. bei fein- und Spezialchemikalien) erschwert. In kleineren (Nischen-)Märkten werden sich daher die Potenziale erst mit einer weiteren Reife der industriellen, weißen Biotechnologie und den dadurch erzielten Lern- und Skaleneffekten realisieren lassen.

Mit anderen Worten: Während biotechnische Verfahren zur Stoffproduktion bereits mit heutiger Technologie gegenüber konventionellen chemischen Verfahren als ökologisch attraktiv einzustufen sind, ist dies für die Wirtschaftlichkeit häufig noch nicht gegeben. Um auch wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit zu erreichen, müssen Methoden und Technologien konsequent weiterentwickelt und für die industrielle Anwendung adaptiert werden. Auch der Erschließung kostengünstiger Substrate (z. B. lignocellulosehaltige Biomasse) bzw. der Schaffung günstiger Rahmenbedingungen (z. B. Zuckermarktverordnung) kommt hierbei eine große Bedeutung zu. Experten bemängeln öfters, dass die Kosten für (nachwachsende) Rohstoffe und Hilfsstoffe (die oftmals einen beträchtlichen Anteil an den Gesamtkosten ausmachen) in Deutschland im Vergleich zu wichtigen Konkurrenzländern zu hoch sind.

Ein Großteil der chemischen Produktion, von Grundchemikalien bis hin zu hochveredelten Produkten, wird an wenigen zentralen Verbundstandorten hergestellt. In diesen meist auf synthetische Rohstoffe ausgerichteten Systemen sind Produktionsbetriebe, Energie- und Abfallströme, Logistik und Infrastruktur eng miteinander vernetzt und genau abgestimmte Mengenströme von Haupt- und Nebenprodukten weitestgehend optimiert (u. a. hinsichtlich Energieeinsatz, Ressourcenschonung und hoher Ausbeute). Das Betreiben dieser Verbundstandorte erfordert eine nachhaltige hohe mengenmäßige Verfügbarkeit von preiswerten Rohstoffen mit hoher Qualitätskonstanz. Diese über Jahrzehnte gewachsenen kapitalintensiven Verbundstrukturen und die damit verbundenen technologischen Pfadabhängigkeiten erschweren (selbst bei ökonomischer und ökologischer Vorteilhaftigkeit) eine schnelle und breite Anwendung und Diffusionsgeschwindigkeit der industriellen, weißen Biotechnologie (siehe hierzu u. a. Marschall 2005, Drumm 2005, Herrera 2004).

Selbst wenn sich biotechnische Verfahren als mindestens ebenso gut wie ein etablierter konventioneller Prozess erweisen, führt dies nicht unbedingt zu ihrer Umsetzung in der Praxis. Gründe hierfür sind folgende: Biotechnische Prozesse können eine andere Produktionsanlagenkonzeption erfordern als der bestehende Prozess, oder die Anlage existiert bereits (bestehende Anlagen, die bereits vollständig oder teilweise abgeschrieben implizieren eine günstige Produktion), oder aber der konventionelle Prozess ist in ein Netzwerk anderer Prozesse eingebunden (z. B. durch Nutzung von Neben-

produkten anderer Prozesse), in das sich der biotechnische Prozess nicht ohne weiteres einfügen lässt. In der Zellstoff- und Papierindustrie wurden z. B. Ende der 1990er-Jahre hohe Kapitalinvestitionen getätigt, die zunächst abgeschrieben werden müssen und Neuinvestitionen in biotechnische Verfahren verhindern. D. h., da bereits viele Produktionsanlagen für chemische Synthesen bereits existieren, können diese nicht ohne massive Neuinvestitionen (z. B. in der Bulkchemie) auf eine biotechnologische Produktion umgestellt werden. Mit anderen Worten: Zur Lösung chemisch-synthetischer Probleme stellen biotechnologische Methoden und Prozesse meist nur eine Option unter mehreren wissenschaftlich-technischen Alternativen dar. IWBT-Prozesse müssen gegen hocheffiziente technische Prozesse konkurrieren, für die es bereits ein hohes Verständnis gibt. Zudem kann durch Weiterentwicklungen dieser Konkurrenztechnologien (z. B. Fischer-Tropsch-Synthese) beispielsweise der Einsatz von Biokatalysatoren obsolet werden.

In sich entwickelnden Ländern wie z. B. in Asien hat die industrielle, weiße Biotechnologie dagegen bessere Wachstumschancen, da biotechnologische Verfahren oftmals nicht gegen etablierte Methoden, Technologien und Verfahren in bestehenden Produktionsanlagen konkurrieren müssen. Ein stagnierender bzw. nur leicht wachsender Chemieabsatzmarkt in Europa und das starke Wirtschaftswachstum vor allem in Asien begünstigen die Diffusionsprozesse in Asien.

In diesem Kontext ist zu erwähnen, dass häufig eine fehlende Bereitschaft existiert, etablierte und erprobte - und in den Augen von Betriebstechnikern auch gut funktionierende und optimierte („Lernkurve von Altprozessen und Altprodukten“) - Verfahren zu ersetzen. Ein Wechseln von Bestehendem auf Neues ist daher nicht nur mit zusätzlichen Kosten in Form hoher Neuinvestitionen, sondern zudem mit Risiken verbunden (z. B. Reibungsverluste durch nicht optimierte neuen Verbundproduktionsprozesse). Zudem ist nicht immer klar, ob neue Prozesse in bestehende (Groß-) Anlagen integrierbar sind und ob Nutzen und Zuverlässigkeit ausreichend hoch sind. Eine Umstellung auf IWBT-Prozesse erfolgt oftmals nur dann, wenn vorhandene Anlagen genutzt werden können, d. h. „Universalanlagen“, die variabel einsetzbar sind, begünstigen den Um- bzw. Einstieg in die IWBT. Handelt es sich nicht um IWBT-Prozesse, sondern um neue Produkte, so kommen Unsicherheiten hinsichtlich des Marktzugangs hinzu, was wiederum das Risiko erhöht. Dies soll am Beispiel von NatureWorks skizziert werden, da dies zeigt, wie schwierig es ist, für ein an sich vorteilhaftes Produkt den Markt zu entwickeln. In diesem Kontext werden zum einen die Unternehmensaktivitäten auf Basis sehr guter PR-Aktivitäten und einer guten Sprachregelung sehr positiv dargestellt. Zum anderen ist die Branche der Kunststoffverarbeiter im Allgemeinen eher konservativ in Bezug auf die Umstellung auf neue Kunststoffe, da viel „Detailarbeit“ an den Verarbeitungsprozessen erforderlich ist, um die Produktionsprozesse zu optimieren. Laut

Expertenmeinung benötigt NatureWorks über 5 Jahre eine jährliche Verdopplung der Verkäufe, um seine Anlagenkapazität dann voll auslasten und entsprechende Lern- und Skaleneffekte und damit Kostensenkungspotenziale ausschöpfen zu können. Im Kunststoffmarkt, in dem ein großer Preisdruck herrscht, ist dies sehr wichtig.

Mit anderen Worten: Für eine breite Anwendung und schnelle Diffusion müssen biotechnologische Verfahren gegenüber konventionellen Verfahren nicht nur ökologisch, sondern möglichst bzw. vor allem auch technologisch und ökonomisch überlegen sein.

Know-how, FuE-Dynamik in Anwenderindustrien (vor allem bei kleinen und mittelständischen Unternehmen) und Risikoneigung der IWBT-Akteure

Unzureichendes Know-how und zu geringe FuE-Aktivitäten beeinträchtigt die Anwendung und Diffusionsgeschwindigkeit der weißen Biotechnologie (siehe hierzu u. a. BACAS 2004, EuropaBio 2005, Flaschel und Sell 2005). Um biotechnische Verfahren in industriellen Produktionsprozessen einzusetzen, ist umfassendes Know-how in den Bereichen Bio- und Enzymtechnik, in der Bioprozesstechnik sowie bezüglich Marktstrukturen, Markterfordernissen und Kundenbedürfnissen erforderlich. Das erforderliche bio-technologische Know-how ist im Gegensatz zu ingenieurwissenschaftlichem Wissen in vielen Unternehmen oft nicht per se vorhanden. Heutige Entscheidungsträger wurden während ihrer Ausbildung mit den Neuerungen der Biotechnologie noch nicht vertraut gemacht und Informationen zu den Möglichkeiten der Biotechnologie sind für diese Akteure häufig nur mühsam zu bekommen. So wurde von den Experten öfter z. B. eine mangelnde Ausbildung von Chemikern in der Biokatalyse oder der Anwendung von Enzymen sowie eine fehlende Verknüpfung von Biotechnologie und Chemie genannt. Ein Experte sprach auch von einer „Orientierungslosigkeit der chemischen Industrie gegenüber neuen Technologien.“

Dies führt häufig zu einem mangelnden Bewusstsein für biotechnologische Alternativen und zu Berührungängsten bzw. zu einer mangelnde Akzeptanz und Verankerung in der Chemie. Im Branchenvergleich verfügen dennoch die pharmazeutische und Chemischen Industrie über ein umfassendes Know-how (vor allem in Großunternehmen), während in anderen Branchen (beispielsweise der Textil-, Leder-, oder Papier- und Zellstoffindustrie) dies aber noch nicht die Regel ist.

Insbesondere in den Branchen Lebensmittel, Textil und Papier/Zellstoff sind Versuchsserien im industriellen Maßstab erforderlich, um Prozesse aus dem Labormaßstab in den industriellen Maßstab zu übertragen. Dies erfordert für die wenig forschungsintensiven Unternehmen, jedoch einen teilweise kaum leistbaren Aufwand (u. a. an Personalkosten und Maschinenstunden). Oftmals scheiterte die Etablierung viel versprechender biotechnischer Prozesse daran, dass in den wenigen, von Unternehmen fi-

nanzierten großtechnischen Experimenten keine deutliche „für den Praktiker fühlbare oder wahrnehmbare Verbesserung“ erzielt werden konnte.

Auch die Struktur der Anwender der industriellen, weißen Biotechnologie, häufig kleine und mittelständische Unternehmen mit oftmals konservativer Grundhaltung, starre Organisationsstrukturen⁶⁷ sowie geringen FuE-Aktivitäten stellt ein Hemmnis für die Einführung biotechnologischer Verfahren dar. Da die Biotechnologie sehr forschungintensiv ist, ist es für die Lebensmittel-, die Papier-, Zellstoff-, Leder- und Textilindustrie als Branchen mit nur geringen Forschungsintensitäten grundsätzlich schwierig, biotechnisches Know-how aufzubauen.

Für den Einsatz biotechnischer Verfahren summieren sich obige Probleme. Das erforderliche Know-how sowie die notwendigen finanziellen FuE-Ressourcen können (vor allem bei KMU) in der Regel nur über Kooperationen und die Einbindung in entsprechende Netzwerke erschlossen werden. Eine überwiegend mittelständische Struktur, geringe Forschungsintensitäten, eine teilweise schwierige wirtschaftliche Lage und eine konservativ-traditionelle Ausrichtung (z. B. geringe Kooperationsbereitschaft der KMU-„Unternehmenspatriarchen“) sind strukturelle und wirtschaftliche Rahmenbedingungen, die die Anwendung und Diffusion der industriellen, weißen Biotechnologie erschweren.

Laut Experteneinschätzung ist auch die Risikofreudigkeit der Kapitalgeber gering. Dieser Effekt wird laut Experten zusätzlich noch durch ein insgesamt weniger gutes Investitionsklima verstärkt. Steuerliche Anreize könnten hier laut einzelner Experten hilfreich sein.

Dominanz von „End-of-Pipe“-Umweltschutztechnologien

Der Fokus der industriellen Akteure im Bereich Umweltschutz auf „End-of-Pipe“-Techniken in den 1990er-Jahren behindert die Anwendung und Diffusionsgeschwindigkeit der weißen Biotechnologie. Nachdem in den vergangenen Jahren Firmen häufig in ihre „End-of-Pipe“-Techniken investiert haben, um den bestehenden Umweltauflagen gerecht zu werden, besteht aus Unternehmenssicht oft kein Bedarf mehr zur weiteren Optimierung durch prozessintegrierte biotechnologische Ansätze im Sinne einer den Regularien entsprechenden Umweltentlastung.

⁶⁷ Laut Expertenmeinung existieren hemmende starre Organisationsstrukturen aber auch in großen Unternehmen, Verbänden, staatlichen Einrichtungen und untereinander.

Mangel an Bewertungsinstrumenten, Informationen und Demonstrationsanlagen

Ein Mangel an etablierten Instrumenten zur Bewertung der zu erwartenden Kosten/Nutzen-Relation sowie ein Mangel an leicht zugänglichen und verständlichen Informationen beeinträchtigen die Anwendung und Diffusionsgeschwindigkeit der IWBT (siehe hierzu u. a. EuropaBio 2006, Sundmann 2005, Riese und Bachmann 2004, Braun et al. 2006). Ansatzpunkte zu Effektivitätssteigerung und/oder Kostenreduktion sind den Entscheidungsträgern daher meist nicht transparent.

Biotechnische Prozesse konkurrieren stets mit anderen prozesstechnischen Lösungen. Auf Grund fehlender Informationen schätzen Entscheidungsträger daher häufig das Kosten/Nutzen-Verhältnis einer biotechnischen Lösung eher als negativ ein (auch wenn dem nicht so ist), und bevorzugen deshalb eine bereits etablierte (technische) Lösung. Selbst bei Betrieben, die gegenüber der Biotechnik aufgeschlossen sind, fehlen jedoch häufig konkrete, praxisnahe Hilfen, Instrumente und Informationen (z. B. „Erfolgsgeschichten von Demonstrationsprojekten“) für die Entscheidung, ob sich der Einsatz des biotechnischen Verfahrens für ihr Unternehmen „rechnet“. Erst in den letzten Jahren wurden praxisnahe Methoden zur prospektiven Bewertung biotechnischer Prozesse unter Berücksichtigung aller Nachhaltigkeitsdimensionen entwickelt (z. B. das Tool BioBEN), die noch in der Praxis erprobt und breiter diffundieren müssen.

In diesem Kontext wurde von den Experten öfters betont, dass die Zahl von Demonstrationsvorhaben zu gering ist. Für viele Produkte sind noch keine Pilotanlagen vorhanden, da diese oft z. T. hohe Investitionskosten erfordern. Auf Grund fehlender Anlagen, die Informationen zur „Machbarkeit“ liefern und Signalwirkung haben können, existiert oftmals noch eine große Zurückhaltung in der Industrie.

Am Beispiel der Initiative BIO-WISE des britischen „Department of Industry“ wird deutlich, dass es durchaus Möglichkeiten einer firmennahen Informationsaufbereitung gibt (www.dti.gov.uk/biowise). Das BIO-WISE-Programm in Großbritannien z. B. verknüpft mit einem breiten Instrumenten-Mix gut die beiden Stellhebel Information und Demonstration/Erprobbarkeit miteinander. Durch Newsletter, Branchenführer, kostenlose Publikationen und Telefon-Hotlines, interaktive Webseiten, Veranstaltungen (Seminare, Workshops) sowie kostenlose Besuche bei KMU durch unabhängige Experten (inkl. konkreter Hilfestellungen) werden die verschiedenen Informationsbedürfnisse der (potenziellen) Nutzer bedient. Bei den Demonstrationsprojekten erproben Nutzer-Unternehmen aus verschiedenen Industriesektoren gemeinsam mit (Bio-) Technologiezulieferern die Anwendung für konkrete industrielle Fragestellungen. Durch die Einbindung sowohl der Technologieanbieter als auch der industriellen Nachfrager werden Probleme und Anpassungsbedarfe als Impulse für das künftige Angebot direkt an die IWBT-

Anbieter zurückgekoppelt. Die Teilnehmer verpflichten sich, die Projektergebnisse und Erfahrungen auf der BIO-WISE-Webseite zu veröffentlichen. Das Internet als Informationsmedium führt zu einem breiten Bekanntheitsgrad unter dem anvisierten Publikum. Dadurch kann die nationale und internationale Diffusion der IWBT forciert werden.

Laut Expertenmeinung wirkt sich auch das fehlende Wissen bzw. die Unsicherheiten über die künftige Entwicklung und Stabilität von Rohstoff-, Energie- und Ölpreisen hemmend aus. Bei den Unternehmen sind daher oft zwei Gruppen („Lager“) zu beobachten, die es auch innerhalb desselben Unternehmens gibt: Da die zukünftige Entwicklung und strategische Ausrichtung zur IWBT mit Unsicherheiten behaftet ist (siehe oben), fallen die Entscheidungen unter dieser Unsicherheit z. T. zu Gunsten der „klassischen Chemie“ aus, da man hier große Erfahrung besitzt („man weiß wie's geht“), seit Jahren erfolgreich in diesen Bereichen agiert und damit ein Großteil der Umsätze. Ein anderer Teil entscheidet sich aber auch zu Gunsten der IWBT, und zwar insbesondere dann, wenn ein Unternehmen oder die zu entscheidenden Vertreter einer Unternehmensgruppe auf Innovation und neue Technologien als künftige Wachstumsmotoren setzt. Die „Auseinandersetzung“ zwischen diesen Lagern wird kontinuierlich geführt. Letztlich werden Aspekte wie der „shareholder value“ und die unternehmensinternen Möglichkeiten bzw. Neigungen, große unternehmerische Risiken einzugehen, entscheidend sein. Auf Grund des Mangels an belastbaren Informationen (z. B. zur Marktgröße der IWBT-Produkte und deren Marktwachstum, zu Effektivitäts- und Kostenkennzahlen) erfolgt häufig eine „Mischkalkulation“ von verschiedenen Projekten mit niedrigem bis hohem Risiko. Öfters, so Expertenmeinungen, stehen Entscheidungen auf der Kippe. Wären die Vorteile der IWBT sicherer und eindeutiger, so würden eher auf IWBT-Prozesse umgestellt werden. Hier könnten Demonstrationsprojekte und Pilotanlagen und deren Ergebnisse den Entscheidungsprozess unterstützen.

Opportunitätskosten bei Biomassenutzung

Laut Experteneinschätzung dürfte die Rohstoffverfügbarkeit kurz- bis mittelfristig kein Problem darstellen. Mittel- bis langfristig stellt sich jedoch die Frage der Flächen- und Rohstoffverfügbarkeit und möglicherweise einer Konkurrenz verschiedener Produktionen um den Rohstoff Biomasse. D. h., Nahrungs-/Lebensmittel-, Chemikalien- und „Biofuel“-Produktion werden möglicherweise in der Land- und Biomassenutzung miteinander konkurrieren (z. B. der landwirtschaftlichen Produktion von Getreide, Mais, Raps). Hierbei ist durch die Setzung der Rahmenbedingungen darauf zu achten, dass die jeweilige Nutzung im Einklang mit gesellschaftlichen Zielsetzungen steht. Hier müssten dann Steuerungsmechanismen entwickelt werden, die dafür sorgen, dass z. B. dasjenige Produkt mit der höchsten Ressourceneffizienz aus der Biomasse her-

gestellt wird. Nach bisherigen Erkenntnissen sind z. B. Chemikalien als ressourceneffizienter einzuschätzen als Bioethanol als biogener Treibstoff.

4.3 Branchenspezifische Innovationshemmnisse

Die branchenspezifischen Faktoren, die einem breiteren Einsatz biotechnischer Verfahren in den einzelnen Branchen entgegenstehen, werden im Folgenden dargestellt. Die Hemmnisse, die bereits bei den branchenübergreifenden Innovationshemmnissen aufgelistet wurden, werden hier nicht noch einmal erwähnt.

Chemische und pharmazeutische Industrie

Obwohl in den folgenden Punkten in den letzten Jahren wesentliche Fortschritte erzielt wurden, stehen einem breiteren Einsatz biotechnischer Verfahren in der chemischen Synthese als bisher im Wesentlichen folgende Hemmnisse entgegen (siehe hierzu u. a. Patel et al. 2006, Gaisser et al. 2002, Hüsing et al. 1998, Wolf et al. 2005, Herrera 2004, Drumm 2005, Festel et al. 2004):

- *Biokatalysatoren weisen eine Reihe inhärenter Nachteile auf, die ihre breitere Anwendung für chemische Prozesse behindern.* Die katalytische Aktivität von Enzymen ist häufig nur innerhalb enger Temperatur- und pH-Grenzen gegeben, häufig auf wässrige Medien begrenzt, die Substratspezifität ist eng („für jedes Substrat ein eigenes Enzym“) und die Enantioselektivität für unnatürliche, synthetische Substrate gering, die Stabilität unter Reaktions- und Lagerungsbedingungen oft nicht ausreichend, die Abtrennung der Reaktionsprodukte kann schwierig sein, einige Enzyme sind teilweise nicht schnell, in ausreichenden Mengen und gleich bleibender Qualität verfügbar. Deshalb sind Enzyme der erforderlichen Reinheit und Qualität prinzipiell teure Hilfsstoffe, die die Verfahren gegenüber chemischen Synthesen schnell unwirtschaftlich werden lassen.
- *Der FuE-Aufwand für die Anpassung biotechnologischer Prozesse an chemische Produktionsverfahren steht in ungünstigem Verhältnis zu Markterwartungen.* Der Markt für Biokatalysatoren in der chemischen Synthese ist stark fragmentiert, so dass die Umsatzerwartungen für einzelne Katalysatoranwendungen meist bei wenigen Millionen € pro Jahr liegen.
- *Regulierung und Standards können die Nutzung biotechnischer Prozesse hemmen.* Ein Wechsel des Produktionsverfahrens von chemischer Synthese zu enzymatischer Synthese bzw. Biotransformation kann u. U. eine (vergleichsweise teure und langwierige) Neuzulassung des Produkts (z. B. Pharmazeutikum, Pflanzenschutzmittel) erforderlich machen. Durch einen Wechsel des Produktionsverfahrens kann ggf. Produkthanforderungen des Kunden nicht mehr genügt bzw. eine Verfahrensumstellungen auf Kundenseite erforderlich werden.

- *Konkurrierende Neuentwicklungen verlangsamen die Anwendung und Diffusion biotechnischer Prozesse.* Zur Lösung chemisch-synthetischer Probleme stellt die Biokatalyse meist nur eine Option unter mehreren wissenschaftlich-technischen Alternativen dar. Durch Weiterentwicklungen chemischer Verfahren kann möglicherweise der Einsatz von Biokatalysatoren obsolet werden. Daher ist die Beobachtung konkurrierender Entwicklungen (gerade in anderen Disziplinen) und sich wandelnder Rahmenbedingungen von großer Bedeutung.
- *„Time to market“-Dominanz bei Feinchemikalien und Pharmaka lässt eine mögliche technologische Vorteilhaftigkeit biotechnischer Prozesse häufig nicht zum Tragen kommen.* Sowohl bei Pharmazeutika als auch Feinchemikalien handelt es sich um Produkte mit hoher Wertschöpfung, die eine relativ große Toleranz gegenüber hohen Produktionskosten erlaubt, und bei denen die Funktion der betreffenden Substanz im Vordergrund steht, die über Patente abgesichert wird. Zudem ist – zumindest bei Pharma- und Agrochemikalienwirkstoffen – vor dem Markteintritt ein Zulassungsverfahren erfolgreich zu durchlaufen. Dies führt dazu, dass es für die Firmen von größerer Bedeutung ist, die entsprechenden Substanzen schnellstmöglich in großen Mengen auf den Markt zu bringen, als Produktionsverfahren zu entwickeln, die im Hinblick auf Kosten und Ressourcenverbrauch optimiert sind. Erst wenn wirklich die Herstellungskosten signifikant zum Tragen kommen (im Pharmabereich z. B. bei Generika), wird effizienten biotechnischen oder biokatalytischen Produktionsverfahren ein hoher Stellenwert eingeräumt.

Lebensmittelindustrie

Einem breiterem Einsatz biotechnischer und enzymatischer Verfahren in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie stehen folgende Hemmnisse entgegen (siehe hierzu u. a. Gaisser et al. 2002, Hüsing et al. 1998, Dechema 2004, Freeman 2004, Braun et al. 2006):

- *Länder- und produkt(linien)spezifische Regelungen* gestatten nicht den Einsatz von Enzymen (z. B. deutsches Reinheitsgebot für Bier).
- *Traditionelle handwerkliche Herstellungsprozesse* werden als nur schlecht vereinbar mit dem Gebrauch industrieller Enzyme angesehen.
- *Unerwünschte Veränderungen der Produktqualität* können beim Einsatz industrieller Enzyme gegenüber der bisherigen Herstellungsweise auftreten (z. B. Geschmacksveränderung).
- Die *Gewinnspannen* bei der Lebensmittelproduktion sind *sehr klein*, so dass sich die Neueinführung biotechnischer Prozesse nur bei erheblichen Optimierungseffekten lohnt; teilweise sind traditionelle Verfahren enzymatischen Prozessen preislich überlegen.

- *Fehlende Akzeptanz der Verbraucher* für gentechnisch hergestellte Enzyme und gentechnisch veränderte Organismen und darauf aufbauenden biotechnischen Prozessen und Produkte wirken sich negativ auf die Neigung von Unternehmen, entsprechende Prozess- und Produktinnovationen einzuführen, aus.
- *Zu geringe Verbraucheraufklärung* über die industrielle Produktion von Lebensmitteln (hohe Qualitätsanforderungen und niedrige Preisen sind meist nur durch industrieller Massenproduktion zu gewährleisten) führt zu einer eher skeptischen Grundhaltung gegenüber neuen Produkten oder Prozessinnovationen. Somit kann eine ungünstige Nachfragesituation die Einführung biotechnischer Prozesse hemmen.
- Von einzelnen Experten wurde betont, dass die Produktzulassung zum Teil mit Schwierigkeiten verbunden sei (dies gelte auch für den Bereich Umweltbiotechnik). Zudem existieren in der EU (extrem) lange Zulassungszeiten bei Anwendungen von Produkten für den Lebensmittelbereich (z. B. Cyclodextrine). Diese „Hürde“ wird oft auch durch unklare Zuständigkeiten verstärkt.

Papier- und Zellstoffindustrie

Hemmnisse in der Papier- und Zellstoffindustrie, neue biotechnologische Verfahren bzw. Verfahrensschritte in der industriellen Praxis anzuwenden sind (siehe hierzu u. a. Gaisser et al. 2002, Hüsing et al. 1998, Dechema 2004, Braun et al. 2006):

- *Eine geringe Anzahl an Zulieferern* für Biokatalysatoren und wenig Werbung für diese Technologien tragen zu einem geringen Bewusstsein über Potenziale der IWBT auf Seiten der Unternehmen bei.
- Fehlende Bereitschaft, etablierte und erprobte - und in den Augen der Betriebstechniker auch gut laufende - Verfahren zu ersetzen, konservative Einstellungen (u. a. der Papiermühlenbesitzer) sowie mangelnde Kenntnisse auf Managementebene hinsichtlich des Einsatzes von Biokatalysatoren.
- *Der Nutzen* aus biotechnologischen Prozessen ist im Vergleich zu den herkömmlichen Verfahren nur gering, die *Nachfrage* nach entsprechenden „ökologischen“ Produkten ist gering und der *internationale preisliche Wettbewerbsdruck* ist stark. Dadurch bleibt nur ein enger Spielraum für Investitionen in neue Technologien.
- Lange Abschreibungszeiten der bereits getätigten hohen Kapitalinvestitionen sowie eine fehlende Ausbildung des technischen Personals im Bereich Biotechnologie.

Textilindustrie

Einem breiten Einsatz biotechnischer Verfahren in der Textilindustrie steht folgende Hemmnissen entgegen: (siehe hierzu u. a. Gaisser et al. 2002, Hüsing et al. 1998, Dechema 2004, Braun et al. 2006)

- Die *schwierige wirtschaftliche Lage* (sichtbar an niedrigen Umsatzrenditen), eine *hohe Preissensitivität der Endkonsumenten* („Kaufentscheidend ist der Preis“), eine stark *begrenzte Nachfrage nach* entsprechenden „ökologischen“ *Produkten* und ein wachsender Konkurrenzdruck (z. B. aus Südostasien) verengen den Spielraum für Investitionen in neue Technologien.
- Neuentwicklungen setzen sich nur bei *technologischer und wirtschaftlicher Überlegenheit* durch (z. B. höhere Effizienz, besserer Temperaturbereich). Laut Expertenmeinung sind Enzyme aber nicht unbedingt besser in Bezug auf Textilqualität und Prozesssicherheit als chemische prozesstechnische Alternativen. Umwelt- und Arbeitsschutzanforderungen (z. B. Vermeidung aggressiver Chemikalien) können Enzymeinsatz fördern, aber in vielen Ländern mit bedeutender Textilindustrie (z. B. Asien) gelten viel niedrigere Standards als beispielsweise in Europa.
- Lücken in der Finanzierung: Bisher wird laut Expertenmeinung „proof of principle“ im technischen bzw. industriellen Maßstab gefördert. Für einen routinemäßigen Einsatz sind aber noch längerfristige Anpassungsarbeiten erforderlich, um wirklich Anwendungssicherheit zu erzielen: u. a. Reproduzierbarkeit hoher Qualität auch bei wechselnden Produktionsbedingungen (z. B. Baumwolle unterschiedlicher Qualität, unterschiedliche Prozesshilfsmittel bei Lohnveredelern). Diese Finanzierungslücke wird häufig nicht geschlossen.
- Bei Forschungsprojekten stehen oft nur geringe Materialmengen zur Verfügung, die für eine Erprobung im industriell relevanten Maßstab nicht ausreichen. So reichte laut Expertenmeinung in einem Falls das neue Enzym für Bioscouring nur für Laborversuche, aber nicht für Erprobung im Unternehmen, da das beteiligte Forschungsinstitut keine Produktionskapazitäten für die erforderlichen Enzymmengen hatte. In einem anderen Beispiel wurde ein enzymatisches Flachsbehandlungsverfahren erprobt. Insgesamt standen aber nur so wenig Flachsfasern zur Verfügung, dass diese nicht reichten, um auf der allerkleinsten verfügbaren Garnbereitungsmaschine verarbeitet zu werden. Man musste den Flachs zur Hälfte mit Baumwolle mischen, um überhaupt Garn herstellen zu können. D. h., Maschinenhersteller bauen für solche Versuche nicht extra Maschinen, die eine Miniaturausgabe der industriell eingesetzten Maschinen sind.

5 Forschungsbedarf und Forschungsförderung

5.1 Forschungsbedarf aus Branchensicht

An verschiedenen Stellen wurden die technologischen Entwicklungen und Probleme (Kapitel 2.2) sowie die innovationshemmenden Faktoren (s. Kapitel 4) bereits ausführlich untersucht. Auf Basis dieser Erkenntnisse soll im Folgenden der daraus resultierende Forschungsbedarf abgeleitet werden. Basis für die nachfolgenden Ergebnisse waren die schriftliche Befragung, Experteninterviews sowie der Workshop im Rahmen des Projektes. Die Akteure wurden in diesem Kontext konkret nach dem Forschungsbedarf gefragt. Zudem basieren die nachfolgenden Ausführungen auch auf umfangreichen Literaturauswertungen (u. a. Gaisser et al. 2002, Hüsing et al. 1997, SusChem 2005, SusChem 2006), um zu prüfen, ob „die Sicht aller Akteure ein konsistentes Bild“ ergibt.

Die Ergebnisse zum Forschungsbedarf lassen sich wie folgt zusammenfassen.

Branchenübergreifender Forschungsbedarf

Branchenübergreifend besteht FuE-Bedarf, Organismen und Enzyme im Hinblick auf ihre Anwendung in industriellen Produktionsprozessen hin zu optimieren. Hierzu zählen

- Steigerung der katalytischen Aktivität der Organismen bzw. Optimierung der katalytischen Eigenschaften der Enzyme (z. B. Erhöhung der Raum/Zeit-Ausbeute, Veränderung der Substratspezifität und Enantioselektivität, Einsatz von Enzymen auch in organischen Lösungsmitteln),
- Erschließung von Enzymen, die andere als hydrolytische Reaktionen katalysieren; darunter insbesondere Reaktionen, die mit konventioneller Syntheschemie schwierig auszuführen sind (z. B. C-C-Verknüpfungen, Oxidations- und Reduktionsreaktionen (auch cofaktorabhängig), die neue chirale Zentren generieren. Darüber hinaus wären Enzyme wünschenswert, die nicht nur an C- oder O-Atomen angreifen, sondern auch an N- oder P-Atomen),
- Erschließung neuer „Standard-Produktionsorganismen“, hierfür insbesondere Entwicklung des organismenspezifischen molekularbiologischen Instrumentariums zur schnellen, gezielten Optimierung dieser Organismen,
- Steigerung der „Robustheit“ von Biokatalysatoren gegenüber den Extrembedingungen industrieller Produktionsverfahren, Verringerung der Empfindlichkeit gegenüber schwankenden Einsatzbedingungen (z. B. Erweiterung der engen Temperatur- und pH-Grenzen, innerhalb derer Enzyme katalytisch aktiv sind; Erhöhung der Enzymstabilität unter Reaktions- und Lagerungsbedingungen, Verbesserung der Verläss-

lichkeit und Steuerbarkeit biotechnischer Verfahren; Verbreiterung des Spektrums nutzbarer Substrate),

- Vereinfachung und Optimierung der Abtrennung der Reaktionsprodukte,
- Senkung der Produktionskosten für industrielle Enzyme,
- Verstetigung der Verfügbarkeit von industriellen Enzymen,
- Beschleunigte Verfügbarkeit von Biokatalysatoren in der Frühphase der Prozessentwicklung, insbesondere im Bereich der Prozessentwicklung für neue Feinchemikalien,
- Verbesserte Methoden und Werkzeuge, um in der Frühphase der Bioprozessentwicklung ein detailliertes Verständnis der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit des Verfahrens in Bezug auf geeignete Biokatalysatoren und deren Optimierungspotenzial, Produktausbeute, -qualität und Prozessstabilität zu erlangen,
- Anwendung der Biokatalyse auf die Optimierung der Herstellverfahren etablierter Produkte sowie die Herstellung neuer Produkte bzw. von Produkten mit veränderten Qualitätseigenschaften.

Seit längerem sind Strategien und Technologien zur Bewältigung dieser Herausforderungen Gegenstand von Forschung und Entwicklung, die in Kapitel 2.2.2.2 dargestellt wurden. Bedarf besteht zum einen darin, die grundlegende Wissensbasis über mikrobielle Stoffwechselprozesse und deren Regulation mit Relevanz für industrielle Anwendungen und Produktionsbedingungen auf der Systemebene umfassend und quantitativ zu erweitern, sowie die Wissensbasis über Struktur-Funktionsbeziehungen bei Enzymen sowie die effiziente Produktion heterologer Proteine (Biosynthese, Faltung und Prozessierung, Sekretion) auszubauen. Darüber hinaus gilt es die entsprechenden Methoden und Werkzeuge der Molekularbiologie und (funktionellen) Genomik, der Bioinformatik und der Bioprozesstechnik weiterzuentwickeln. Besonderes Augenmerk ist dabei auf die Vernetzung und Integration verschiedener Informationsquellen und Systemebenen zu legen, auf die Erweiterung der Möglichkeiten der In-silico-Modellierung und -Simulation, um die möglichen Wirkungen gezielt vorgenommener Modifikationen von Stoffwechselwegen, Regulationsnetzwerken, Enzymstrukturen vorab besser abschätzen zu können, sowie auf einen Entwicklungsprozess für neue Verfahren und Produkte, bei dem die Auswahl von Rohstoffen, die Auswahl und Optimierung geeigneter Biokatalysatoren und das Prozessdesign inkl. Produktaufarbeitung möglichst simultan, aufeinander abgestimmt und mit zahlreichen Feedbackschleifen erfolgt.

Darüber hinaus besteht Bedarf, bei der Konzeption von Forschungsprojekten zu berücksichtigen, dass das angestrebte Produkt bzw. Verfahren für eine erfolgreiche Platzierung am Markt in der Regel eine Integration von z. T. sehr heterogenen Akteuren über verschiedene Stufen der – manchmal langen – Wertschöpfungsketten erfordert.

Die frühzeitige Integration von Kundenbedürfnissen und -interessen in den Anwenderbranchen und Zielmärkten sowie die Berücksichtigung der Marktbedingungen, unter denen sie agieren, könnte dies wirksam unterstützen.

Branchenspezifischer Forschungsbedarf

Chemische und pharmazeutische Industrie

Im Bereich der chemischen Industrie besteht in Bezug auf den verstärkten Einsatz biokatalytischer Verfahren zur Feinchemikalienproduktion Forschungsbedarf, die Technologie der Biokatalyse so weiterzuentwickeln und in der Praxis zu etablieren, dass ihr Potenzial routinemäßig in der Frühphase der Prozessentwicklung gleichberechtigt neben konventioneller Synthesechemie sowie chemischer Katalyse ausgelotet werden kann. Zudem ist in der entsprechenden Grundlagenforschung das Potenzial der synthetischen Biologie für die Bereitstellung von Biokatalysatoren und Produktionssystemen für nicht-natürliche Substanzen auszuloten, wobei auch der Sicherheit von synthetischen Mikroorganismen hohe Priorität beizumessen ist. Darüber hinaus besteht Bedarf, das Wissen und die Methoden für die Entwicklung von Synthesen für chirale Substanzen in enantiomerenreiner Form sowie für Synthesen von Fein- und Spezialchemikalien anzuwenden.

Um mittel- bis langfristig das Segment der Bulkchemikalien, insbesondere ihrer biotechnischen Herstellung ausgehend von Biomasse als Rohstoff erschließen zu können, sind auf wissenschaftlich-technischer Ebene signifikante Fortschritte in allen der in Kapitel 2.2 aufgezeigten Bereiche erforderlich. Bei der Nutzung lignocellulosehaltiger Biomasse als Substrat konnten bislang die für eine Wettbewerbsfähigkeit erforderlichen Kostenziele nicht erreicht werden, so dass weiterhin Forschungsbedarf im Hinblick auf eine weitere Kostensenkung besteht. Von besonderem Interesse im Bulkchemikaliensegment sind Bio-Kraftstoffe, Polymere und Werkstoffe sowie die biotechnische Herstellung von Plattformchemikalien, von denen ausgehend umfassende Produktportfolios synthetisiert werden können. Experten schätzen Biotreibstoffe als wesentliche Wegbereiter für die Etablierung großtechnischer Bioprozesse ein, so dass die zunächst im Biotreibstoff-Segment gesammelten Erfahrungen mittelfristig auch die Etablierung von Bioprozessen für die Bulkchemikalienproduktion begünstigen und unterstützen sollten. Dies schließt auch die Weiterentwicklung und praktische Erprobung von Bioraffinerie-Konzepten, d. h. der Integration von einzelnen Verfahren und Produkten in ein Gesamtkonzept ein.

Begleitend zu naturwissenschaftlich-technischem Forschungsbedarf besteht Bedarf nach begleitenden ökonomisch-ökologischen Analysen zur Verbesserung der Bewer-

tungsgrundlagen der biotechnischen Optionen im Vergleich zu konkurrierenden Technologien bzw. Biomasse- oder Landnutzungsoptionen.

Lebensmittelindustrie

In der Lebensmittelindustrie besteht Forschungsbedarf, das durch die industrielle, weiße Biotechnologie generierte Wissen und die Methoden in der landwirtschaftlichen Pflanzen- und Tierproduktion, in der Analytik, Prozess- und Qualitätskontrolle und der Lebensmittelüberwachung, der Lebensmittelverarbeitung sowie der hochwertigen Nutzung von Reststoffen mit dem Ziel anzuwenden,

- die Wirtschaftlichkeit der Produktion zu erhöhen,
- die Prozesssicherheit und Produktqualität auf hohem Niveau zu gewährleisten,
- innovative Produkte mit überdurchschnittlichen Gewinnmargen zu ermöglichen.

Innerhalb der innovativen Produktkategorien mit überdurchschnittlichen Margen wird den Funktionellen Lebensmitteln eine hohe Bedeutung beigemessen. Die industrielle, weiße Biotechnologie kann hier zur Bereitstellung funktioneller Inhaltsstoffe beitragen. Dabei besteht zum einen Forschungsbedarf, für bekannte und bereits eingesetzte funktionelle Inhaltsstoffe effizientere Produktionsverfahren zu entwickeln bzw. Produktionsverfahren, die die Bereitstellung der Inhaltsstoffe in physiologisch aktiver Form gewährleisten.

Zum anderen können Wissen und Verfahren der industriellen, weißen Biotechnologie zur Erschließung neuer funktioneller Inhaltsstoffe beitragen, so z. B. durch Etablierung alternativer Produktionsplattformen, die eine wirtschaftliche Nutzung überhaupt erst ermöglichen; oder durch die Suche nach und Synthese von Inhaltsstoffen mit erhöhter physiologischer Aktivität (z. B. kombinatorische Biosynthese neuartiger Carotinoide). Allerdings ist zu berücksichtigen, dass für die Einführung neuer funktioneller Inhaltsstoffe die Bereitstellung dieser Inhaltsstoffe nur einen kleinen Teil der erforderlichen FuE-Arbeiten ausmacht und beispielsweise durch Arbeiten zum Nachweis der Wirksamkeit bei Verzehr, zur Optimierung der lebensmitteltechnologischen Aufbereitung, zur Erarbeitung der Daten für die Marktzulassung sowie für die prospektive Analyse der Verbraucherakzeptanz und –nachfrage flankiert werden muss.

Spezifisch für den Lebensmittel- und Getränkebereich stellen sich besondere Herausforderungen und damit auch spezieller Forschungsbedarf, da der Einsatz der Gentechnik in Rohstoffen, Prozesshilfsmitteln und Produktionsorganismen aus Gründen der Verbraucherakzeptanz in zahlreichen Anwendungen nicht möglich sein wird bzw. die GVO-Freiheit explizit zu gewährleisten ist.

Papier- und Zellstoffindustrie

In der Zellstoff- und Papierindustrie besteht Forschungsbedarf vor allem in

- der Bereitstellung von Faserrohstoffen, die für die technische Nutzung optimiert wurden (z. B. durch transgene Holzpflanzen mit modifizierter Ligninstruktur),
- der Optimierung und Etablierung des Biopulping, des Cellulaseinsatzes bei der mechanischen Zellstoffherzeugung, der Biobleiche von Zellstoffen, der enzymatischen Pitchentfernung in der Papierherzeugung sowie der enzymatischen Altpapieraufbereitung und -modifizierung.

Textilindustrie

In der Textilindustrie besteht Forschungsbedarf vor allem in

- der Bereitstellung von Faserrohstoffen bzw. der Faserherzeugung,
- der Analytik und Qualitätskontrolle,
- der Aufbereitung der Fasern zu Textilien und deren Veredelung, dabei zunächst für Naturfasern, mittelfristig aber auch für Kunstfasern,
- der Bereitstellung von Prozesshilfsstoffen, die aus Biomasse bzw. mit Hilfe biotechnologischer Verfahren hergestellt werden,
- Beiträgen zur Entwicklung „intelligenter“ Textilien („smart textiles“).

Darüber hinaus ist auszuloten, inwieweit die Textilindustrie auch Spezialgewebe für die Biotechnologie bereitstellen kann, so z. B. Trägermaterialien für Enzyme, „intelligente“ Filtermaterialien oder Matrices für Zellen und Gewebe im Rahmen des Tissue Engineering.

Lederindustrie

Neben einer Erhöhung der Effizienz der bereits eingesetzten Enzyme bestehen Potenziale zur Ausweitung biotechnischer Verfahren über die bislang etablierten Anwendungen hinaus in der

- enzymatischen Enthaarung von Häuten, ohne die Lederqualität zu beeinträchtigen,
- in der biotechnischen Produktion von Prozesshilfsmitteln, wie z. B. pflanzlichen Gerbstoffen oder Biotenside,
- enzymatischen Oberflächenmodifizierung und -funktionalisierung von Häuten zur Erzielung besonderer Effekte und Lederqualitäten,
- Lederrecycling (Rückgewinnung von Chrom, Nutzung von Lederkollagen),
- Wertstoffgewinnung aus Reststoffen der Lederproduktion,
- Einsparung von Prozessschritten.

Vor allem in Indien, der Türkei und Italien, wo in großem Umfang produziert wird, finden bereits seit etlichen Jahren Forschungsaktivitäten in diesen Bereichen statt.

Nicht wissenschaftlich-technischer Forschungsbedarf

Im Folgenden wird auf nicht-wissenschaftlich-technischen Forschungsbedarf eingegangen und Empfehlungen für die Ausgestaltung möglicher Fördermaßnahmen abgeleitet.

Da das erforderliche Know-how zur Entwicklung und Implementierung biotechnischer Präventivtechniken i. d. R. nicht in einzelnen Unternehmen oder Forschungseinrichtungen vorhanden ist, sollten Fördermaßnahmen bereits bestehende Verbände der verschiedenen Know-how-Träger weiter stärken, ggf. durch Einbindung neuer Partner fehlendes Know-how ergänzen oder entsprechende Verbände erstmals initiieren.

Auf Grund der geringen Forschungsintensität in der Textilveredelungs-, Leder- und Lebensmittelindustrie ist die Bereitstellung von nennenswerten Eigenmitteln für Forschungsvorhaben unternehmensintern schwierig durchzusetzen. Dies sollte bei der Ausgestaltung der Finanzierungsmodalitäten der Vorhaben berücksichtigt werden. Für die genannten Industriezweige sind - trotz und gerade wegen der schwierigen wirtschaftlichen Situation - Innovationen besonders interessant, die neue, konkurrenzlose Produkte oder deutlich erhöhte Produktqualitäten ermöglichen.

Industrievertreter betonen, wie wichtig für die Betriebe Informationen sind, anhand derer sie für ihr Unternehmen bewerten können, ob sich die Substitution des konventionellen Verfahrens durch ein biotechnisches bei ganzheitlicher Betrachtung ökonomisch und ökologisch „rechnet“ oder nicht. In verschiedenen Forschungsprojekten wurden daher derartige, auf die Verhältnisse der Betriebe zugeschnittene praxisnahe konkrete Hilfen und Bewertungsinstrumente (z. B. Ökobilanzen) für biotechnische Präventivtechniken entwickelt bzw. erstellt und auf Praxistauglichkeit überprüft. Es besteht jedoch weiterhin Bedarf, zum einen diese Instrumente weiterzuentwickeln und an spezifische Fragestellungen anzupassen. Zum anderen sollten sie noch weiter in die Unternehmenspraxis getragen werden. Sie sollten durch Maßnahmen ergänzt werden, die das betriebsinterne Innovations-, aber auch Stoffstrom- und Umweltmanagement in mittelständischen Betrieben verbessern. Entsprechende Module könnten integraler Bestandteil förderungswürdiger Projekte oder aber separate Projekte sein.

Um die beabsichtigte Signalwirkung bzw. den Demonstrationscharakter der Forschungsvorhaben zu verstärken, sollten sie durch Maßnahmen flankiert werden, die die Breitenwirksamkeit des Vorhabens steigern und herrschende Vorbehalte gegen-

über biotechnischen Verfahren abbauen (z. B. Kurse, Broschüren, praktische Demonstrationen).

Bisher fehlt öfters eine belastbare Datengrundlage, die es ermöglicht, für einzelne Industriezweige das Potenzial und die Gesamtrelevanz biotechnischer Ansätze abschätzen und bewerten zu können. Um künftige förderpolitische Prioritäten setzen zu können, sollten entsprechende branchenspezifische Forschungsvorhaben sowie Unternehmensbefragungen zum Grad der Anwendung biotechnischer Maßnahmen initiiert werden.

Während umfassende Forschungsarbeiten und Bevölkerungsumfragen zur Akzeptanz bio- und gentechnischer Verfahren und Produkte in der Medizin, der Landwirtschaft und bei Lebensmitteln durchgeführt wurden und auf eine sehr nach Anwendungsbereichen und wahrgenommenem Nutzen differenzierte Bewertung hinweisen, ist die Akzeptanz der industriellen weißen Biotechnologie und entsprechender Produkte und Verfahren bislang – erstaunlicherweise – noch nicht systematisch untersucht worden. Hier besteht Bedarf, diese Wissenslücke zu schließen.

5.2 Forschungsbedarf mit Bezug zu den Forschungs- und Technologiebereichen

Im Rahmen des Projektes wurden Experten sowohl in der schriftlichen Befragung als auch in den Interviews gefragt, welche konkreten Förderschwerpunkte und -instrumente im Bereich der öffentlichen Forschungsförderung sie zukünftig für geeignet halten zur IWBT-Förderung. Die Antworten wurden dann den Forschungs- und Technologiebereichen zugeordnet. Zudem wurden diese Aussagen mit den Ergebnissen aus der Literatur abgeglichen (u. a. SusChem 2005a). Dort wo erforderlich, wurden die Aussagen der Experten ergänzt. Die verdichteten Ergebnisse der Experteninterviews zu den Förderschwerpunkten sind in Tabelle 5.1 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 5.1: Förderschwerpunkte, differenziert nach Forschungs- und Technologiebereichen

Forschungs-/ Technologiebereiche	Aktuell	Zukünftig
1 Rohstoffauswahl und -aufbereitung	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung von Verfahren zur Nutzung von billigen und „unbegrenzt“ verfügbaren Fermentationsrohstoffen (z. B. lignocellulosehaltige Substrate aus Stroh, Holz; Rohglycerin aus Biodieselproduktion etc) • Substratengineering • Extraktionsverfahren für Wertstoffe 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung von Verfahren zur Reststoffverwertung • Beeinflussung der Biomassezusammensetzung, z. B. durch gentechnische Veränderung • Ökonomische und ökologische Bewertung der Rohstoffe und biotechnischen Verfahren im Vergleich zu Alternativen • Identifizierung optimaler Rohstoffkombinationen für Ganzjahresbetrieb • Identifizierung optimaler Nutzungsoptionen und -kombinationen für die jeweiligen Rohstoffe und Produkte • Aufbau von Verbundstrukturen (Bioraffinerie)
2 Optimierung; Diversifizierung; Screening nach neuen Enzymen u. Organismen	<ul style="list-style-type: none"> • Bioinformatik • Mikrobielle Genomik; Intensivierung funktionelle Genomik • Systembiotechnologie • Metabolic Engineering • Screeningverfahren • Neue „Standard“-Produktionsorganismen, molekularbiologische Werkzeuge zu ihrer Optimierung • Neue Enzyme und Enzymdesign 	<ul style="list-style-type: none"> • Bioinformatik • Systembiologie • Synthetische Biologie • Enzymdesign u. -optimierung • Screening nach neuen Enzymen / Mikroorganismen mit intelligenteren, spezifischeren, auf industriell relevante Katalysatoreigenschaften zugeschnittenen Screeningkonzepte • Integration Biokatalysatoroptimierung mit Prozessdesign

Fortsetzung Tabelle 5.1

Forschungs-/ Technologiebereiche	Aktuell	Zukünftig
3 Fermentation	<ul style="list-style-type: none"> • Erweiterung der Rohstoffbasis (von Zucker / Stärke hin zu Lignocellulose) • Erhöhung von Ausbeuten, Produktivitäten, Wirtschaftlichkeit • Ganzellbiotransformation • Minibioreaktoren in Kombination mit Modellierung und Simulation • Entwicklung von Sensoren für die In-Prozess-Kontrollen (pH, Temperatur, Wachstum, Substrat- und Produktkonzentrationen, etc.), Online Sensorik, fortgeschrittene Messtechnik, optimierte Regelung und Steuerung • Multiphasen-Bioreaktoren und -prozesse • Verfahren für Cofaktor-Regenerierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Prozessentwicklung stabiler Enzyme • Entwicklung nicht wässriger Lösungsmittelsysteme für Enzymreaktion • Neue Fermentationsprozesse („solid state biocatalysis“) • Demonstrationsanlagen • Integration Prozessdesign und Biokatalysatoroptimierung
4 Downstream Processing	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung und Optimierung neuer Produktions- und Aufarbeitungssysteme und –verfahren (z. B. Membrantrennverfahren) • Neue Chromatographieverfahren und antikörperbasierte Reinigungsverfahren • Reduzierung des Energie- und Wasserverbrauchs bei der Aufreinigung 	<ul style="list-style-type: none"> • Synergie der chemischen Synthese und der Biotechnologie

Fortsetzung Tabelle 5.1

Forschungs-/ Technologiebereiche	Aktuell	Zukünftig
5 Produkt- und Anwendungsentwicklung	<ul style="list-style-type: none"> • Prozessdesign und integrierte Prozessentwicklung • Ersatz „harter Chemie“ durch Biokatalysatorsysteme bei Produktion für die Papier-, Textil- und Lederindustrie • Integration der beteiligten Wertschöpfungsstufen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ressourcenschonende Produkte • Gewinnung von Bioenergie aus Agrarrohstoffen • Entwicklung von chemischen Basisprodukten mit Hilfe von biotechnologischen Verfahren wie : Milchsäure, Bernsteinsäure, Fumarsäure, Apfelsäure, 3-Hydroxypropionsäure, Glucarsäure, Glutaminsäure, Glycerin, Sorbit, Xylit, Arabinitol
6 Nachhaltige und effiziente Systemintegration, Vernetzung von Prozessen; Bi raffineriekonzepte;	<ul style="list-style-type: none"> • Ganzheitliche Entwicklung und Optimierung von Bioprozessen durch Integration von Spezialexpertise und Feedbackschleifen zwischen Rohstoffaufbereitung, Biokatalysatoroptimierung, Prozessdesign und DSP • Systemintegration und Prozessmodellierung • Konzeptionelle Entwicklung von Bioraffinerien • Integration von stofflicher und energetischer Nutzung nachwachsender Rohstoffe • Förderung von Demonstrationsvorhaben • Abgestimmte Strategie der Förderer (BMBF, DFG, FNR, DBU) Bündelung der verschiedenen Aktivitäten • Gezielte Verknüpfung Chemie, Verfahrenstechnik u. Biotechnologie • Systemintegration WBT mit anderen Branchen • Plattformtechnologien 	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherstellung der Kompatibilität zu vorhandenen Systemen/Verfahren • Aufbau von Verwertungsverbänden für Biomassen analog zur Petrochemie • BMBF-Schwerpunktprogramme, mehr Engineering- Grundlagenforschung bei der DFG • Mehr Förderung anwendungsorientierter Forschung • Bereitstellung von Wagniskapital aus Firmen, die mit öffentlichen Forschungseinrichtungen kooperieren

Quelle: Fraunhofer Gesellschaft 2006 (Datenbasis: Experteninterviews und schriftliche Befragung)

5.3 Nationale und internationale Fördermaßnahmen

Öffentliche Förderprogramme, die speziell auf biotechnologische Produkte bzw. Verfahren im industriellen Bereich fokussiert sind, spielen nur eine relativ geringe Rolle (z. B. in Großbritannien mit dem BIO-WISE-Programm). Häufiger gibt es „allgemeinere“ Maßnahmen zur Unterstützung biotechnologischer FuE-Arbeiten bzw. technikunspezifische Förderprogramme. Innerhalb dieser Maßnahmen und Programme werden auch Projekte zur Nutzung der Biotechnologie im industriellen Bereich gefördert, sofern diese im Wettbewerb mit anderen Technologien bestehen können. Allerdings ist in Deutschland zumindest bei den Biotechnologie-KMU laut Expertenmeinung und schriftlicher Befragung der Anteil der Unternehmen mit direkter Projektförderung durch den Bund in der IWBT (deutlich) geringer als in der grünen und roten Biotechnologie.

Im Folgenden werden zunächst für Deutschland sowohl die Fördermaßnahmen des Bundes charakterisiert, als auch ein Überblick über die Aktivitäten der einzelnen Bundesländer gegeben. Im Vergleich hierzu werden Förderaktivitäten für die IWBT im internationalen Raum dargestellt. Dieser internationale Überblick kann aber im Rahmen dieses Projektes nicht vollständig und völlig systematisch erfolgen. Vielmehr werden wichtige und interessante Programme führender IWBT-Länder skizziert. Darauf aufbauend findet - anhand der Erfahrungen der Akteure aus den Experteninterviews sowie den Erkenntnissen aus der Literatur – sofern möglich eine Bewertung der deutschen Maßnahmen statt, eingebettet in den internationalen Kontext.

5.3.1 Förderprogramme in Deutschland

5.3.1.1 Förderprogramme auf Bundesebene

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF):

Das BMBF legte im Jahr 2000 das Programm „Nachhaltige Bioproduktion“ auf, welches speziell zur Erschließung des Potenzials biologischer Prozesse für die nachhaltige industrielle Produktion dient (BMBF 2000). Die Laufzeit des Programmes endet 2007, die letzte Ausschreibungsrunde ist bereits beendet. In den Antragsrunden wurde mehr als 150 Projektskizzen eingereicht. Aus diesen wurden ca. 40 Projekte der Verbundforschung mit mehr als 100 Partnern mit einer Summe von ca. 50 Mio. € gefördert. Zusätzlich beteiligte sich die Industrie mit einer Summe von nahezu 30 Mio. € an diesen Vorhaben (Schladot und Straub 2006). Die geförderten Vorhaben reichen von der Substitution bestehender konventioneller industrieller Produktionsverfahren (z. B. bei Mono- und Polymeren in der Chemieindustrie) bis hin zur Entwicklung neuer Biokatalysatoren sowie neuer Wirkstoffe, Materialien und Produkte (z. B. Proteinwirkstoffe, Nukleinsäuren für die therapeutische Anwendung, Impfstoffe und Antibiotika; High-tech

Biomaterialien; Textilien und Lebensmittel mit neuen Eigenschaften). Bei der Aufschlüsselung nach thematischen Clustern zeigt sich ein hoher Anteil an Projekten in der Chemie mit 16 von insgesamt 39 Fördervorhaben. Daneben werden auch Projekte im Bereich der High-Tech-Biomaterialien (7 Vorhaben), Lebensmittel/ Zusatzstoffe (5) und Textil-/Leder-Veredlung (4) gefördert. Begleitend wurde ein Instrumentarium zur Bewertung von Verfahren und Produkten entwickelt, um KMU bei strategischen Entscheidungen bezüglich möglicher Änderungen ihrer Produktionsprozesse zu unterstützen (BMBF 2002).

Eine Fortsetzung bzw. ein Ausbau der Förderung der IWBT findet durch den Wettbewerb BioIndustrie 2021 im Rahmen der High-Tech-Strategie statt. Für das auf fünf Jahre angelegte Programm wird ein Fördervolumen von bis zu 60 Mio. € bereitgestellt. Hauptziele sind die Beschleunigung des Technologietransfers, die Mobilisierung von privaten FuE-Investitionen sowie der Ausbau der Exzellenz in Wirtschaft und Wissenschaft. Im Mittelpunkt steht die Anwendungsorientierung. In Anlehnung an dem Bio-Regio-Wettbewerb (1996-2002) wird dafür ein Wettbewerb von Clustern angestoßen. Dabei werden strategische Partnerschaften zwischen Wissenschaft und Wirtschaft unterstützt mit dem Ziel, Netzwerkstrukturen entlang der Wertschöpfungskette mit allen relevanten Akteuren (Forschungseinrichtungen, Hersteller- und Anwenderunternehmen sowie verbundene Institutionen u. a. aus dem Finanzwesen wie z. B. Banken und Wagniskapitalgeber) aufzubauen. Das Verfahren läuft dabei in 2 Stufen ab: In der 1. Stufe wird die Konzepterstellung von FuE-Clustern gefördert, in der 2. Stufe soll die Realisierung der besten Konzepte. Thematisch werden innerhalb des Programms keine expliziten Schwerpunkte vorgegeben. Stattdessen soll die thematische Ausgestaltung „bottom-up“ erfolgen (BMBF 2006).

Neben diesen expliziten Förderprogrammen für IWBT sind einige Förderungen aus dem Rahmenprogramm „Biotechnologie“ des BMBF für Akteure der IWBT sehr relevant. Die Initiativen GABI und Genomik zielen auf die Unterstützung von Plattformtechnologien ab. Bei der Initiative GABI (Genomanalyse im biologischen System Pflanze) wird die Pflanzengenomforschung unterstützt, d. h. insbesondere im Technologiefeld der Nachwachsenden Rohstoffe ergibt sich hier eine Relevanz für die IWBT. Das Forschungsprogramm Genomforschung an Mikroorganismen (GenoMik) dient der Erschließung der Vielfalt der Mikroorganismen und ihrer Eigenschaften. Ziele hierbei sind beispielsweise die Entdeckung von Eigenschaften von Mikroorganismen, die sich für technische Prozesse und Produkte (z. B. bei Lebensmittel) verwenden lassen. Dem Forschungsprogramm GenoMik folgt aktuell ein weiteres Fünf-Jahres-Programm des BMBF. Es werden hierbei zwanzig Einzelprojekte verschiedener Universitäten und Industriepartner in drei Forschungsverbänden unter dem Dach des Kompetenznetzwerks BiotechGenoMik in Göttingen gebündelt: GenMik-Plus, bestehend aus BacillOMik (Ge-

nomforschung an Bacillen), GenoMiK Engineering (Verbesserung von Produktionsorganismen) und MetaGenoMik (Nutzung von kultivierbaren und nicht-kultivierbaren Mikroorganismen und deren Biokatalysatoren und Stoffwechselwege, um neue Produkte und Produktionsprozesse zu entwickeln (Hollrichter 2007).

Zur Förderung der Kommerzialisierung der Biotechnologie dienen v. a. die Initiativen BioFuture, BioChance, GO-Bio. Hierbei werden Nachwuchswissenschaftler (BioFuture), risikoreiche Entwicklungen von jungen Biotechnologieunternehmen (BioChance) und Gründungen von Biotechnologieunternehmen aus Forschungsprojekten (Go-Bio) gefördert.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU):

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt fördert unternehmensübergreifend anwendbare Innovationen. Im Fokus steht dabei die Unterstützung von Projekten, an denen KMU beteiligt sind. Unter dem Schwerpunkt „Integrierte Biotechnologie“ werden bereits seit 1997 Kooperationsvorhaben zwischen Industrie und Hochschule auf dem Gebiet der industriellen, weißen Biotechnologie gefördert (Dechema 2004). Im Jahr 2002 wurde die Initiative „InnovationsCentrum Biokatalyse“ ins Leben gerufen. Ziel ist die Entwicklung nachhaltiger und innovativer Verfahren und Produkte mit den Schwerpunkten: Entwicklung von intelligenten Screeningsystemen, Nutzung effizienter Expressionssystemen, Verfahrensentwicklung innovativer Down-Stream-Prozesse, Produktions- und Wertstoffgewinnung. Die Fördermittel betragen insgesamt ca. 8 Mio. € (www.icbio.de).

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR):

Im Rahmen der Programme „Nachwachsende Rohstoffe“ und „Biokonversion nachwachsender Rohstoffe“ werden verschiedene Projekte mit Bezug zur IWBT gefördert. Aktuell werden 43 laufende Projekte im Bereich der stofflichen Biokonversion mit einem Volumen von ca. 8,3 Mio. € unterstützt (Paul 2006), dazu kommen noch 53 Projekte in der energetischen Nutzung (z. B. Bioethanol, Biogas) mit einem Fördervolumen von knapp 15 Mio. €. Die geförderten Projekte sind schwerpunktmäßig den Technologiefeldern/ Forschungsbereichen Rohstoffauswahl und -aufbereitung, Biokatalyse, Fermentationsprozess sowie Produkt- und Anwendungsentwicklung zuzuordnen.

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG):

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) fördert Programme und Projekte in der Grundlagenforschung. Eine Aufschlüsselung, in welchem Umfang die IWBT in diesem Rahmen gefördert wird, ist nicht möglich. Ein Beispiel für einen relevanten Themenkomplex ist der Sonderforschungsbereich 578 „Vom Gen zum Produkt“. Ziel ist es hier, Arbeitsmethoden der Natur- und Ingenieurwissenschaften so zu bündeln, dass Prozes-

se zur Herstellung von Proteinen in rekombinanten Mikroorganismen systematisch bearbeitet werden können (Hempel 2006).

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ (AiF):

Die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ (AiF) fördert speziell Projekte der angewandten Forschung aus kleinen und mittleren Unternehmen. Im Bereich der industriellen, weißen Biotechnologie wurden u. a. Projekte zur Optimierung der Aufarbeitung, der Mess-, Steuer- und Regeltechnik sowie der Produktion biotechnischer Produkte unterstützt (Dechema 2004).

5.3.1.2 Förderprogramme auf Landesebene

Neben diesen Aktivitäten auf Bundesebene existieren zahlreiche Förderaktivitäten in den verschiedenen Bundesländern, die grundsätzlich für Akteure der IWBT relevant sein können. Allerdings wurden Bundesländer-spezifische Programme von den Experten in den Interviews nur sehr vereinzelt als relevante Förderaktivitäten benannt. Viele der Förderungen auf Landesebene erfolgen institutionell (z. B. Bereitstellung von Risikokapital) und nicht projektbezogen. Eine Ausnahme bildet das Biotechnologie-Programm in Baden-Württemberg, bei denen besonders risikoreiche FuE-Projekte in KMU gefördert werden (www.bio-pro.de)

5.3.1.3 Kritische Würdigung

Im Rahmen dieses Projektes wurde insbesondere in den Experteninterviews aber auch in der schriftlichen Befragung hinterfragt, welche Bedeutung die öffentliche Projektförderung hat, wie die Qualität der existierenden Programme eingeschätzt wird und inwiefern die inhaltliche Abdeckung der einzelnen technologischen Bereichen eingeschätzt wird (vergleiche hierzu die Ergebnisse der schriftlichen Befragung in Kapitel 2.2.2.5)

Stellenwert/ Bedeutung der Forschungsförderung:

Die Bedeutung der öffentlichen Förderung für die Forschung in der IWBT wird von dem Rahmen in dieser Studie befragten Akteuren als insgesamt sehr hoch eingeschätzt. Die meisten Akteure haben bereits an Förderprogrammen teilgenommen und die oben beschriebenen nationalen Förderprogramme sind ihnen weitestgehend bekannt. Für eine kleine Minderzahl der Akteure spielt die öffentliche Forschungsförderung nur eine untergeordnete Rolle. Hier handelt es sich um entweder auf Auftragsforschung spezialisierte KMU oder um die großen internationalen Konzerne, für die die öffentlichen Gel-

der nur eine Zusatzfinanzierung darstellen. Sie beteiligen sich nur dann an Programmen, wenn die Forschungsfrage kompatibel zu ihrem unternehmerischen FuE-Portfolio ist.

Qualität der Förderprogramme/-instrumente:

Die Qualität der Förderprogramme wird analog zur schriftlichen Befragung von den meisten Experten insgesamt als durchschnittlich eingestuft. Die fördernden Institutionen werden dabei aktuell und zukünftig als sehr geeignet angesehen. Eine stärkere Rolle als bisher wird von der EU im Rahmen des 7. Rahmenprogramms und der DFG als Instrument in der Grundlagenforschung erhofft.

Bei der konkreten Vergabe von Forschungsprojekten werden hingegen Verbesserungsmöglichkeiten gesehen. Diese Kritikpunkte sind allerdings nicht IWBT-spezifisch, schließlich sind die meisten erwähnten Förderprogramme in der Regel nicht auf die IWBT fokussiert. Als häufigstes Hemmnis werden lange Bewilligungszeiten von Projekten gesehen, darunter leide die Aktualität der Forschungsprojekte. Daneben werden die Förderzeiträume teilweise als zu kurz empfunden, der Aufbau von Forschungsstrukturen und die Behandlung bestimmter Forschungsthemen gestalten sich unter diesen Bedingungen schwierig.

Ein Großteil der Experten spricht sich für eine weitere Verstärkung der Förderung der Verbundforschung von Industrie und Forschung aus. Eine Ausnahme bildet ein (eher kleiner) Teil der Forschungsinstitute/-lehrstühle. Die in den meisten Programmen obligatorisch vorgeschriebene Industriebeteiligung von 50 % ist für einige nur schwierig zu organisieren, hemmend wirkt hier die unterschiedliche Interessenslage (wissenschaftliche Reputation vs. marktfähiges Produkt).

Inhaltliche Abdeckung:

Die Abdeckung der Forschungsbereiche wird insgesamt als adäquat angesehen, auch wenn nicht in jedem Technologiebereich die öffentliche Förderung als gleich gut eingeschätzt wird (s. Abschnitt 2.2.2). Kritisiert wird die mangelnde Förderung der Verknüpfung von Teildisziplinen (z. B. von Biotechnologie und Chemie). Insgesamt spiegelt sich die Richtung der technologischen Trends auf Grund der thematischen Offenheit der Programme in der Forschungsförderung (auf Grund des „Bottom up“-Ansatzes) aber tendenziell wider. Einige Akteure bemängeln als Kehrseite eine mangelnde Marktorientierung. Insgesamt ist es schwierig eine Aussage darüber zu treffen, ob die Forschungsförderung in Deutschland (inklusive relevanter EU-Programme) zu stark an technologischen Grundlagen orientiert ist oder ob marktorientierte Probleme zu stark in den Fokus gestellt werden. Hier sind einzelfallspezifische Analysen zu einzelnen För-

derprojekten erforderlich. Die Ansichten der Experten fallen hier sehr aktorenspezifisch aus. Während viele Befragten aus der Industrie eine zu geringe Abstimmung der Programme auf ihre Bedürfnisse bemängelt, weisen die Vertreter der Wissenschaft/ Forschung auf die Vernachlässigung der Grundlagenforschung hin.

5.3.2 Internationale Förderaktivitäten

USA:

Die USA weisen seit einigen Jahren ein hohes Engagement auf dem Gebiet der öffentlichen Förderpolitik mit Bezug zur IWBT auf. Das National Biomass Coordination Office, das dem Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE) des U.S. Department of Energy (DOE) angegliedert ist und zusätzlich vom U.S. Department of Agriculture (USDA) personell mit ausgestattet wird, befasst sich mit allen Aspekten der Nutzung von Biomasse (Hüsing et al. 2003). Entsprechend der „Executive Order 13134: DEVELOPING AND PROMOTING BIOBASED PRODUCTS AND BIOENERGY“ vom August 1999 und dem „Biomass Research and Development Act of 2000“ sollen in der „Biomass Research and Development Initiative“ alle nationalen FuE-Maßnahmen zur Nutzung von Biomasse gebündelt und koordiniert werden (U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy 2002). Dafür wurden 40 Mio. € pro Jahr über einen Zeitraum von 5 Jahren für die Forschung und Entwicklung von Enzymen und Biomasse-Technologien bereitgestellt. Auf Basis der Farm Bill (2002) wird die IWBT mit 10 Mio. € pro Jahr über einen Zeitraum von 6 Jahren unterstützt. Insgesamt wurden z. B. für das Jahr 2001 für FuE-Arbeiten auf dem Gebiet „biobased products and bioenergy“ insgesamt 186 Mio. € bereitgestellt (DSM 2004).

Der Ansatz der USA ist stark auf die energetische Nutzung und die Optimierung des Einsatzes von nachwachsenden Rohstoffen ausgerichtet (Lorenz und Zinke 2005). Hierbei werden besonders führende Unternehmen in der Chemie- und Agroindustrie gefördert (EuropaBio 2005). Ein wesentliches Ziel liegt dabei in der Erschließung bisher wirtschaftlich nicht nutzbarer Lignocellulose-haltiger Rohstoffe. Die Produktion und der Einsatz von Enzym-Cocktails zur enzymatischen Hydrolyse der Lignocellulose zu fermentierbaren Zuckern soll in den wirtschaftlich konkurrenzfähigen Bereich gebracht werden. Die Kosten der Vorbehandlung der Lignocellulose für die Konversion in Bioethanol konnten bereits deutlich gesenkt werden und sind bereits versuchsweise in der Produktion (Dechema 2004).

Europa:

In der bisherigen Forschungsförderung durch die Europäische Union gab es bisher keine expliziten Programme für die IWBT. Diese werden aber in – allgemeiner gefass-

ten – Forschungsförderprogrammen mit abgedeckt. So wurden beispielsweise im 5. Rahmenprogramm (Laufzeit 1998 - 2002) Alternativen zu verschiedenen ökologisch problematischen Verfahren in der Textilverarbeitung entwickelt (z. B. in der Vorbehandlung von Cellulose-Fasern oder in der Veredlung von Wolle) und verschiedenste biokatalytische Verfahren (weiter)entwickelt, auch für die ökonomisch wettbewerbsfähige enantioselektive Synthese chiraler Produkte (Gaisser et al. 2002). Im Rahmen der Planungen für das 7. Rahmenprogramm (RP 7) nimmt die industrielle, weiße Biotechnologie eine bedeutendere Rolle ein. So werden beispielsweise die Technologiebereiche Biokatalyse und Screening von Mikroorganismen und Enzymen explizit erwähnt.

Neben den Rahmenförderprogrammen sind einige Initiativen und Technologieplattformen aktuell von hoher Relevanz für die IWBT:

- In der europäischen Technologieplattform Sustainable Chemistry (SusChem) bildet die IWBT eine von drei Teilbereichen. Mit diesem Instrument sollen alle relevanten Interessengruppen („Stakeholder“) zusammengebracht werden, um die zentralen ökonomischen, technischen und sozialen Fragestellungen dieser Technologie zu erörtern. Auf Basis eines „Vision Papers“ (SusChem 2005) und der „Strategic Research Agenda“ (SusChem 2006a) wurde bereits der Entwurf eines Implementation Action Plan vorgelegt, in dem unter anderem die FuE-Prioritäten für das 7. Forschungsrahmenprogramm der EU definiert werden (SusChem 2006b). Darauf aufbauend wurde auch ein nationaler Implementierungsplan für Deutschland erarbeitet (SusChem 2006c).
- Das ERA-NET IB ist eine gemeinschaftliche Initiative von 16 Einrichtungen aus 12 verschiedenen europäischen Ländern, die umfangreiche Forschungsprojekte im Bereich der IWBT finanzieren und/oder verwalten. Ziel des ERA-IB ist es, ein Netzwerk aufzubauen, das als Grundlage für eine lang dauernde Forschungsk Kooperation in der industriellen, weißen Biotechnologie auf europäischer Ebene dient.
- Daneben existieren weitere Initiativen wie z. B. die „Biofuels Technology Platform“ oder der „Biomass Action Plan“, die z. T. einen Bezug zur IWBT haben (Lindroos und Ferreira 2006).

Japan:

Japan gehört zu den „early adopters“ in der IWBT, die Fermentation im Lebensmittelbereich hat eine lange Tradition (EuropaBio 2004). Weit verbreitet ist der Einsatz von Enzymen in der Chemie- und Lebensmittelindustrie. Japan hat keinen starken agrarwirtschaftlichen Sektor, deshalb wird der Schwerpunkt dort voraussichtlich weniger im Bereich der Produktion von Bulkchemikalien oder Biokraftstoffen aus Biomasse liegen, sondern eher in Sektornischen (EuropaBio 2004). Dies spiegelt sich auch in den Forschungsaktivitäten wider. Zu den Schwerpunkten zählen beispielsweise das Design von Mikroorganismen, sowie das Screening und die Optimierung von Enzymen (IBTF

2004, Dechema 2004). Das bedeutendste Forschungsprogramm ist der „Biotechnologies Action Plan 2002“ mit 88 Basis-Forschungsprogrammen und 200 detaillierten Aktionsprogrammen. Das Ziel dabei ist, bis zum Jahr 2007 die Zahl der Forschungsmittel in Japan zu verdoppeln und die Anzahl der Forscher zu verdreifachen

Kritische Würdigung:

Die Förderprogramme in Europa, USA und Japan weisen einige Verschiedenheiten auf hinsichtlich des Fördervolumens, der Verfahren und den geförderten Forschungsbereichen. Diese Unterschiede sind in Verbindung mit den rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen sowie der unterschiedlichen Rohstoffbasis zu betrachten (Reiss et al. 2003). Im Folgenden sollen die Kernunterschiede dargestellt und mögliche Folgen diskutiert werden.

Zentrale Unterschiede bestehen bei der Höhe des Fördervolumens. Zwar ist hier kein exakter quantitativer Vergleich möglich, die aktive Forschungsförderung ist nach einstimmiger Meinung von Experten und Literatur in den USA deutlich höher als in der Europa (Dechema 2004, EuropaBio 2005). Insbesondere der frühere Start in den USA bei der aktiven Förderung kann Folgewirkungen für die Zukunft haben, zum Beispiel bei den „Intellectual Property Rights“. In der EU hingegen wurde auch im 6. Rahmenprogramm der Fokus auf Forschungsziele in der roten Biotechnologie gelegt (Dechema 2004, BACAS 2004).

Deutliche Unterschiede zeigen sich auch bei der strategischen Vorgehensweise, die sich anschließend in der Art der Projektvergabe widerspiegelt. In den USA und Japan wird vorrangig ein aus politischen Motiven initiiertes und zentral koordiniertes „Top-down“-Ansatz verfolgt. Dabei wird versucht, bestimmte Meilensteine, wie zum Beispiel die wirtschaftliche Nutzung lignocellulose-haltiger Rohstoffe in den USA, durch die Einbindung führender Industrieunternehmen und Wissenschaft zu erreichen (Lorenz und Zinke 2005). In Europa zeigt sich bisher ein stärkeres „Bottom-up“-Vorgehen. Die Initiativen sind stark von den Akteuren aus der Industrie und Wissenschaft getrieben und weniger von politisch-strategischen Motiven. Die Förderung erfolgt bisher nur teilweise zentral über die EU und verstärkt dezentral über nationale Programme. Diese sind in der Regel für mehrere Teilforschungsgebiete offen und haben häufig keine explizite Themenvorgabe.

Diese Einschätzung zur Fragmentierung der Forschungsförderung in Europa wird in den Experteninterviews bestätigt. Viele Akteure halten eine stärkere Bündelung bzw. Koordination der Forschungsförderung für notwendig, insbesondere bei langfristigen Zielen wie zum Beispiel der Aufbau von bioraffinerien zur Herstellung von Bulkchemikalien. Inhaltlich wird z. T. eine zu starke Fokussierung auf einzelne Ausschnitte der

relevanten Forschungsbereiche und eine Vernachlässigung von Gesamtkonzepten beklagt. Zudem wird eine Doppelförderung bzw. Doppelforschung innerhalb der europäischen Union vermutet, weil geringe Transparenz darüber bestehe, was anderswo geforscht und gefördert werde. Akteursübergreifende Initiativen wie z. B. SusChem werden demnach grundsätzlich positiv bewertet. Sie dienen zu einer stärkeren Vernetzung der Beteiligten und führen zu einer „Koordination über Köpfe“. Einschränkend ist hierbei aber zu beachten, dass sich in dieser Initiative vorrangig die Interessen der Chemieindustrie widerspiegeln. Die Multidisziplinarität dieser Technologien, mit möglichen Anwendungen auch zum Beispiel in der Lebensmittel- oder Textilindustrie, findet hierbei beispielsweise geringe Berücksichtigung (Lorenz und Zinke 2005).

Auf der anderen Seite sehen einige befragten Experten Vorteile der dezentralen Vorgehensweise in Europa. Insbesondere die größere Offenheit gegenüber den verwendeten Rohstoffen wird als positiv bewertet. Dies schaffe den Unternehmen eine höhere Flexibilität bezüglich der Rohstoffquelle und kann sich je nach technologischen Entwicklungen und Rahmenbedingungen in Zukunft als Vorteil erweisen.

5.3.3 Internationale Beispiele für IWBT-Programme

In den Experteninterviews sowie in der Literatur (vgl. Lorenz und Zinke 2005) werden häufig zwei Programme im internationalen Raum mit einem Schwerpunkt auf IWBT als „State-of-the-art“ hervorgehoben, das Kompetenzzentrum für Angewandte Biokatalyse Graz sowie Pro-Bio Faraday in Großbritannien. Diese Programme sollen deshalb im Folgenden charakterisiert und diskutiert werden.

Kompetenzzentrum für Angewandte Biokatalyse Graz

1998 startete das österreichische BMVIT Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie das Kplus Programm (www.ffg.at). Gefördert werden in diesem Programm der Aufbau von Kompetenzzentren als zeitlich befristete Forschungseinrichtungen, die in Kooperation zwischen Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft entwickelt werden (Edler et al. 2004). Im Jahr 2002 wurde als eines von 18 Einrichtungen das Kompetenzzentrum für Angewandte Biokatalyse in Graz gegründet. Die erste Förderzusage erfolgte zunächst für 4 Jahre und wurde nach der positiven Zwischen-evaluation im Juli 2006 um weitere 3 Jahre verlängert. Für diese erste Förderperiode von 4 Jahre stand ein Gesamtbudget von 17,5 Mio. € zur Verfügung, für 2006-2009 sind es ca. 15 Mio. €. Der Anteil der öffentlichen Finanzierung bei Kplus Zentren beträgt 60 %. Den Großteil der öffentlichen Finanzierung trägt mit 35 % des Gesamtaufwandes die FFG (Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH). Weitere 20 % an öffentlichen Mitteln werden von Bundesländern, Gemeinden, Interessensver-

tretungen (z. B. Kammern) sowie 5 % durch die beteiligten Forschungseinrichtungen getragen. 40 % der Mittel werden von den beteiligten Unternehmen aufgebracht. Aktuell sind 17 Unternehmen an diesem Zentrum beteiligt, neben österreichischen Unternehmen sind einige internationale Partner involviert. Analog zu den Kplus Kompetenzzentren wird dieses Zentrum als eigene Rechtspersönlichkeit und GmbH geführt. Unternehmen und wissenschaftliche Partner sind gemeinsam Träger des Zentrums und gestalten dessen Ausrichtung entweder als Eigentümer oder als Mitglied eines der zentralen Entscheidungsgremien (Board, Lenkungsausschuss) mit. Das Zentrum beschäftigt direkt 60 Personen, zusätzlich sind 40 Forscher und Angestellte nahe liegender Universitäten auf Teilzeitbasis beschäftigt.

Eine Besonderheit im Vergleich zu Clustern und Netzwerken liegt in einem ausgeprägten physischen Kern dieses Zentrums mit eigenen Anlagen und Laborräumlichkeiten. Der Ursprung dieses Kompetenzzentrum für Angewandte Biokatalyse liegt in der Wissenschaft. Aus biotechnologischen Forschungseinheiten der Universität Graz folgte 1993 die Gründung des Spezialforschungsbereichs Biokatalyse unter der Trägerschaft der Technischen Universität Graz. Mit dem Übergang dieses Forschungsbereichs in das Kompetenzzentrum wurde die stärkere Verbindung zur Angewandten Forschung erreicht. Die Forschungsarbeiten konzentrieren sich dabei auf einen sehr großen und breit angelegten strategischen Bereich mit acht grundlagenorientierten Einzelprojekten und drei darauf aufbauenden miteinander verknüpften Hauptforschungsgebieten: Biokatalytische Synthesen, Enzymentwicklung und Analytik sowie Enzymatische Kohlenhydratumwandlung. Evaluationen und Experten von beteiligten Unternehmen dieses Zentrums bescheinigen einen Brückenschlag zwischen dem wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Teilsystem und identifizieren hohe Synergien und Transfereffekte (Edler et al. 2004). Während die Forschung vorrangig auf lokaler Ebene stattfindet, können insbesondere die national und international tätigen Unternehmen zu einer schnellen Umsetzung und Verbreitung der Forschungsergebnisse beitragen. Zu beachten ist, dass bei allen Kplus-Zentren der Ausgang bewusst offen gelassen wurde. Damit bestehen Unsicherheiten, wie es nach Förderende mit diesen Zentren weitergeht⁶⁸, insbesondere die Eigentumsfrage dieses Zentrums muss neu geklärt werden (Edler et al. 2004).

Pro-Bio Faraday

Ähnliche Ziele wie die K-Plus Zentren verfolgt das vom englischen Ministerium für Handel und Industrie geförderte „Pro-Bio Faraday Partnership“. Durch eine Verstär-

⁶⁸ Das Kplus wird nicht explizit weitergeführt, sondern fließt in das Programm „Comet“ mit ein.

kung der Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie soll die Verbreitung der Biokatalyse in industrielle Prozesse unterstützt werden (www.pro-bio-faraday.com). Großbritannien sieht sich in diesem Technologiebereich als führender Anwender an und möchte diese Position mit dem Programm strategisch ausbauen (Gardner 2005). Die Wissenschaftsbasis bildet die Universität Manchester in Verbindung mit den Universitäten von Edingburgh, York und UCL. Darauf aufbauend sind die beiden „Technical Research Organisations“ C-Tech Innovation und BHR Solutions mit der Einbindung von geeigneten Industriepartnern und der technischen Umsetzung der wissenschaftlichen Erkenntnisse in den Anwenderindustrien betraut. Dies geschieht durch Auftragsforschung oder Kooperationen.

Für die Erreichung dieser Ziele sieht das „Pro-Bio Faraday Partnership“ begleitende Unterstützungsmaßnahmen vor. Dazu gehören unter anderem die finanzielle Förderung für Flaggschiffprojekten, die Erarbeitung von Technologie-Roadmaps zur Abstimmung von Forschungszielen sowie die Vernetzung der Partnerunternehmen durch Workshops und Weiterbildungsangebote.

Kritische Würdigung:

Mit den geschilderten Ansätzen stehen Großbritannien und Österreich nicht allein bezüglich ihres Ansatzes zur Förderung der IWBT. Ähnliche Maßnahmen sind die aktuelle Gründung des „Netherlands Institute of Industrial Biotechnology“ (NIIIB) in den Niederlanden, aber auch das Förderprogramm „BioIndustrie 21“ in Deutschland. Es kann nicht genau bestimmt werden, ob diese Ansätze generell sinnvoll für eine effiziente Förderung der IWBT sind, schließlich sind die konkreten Programmdesigns, als auch die Ausgangslagen und Problemstellungen unterschiedlich. Der folgende Abschnitt konzentriert sich deshalb auf die Fragestellung, welche Vor- und Nachteile diese stark räumlich bezogene Technologiepolitik im Bereich der IWBT hat. Zudem wird dargestellt, wie der Bedarf hierfür von den befragten Akteuren eingeschätzt wird.

Räumliche Konzentrationen von Universitäten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen, Unternehmen einer Branche oder verwandter Branchen und Intermediären (z. B. Finanzintermediäre), die in der Regel durch eine (vertikale) Wertschöpfungskette verbunden sind, werden als „Cluster“ bezeichnet. Auf Grund der räumlichen Konzentration können Agglomerationsvorteile angenommen werden, die vor allem in Form positiver externer Effekte wie Zugang zu spezialisiertem Human- und Finanzkapital, Vorleistungen und Informationsspillovern auftreten. Auch im Bereich der IWBT sind diese Clustervorteile denkbar. Aus den Experteninterviews zeigt sich insbesondere Handlungsbedarf bei folgenden Faktoren, die für eine räumliche Konzentration sprechen:

- Ein diversifizierter Humankapitalbedarf auf Grund der hohen Anzahl der unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen, die die Basis für dieses IWBT-Know-how bereitstellen (z. B. Chemie, Biochemie, Bioinformatik, Verfahrenstechnik),
- Eine Verbesserung des Wissens- und Technologietransfers zwischen den Forschungsdisziplinen und entlang der gesamten Wertschöpfungskette,
- Ein hoher Bedarf an Infrastruktur (z. B. Technikumsanlagen),
- Eine bessere Sichtbarkeit und Öffentlichkeitsdarstellung durch Bündelung.

Zu beachten ist, dass sich die Bedeutung einzelner Standort- und betrieblicher Leistungsfaktoren entlang der unterschiedlichen „Lebenszyklusphasen“ eines Clusters verändern können (u. a. BCG 2001). Häufig zeigt sich für Cluster meist folgende Entwicklung: Während in den Frühphasen einer Cluster(neu-)bildung („Set-up/Start-up“-Phase) eine exzellente Forschung an FuE-Instituten und Universitäten in der räumlichen Nähe sowie ein etablierter und gut funktionierender Wissens- und Technologietransfer sehr wichtig sind, gewinnen in den späteren Wachstums- und Reife-Phasen („Scale-up/Grown-up“-Phase) ausreichend Kapital (u. a. durch Finanzintermediäre bereitgestellt), eine gut ausgebaute Infrastruktur (z. B. Inkubatorflächen und Technologieparks, Verkehrsanbindung) sowie ausreichend gut qualifizierte Arbeitskräfte (z. B. Manager, promovierte Naturwissenschaftler, technisches Personal) stärker an Bedeutung.

Umstritten ist, inwiefern die Politik in der Lage ist, neue Cluster zu bilden, oder ob ein bereits existierender starker Wachstumskern (z. B. Top-Universitäten) für eine langfristig erfolgreiche Clusterbildung notwendig ist (Lietz 2005, Dohse 2005). Dafür sprechen Pfadabhängigkeiten bei Technologien und Standorten. Um sich langfristige Wettbewerbsvorteile zu sichern, kann es daher durchaus sinnvoll sein, frühzeitig regionale Cluster von Schlüsseltechnologien im eigenen Lande zu etablieren (Dohse 2005). In den Experteninterviews zeigten sich aber auch einige skeptische Meinungen über den Bedarf und den Erfolgchancen von Clusterförderungen. Dabei wurden folgende Gründe mehrfach genannt:

- Es existieren bereits ausreichende Kooperationsaktivitäten im Bereich der IWBT. Clusterbildung würde zu einer zu großen Anzahl an Partnern und Trittbrettfahrern führen. Stattdessen sollen bereits existierende Cluster und Kompetenzzentren intensiver gefördert werden.
- Ein hoher Zeit- und Kostenaufwand beim Aufbau neuer Cluster ist erforderlich. Statt neue Cluster aufzubauen, sollten bisherige Zentren stabilisiert werden.
- Für die Lösung technologischer Probleme muss die Kooperationssuche ausschließlich nach Kompetenz- und nicht nach Standortgesichtspunkten getroffen werden.

6 Handlungsempfehlungen zur langfristigen Stärkung der industriellen, weißen Biotechnologie in Deutschland

In den vorangegangenen Kapiteln wurde aus einer Innovationssystem-Perspektive der IWBT-Innovationsstandort Deutschland mittels geeigneter Innovationsindikatoren bewertet. An Hand von input-, prozess- und outputorientierter Kriterien wurden die Leistungskraft sowie die Innovationshemmnisse des IWBT-Innovationssystems untersucht. Dabei wurden die Leistungsstärke einzelner Teilsysteme und deren Akteure sowie das Zusammenspiel und die Vernetzung der Teilsysteme und Akteure analysiert. Hierbei wurden alle Stufen der IWBT-Wertschöpfungskette, d. h. von der Forschung und Entwicklung, über die Umsetzung in industrielle Produktionsprozesse und wettbewerbsfähige Produkte und Dienstleistungen bis zur Vermarktung untersucht. Anschließend wurden konsistente Szenarien entwickelt, auf deren Basis Beschäftigungseffekte berechnet wurden, die sowohl mit der Bereitstellung als auch mit der Anwendung von IWBT-Methoden, Prozessen, Produkten und Dienstleistungen verknüpft sind. Hierbei wurden auch die Beschäftigungseffekte in den vorgelagerten Zulieferersektoren untersucht. In welchem Umfang die Innovations- und Beschäftigungspotenziale der IWBT zukünftig genutzt werden können, hängt entscheidend von den innovationsfördernden und innovationshemmenden Faktoren ab. Diese wurden in Kapitel 4 ausführlich untersucht, sowohl für einzelne Wertschöpfungsstufen als auch für einzelne Branchen. Da die technologische Verfügbarkeit eine notwendige Voraussetzung für Ausschöpfung der wirtschaftlichen Potenziale ist, diese im Bereich der IWBT aber in einigen Technologiebereichen noch nicht gegeben ist, wurde in Kapitel 5 der derzeit noch existierende Forschungsbedarf ausführlich untersucht, differenziert nach Branchen und Technologie- bzw. Forschungsbereichen. Dabei wurde auch die bereits existierende Forschungsförderung im nationalen und internationalen Kontext analysiert.

Auf dieser Grundlage ergab sich eine „umfassende Landkarte“ der wichtigsten Innovations- und Beschäftigungspotenziale, innovationsfördernden und innovationshemmenden Standortfaktoren sowie der Handlungsfelder im Bereich der industriellen, weißen Biotechnologie in Deutschland.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden im Rahmen des Projektes Handlungsempfehlungen zur dauerhaften Stärkung des deutschen IWBT-Innovationssystems entwickelt. Forderungen der verschiedenen Akteure bezüglich der Gestaltung eines Innovationssystems sind häufig geprägt von subjektiven Einschätzungen und tagesaktuellen Entwicklungen. Um im Projekt „Potenzialanalyse der industriellen, weißen Biotechnologie“ Handlungsempfehlungen herauszuarbeiten, wurde daher ein umfassender quantitativer und qualitativer Quellen- und Methoden-Mix angewendet. Dieser umfasst eine schriftli-

che Befragung, über 60 Experteninterviews, einen Szenarioworkshop mit über 20 Experten sowie eine schriftliche Bewertung eines Maßnahmenkataloges von 25 Experten. Hierbei wurde auf eine ausgewogene Akteursstruktur aus Wirtschaft (u. a. Entwickler, Hersteller, Anwender unterschiedliche Branchen) und Wissenschaft (Grundlagen und angewandte Forschung) geachtet. Das Vorgehen war wie folgt: Zunächst wurden nationale und internationale Experten in den Interviews befragt, welche konkreten Maßnahmen sie entlang der einzelnen IWBT-Wertschöpfungsstufen für unbedingt erforderlich hielten, um den Standort Deutschland dauerhaft zu verbessern. Zudem wurden im Rahmen des Workshops Maßnahmen mit Bezug zu den einzelnen Teilsystemen des IWBT-Innovationssystems entwickelt. Anschließend wurde ein Maßnahmenkatalog Mitte 2006 an ca. 50 nationale IWBT-Experten versendet. Rund 25 Akteure aus Industrie und Wissenschaft haben diesen Maßnahmenkatalog hinsichtlich ihrer Wichtigkeit für die Industrie und die Wissenschaft sowie ihrer Dringlichkeit bewertet.

Diese zwei methodischen Wege (Experteninterviews sowie schriftliche Bewertung eines Maßnahmenkataloges) wurden im Rahmen des Projektes bewusst gewählt, um eine möglichst breite belastbare Basis für die Handlungsempfehlungen zu erhalten. Ergänzt wurde dieses Vorgehen in der abschließenden Phase des Projektes durch eine vertiefende Auswertung der einschlägigen Fachliteratur, und zwar zu den Themen bzw. Maßnahmenbereichen, bei denen sich durch die Experteninterviews sowie die schriftliche Bewertung des Maßnahmenkataloges besondere Schwerpunkte für zukünftige Maßnahmen bildeten (z. B. IWBT-Cluster/-Netzwerke).

Hieraus ergibt sich ein Gesamtbild, das die Bandbreite möglicher Handlungsempfehlungen aufzeigt. Die Ergebnisse werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt. Hierbei werden zunächst zu den einzelnen Handlungsfeldern immer die verdichteten Ergebnisse dargestellt. Abschließend werden jeweils zu jedem Handlungsfeld zusätzlich noch verschiedene einzelne Expertenmeinungen aufgeführt; diese sind als Zitate in „ “ gesetzt und kursiv markiert. Sie dienen dazu, ähnlich wie in Kapitel 2.1, die Befunde zu den Handlungsempfehlungen plastisch zu untermauern und zu einzelnen Aspekten die Bandbreite des Meinungsspektrums abzubilden.

Der in der vorliegenden Studie gewählte Ansatz der Innovationssystem-Analyse legt nahe, dass punktuell ansetzende Maßnahmen zu kurz greifen. Vielmehr erscheint es notwendig, alle relevanten angebots- und nachfrageseitigen Faktoren sowie deren Vernetzung entlang der gesamten IWBT-Wertschöpfungskette adäquat zu berücksichtigen. Bedingt durch den dem Forschungsdesign zu Grunde liegenden Innovationssystem-Ansatz sind diese Empfehlungen und Maßnahmen heterogen und erreichen unterschiedliche Detaillierungsgrade. Sie können jedoch erste Anhaltspunkte geben für die zukünftige Gestaltung des IWBT-Innovationsstandortes und damit dazu beitragen, ei-

nen konstruktiven Dialog der verschiedenen Akteursgruppen zu initiieren. Die Handlungsempfehlungen bzw. Maßnahmen zur dauerhaften Stärkung des IWBT-Standortes Deutschland lassen sich demnach wie folgt zusammenfassen.

1) Koordinierte IWBT-Innovationspolitik

Damit Politikinstrumente im Bereich der IWBT zum gewünschten Erfolg führen, sollte sich die Politik zukünftig stärker an nachfolgenden Erfolgskriterien orientieren. Diese „übergeordneten“ Kriterien sind öfters nicht IWBT-spezifisch, sondern auch auf andere Technikfelder übertragbar.

Die Ausführungen in den Kapiteln 2, 4 und 5 haben gezeigt, dass in einem IWBT-Innovationssystem verschiedene Politikbereiche Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Systems haben. Daher sollten die Politikinstrumente nicht punktuell, sondern entlang der gesamten IWBT-Wertschöpfungskette ansetzen; d. h. integrierte Ansätze, die Forschung, Entwicklung, Produktion, Vermarktung und Entsorgung umfassen, sollten zukünftig stärker Anwendung finden. Da die Rohstoffkosten einen zentralen Kostenblock in der IWBT-Wertschöpfungskette darstellen, sollten Politikmaßnahmen (z.B. im Bereich Agrarpolitik) so ausgerichtet sein, dass sie eine stabile Verfügbarkeit wichtiger Rohstoffe (z. B. Zucker als Fermentationsrohstoff) in ausreichender Qualität zu international gehandelten Weltmarktpreisen langfristig sichern.

Dies impliziert, dass die IWBT-Politikmaßnahmen zukünftig noch stärker verzahnt und regional/national, europaweit und zum Teil auch international besser aufeinander abgestimmt werden sollten, um so die Passfähigkeit zu erhöhen. Dies impliziert u. a. eine stärkere Verzahnung verschiedener Politikressorts (insb. BMBF, BMELV, BMWi, BMU) im Bereich der Technologie-/Forschungs-, Bildungs-, Wirtschafts- und Verbraucherpolitik. Die IWBT-Politikmaßnahmen sollten bewusst die bereits existierenden IWBT-Stärken (u. a. ingenieurwissenschaftliches Know-how in Verfahrenstechnik) weiter stärken und existierende Lücken (u. a. im Bereich Downstream Processing) beseitigen, was die Erhebung und regelmäßige Fortschreibung regionaler bzw. nationaler Kompetenz- und Technologieprofile und ihr Messen an internationalen Standards (IWBT-Benchmarking) voraussetzt.

FuE-Zyklen in der IWBT erfordern oft hohe Anfangsinvestitionen in den Aufbau einer unternehmensinternen Infrastruktur und der erforderlichen IWBT-Kompetenzen, die sich oftmals über mehrere Jahre vollziehen. Langfristige Verlässlichkeit und Vorhersehbarkeit der Rahmenbedingungen sind für Wissenschafts- und Industrieakteure in der IWBT daher essenziell. Entscheidend ist daher eine hohe Transparenz und Stabilität der rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen.

Dabei sollten bei der Festlegung von (langfristig orientierten) IWBT-Politikzielen, -prioritäten und -strategien alle relevanten Stakeholder (u.a. aus Wissenschaft und Industrie) frühzeitig eingebunden werden, um ein politisch verbindliches, mittelfristig orientiertes „IWBT-Leitkonzept“ zu entwickeln, das von allen IWBT-Akteuren gemeinsam getragen wird. Dieses Leitkonzept sollte nicht nur im nationalen, sondern auch im ausländischen Raum kommuniziert werden mit entsprechender Breitenwirkung, um Sichtbarkeit für in- und ausländische Investoren zu entfalten.

Der Erfolg der IWBT-Politikmaßnahmen sollte an ausgewählten (in einem diskursiven Prozess festgelegten) quantitativen Zielvorgaben gemessen werden. Ein Beispiel hierfür könnte die Festlegung von Werten zur Erreichung gesellschaftlicher und politischer Ziele sein, z. B. durch Einbindung der IWBT in die Klima- und Energiepolitik. Hierzu müssten realistische Ziele hinsichtlich des Beitrages der IWBT für diese gesellschaftliche Probleme formuliert werden (u. a. „Reduktion des CO₂-Ausstoß durch IWBT um X %“). Durch Evaluationen, Soll/Ist-Vergleiche und Identifizierung von Good-Practice-Beispielen können Lernprozesse angestoßen werden.

Bei den mit IWBT-Politikmaßnahmen verknüpften Verwaltungsprozessen sollten unnötige Prozessschritte beseitigt und erforderliche Prozessschritte besser verzahnt werden und sich stärker an den Kundenbedarfen der Wissenschafts- und Industrieakteure orientieren (z.B. einheitliche Umsetzung von Gesetzesvorschriften zu Produktionsanlagen in allen Bundesländern, Umsetzung der „One-Stop-Shop“-Idee zur Erhöhung der Serviceorientierung öffentlicher Institutionen). Zudem sollte bei öffentlichen Fördermaßnahmen der Prozess von der Antragstellung bis zum Projektbeginn beschleunigt werden (z. B. durch persönliche Vorstellung von Projektskizzen und Projekten durch Antragsteller und eine schnelle Bewilligung und Bereitstellung der Finanzmittel).

Die Einzelmeinungen verschiedener Experten im Bereich einer koordinierten IWBT-Innovationspolitik, die sich zum Teil auch in der einschlägigen Fachliteratur wiederfinden, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Konsistente und stabile politische und rechtliche Rahmenbedingungen und Vereinfachung bzw. Harmonisierung des regulatorischen Regelwerkes für mehr Transparenz (siehe hierzu auch u. a. EuropaBio 2006): z. B. „Vereinfachung der Gesetze schafft mehr Flexibilität bei den Mitarbeitern“, „Harmonisierung des EU- und des US-Systems bzw. Deregulierung des EU-Systems und deutliche Verbilligung, da zurzeit wegen Gebühren und Übersetzungskosten in der EU etwa vier mal so teurer ist als in den USA“, „Verkürzte Genehmigungsverfahren, z. B. beim Bau von GMP-Produktionsanlagen für die Herstellung von rekombinanten Wirkstoffen, sind erforderlich“.
- Verbesserung der gesetzlichen sowie der agrar- und finanzpolitischen Rahmenbedingungen (siehe hierzu auch u. a. BACAS 2004): z. B. „Wettbewerbsfähige

rechtliche, politische und steuerliche Rahmenbedingungen schaffen, damit Deutschland als Forschungs- und als Produktionsstandort nachhaltig gesichert werden kann“, „Zulassungen müssen schnell, kostengünstig und kalkulierbar sein“, „Sonderabschreibungsmöglichkeiten bei Investitionen“, „Die Genehmigungsverfahren z. B. beim Anlagenneubau müssen beschleunigt werden“, „Unterstützung zum Einsatz nachwachsender Rohstoffe (z. B. EEG, Biokraftstoffe)“, „Konkurrenzfähige Rohstoffpreise im deutschen Markt, vor allem landwirtschaftliche Rohstoffe zu Weltmarktpreisen“, „Gleichstellung mit internationalen Regularien und keine benachteiligende stärkere Regulierung in Deutschland“, „keine neuen Hemmnisse in Form von Gesetzen erzeugen“, „Druck nach alternativen IWBT-Produkten und -Prozessen erhöhen (z. B. durch Regulierung im Bereich Umweltschutz)“, „Positive Marktentwicklung wurde wesentlich getrieben durch das Verbot von Knochenmehl als kostengünstige P-Quelle“, „Wirklich neuartige Prozesse und Produkte in der IWBT erfordern große FuE-Investitionen und erhebliche Mittel für Anlagenneubauten. Für einzelne Firmen sind Investitionsvolumen und das (finanzielle) Risiko oft zu groß. Staatliche Anreize wie z. B. bei Bioethanol und Biodiesel, könnten IWBT-Anfangsinvestitionen anstoßen. Es sollte mindestens eine Gleichbehandlung von energetischer und stofflicher Nutzung von Biomasse in Bezug auf politisches Commitment und Anreize/Subventionen geben“, „Das Preisniveau für Agrarrohstoffe sollte in Europa wie in Konkurrenzländern sein“, „Vereinfachung und Vereinheitlichung von Genehmigungsverfahren“.

- Förderpolitik verbessern (siehe hierzu auch u. a. EuropaBio 2006, Lindroos und Ferreira 2006): z. B. „Langfristig orientierte und ressortübergreifende Förderung von exzellenten Projekten“, „Besser abgestimmte Förderpolitik mit verbesserten Rahmenbedingungen“, „Forschungsförderung ausweiten, um international dauerhaft mithalten zu können“, „Ankündigungen zu hohen Investitionen in FuE (Lissabon-Strategie) und starkes Commitment der nationalen Regierungen zu Wissensgesellschaft müssen auch eingelöst werden“, „Fördermittel steigern, damit auch kostspieligere Geräte angeschafft werden können“, „Verringerung des Bürokratismus bei EU-Forschungsprojekten und Beschleunigung der Entscheidungsprozesse, ob ein Projekt gefördert wird“, „nicht immer nur Forschungsprojekte mit Industriebeteiligung fördern, oder zumindest die Einbindung von Unternehmen deutlich erleichtern“, „Aufwand für Antragstellung verringern, z. B. durch Harmonisierung der formalen Anforderungen zwischen verschiedenen Fördereinrichtungen“, „manchmal zu rigide Förderbedingungen wie z. B. KMU-Beteiligung war gefordert, aber der Industriepartner war kein KMU“, „bei öffentlichen Projekten mit Industriebeteiligung ist es oft eine ungünstige Förderbedingung, wenn die Unternehmen echtes Geld einbringen müssen. Man kann sie oft viel leichter für eine Beteiligung gewinnen, wenn sie ihren Eigenanteil (nachweislich) in Naturalien einbringen können (sie also z. B. „eine Flasche Chemikalien oder Rohstoffe aus dem Schrank holen müssen“)“, „effizientere und schnellere Entscheidungsverfahren von Antragstellung bis Projektbeginn sind erforderlich.“

- IWBT-Implementierung als langjährigen graduellen Veränderungsprozess verstehen: z. B. „IWBT ist nur ein Teil des Umstellungsprozesses zu einer „biobased economy“, Fortschritte bei IWBT alleine reichen nicht aus. Auch die petrochemische Industrie hat Jahrzehnte gebraucht, bis die Infrastruktur aufgebaut, die Prozesse voll entwickelt, integriert und optimiert und die Prozesse miteinander verbunden waren“.

2) Technologische Wissensbasis:

Zukünftige technologische Herausforderungen und konkreter Forschungsbedarf

Obwohl bereits zahlreiche wissenschaftlich-technologische Durchbrüche erzielt und Methoden entwickelt wurden, die die Voraussetzungen für den Einsatz biotechnischer Verfahren in der industriellen Produktion entscheidend verbessert haben, müssen diese Methoden und Verfahren auch zukünftig konsequent weiterentwickelt und für eine breite Anwendung in der industriellen Praxis angepasst werden. Die technologischen Herausforderungen sowie der sich daraus abgeleitete Forschungsbedarf wurden bereits in Kapitel 5 ausführlich beschrieben.

Technologische Wissensbasis: Strategie, FuE-Dynamik und Interdisziplinarität

IWBT-Strategie: Die schnelle Entwicklung und Umsetzung einer nationalen IWBT-Strategie (inkl. „Deutschland-Roadmap“), die Teilstrategien für einzelne IWBT-Technikfelder und IWBT-Anwenderbranchen enthält, sollte vorangetrieben werden. Hierbei sind Fragen zu klären wie z.B. Soll man bei der Rohstoffbasis wie in den USA stark auf Lignocellulose setzen oder eher auf eine breite Rohstoffbasis? In welchem Umfang soll man die Aktivitäten im Bereich Downstream Processing oder Bioraffineriekonzepte forcieren? Wie kann man die Ingenieurwissenschaften stärker in der IWBT-(Grundlagen)Forschung verankern (z.B. bei der DFG)? Welche interdisziplinären Ausbildungsinhalte (insb. Biochemie, Bioverfahrenstechnik, Bioinformatik, Biophysik, Bioprozesstechnik) sollten in welcher Weise gestärkt werden? Zur Klärung solcher Fragen sollten im Rahmen von Top-down- und Bottom-up-Prozessen alle relevanten IWBT-Innovationsakteure involviert werden. Die IWBT-Roadmaps und -Umsetzungspläne sollten Zielwerte zu wichtigen Parametern vorgeben (z.B. Kostenreduktionsvorgaben, Preisobergrenzen, Meilensteinen bzgl. der Umsetzung), so dass bei Abweichungen steuernd eingegriffen werden kann.

Auf Basis dieser Strategien und Roadmaps sollten dann für Deutschland bestimmte thematische/methodische FuE-Schwerpunkte in aussichtsreichen IWBT-Anwendungsfeldern identifiziert und nationale FuE-Strategien und Förderkonzepte erarbeitet werden. Die Förderung sollten zwischen den beteiligten Ministerien (BMBF, BMELV, BMU) und deren Projektträgern abgestimmt und gebündelt werden, wobei ein Abgleich mit internationalen Aktivitäten (z.B. EU-weite FuE-Programme, Technologieplattformen wie

SusChem) erfolgen sollte, um die nationalen und europäischen Ressourcen zu bündeln und Synergien auszuschöpfen. Im Zuge dieses Prozesses sollten bestehende Kompetenzüberschneidungen von Ministerien und Projektträgern beseitigt werden. Durch die Fokussierung sollte eine „kritische Masse“ aus Grundlagenforschung, angewandter Forschung und Industrieforschung zu ausgewählten IWBT-Themen erreicht werden.

Des Weiteren sollte eine Stärkung der angewandten Forschung erfolgen. Dies impliziert u. a., dass sich zukünftig mehr Wissenschaftler in der Hochschulforschung bzw. in öffentlichen Forschungseinrichtungen mit industrierelevanten IWBT-Fragestellungen beschäftigen. Hierbei sollten u. a. nicht so öffentlichkeitswirksame Themen bzw. „wenig attraktive“ Teilgebiete (z. B. industrielle Bioverfahrenstechnik, Downstream Processing), die für die weitere Entwicklung der industriellen, weißen Biotechnologie von großer Bedeutung sind, stärker als bislang gefördert werden. Beispielsweise könnte durch mehr Projektförderung in diesen Bereichen der wissenschaftliche Nachwuchs für diese Themen begeistert werden. Auch sollte die bereits existierende Vernetzung der öffentlichen Forschungslandschaft mit der Industrie weiter gestärkt werden (z. B. temporärer Seitenwechsel von Wissenschaftlern und industriellen Forschern aktiver fördern). Zudem kann die Wissenschaft und Industrie bereits ex ante stärker als bislang bei der Entwicklung und Ausgestaltung des Designs geeigneter Förderprogramme integriert werden, um so die Effektivität und Umsetzungseffizienz öffentlicher Förderprogramme zu erhöhen. Allerdings sollte die Stärkung der Anwendungsorientierung nicht zu Lasten der Grundlagenforschung gehen, da es im Bereich der IWBT noch einige grundlegende technologische Probleme aus dem Weg zu räumen gilt.

FuE-Dynamik: Aufgrund der hohen FuE-Dynamik in vielen etablierten und aufstrebenden Konkurrenzländern ist die Intensivierung der FuE-Aktivitäten, auch im Bereich der IWBT, in Deutschland wichtig, um die inländische Leistungskraft der FuE zu stärken und bestehende technologische Wettbewerbsvorteile zu erhalten bzw. auszubauen. Hierbei sollten u. a. öffentliche IWBT-Fördermittel für die Realisierung risikobehafteter Demonstrations-/ (Pilot-) Projekte mit „Leuchtturmcharakter“ bereitgestellt werden (z. B. neuartige Reaktordesigns, Bioraffinerien, Gründung von Kompetenzzentren wie in Graz und Manchester, Herstellung Bioethanol aus Lignocellulose, Verwendung ganzer Pflanzen zur Fermentation). Diese Leuchtturmprojekte sollten unter Beteiligung von Universitäten, öffentlichen außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie Industrie (wenn möglich und sinnvoll auch mit KMU-Beteiligung) durchgeführt werden.

Im Kontext der Finanzierungsfragen sollte auch die Sicherstellung der Finanzierung besonderer IWBT-spezifischer Kosten gewährleistet sein, u. a. zur Finanzierung von neuen Apparaten und Biochemikalien (oft der teuerste Sachmittelposten). Um die „bes-

ten Köpfe“ an deutschen Universitäten oder FuE-Einrichtungen zu halten, ist zudem eine Flexibilisierung des öffentlichen Arbeits- und Dienstrechtes sinnvoll. Flexiblere Arbeitsverträge mit einer angemessenen und attraktiven Bezahlung sind hierbei ein wichtiger Bestandteil, auch um den erforderlichen Mittelbau an Universitäten in den IWB-relevanten Bereichen zu stärken.

Interdisziplinarität: Hier sollte u.a. durch eine gezielte Förderung interdisziplinärer Forschungsprojekte die Interdisziplinarität gestärkt werden (z. B. Verknüpfung von Biotechnologie und Chemie, Vernetzung von Biologen, Biotechnologen und Verfahrenstechnikern, Naturstoffchemikern und organischen Chemikern, Stärkung mathematischer Prozessanalysen, Integration von Ingenieurwissenschaften wie z. B. Maschinenbau, Regeltechnik). Auch eine stärkere Interdisziplinarität der Ausbildungsgänge (u. a. Vermittlung von fundierten Grundkenntnissen über biotechnische Methoden in den Ausbildungsgängen innerhalb der Anwenderdisziplinen wie z. B. Lebensmitteltechnologie, Maschinenbau, technische Chemie) sollte gefördert werden. Dabei darf jedoch das Grundlagen-/Basiswissen „nicht vernachlässigt werden und der Interdisziplinarität zum Opfer fallen“, denn in der industriellen Praxis werden auch ausreichend Spezialisten benötigt. In diesem Kontext sollte stärker als bislang eine Anpassung in der Hochschulstruktur erfolgen, um z. B. eine bessere Verzahnung von biologischer Forschung (Naturwissenschaften) und Verfahrens- und Prozesstechnik (Ingenieurwissenschaften) zu erreichen (u. a. durch eigene Studiengänge wie z. B. Bioverfahrenstechniker oder durch eine stärkere Modularisierung von Ausbildungsinhalten und bessere Anrechenbarkeit von interdisziplinären Studienleistungen).

Die Einzelmeinungen verschiedener Experten im Bereich der technologischen Wissensbasis, die sich zum Teil auch in der einschlägigen Fachliteratur wiederfinden, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Zusammenführung der zersplitterten Forschungslandschaft und Transparenz der Forschungsaktivitäten erhöhen (siehe hierzu auch u. a. BACAS 2004, EuropaBio 2005, Lindroos und Ferreira 2006): z. B. *„Nationales Institut für industrielle, weiße Biotechnologie“*, *„bessere Vernetzung der Technologiefelder“*, *„Gründung einer Deutschen Plattform Industrielle, weiße Biotechnologie: Koordinierung, Bündelung und Weiterentwicklung aller Interessen und Aktivitäten gegenüber politischen Entscheidern in Deutschland. Zusammenführen der Vertretung deutscher Interessen gegenüber EU-Kommission und der EU-Technologieplattform für eine Nachhaltige Chemie“*, *„Europa braucht eine einheitliche, allgemein anerkannte Vision für eine „biobased sustainable economy“ und eine entsprechende Roadmap, um die Vision zu realisieren, und dann auch die politische Durchsetzungsmacht, um dies umzusetzen“*, *„Eine Agenda bzw. Strategie wäre wichtig, um die Aktivitäten der Industrie, die von der Industrie selbst initiiert würden (u. a. auf Grund steigender Ölpreise, Steuererleichterungen/Anreize), zu fokussieren, zu bündeln und Synergien freizu-*

setzen, die jeder alleine nicht erreichen kann („Together we can make it, each one alone will lose!“), „IWBT fällt in den Zuständigkeitsbereich von vielen verschiedenen Ministerien (insb. Forschung, Wirtschaft, Landwirtschaft, Umwelt), von denen z. T. jedes eine eigene Politik betreibt. Es gibt keine Abstimmung, keine gemeinsame Strategie. Deshalb wird z. T. parallel dasselbe gemacht (z. B. Roadmaps), oder es werden Maßnahmen implementiert, die nur aus der Logik eines einzelnen Ministeriums heraus Sinn machen, im Gesamtbild aber unpassend sind. Deshalb ist eine einheitliche Strategie und ein abgestimmtes Vorgehen dringend erforderlich!“, „Erarbeitung einer Roadmap, die Zielwerte zu entscheidenden Parametern vorgibt, so dass dann auf Ebene von FuE steuernd eingegriffen werden kann. Zielwerte beispielsweise für Preise (z. B. für 10 wichtige chemische Produkte Kosten um Faktor 3 senken), Produktivität, Downstream Processing. Vorbild sind Zielwerte, die in den USA für die Entwicklung von Verfahren zur Bereitstellung von fermentierbaren Zuckern aus Lignocellulose vorgegeben wurden, so z. B. Kosten für Enzyme bzw. Aufschlussverfahren um Faktor 10 zu verringern“, „Informationen zu FuE-Möglichkeiten für die Wirtschaft, weil z. B. ist oft nicht klar, wer auf welchem Gebiet gerade kompetent arbeitet und Forschungsergebnisse werden oft nicht in verwertbarer Form bekannt gegeben bzw. sind nicht verfügbar.“

- Fokussierung auf Schwerpunktthemen und Förderung von Exzellenznetzwerken (siehe hierzu auch u. a. BACAS 2004, Lorenz und Zinke 2005, Europabio 2005, SusChem 2005a): z. B. „fokussierte Themen voranbringen“, z. B. „Enzymologie und biochemische Katalyse gezielter und langfristig unterstützen“, „Ausbau Forschung im Bereich Enzymscreening and -design“, „Förderung hochwertiger Projekte mit hohem wirtschaftlichem Nutzen“, „Mehr Anwendungsbezug ist erforderlich bzw. mehr gezielte Fragestellungen aus der Industrie in die Forschung integrieren“, „Stärkere, gezielte Förderung der angewandten Forschung sowie von Start-ups im Bereich der IWBT“, „Systembiologie gewinnt an Bedeutung“, „Stärkere internationale Abstimmung und Arbeitsteilung, dabei zunächst (nationale) Stärken identifizieren und gezielt klotzen, d. h. durch fokussierte Investitionen einen Wettbewerbs- und Zeitvorsprung gegenüber Wettbewerbern erzielen“, „Mittel- bis langfristig Erschließung von Lignocellulose als Rohstoffbasis in Europa, andernfalls wird Nutzung von Zuckerrohr in Südamerika für die Produktion verstärkt, was zu Abwanderungsprozessen führen kann“, „Förderung der Technologieentwicklung mit der neuen Rohstoffbasis Biomasse“, „Verstärkte Förderung von Downstream Processing sinnvoll“.

Hinsichtlich der Fokussierung wurde von einzelnen Experten betont, dass nicht nur an anwendungsnahen Themen mit Industrierelevanz geforscht werden dürfe („Entwicklung muss z. T. gefördert werden, auch wenn der unmittelbare Nutzen nicht erkennbar ist“). Es sollte bei aller Industrierelevanz zu keiner Vernachlässigung der Grundlagenforschung kommen, da hier die Basis für spätere anwendungsnahe FuE-Projekte. Ohne eine starke „weniger anwendungsnahe“ Forschung wird irgendwann mit etlichen Jahren Zeitverzögerung die Pipeline für anwendungsnahe FuE-Projekte nicht mehr befüllt sein.

- Förderpolitik verbessern (siehe hierzu auch u. a. EuropaBio 2006, Lindroos und Ferreira 2006): z. B. „Langfristig orientierte und ressortübergreifende Förderung von exzellenten Projekten“, „Besser abgestimmte Förderpolitik mit verbesserten Rahmenbedingungen“, „Forschungsförderung ausweiten, um international dauerhaft mithalten zu können“, „Ankündigungen zu hohen Investitionen in FuE (Lissabon-Strategie) und starkes Commitment der nationalen Regierungen zu Wissensgesellschaft müssen auch eingelöst werden“, „Fördermittel steigern, damit auch kostspieligere Geräte angeschafft werden können“, „Verringerung des Bürokratismus bei EU-Forschungsprojekten und Beschleunigung der Entscheidungsprozesse, ob ein Projekt gefördert wird“, „nicht immer nur Forschungsprojekte mit Industriebeteiligung fördern, oder zumindest die Einbindung von Unternehmen deutlich erleichtern“, „Aufwand für Antragstellung verringern, z. B. durch Harmonisierung der formalen Anforderungen zwischen verschiedenen Fördereinrichtungen“, „manchmal zu rigide Förderbedingungen wie z. B. KMU-Beteiligung war gefordert, aber der Industriepartner war kein KMU“, „bei öffentlichen Projekten mit Industriebeteiligung ist es oft eine ungünstige Förderbedingung, wenn die Unternehmen echtes Geld einbringen müssen. Man kann sie oft viel leichter für eine Beteiligung gewinnen, wenn sie ihren Eigenanteil (nachweislich) in Naturalien einbringen können (sie also z. B. „eine Flasche Chemikalien oder Rohstoffe aus dem Schrank holen müssen“)“, „Verbesserung des Investitionsklimas und VC-Markt für Biotechnologie-Start-ups“, „effizientere und schnellere Entscheidungsverfahren von Antragstellung bis Projektbeginn sind erforderlich.“
- Ausbildung stärken und verbessern und wissenschaftlichen Nachwuchs sichern (siehe hierzu auch u. a. Dechema 2004 und 2005): z. B. „solide Ausbildung in verschiedenen Technologiefeldern und nicht nur in Molekularbiologie“, „Verknüpfung Biotechnologie und Chemie“, „Stärkere Integration der Biotechnologie“, „Erhöhung der Studentenzahlen bei Natur- und Ingenieurwissenschaften, um qualitativ und quantitativ den wissenschaftlichen Nachwuchs sicherzustellen“, „Attraktivere Arbeitsplätze (inkl. Tarifsysteem) für den wissenschaftlichen Nachwuchs“, „Mehr und attraktivere Beschäftigungsmöglichkeiten für den wissenschaftlichen Mittel- und Unterbau an Hochschulen und Großforschungseinrichtungen“, „der akademische Mittelbau, der u. a. für die Ausbildung der Diplomanden und Doktoranden zuständig ist und dort für Kontinuität sorgt, stärken; da durch Hochschulrahmengesetz Wissenschaftler nach 12 Jahren Forschung keine Perspektive mehr haben (Berufsverbot)“, „Ausbildung und Weiterbildung im IWBT-Bereich muss bezahlbar bleiben“, „Anpassung in der Hochschulstruktur (Lehrstühle) erforderlich, um bessere Verzahnung von biologischer Forschung/Naturwissenschaften und Verfahrens- und Prozesstechnik (Ingenieure) hinzubekommen“, „Die derzeit schlechte Ausstattung der Universitäten muss verbessert werden“, „Hohes Ausbildungsniveau bei Studenten beibehalten, was derzeit aber gefährdet ist“, „IWBT steht deutlich hinter der roten Biotechnologie zurück und hat wenig Attraktivität für junge Studenten.“, „Know-how weiter stärken in den Bereichen Verfahrens-, Mess- und Regeltechnik.“, „Auch die Weiterbildung des Personals in der Wirtschaft ist erforderlich, um neue IWBT-Technologien und -Prozesse anwenden zu können“, „Die Ausbildung des techni-

schen Personals (u. a. Laboranten, Betriebsfacharbeiter) muss um Inhalte aus dem Bereich der IWBT erweitert werden“, „gute (interdisziplinäre) Ausbildung des Marketing- und Vertriebs-Personals ist wichtig.“

3) Wissens- und Technologietransfer

Gerade für die IWBT-Unternehmen ist eine starke Nähe zur Wissensbasis von Vorteil. Eine effiziente Ausgestaltung des Wissens- und Technologietransfers und ein effizienter Wissensfluss zwischen Wissenschaft und Wirtschaft sind daher für die IWBT von zentraler Bedeutung. Die Handlungsempfehlungen, die im Folgenden dargestellt werden, setzen vor allem an der Effizienz der Transferinfrastrukturen, der Personalmobilität und Gründungsdynamik an. Die im Rahmen der Studie identifizierten Transferhemmnisse sind oftmals nicht nur IWBT-spezifisch, sondern stellen meist eher generelle Probleme in Deutschland dar, die auch für andere Technikfelder gelten. Daher sind die Handlungsempfehlungen eher „genereller“ Natur.

Transferinfrastrukturen: Um die Effizienz und Wirksamkeit von Transferinfrastrukturen weiter zu steigern, sollten die im IWBT-Bereich aktiven wissenschaftsnahen, wirtschaftsnahen und eigenständigen Transferstellen sich zukünftig stärker als bislang an ihren Kernkompetenzen ausrichten und stärker spezialisieren. Dies impliziert einerseits eine Fokussierung auf eine Promotor-Funktion (z.B. Aufbau und Pflege von Kontakten). Andererseits sollten sich Intermediäre in ihrer Funktion als Supporter auf den administrativen Bereich (z.B. Unterstützung bei Vertragsabschlüssen), die auf den Transfer ausgerichtete PR-Arbeit (z.B. themen- und zielgruppengerechte Aufbereitung von Informationen, Medienpräsenz) fokussieren und Anlaufstelle bei technologietransferspezifischen Fragen zu IWBT-Förderprogrammen sein. Darüber hinaus sollte es spezialisierte Einrichtungen geben, die IWBT-Beratungsleistungen anbieten, die in der Breite nicht vorzuhaltende Spezialkenntnisse erfordern. Hierzu zählen z.B. Beratungsleistungen zu Patentschutz, technologischen Problemen, Qualifizierungsmaßnahmen. Im Zuge dieser zunehmenden Spezialisierung ist eine einrichtungsübergreifende Konzentration von Ressourcen anzustreben (z.B. IWBT-Transferstelle für mehrere FuE-Einrichtungen und Universitäten). Auch sollten sich einzelne IWBT-Transfer- und Verwertungseinrichtungen stärker vernetzen und Transferaktivitäten besser bündeln, und zwar unter regionalen (u. a. zum schnelleren und direkten Kontaktaufbau zwischen regionalen Innovationsakteuren und gemeinsamen Durchführung von Kontaktforen) und technologiespezifischen (u.a. für bundesweiten Zugriff auf technologiespezifische Unterstützungsangebote/Expertise anderer Intermediäre) Gesichtspunkten. Anzustreben wäre dabei, dass die IWBT-Akteure jeweils nur eine IWBT-Transferstelle als Anlaufstelle haben, diese Transferstelle sich dann über ihr Transfernetzwerk die erforder-

lichen Informationen einholt, und dadurch den IWBT-Akteuren einen „umfassenden Service aus einer Hand anbieten können“.

Ein wesentlicher Faktor für den Transfererfolg ist die technische und betriebswirtschaftliche Qualifikation der Mitarbeiter in Transferstellen, ihre Persönlichkeit sowie ihre Praxiserfahrungen und die persönlichen Kontakte. Für die Arbeit mit Wissenschaftlern und Unternehmern sind zudem „Soft Skills“ wie Kontaktfähigkeit, Verhandlungsgeschick, Moderations- und Präsentationserfahrung wichtig. In der Praxis dienen Transferstellen, so Expertenmeinungen, jedoch „oftmals als personelles Auffangbecken“. Dies trägt oft mit zur niedrigen Akzeptanz der Transferstellen in den Hochschulen bei. Eine Weiterqualifizierung der Transfermitarbeiter (u.a. Aufbau bzw. Aktualisierung notwendiger technischer und betriebswirtschaftlicher Kenntnisse) sowie die Rekrutierung erfahrener Experten sind daher erforderlich. Hierzu bietet es sich an, das Dienstrecht flexibler zu gestalten, um ausgewiesene erfahrene Experten rekrutieren zu können. Hierzu zählen z.B. eine leistungsorientierte Bezahlung⁶⁹ (z.B. Koppelung von Gehaltsbestandteilen an Verwertungserfolg) sowie die Erleichterung des Wechsels zwischen Hochschule und Unternehmenssektor (u.a. Mitnahme von Rentenansprüchen). Zudem ist zu erwägen, Transferstellen als eigenständige Stabsstellen direkt unterhalb der Leitung zu verankern, um dem Transfer einen höheren Stellenwert innerhalb der wissenschaftlichen Einrichtung beizumessen. Weiterhin ist für eine adäquate Ausstattung der Transferstellen mit Sachmitteln zu sorgen.

Personalmobilität: Die derzeit bestehenden Hürden des Personalaustauschs auf Zeit (z.B. hohe Transaktionskosten, administrative Hürden, unklare Auswirkungen auf die Karriere oder Unsicherheiten in Bezug auf die soziale Sicherung), die einen zeitlich befristeten Personalaustausch zwischen öffentlichen FuE-Einrichtungen sowie öffentlichen und industriellen Akteuren behindern, sollten konsequent abgebaut werden. Hierzu sollten vor allem administrative Hürden schnell abgebaut werden (z. B. durch Standardverträge, Mitnahme von Rentenansprüchen). Der temporäre Seitenwechsel sollte bei allen IWBT-Innovationsakteuren stärker als bislang aktiv gefördert werden. In der Industrie z.B. gibt es erfolgreiche Modelle, wo die Erfinder innerhalb eines Konzerns (zeitweise) mit ihrer erfolgversprechenden Idee in die Organisationseinheit wechseln, in der die Idee bis zur Serienreife weiterentwickelt wird. Gleiches wäre z.B. auch denkbar zwischen Wissenschaft und Wirtschaft (vgl. hierzu nachfolgend die Ausführungen zum Science-to-Business-Ansatz).

⁶⁹ Hierbei sollte im Dialog mit bestehenden Transfereinrichtungen Kriterien für die Leistungsbewertung von Technologietransferstellen entwickelt werden.

Gründungsdynamik: Wenn neugegründete junge Technologieunternehmen scheitern, dann meist aufgrund unzureichender kaufmännischer Kenntnisse und Strategiekompetenz im Gründerteam, einer zu geringen Eigenkapitalausstattung, einer falschen Einschätzung des Finanzbedarfs, einer fehlenden Einbindung in Netzwerke oder einer falschen Beratung durch das Unterstützungsnetzwerk. Deshalb sollten die Handlungsoptionen im Gründungskontext hier ansetzen.

Bei der öffentlichen IWBT-Förderung sollte ein externes Gutachtergremium (aus Wissenschaft und Industrie) Businesspläne hinsichtlich der Markt- und Wettbewerbsfähigkeit des Geschäftsmodells (z.B. marktfähiges Alleinstellungsmerkmal) kritisch prüfen.⁷⁰ Auch persönliche Gespräche zwischen Förderadministration, Gutachtergremium und Gründerteam sind hilfreich. Zudem sollten unerfahrene IWBT-Gründer durch erfahrene Experten bei der Entwicklung von Unternehmenskonzepten und Strategien (z. B. FuE-, Marketing- und Vertriebsstrategien), zumindest in den Startphasen, gecoacht werden. Konkrete Maßnahmen zur bedarfsgerechten Qualifizierung von Gründern (u.a. Einsatz neuerer Finanzierungs- und Risikoinstrumente, Durchführung internationaler Marktanalysen oder Netzwerkmanagement) sollten ebenfalls gefördert werden.

Im privatwirtschaftlichen Bereich können integrative Science-to-Business-Ansätze (S2B), wie z. B. in der IWBT derzeit von Degussa praktiziert, zukünftig u. U. stärker als kommerziell ausgerichtete Entscheidungshilfe für Unternehmensgründungen dienen (vgl. Kap. 2.6.2.3). Hierbei wird die „Business-Tauglichkeit“ wissenschaftlicher Ideen hinterfragt und bei positivem Ergebnis gefördert. In Labors und Technika entwickeln industrielle Wissenschaftler, gemeinsam mit Hochschulen und FuE-Einrichtungen sowie industriellen Kooperationspartnern entlang der gesamten Wertschöpfungskette neue IWBT-Prozesse und -Produkte. Die externen nicht-industriellen Wissenschaftler werden dabei temporär in die Teams der industriellen Wissenschaftler integriert; dies ist ein Beispiel für den oben beschriebenen zeitlich befristeten Personalaustausch.

Auch die Verfügbarkeit von Kapital ist für den Gründungs- und Wachstumsprozess junger IWBT-Unternehmen wichtig. Viele Ideen werden häufig aufgrund mangelnder Finanzierung nicht umgesetzt. Die Absicherung des Finanzierungsrahmens für Unternehmensgründungen bzw. in Wachstumsphasen ist eine zentrale Aufgabe. Hierzu gehört u.a. die Entwicklung von Instrumenten zur bedarfsadäquaten Finanzierung von risikobehafteten Unternehmen (z.B. geringere Besicherung von Förderdarlehen, zinsgünstige/zinslose Kredite, Investitionszuschüsse, Steuervergünstigungen). Bei der

⁷⁰ Die Bewertung zukünftiger Marktchancen junger Technikfelder ist schwierig. Daher wird auch eine externe Begutachtung in frühen Gründungsphasen „keine 100%-ige Garantie“ für zukünftige Markterfolge sein.

Gründungsförderung sollte der wettbewerbliche Ausleseprozess des Marktes nicht bzw. so wenig wie möglich gestört werden. Eine öffentliche finanzielle Förderung während der Pre-Seed-, Seed-, Gründungs- und Aufbauphase ist in der Regel vorteilhaft; in Abhängigkeit von der Ausgestaltung muss dies aber nicht immer sein. Öffentliche Förderung sollte z.B. nur dann erfolgen, wenn ein sinnvoller Finanzierungs-Mix aus verschiedenen privaten und öffentlichen Quellen (d.h. Fremd-, Eigenkapital und Cash Flow) vorliegt.

Eine Überfinanzierung sollte möglichst vermieden werden. Bei Vorliegen einer aus Gründersicht „großzügigen“ (öffentlichen) Gesamtfinanzierung wird das volle Wachstumspotenzial der Gründungsunternehmen meist nicht ausgeschöpft. Die Gründe sind folgende: Für renditeorientierte private nationale und internationale VC-Geber und Business Angels sind (rein) öffentlich geförderte Unternehmen oft weniger attraktiv. Es wird befürchtet, dass die staatliche Förderung (Subventionierung) in den Unternehmen einerseits zu einer weniger marktorientierten Organisation und Ausrichtung führen kann, und dadurch kein schnelles „time-to-market“ angestrebt wird sowie andererseits ein mangelndes Kostenbewusstsein in den geförderten Unternehmen existiert. Dies steht in Einklang mit aktuellen Studienergebnissen: Dauerhaft erfolgreich sind vor allem jene junge Technologieunternehmen, die in späteren Phasen keine öffentliche Finanzierung mehr erhalten sowie ihre Managementkompetenzen systematisch erwerben und pflegen (Cowling et al. 2007). D.h., das Motto „je mehr (Risiko)Kapital, desto wirkungsvoller“ kann sogar kontraproduktiv sein. Vielmehr sollte frühzeitig ein heilsamer Marktdruck ausgeübt werden. Vor diesem Hintergrund ist eine degressive Ausgestaltung der öffentlichen IWBT-Förderung zu bevorzugen, d.h. der staatliche Finanzierungsanteil sollte mit zunehmender Förderdauer abnehmen, d.h. der Staat „sollte so lang wie nötig mitfinanzieren, jedoch so schnell wie möglich sich aus der Finanzierung zurückziehen.“ Zudem sollte das staatliche Förderangebot in jeder Phase sorgfältig mit dem privaten Risikokapitalangebot abgestimmt werden.

In diesem Kontext ist eine gute Verfügbarkeit von privatem Venture Capital, insb. „Seed“- und „Start-Up-Capital“, zur Finanzierung von FuE-Aktivitäten der IWBT-Akteure wichtig. Eine bessere Aufklärung der privaten Risikokapitalgeber über Chancen und Risiken der industriellen, weißen Biotechnologie (z. B. gemeinsamer Workshop mit VC-Gebern, Wissenschaft und IWBT-Unternehmen) sowie die Bekanntmachung von positiven Beispielen für erfolgreiche IWBT-Firmen-Start-ups in Kreisen der Risikokapitalgeber (z. B. über die Verbände VCI/DIB und DECHEMA) könnten hier unterstützend wirken. Dabei müssen den Risikokapitalgebern auch die bestehenden, essenziellen Unterschiede der Finanzierung und Geschäftsmodelle zwischen der roten Biotechnologie und der industriellen, weißen Biotechnologie vermittelt werden.

Im Gründungskontext sollten u.a. auch einfach strukturierte Gründerprogramme („One-Stop-Shop“-Gedanke), die es bereits gibt, für die IWBT umgesetzt werden, um IWBT-Unternehmensgründungen zu unterstützen. Auch die weitere nachhaltige Förderung einer generellen Gründungskultur (z. B. durch praxisorientierte Seminare zu Entrepreneurship in Ausbildung und im Studium) wirkt hier mittel- und langfristig unterstützend.

Die Einzelmeinungen verschiedener Experten im Bereich des Wissens- und Technologietransfers, die sich zum Teil auch in der einschlägigen Fachliteratur wiederfinden, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Rahmenbedingungen für Venture Capital (VC) verbessern: z. B. „*Verfügbarkeit von (Risiko-)Kapital für Gründungs- und Wachstumsprozesse sicherstellen, da ein Mangel an Venture Capital für neue Unternehmen und innovative Prozesse und Produkte besteht*“.

4) Nachfrage

Eine schnelle und breite Marktdurchdringung von Innovationen in neuen Technikfeldern wird meist durch bestehende Unsicherheiten auf der Kundenseite behindert. Im Falle der IWBT sind die Kunden vor allem im industriellen Umfeld in den Anwenderbranchen angesiedelt. Dennoch haben sich für einzelne Produktlinien (z. B. PLA) für eine Markterschließung über Nischen hinaus eine Integration von Akteuren über die gesamte Wertschöpfungskette bis hin zum Handel und Endverbraucher als erforderlich erwiesen. Um Unsicherheiten bei IWBT-Innovationen zu reduzieren, sind die Technologie anbietenden Forschungseinrichtungen und Unternehmen gefordert, an den Kompetenzen, Bedürfnissen und dem Nutzen der potenziellen industriellen Kunden orientierte Informationen bereitzustellen. Flankierend können hier Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen wirken, die die Ankoppelungskompetenz der IWBT-Anwender erhöhen. Über Pilot- und Demonstrationsprojekte kann zudem die Erprobbarkeit neuer Technologien, Prozesse und Produkte im Bereich der IWBT geprüft werden. Solche Erprobungsanlagen werden durchaus bereits von einigen IWBT-Anbietern betrieben, die hier gemeinsam mit Nutzer-Unternehmen neue Anwendungen für konkrete industrielle Fragestellungen erproben und dadurch ausloten, inwieweit diese Anwendung über den Pilotanwender hinaus für die Erschließung breiterer Kundenkreise geeignet ist. Andere Formen der Piloterprobung sind bereits existierende Joint Ventures zwischen IWBT-Anbieter und -Nachfrager, wodurch Technologie-Know-how und Kenntnis der Zielmärkte und Endkundenbedürfnisse synergistisch zusammengeführt werden. Da diese Anlagen jedoch in die jeweiligen Unternehmensstrategien eingebunden sind und daher nur ein bestimmtes Spektrum an Anwendungen abdeckt, ist zu prüfen, inwieweit darüber hinausgehender Bedarf für eine stärkere öffentliche Unterstützung von Demonstrationsvorhaben/Pilotanlagen in vorwettbewerblichen Bereichen, u. a. in risikoreichen oder

hohe Anfangsinvestitionen erfordernden Gebieten (z.B. Integration von Einzeltechnologien in ein Gesamtkonzept) für die Forcierung der IWBT-Diffusion besteht. Dabei sollten die Demonstrationsvorhaben/ Pilotanlagen in eine „deutsche IWBT-Strategie“ eingebettet sein. Internationale Beispiele können hier als Vorbild dienen.

Das BIO-WISE-Programm in Großbritannien z. B. verknüpft mit einem breiten Instrumenten-Mix gut die beiden Stellhebel Information und Demonstration/Erprobung miteinander. Durch Newsletter, Branchenführer, kostenlose Publikationen und Telefon-Hotlines, interaktive Webseiten, Veranstaltung von Seminaren und Workshops sowie die kostenlose Vor-Ort-Beratung von KMU durch unabhängige Experten, die auch konkrete Hilfestellung leisten, werden die verschiedenen Informationsbedürfnisse der (potenziellen) Nutzer bedient. Bei den Demonstrationsprojekten erprobten Nutzer-Unternehmen aus verschiedenen Industriesektoren gemeinsam mit (Bio-)Technologiezulieferern die Anwendung für konkrete industrielle Fragestellungen. Durch die Einbindung sowohl der Technologieanbieter als auch der (industriellen) Nachfrager werden Probleme und Anpassungsbedarfe als Impulse für das künftige Angebot direkt an die IWBT-Anbieter zurückgekoppelt. Die Teilnehmer verpflichten sich, die Projektergebnisse und Erfahrungen auf der BIO-WISE-Webseite zu veröffentlichen. Das Internet als Informationsmedium führt zu einem breiten Bekanntheitsgrad unter dem anvisierten Publikum. Dadurch kann die nationale und internationale Diffusion der IWBT forciert werden.

Vor allem für KMU und in bestimmten Marktsegmenten (z. B. Fein- und Spezialchemikalien, Enzyme) ist eine schnelle Markteinführung innovativer IWBT-Prozesse/Produkte von großer Bedeutung, um auf dem jeweiligen Markt einen Wettbewerbsvorteil zu erzielen. Zudem sollten sich die zum Teil hohen FuE-Kosten zeitnah amortisieren können. In diesem Kontext sollten die Zulassungsverfahren bei Produktionsanlagen optimiert und beschleunigt werden (z. B. durch bundesweit einheitliche Umsetzung der gesetzlichen Anforderungen durch die zuständigen Behörden). Zudem können Regulierungen gezielt genutzt werden, um die Markteinführung innovativer Produkte zu erleichtern (z.B. Steuerbefreiungen für Biokraftstoffe, verbesserte Abschreibungen und Investitionsbeihilfen für Produktionsanlagen, Beseitigung von regulatorischen Hemmnissen für bestimmte – erwünschte – Produkteigenschaften wie z. B. biologische Abbaubarkeit von Kunststoffen). Zu beachten ist hierbei, dass bei Subventionen stets die Gefahr von Mitnahmeeffekten bestehen oder aber dass Anreize zu kosteneffizienten Technologieweiterentwicklungen nicht gesetzt werden. Letztendlich muss sich jede Innovation nach einer bestimmten Zeit unter Wettbewerbsbedingungen am freien Markt rechnen. IWBT-Subventionen sollten daher nur in einer ersten Phase eingesetzt werden (um so Anreize für Startinvestitionen und eine initiale Nachfrage zu setzen) sowie zeitlich befristet und degressiv ausgestaltet sein, so dass frühzeitig ausreichende Anreize zu kosteneffizienten Technologieweiterentwicklungen gesetzt werden.

Die deutschen IWBT-Innovationsakteure sollten gemeinsam Strategien und ein abgestimmtes Set an Maßnahmen entwickeln, um Deutschland in bestimmten IWBT-Marktsegmenten als Vorreiter-Markt zu etablieren. Hierbei sollte man auf nationalen Stärken aufsetzen (z. B. starke wettbewerbsfähige Industriebranchen im Bereich Prozesstechnik für Industriekunden) und nationale Spezifika (z. B. hohes Umweltbewusstsein in der Bevölkerung) berücksichtigen.

Um das Interesse und das Ausmaß der öffentlichen Akzeptanz für die IWBT zu erhöhen, ist neben einer Verbraucheraufklärung durch die Medien auch die Wissenschaft selbst gefordert, neue Erkenntnisse zu Chancen und Risiken der IWBT in verständlicher und zielgruppenspezifischer Form der interessierten Öffentlichkeit proaktiv zugänglich zu machen. Hierbei könnten zukünftige Aktivitäten der Chemie-, Nahrungsmittel-, und Konsumgüterindustrie zusammen mit Gewerkschaften und Hochschulen/FuE-Einrichtungen und Nicht-Regierungsorganisationen gemeinsam durchgeführt werden, um so eine breitere Öffentlichkeit für das Thema IWBT zu erreichen. Hierbei sollten u. a. die Anwendungsmöglichkeiten der IWBT aufgezeigt werden sowie der Nutzen der IWBT für den Verbraucher im Alltag illustriert werden (z. B. neue Produkte mit neuen Funktionalitäten, Ressourcenschonung, Minderung Umweltbelastungen). So hat beispielsweise die DBU eine entsprechende Ausstellung konzipiert und eingerichtet. Die Informationsvermittlung sollte an den Informationsbedürfnissen und Fragen der Bürgerinnen und Bürger ansetzen. Allerdings liegen fundierte und repräsentative Studien zur Ermittlung der Einstellungen gegenüber der IWBT in der Bevölkerung bislang nicht vor. Da die Offenheit von Endverbrauchern gegenüber Innovationen mit dadurch beeinflusst wird, inwieweit ihren möglichen Bedenken und Besorgnissen proaktiv Rechnung getragen wird, auch ehe sie explizit artikuliert werden, sollten auch mögliche Risiken und nicht beabsichtigte Folgen der IWBT thematisiert und zudem auf Dialog ausgerichtete Formate (z. B. Runde Tische, proaktiver Dialog mit „kritischen“ NGOs) eingesetzt werden.

Die Einzelmeinungen verschiedener Experten im Bereich der Nachfrage, die sich zum Teil auch in der Fachliteratur wiederfinden, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Zugang zu IWBT-Informationen verbessern: z. B. „*besserer Zugang zu Informationen zu Substanzen, Enzymen, Mikroorganismen ist sehr hilfreich*“, „*Zugang zu entscheidenden fachspezifischer Informationen (u. a. Forschungs- und Studienergebnisse) ist oft nicht möglich oder zu teuer*“, „*aktuelle Marktdaten sollten leichter verfügbar sein.*“
- Demonstrationsprojekte umsetzen und Demonstrationsanlagen errichten bzw. vorhandene Kapazitäten besser nutzen (siehe hierzu auch u. a. IBTF 2004, EuropaBio 2006, Lindroos und Ferreira 2006): z. B. „*Zugang zu Pilotanlagen in der Industrie sicherstellen; hier gibt es freie Kapazitäten*“, „*Keine Pilotanlage im univertären Be-*

reich aufbauen, da dies zu teuer ist“, „Pilotanlagen/Pilotprojekte mit Demonstrationscharakter unter Industriebeteiligung sind wichtig“, „gezielte Demonstrationsprojekte fördern“, „kleinere Pilotanlagen zum Testen der Prozesse“, „Pilotanlagen errichten, in denen Bioraffineriekonzepte umgesetzt werden.“, „Pilotanlagen bis zur Größe von Bioraffinerien erforderlich, dann wäre auch ein Verkauf der Technologie möglich“, „Technologische Infrastruktur für Kleinproduktion und/oder Dienstleister sollten vom Staat vorgehalten werden wie z. B. Zugang zu Biokatalysatoren oder Förderung von Investitionen wie z. B. Fermentationsausrüstungen für firmeninterne Scale-up-Untersuchungen. Dies ist vor allem für KMU wichtig.“

Hier stellt sich die Frage, wo staatliche Förderung aufhören sollte. Einige Experten vertreten hier die Meinung, dass *„die Entwicklung von den entsprechenden Unternehmen vorangetrieben werden muss“, „hier entscheidet nur die Wirtschaftlichkeit, da muss nichts verbessert werden“, „Hier entscheidet die Wirtschaftlichkeit der Technologie oder des Produktes, und nicht eine Förderung“.*

- Gesellschaftliche und rechtlich-politische Rahmenbedingungen zur Erhöhung der öffentlichen Akzeptanz verbessern (siehe hierzu auch u. a. BACAS 2004, Zinke 2004): z. B. *„Aufklärung der Öffentlichkeit bzw. Schaffen des Bewusstseins in der Öffentlichkeit, dass die industrielle, weiße Biotechnologie Zukunftsprobleme lösen kann“, „Versachlichung der öffentlichen Diskussion über gentechnisch veränderte Organismen (GMO) ist erforderlich“, „positive Positionierung der Politik bzw. Politik als Treiber kann die Akzeptanz erhöhen“, „Versachlichung der Berichterstattung (u. a. durch die Medien) über GMO, Lebensmittelzutaten, Qualität der Lebensmittel, etc. ist notwendig“, „Positive Public Relation (PR)-Förderung der neuen Technologien kann unterstützend wirken wie z. B. die Einführung einer Ökobilanz“, „Es sollte in der Diskussion stärker betont werden, dass Deutschland ein exzellenter Standort für die industrielle, weiße Biotechnologie ist, ähnlich wie dies die Amerikaner tun“, „Wir verweisen zu häufig auf die Erfolge in Nordamerika, trotz unserer eigenen Erfolge und Standortvorteile. Dies stärker zu betonen ist sehr wichtig bei der Öffentlichkeitsarbeit“, „Verbesserung der Akzeptanz aller biotechnologischen Entwicklungen und Produkte, sowohl für die rote, grüne und weiße Biotechnologie. Hierzu gehören auch konsistente, wissenschaftlich-basierte rechtliche und politische Rahmenbedingungen.“*

5) Vernetzung der IWBT-Akteure in Netzwerken und Clustern

Die Ergebnisse zeigen, dass die Vernetzung der IWBT-Innovationsakteure gut zu funktionieren scheint. Bei der Etablierung und Weiterentwicklung von IWBT-Clustern/Netzwerken sollte daher zukünftig weniger die Quantität von Netzwerken als vielmehr die Qualität und inhaltliche Ausrichtung im Vordergrund der IWBT-Förderung stehen.

Politische IWBT-Maßnahmen sollten sich eher auf unterstützende und stimulierende Aufgaben beschränken (Dohse 2005, Häussler 2006, Koschatzky et al. 2003, Koschatzky/Kulicke 2002, Roelandt et al. 1999). Der Staat selbst sollte nicht direkt steu-

ernd eingreifen. Er sollte stärker über weiche Instrumente agieren, wie z.B. Koordination, Moderation, Impulsgebung und innovationstreibende Rahmgestaltung (z.B. Erschließung/Bereitstellung von Inkubator-/Produktionsflächen, notwendige Nahverkehrsinfrastruktur, Anbindung des Flugverkehrs an international führende Cluster, Ausbau bestehender Netzwerkbeziehungen durch finanzielle Förderung von Projekten zwischen unterschiedlichen regionalen Partnern). Ferner kann er Suchprozesse erleichtern und z.B. Plattformen initiieren, die eine Informationsbasis für (potenzielle) Netzwerkteilnehmer bezüglich des Vorhandenseins von Kooperationspartnern in der Region darstellen (Fritsch 2000). Zudem kann der Staat z.B. zur Reduktion von Unsicherheiten beitragen, indem er u.a. Foresight-Prozesse, Roadmap-Prozeduren, Technology Assessment sowie Evaluations-/Benchmarking-Studien fördert (Smits et al. 2002).

Um Redundanzen und Reibungsverluste zu vermeiden, sollten die eingesetzten politischen Instrumente des Bundes und der Länder koordiniert, aufeinander abgestimmt und in nationale Innovationssysteme integriert werden (Koschatzky/Lo 2000).

Die Bildung weniger, aber dafür leistungsfähiger und international wettbewerbsfähiger Forschungscluster und IWBT-Kompetenzzentren (analog zu den IWBT-Kompetenzzentren in Graz und Manchester) sollte u.a. durch die Stärkung bereits existierender Kooperationsbeziehungen, Cluster und Netzwerke forciert werden. Hier setzen z. B. aktuelle Fördermaßnahmen des BMBF wie BioIndustrie 2021 an, mit dessen Hilfe ein Cluster-Wettbewerb zur Entwicklung neuer Produkte und Verfahren in der industriellen Biotechnologie initiiert wird. Grundsätzlich sollte bei der Etablierung neuer und Weiterentwicklung bereits existierender Cluster/Netzwerke darauf geachtet werden, dass

- die (Weiter-)Entwicklungsstrategien der IWBT-Cluster/-Netzwerke sowie die Förderung durch Bund und Länder in einen dynamischen Verbund mit Innovationsentscheidungen und -strategien führender multinational agierender IWBT-Unternehmen eingebunden sein sollten. Die Cluster-/Netzwerkarbeit stellt oft hohe Anforderungen an Kommunikation und Kooperationsbereitschaft der Industrieakteure und bindet in erheblichem Umfang Humanressourcen. Eine möglichst frühzeitige Unterstützung von oberster Managementebene ist daher erforderlich (Koschatzky/Lo 2005).
- die strategische Ausrichtung regionaler IWBT-Cluster den räumlichen Gegebenheiten Rechnung tragen und vor allem an vorhandene (technologische) IWBT-Stärken der IWBT-Innovationsakteure aus Wissenschaft und Industrie anknüpfen, diese bündeln und weiterentwickeln sollten (Koschatzky/Lo 2005). D.h., die strategische Ausrichtung regionaler Cluster sollte inhaltlich oder technisch auf historisch gewachsenen vorhandenen Stärken und Kompetenzen aufbauen (Porter 1990). An vorhandene Stärken anknüpfen (»Stärkung der Stärken«) heißt u.a., eine organische technologische Regionalentwicklung zu fördern, die an die existierenden Techniklinien unmittelbar anschließt (Stahlecker/Klink 2002), denn Entwicklungspotenziale können vor allem an den Randbereichen und Schnittstellen bereits existie-

render Technikfelder erwartet werden. Dies erfordert eine Analyse der vorhandenen regionalen Kernkompetenzen (Koschatzky et al. 2003). Damit sich solche regionalen Stärken aber herausbilden können, sind vorgelagerte Regionalförderungsmaßnahmen (z.B. zur Förderung der regional vorhandenen Hochschulen oder Ansiedlung außeruniversitärer Forschungseinrichtungen) erforderlich. Mit anderen Worten: Ein investives Engagement der öffentlichen Hand in für die Region fremden Technikfeldern ist laut Expertenmeinungen in der Regel nicht zielführend und führt zu „künstlich geschaffenen Clustern und Netzwerken, die dauerhaft nicht wettbewerbsfähig und damit (ohne staatliche Unterstützung) nicht überlebensfähig sind“.

- eine Informations- und Erfahrungsweitergabe bereits durchgeführter IWBT-Aktivitäten bestehender Netzwerke und Cluster erfolgen sollte („das Rad nicht zweimal erfinden“),
- Qualifizierungsmaßnahmen (z.B. Aufbau von Netzwerkmanagement-Kompetenzen bei den IWBT-Clusterbeteiligten Akteuren, insb. bei den IWBT-KMU) sowie die explizite Aufnahme von Qualifizierungszielen in die Netzwerkziele vorangetrieben werden sollten (Ossenkopf et al. 2004). Qualifizierungsmaßnahmen (z.B. von privaten Weiterbildungsinstitutionen) können sich dann in Abstimmung mit den Cluster-/Netzwerkakteuren an diesen Qualifizierungszielen orientieren.
- die Förderung von integrativen Ansätzen (Grundlagenforschung, angewandte Forschung und Industrieforschung) forciert werden sollten.
- kontinuierliche Evaluations- und Verbesserungsprozesse (u.a. auf Basis qualitativer und quantitativer Erfolgsgrößen) institutionalisiert werden sollten, wobei auf eine hohe Transparenz der Prozesse zu achten ist. Sie bieten eine Plattform für einen Vergleich und Benchmarking mit anderen Regionalinitiativen. Dadurch können Lernprozesse innerhalb der Cluster/Netzwerke angestoßen werden. Zudem kann das Benchmarking als Basis für die Verteilung von Fördergeldern genutzt werden (Koschatzky et al. 2003). Dadurch wird u.a. vermieden, dass (dauerhaft staatlich geförderte) „künstliche IWBT-Netzwerke“ geschaffen werden.

Zudem ist vor allem darauf zu achten, dass auch die Transformation von technologiegetriebenen zu markt- und anwendungsorientierten Clustern gelingt. IWBT-Cluster/-Netzwerke sollten sich frühzeitig an der (potenziellen) nationalen und globalen IWBT-Nachfrage ausrichten, d.h. sie müssen rechtzeitig auf „Exportierbarkeit und Weltmarktfähigkeit getrimmt“ werden und im weltweiten Vergleich tragfähige Strukturen entwickeln. Viele FuE-Vorhaben (auch innerhalb von Clustern und Netzwerken) folgen oftmals „keinem harten Realisierungsplan mit Weltmarktanteilszielen“ (Gerybadze 2005). Eine reine Marktperspektive ist sicherlich nicht immer möglich bzw. sinnvoll. Allerdings ist die frühzeitige Integration der Nachfrageseite oftmals wichtig für den Innovationserfolg. Kriterien wie z. B. die Exportierbarkeit von der IWBT-Prozesse und -Produkte könnten z. B. als Förderkriterium mit aufgenommen werden. Hierbei sollten vermehrt Foresight-Prozesse, Roadmap-Prozeduren, Technology Assessments und (internatio-

nale) Vergleichsstudien durchgeführt werden, um veränderte (globale) Markt-, Industrie- oder Technologietrends im Bereich der IWBT frühzeitig zu erfassen.

Netzwerke sind insbesondere dann erfolgreich, wenn sie offen und dynamisch sind. Bei abgeschotteten Clustern/Netzwerken entstehen oftmals „Lock-in“-Effekte. In diesem Kontext sind die Lebenszyklusdynamiken eines Clusters zu beachten: Während lokale und regionale Beziehungen (u.a. zu leistungsstarken FuE-Institutionen) insbesondere in Frühphasen der Clusterentstehung von Bedeutung sind, sind vor allem mit zunehmender Reife und Kodifizierbarkeit des Wissens überregionale und internationale Kontakte aufzubauen und zu pflegen (Koschatzky 2003). Vor allem in reiferen Clustern/Netzwerken sollte die »Öffnung nach außen« und Internationalisierung vorangetrieben werden (u. a. die stärkere internationale Abstimmung mit existierenden IWBT-Clustern z. B. in Manchester und Graz, wissenschaftliche Kooperationen deutscher Universitäten/FuE-Einrichtungen mit internationalen Top-Instituten). Diese externen überregionalen und internationalen Kooperationen sind wichtig, um kontinuierlich ausreichend neue Impulse und Informationen (z.B. zu internationalen Markterschließungspotenzialen und globalen Technologietrends) zu erhalten und »Lock-in«-Effekte zu vermeiden (Audretsch 2000, Bruch-Krumbein/Hochmuth 2000, Granovetter 1982).

Zudem sollten regionale Innovationsinitiative stets als Prozess verstanden werden, der nicht auf die alleinige Erzielung kurzfristiger Effekte, sondern vielmehr auf eine nachhaltige Wirkung in der Region ausgelegt ist. Hierzu ist die Entwicklung einer gemeinsamen Vision sinnvoll, auf der sich die Kommunikation des individuellen Nutzens für alle Beteiligten aufbauen lässt. Eine Schlüsselfunktion in dieser ersten Phase kommt der Moderation zu, die Gegenstand und Zielsetzung der Innovationsinitiative in die Region kommuniziert, die Akteure zusammenbringt und zur Mitarbeit motiviert. Konsensbildung und die Identifikation aller Akteure mit der Initiative spielen hier eine zentrale Rolle. Zur Erzielung eines regionalen Konsenses ist neben der Einbindung der öffentlichen Hand und Forschungs- und Bildungseinrichtungen die Einbindung von Unternehmen bzw. führenden Persönlichkeiten aus der Privatwirtschaft von großer Bedeutung. Viele Regionalinitiativen orientieren sich zu stark an den erstgenannten Akteuren (dies begünstigt die Forschungs- und Technologielastigkeit) und binden den privaten Wirtschaftssektor nur in geringerem Ausmaß ein. Letztendlich sind es aber die Unternehmen, die innovative Prozesse, Produkte und Dienstleistungen am Markt einführen. Sie sollten daher im Mittelpunkt der Innovationsinitiativen stehen. Vor allem in der Startphase einer Initiative ist der Kommunikationseffekt durch eine breite Einbindung der Unternehmen wichtig (Koschatzky et al. 2003). Daher sollte ein möglichst hoher Anteil der regionalen Unternehmen mit Unterstützung der obersten Managementebenen für die Initiative mobilisiert werden. Ein der Regionalstruktur angepasster Anteil der Unternehmen ist hier günstig, d.h. es sollte keine ausschließliche Konzentration auf

wenige Unternehmenstypen (Größe, Branche) erfolgen. Ein weiteres Erfolgskriterium ist der Einbezug eines breiten Spektrums innovationsbezogener Fragestellungen, d.h. der Innovationsprozess in seiner Gesamtheit (z.B. Finanzierung, Marketing, Exportstrategien) sollte berücksichtigt werden.

Eine auf Ansiedlung externer Unternehmen gerichtete Entwicklungsstrategie muss an den Standortfaktoren in ihrer Komplexität ansetzen (Koschatzky et al. 2002, Stahl-ecker/Klink 2002). Hierzu sollte ein aktives technologieorientiertes Regionalmarketing-Konzept entwickelt und umgesetzt werden, das die regionalen technologiespezifischen Kompetenzen verdeutlicht, die Region als innovativen Standort (z.B. in der Einheit von Wissen, Qualifikation, Forschung, Aus- und Fortbildung, Technologietransfer, Wachstum und Image) sowohl nach innen als auch nach außen (z.B. bei Messen, Veranstaltungen im In- und Ausland) darstellt.

In diesem Kontext müssen Basisstandortfaktoren wie z.B. Gewerbeflächen und Verkehrsanbindung ständig verbessert werden. Unterstützende weiche Faktoren zur Gestaltung der Innovationslandschaft wie z.B. eine wirtschaftsfreundliche Bürokratie, die Gestaltung eines attraktiven Lebens- und Wohnumfeldes (u.a. umfassende Kinderbetreuung), die Schaffung geeigneter Ausbildungsmöglichkeiten und die Förderung des Kooperations- und Netzwerkgedankens in der Region müssen ebenfalls attraktiv ausgestaltet sein. Eine behördenübergreifende zentrale Betreuung der Ansiedlungsinteressenten im Sinne der „One-Stop-Shop“-Idee wirkt hier ebenfalls unterstützend.

Integration von KMU in Netzwerke/Cluster

Gerade bei den IWBT-KMU zeigen sich geringe Vernetzungsaktivitäten mit FuE-Einrichtungen (vgl. Kap. 2.6.2.3). Deshalb erscheint eine Unterstützung von KMU bei der Vernetzung bzw. Einbindung in IWBT-Netzwerkstrukturen in Kombination mit FuE-Förderung sinnvoll. Wesentliche Erfolgskriterien, damit KMU erfolgreich in regionale Cluster oder Netzwerke eingebunden werden können, sind daher vor allem:

Kontinuierliche FuE unterstützen und Kooperationsfähigkeit erhöhen: Die Förderung kontinuierlicher FuE in KMU⁷¹ ist hilfreich, um die Verbreitung eines professionellen Innovationsmanagements in KMU zu erhöhen (ZEW 2005). Denn die Durchführung von FuE auf kontinuierlicher Basis befördert generell die Nutzung von Instrumenten des Innovationsmanagements in einem Unternehmen und führt häufig zu einer eigenen, für FuE verantwortlichen organisatorischen Einheit im Unternehmen. Dadurch

⁷¹ Hier wäre zu überprüfen, inwieweit die vom BMBF Anfang 2007 eingeführte Forschungsprämie ein geeignetes indirektes Förderinstrument darstellt, um bei den KMU kontinuierliche FuE-Prozesse in Form dauerhafter Kooperationen mit FuE-Instituten zu etablieren.

werden Ressourcen und Routinen etabliert, die systematisch Innovationsprozesse planen, steuern und unternehmensintern umfassend verankern (Nelson/Winter 1982). Hierdurch wird die technologische Absorptionsfähigkeit der KMU nachhaltig gestärkt. Dies ist die Voraussetzung dafür, erfolgreich FuE-Kooperationen durchzuführen, und damit eine gute Basis für die Integration in regionale Cluster und Netzwerke.

Aktive Unterstützung in der Aufbauphase verbessern und Informationstransparenz nach außen schaffen: Beim Aufbau von KMU-Netzwerken sollte nicht nur der Anstoß zur Netzwerkbildung, sondern auch das Erlernen des Kooperationsmanagements unter Anleitung stärker in der Netzwerkförderung berücksichtigt werden (European Commission 2002). Dadurch kann die Erfolgchance der geförderten Netzwerke erhöht und die Förderung effektiver gestaltet werden. Eine Möglichkeit für den Aufbau der Netzwerkmanagementkompetenz wäre die Bereitstellung eines professionellen Netzwerkmanagements für KMU-Netzwerke für eine begrenzte Anfangszeit (Ossenkopf et al. 2004).

Eine hohe Transparenz nach außen ist notwendig, um die Ziele und Möglichkeiten der Netzwerkbildung und -nutzung potenziellen Antragstellern zu vermitteln, die einen hohen Zusatznutzen durch Netzwerkbildung erfahren könnten (Ossenkopf et al. 2004). Die Informationen sollten Aspekte wie z.B. Möglichkeiten des Netzwerkaufbaus und der Organisation, Spielregeln, Aufteilung der Finanzierung und Rechte, Musterverträge, Marketing sowie Förderprogramme umfassen und den KMU möglichst gebündelt und unbürokratisch zur Verfügung gestellt werden (Stahlecker/Kulicke 2002).

Die Einzelmeinungen verschiedener Experten im Bereich der Vernetzung der IWBT-Innovationsakteure, die sich zum Teil auch in der einschlägigen Fachliteratur wiederfinden, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Kooperation Wissenschaft-Wirtschaft und Wirtschaft-Wirtschaft verbessern (siehe hierzu auch u. a. BACAS 2004, Dechema 2004): z. B. „*verstärkte Förderung industrieller Verbundvorhaben*“, „*Verzahnung und Dialog von Grundlagenforschung und Industrie*“, „*Förderung der Kooperation zwischen verschiedenen Stakeholdern wie z. B. Arbeitnehmern, Verbänden, Wissenschaft, Bundesministerien und Wirtschaft ist von hoher Bedeutung*“, „*Projekte in sechsstelliger Größe sind oft von KMU nicht zu realisieren, FuE-Kooperationen können hier weiterhelfen*“, „*oft sind es Kostenprobleme, die eine Idee stoppen, daher ist die Förderung besonders der kleinen IWBT-Unternehmen wichtig*“, „*stärkere Integration von kleinen und mittelständischen Unternehmen erforderlich*“, „*Unterstützung der Bildung von Clustern oder Kompetenzzentren aus Wissenschaft und Unternehmen; hierbei müssen die Unternehmen auch zur Finanzierung der durchgeführten Forschung und Entwicklung beitragen.*“

Diese Untersuchungsergebnisse hinsichtlich der Handlungsempfehlungen bzw. Maßnahmen haben gezeigt, dass die Handlungsfelder und Handlungsempfehlungen sowohl auf der politischen als auch auf der unternehmerischen und wissenschaftlichen Ebene ansetzen. Mit anderen Worten: Nur durch die gemeinsamen Kraftanstrengungen aller IWBT-Akteure wird es möglich sein, den IWBT-Standort Deutschland und dessen Akteure zukünftig international noch wettbewerbsfähiger zu machen, um so die Innovations-, Wachstums- und Beschäftigungspotenziale der industriellen, weißen Biotechnologie am Standort voll ausschöpfen zu können.

7 Anhang

7.1 Anhang A.1: Modellbeschreibung des Fraunhofer Input-Output-Modells ISIS

Zur Analyse der Auswirkungen von ökonomischen/technologischen Veränderungen und den damit verbundenen (Nachfrage-)Impulsen auf die verschiedenen Dimensionen der Nachhaltigkeit (Strukturwandel, Produktion, Arbeitsplätze, Qualifikationsstruktur und Arbeitsbedingungen, Regionalwirkungen, Umweltwirkungen) wurde am Fraunhofer ISI das Modell **ISIS** (Integrated **S**ustainability Assessment **S**ystem) entwickelt.

Das Fraunhofer ISIS-Modell wird unter anderem zur Ermittlung von Beschäftigungseffekten in vorgelagerten Sektoren eingesetzt. Das Modellgerüst für die Ermittlung vorgelagerter Beschäftigungseffekte bildet ein Input-Output-Modell für die Bundesrepublik Deutschland, das die Güterströme zwischen den Wirtschaftssektoren vollständig abbildet. Das im Fraunhofer ISI verwendete Input-Output-Modell (IO-Modell) basiert auf den derzeit aktuellen Input-Output-Tabellen (IO-Tabellen) des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2002 und ist der Gruppe der statischen, offenen Leontief-Modelle zuzuordnen.

In den verwendeten IO-Tabellen wird die deutsche Volkswirtschaft in 71 Wirtschaftssektoren und verschiedene Endnachfragesektoren unterteilt (s. Schema für eine Übersicht der 71 Wirtschaftssektoren). Kern des Input-Output-Modells ist die Verflechtungsmatrix, die die Güterverflechtung zwischen 71 Produktions- und Dienstleistungssektoren abbildet.

Die Zeilen der Tabelle enthalten die Lieferungen von Waren und Dienstleistungen zwischen den Produktions- und Dienstleistungssektoren (Zwischennachfrage) sowie von diesen an die Endnachfragesektoren. Betrachtet man die Tabelle spaltenweise, so erkennt man, welche Vorleistungsgüter die Sektoren aus den anderen Sektoren benötigen, um ihre jeweiligen Produkte herzustellen. Erkennbar wird ebenfalls der Bedarf an so genannten primären Inputs, der – abzüglich der Importvorleistungen – der Bruttowertschöpfung der Sektoren entspricht. Diese setzt sich aus den Abschreibungen, der Differenz aus Produktionssteuern und Subventionen, dem Einkommen aus Unternehmertätigkeit und Vermögen sowie dem Einkommen aus unselbständiger Arbeit zusammen.

Abbildung A-1: Schema einer Input-Output-Tabelle (inkl. Arbeitskoeffizienten)

		Produktion und Dienstleistung	Endnachfrage				Brutto- produktions- Wert
		Sektoren 1 – 71	Privater Verbrauch	Staats- Verbrauch	Investitio- nen	Aus- fuhr	
Produktion und Dienst- leistung	Sektoren 1 – 71	Verflechtungsmatrix: Lieferungen von Gütern und Dienstleistungen zwischen den Sektoren (Zwischennachfrage) (Mio. €)					
	Importvorleistungen						
Bruttowert- schöpfung	Abschrei- bungen						
	Kapital-/ Unt.-eink.						
	Arbeits- eink.						
Bruttoproduktions- wert							

Beschäftigungskoeff- fizienten	Arbeitsvolumen pro Mio. €
-----------------------------------	---------------------------

Zur methodischen Erläuterung des Input-Output-Modells seien folgende Abkürzungen festgelegt:

- $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n$ Indices für Produktionssektoren, mit $n = 71$
 $k = 1, \dots, m$ Index für Endnachfrageaggregate, mit $m = 6$
 x_i Produktionswert für Sektor i
 $X = (x_i)$ Vektor der sektoralen Produktionswerte
 $y_{i,k}$ Nachfrage nach Gut i durch Endnachfrageaggregat k
 $Y = (y_i) = \left(\sum_{k=1}^m y_{i,k} \right)$ Vektor der gesamten Endnachfrage nach Gut i
 $Z = (z_{i,j})$ Matrix der intersektoralen Güterströme
 $A = (a_{i,j}) = Z\hat{X}^{-1}$ Verflechtungsmatrix normiert auf Produktionswerte, deren Elemente $a_{i,j}$ angeben, wie viele Werteinheiten des Gutes i zur Produktion einer Werteinheit von Gut j benötigt werden. Dabei stellt \hat{X} eine Diagonalmatrix mit den sektoralen Produktionswerten als Hauptdiagonalelemente dar.

Da sich der Produktionswert jedes Sektors aus der Summe der Lieferungen an Zwischen- und Endnachfrage zusammensetzt, gilt:

$$X = AX + Y.$$

Der Zusammenhang zwischen Endnachfrage und Produktion lässt sich in diesem statischen Input-Output-Modell dann wie folgt formulieren:

$$X = (I - A)^{-1} * Y.$$

Der Ausdruck $(I - A)^{-1}$ wird auch als Leontief-Inverse C bezeichnet. Jedes Element c_{ij} dieser Matrix gibt die Produktion wieder, die direkt und indirekt (auf vorgelagerten Produktionsebenen) in Sektor i erforderlich ist, um eine Einheit von Gut j für die Endnachfrage bereitzustellen. Mit diesem Zusammenhang lassen sich also die Produktionseffekte einer beliebigen Nachfrage nach Gütern ermitteln.

Neue Technologien, bestimmte wirtschaftliche Aktivitäten (z. B. Bau eines Technologieparks) sowie Teilsegmente von Sektoren (z. B. international forschende Arzneimittelhersteller) können in das IO-Modell eingefügt werden, indem analog zu den übrigen Sektoren der IO-Tabelle inputseitig die (Vorleistungs-)Güterbezüge von anderen Sektoren (einschließlich Importen) und die Bestandteile der Bruttowertschöpfung sowie outputseitig die Lieferungen an die übrigen Sektoren und die Endnachfrage quantifiziert werden.

Im Fraunhofer Modell ISIS wurde das Standard IO-Modell um weitere Module ergänzt, so dass eine Analyse der Auswirkungen der unterschiedlichen ökonomischen Impulse vor allem auf das Beschäftigungsniveau, auf die Qualifikationsstruktur und Arbeitsbedingungen, auf die Regionalstruktur, sowie auf die Umwelt in einem konsistenten Modellrahmen erfolgen kann. Für die vorliegende Studie ist insbesondere das Beschäftigungsmodul relevant.

Unterstellt man, dass zwischen dem sektoralen Beschäftigungsniveau und dem sektoralen Produktionsniveau näherungsweise ein linearer Zusammenhang besteht, ergeben sich folgende Beschäftigungseffekte:

$$L = I * X.$$

Dabei steht I für die sektoralen Beschäftigungskoeffizienten I_i (angegeben als Erwerbstätige pro Einheit Bruttoproduktionswert). Je höher die Beschäftigungsintensitäten der Sektoren sind (z. B. in Dienstleistungssektoren), desto höher sind die indirekten Beschäftigungseffekte, wenn starke Verflechtungen mit diesen Sektoren existieren.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde das Fraunhofer ISIS-Modell wie folgt in das Untersuchungsdesign eingebunden und angepasst:

- Um das Modell an die Spezifika der IWBT-Teilsegmente (IWBT Bereitstellung und IWBT Anwendung) anzupassen, wurden spezifische IWBT-Sektoren neu gebildet. Das Ausgaben- und Investitionsverhalten dieser Branchensegmente wurde u. a. mittels spezifischer Vorleistungsvektoren input- und outputseitig abbildet. Dieser neu gebildeten „IWBT-Sektoren“ wurde in das Fraunhofer ISIS-Modell integriert.
- Neben den laufenden Ausgaben, die entsprechend den modellierten Vorleistungsverflechtungen Folgewirkungen in allen Sektoren induzieren, wurden die Investitionen gesondert modelliert, da sie schwerpunktmäßig mit anderen Sektoren verflochten sind als die laufenden Ausgaben.
- Wesentliche Datengrundlage für die Modellierung der Vorleistungsvektoren und Investitionsströme waren Datenbanken und Fachserien des Statistischen Bundesamtes, die schriftliche Befragung und Experteninterviews im Rahmen des Projektes sowie techno-ökonomische Studien. Auf dieser Basis wurde das Ausgaben- und Investitionsverhalten mit Bezug zu den 71 Wirtschaftssektoren simuliert.
- Die im Fraunhofer ISIS-Modell verwendeten Beschäftigungskoeffizienten für das Jahr 2004 und 2025 basieren auf Produktivitätsannahmen, die in der EU-Studie „Impact of Technological and Structural Change on Employment: Prospective Analysis 2020. Background Report“ entwickelt wurden:
<http://www.jrc.es/home/pages/detail.cfm?prs=969>

Tabelle A-1: Sektorgliederung des Fraunhofer Input-Output-Modells (ISIS) in der disaggregierten Version (71 Wirtschaftssektoren)

Nr.	Sektorbezeichnung
1-3	Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Fischerei und Fischzucht
1	Landwirtschaft
2	Forstwirtschaft
3	Fischerei und Fischzucht
4-42	Produzierendes Gewerbe (inklusive Verarbeitendes Gewerbe sowie Energie und Wasserversorgung, exklusive Baugewerbe)
	Gewinnung von ...
4	Kohle und Torf
5	Erdöl, Erdgas (inkl. diesbezüglicher Dienstleistungen)
6	Uran- und Thoriumerzen
7	Erzen
8	Steinen und Erden, sonstigen Bergbauerzeugnissen
9-39	Verarbeitendes Gewerbe
	Herstellung von ...
9	Nahrungs- und Futtermitteln
10	Getränken
11	Tabakwaren
12	Textilien
13	Bekleidung
14	Leder und Lederwaren
15	Holz und Holzzeugnissen
16	Holzstoff, Zellstoff, Papier, Karton und Pappe
17	Papier-, Karton- und Pappwaren
18	Verlagserzeugnissen
19	Druckerzeugnissen, bespielte Ton-, Bild- und Datenträgern
20	Kokereierzeugnisse., Mineralölerzeugnisse, Spalt- und Brutstoffen
21	pharmazeutischen Erzeugnissen
22	chemischen Erzeugnissen
23	Gummiwaren
24	Kunststoffwaren
25	Glas und Glaswaren
26	Keramik, bearbeiteten Steinen und Erden
27	Roheisen, Stahl, Rohre und Halbzeug daraus
28	NE-Metallen (u. a. Edelmetalle, Aluminium, Zink, Kupfer) u. erste Bearbeitung
29	Gießereierzeugnissen
30	Metallerzeugnissen
31	Maschinen
32	Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen
33	Geräten der Elektrizitätserzeugung und -verteilung, u. Ä.

Nr.	Sektorbezeichnung
34	Erzeugnissen der Rundfunk-, Fernseh- und Nachrichtentechnik
35	Erzeugnissen der Medizin-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik
36	Kraftwagen und Kraftwagenteilen
37	Sonstigen Fahrzeugen (Wasser-, Schienen-, Luftfahrzeuge u. a.)
38	Möbeln, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte, Spielwaren u. Ä.
39	Sekundärrohstoffen
40	Erzeugung und Verteilung von Elektrizität und Fernwärme
41	Erzeugung und Verteilung von Gasen
42	Gewinnung und Verteilung von Wasser
43-44	Baugewerbe
43	Vorbereitende Baustellenarbeiten, Hoch- und Tiefbauarbeiten
44	Bauinstallations- und sonstige Bauarbeiten
45-71	Dienstleistungssektoren
45	Handelsleistungen mit Kfz; Reparatur an Kfz; Tankleistungen
46	Handelsvermittlungs- und Großhandelsleistungen
47	Einzelhandelsleistungen; Reparatur an Gebrauchsgütern
48	Beherbergungs- und Gaststätten-Dienstleistungen
49	Eisenbahn- Dienstleistungen
50	Sonstige Landverkehrsleistungen, Transportleistungen in Rohrfernleitungen
51	Schifffahrtsleistungen
52	Luftfahrtleistungen
53	Dienstleistungen bezüglich Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr
54	Nachrichtenübermittlungs- Dienstleistungen
55	Dienstleistungen der Kreditinstitute
56	Dienstleistungen der Versicherungen (oh. Sozialversicherung)
57	Dienstleistungen des Kredit- und Versicherungshilfsgewerbes
58	Dienstleistungen des Grundstücks- und Wohnungswesens
59	Dienstleistungen der Vermietung beweglicher Sachen (oh. Personal)
60	Dienstleistungen der Datenverarbeitung und von Datenbanken
61	Forschungs- und Entwicklungsleistungen
62	Unternehmensnahe/-bezogene Dienstleistungen
63	Dienstleistungen der öffentlichen Verwaltung, Verteidigung
64	Dienstleistungen der Sozialversicherung
65	Erziehungs- u. Unterrichts- Dienstleistungen
66	Dienstleistungen des Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesens
67	Abwasser-, Abfallbeseitigungs- u. sonst. Entsorgungsleistungen
68	Dienstleistungen von Interessenvertretungen, Kirchen u. Ä.
69	Kultur-, Sport- und Unterhaltungs-Dienstleistungen
70	Sonstige Dienstleistungen
71	Dienstleistungen privater Haushalte

7.2 Anhang A.2: Beschreibung Szenarienannahmen für 2025 zu Wachstum und Strukturwandel

Die zukünftigen Potenziale der IWBT hängen von einer Vielzahl sich gegenseitig beeinflussender Faktoren ab. Projektionsanalysen stehen deshalb nicht nur vor der Herausforderung, die Entwicklung der einzelnen relevanten Einflussfaktoren abzuschätzen, sondern müssen die gegenseitigen Wirkungszusammenhänge und die Konsistenz der dabei getroffenen Annahmen beachten. Es existieren bereits einige umfassende Analysen hinsichtlich der zukünftigen gesamtwirtschaftlichen und sektoralen Entwicklung für den deutschen bzw. europäischen Raum (u. a. Schur und Zika 2005, Prognos 2002, IPTS 2001). Für diese Analysen sind zu einem großen Teil Annahmen zu den gleichen Größen wie bei technikbezogenen Analysen im Bereich der IWBT zu treffen. Daher kann im Rahmen dieser Studie im Wesentlichen auf die demographischen, ökonomischen und technologischen Rahmenbedingungen zurückgegriffen werden, die im Rahmen dieser Prognosen entwickelt wurden. Hierbei handelt es sich jeweils um konsistente und abgestimmte Datensätze. Zudem geben die sektorbezogenen Projektionen wichtige Anhaltspunkte für die potenziellen Beschäftigungswirkungen der IWBT. Sind beispielsweise die Zukunftsaussichten der Anwenderbranchen der IWBT am Standort Deutschland schwach (z. B. stagnierende Inlandsnachfrage und geringe Exportzuwächse auf Grund einer abnehmenden internationalen Wettbewerbsfähigkeit), ist selbst bei einer zunehmenden inländischen Marktdurchdringung der IWBT in diesen Anwenderbranchen nur eine moderate Beschäftigungswirkung zu erwarten. Im Folgenden werden zentrale Annahmen und Ergebnisse der zu Grunde liegenden Zukunftsprojektionen (Schnur und Zika 2005, Prognos 2002, IPTS 2002) für die wichtigsten Anwenderbranchen der IWBT dargestellt und erörtert.

Weltwirtschaftliche und demographische Rahmenbedingungen

Zu den wichtigsten Rahmenbedingungen für die langfristige Entwicklung der deutschen Volkswirtschaft gehören insbesondere die weltwirtschaftliche und die demographische Entwicklung:

Das Wachstum der Weltwirtschaft bis 2020 wird nach bisherigen Prognosen in einer Bandbreite von 3 bis 4 % liegen. Der relative Beitrag der Industrieländer wird im zeitlichen Ablauf vermutlich schwächer werden, insbesondere die Bevölkerungsentwicklung dämpft die Wachstumsaussichten für die Jahre nach 2010 sowohl angebots- als auch nachfrageseitig. Der Welthandel wird bis 2020 mit ca. 5 % wachsen und positive außenwirtschaftliche Impulse für die exportstarke deutsche Wirtschaft mit sich bringen.

Die demographische Entwicklung wird im Wesentlichen durch die Geburtenrate, die Entwicklung der Lebenserwartung sowie der Wanderungssaldo aus Zuwanderung und Abwanderung bestimmt. Folgende Entwicklungen werden angenommen:

- eine stabile Geburtenrate von 1,4 Kindern je Frau.
- eine weiter steigende Lebenserwartung. Die mittlere fernere Lebenserwartung im Alter von 65 Jahren steigt bis zum Jahr 2010 auf 20,5 Jahre für Frauen und 16,7 Jahre für Männer. Bis zum Jahr 2020 erfolgt ein weiterer Anstieg auf 21,1 Jahre für Frauen und 17,2 Jahre für Männer.
- Die Zuzüge werden auch in Zukunft die Fortzüge übersteigen. Bis 2020 wird in den verschiedenen Studien von jährlichen positiven Wanderungssaldo von 170 bis 200 Tausend Personen ausgegangen.

Gemäß diesen Annahmen wird die Bevölkerung in Deutschland bis zum Jahr 2020 um über 1 Mio. abnehmen.

Wachstum der Gesamtwirtschaft

Das Wachstum des realen Bruttoinlandsprodukts in Deutschland wird auch in den kommenden 15 Jahren im Durchschnitt unter 2 % liegen. Die Prognosen liegen in einer Bandbreite zwischen 1,3 -1,9 %. Die treibende Kraft wird dabei weiterhin der Export sein. Die Absatzpotenziale für die deutsche Exportwirtschaft sind angesichts der Projektionen für die Entwicklung des Welthandels und das Wirtschaftswachstum der wichtigen Handelspartner hoch einzuschätzen. Allerdings werden die Importe langfristig etwas schneller wachsen als die Exporte. Der Außenbeitrag sinkt zwar nicht zwingend absolut, aber in dessen Relation zum Bruttoinlandsprodukt.

Die positiven Absatzerwartungen, vor allem im Ausland, wirken sich positiv auf die Investitionsneigung aus. Die zunehmende Wettbewerbsintensität auf den Weltmärkten erfordert Investitionen in die Modernisierung der Produktionsanlagen. Kürzere Produktlebenszyklen bedingen steigende Investitionen in Produktinnovationen. Angebotsseitig werden die Investitionen durch moderate Preissteigerungen begünstigt. Höhere Lohnabschlüsse wirken sich nach 2010 dämpfend aus. Letztere werden nicht zuletzt auf Grund eines sinkenden Arbeitsangebots und eines zunehmenden Fachkräftemangel höher ausfallen.

Die Gesamtzahl der Erwerbstätigen wird in Deutschland bis 2010 moderat um etwas mehr als 200 Tsd. ansteigen, die Entwicklung danach wird in den Studien zweispieltätig beurteilt. Entscheidend für das Ergebnis wird die Zunahme der gesamtwirtschaftlichen Produktivität sein.

Zukünftiger wirtschaftlicher Strukturwandel

Die künftige Wirtschaftsstruktur Deutschlands dürfte gekennzeichnet sein durch eine weiter zunehmende internationale Arbeitsteilung. Globalisierung und technologische Entwicklung stehen dabei in enger Wechselbeziehung. Durch Fortschritte im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien verschärft sich der internationale Wettbewerb und zwingt zu zusätzlichen Innovationsanstrengungen bei immer kürzer werdenden Produktzyklen. Dies erhöht den Druck, auf der unternehmerischen Nachfrageseite die Absatzgebiete auch international noch stärker auszuweiten, um bei verkürzten Lebenszyklen die hohen Entwicklungskosten der Produkte schnell amortisieren zu können.

Sehr entscheidend für die wirtschaftliche Entwicklung Deutschlands wird deshalb sein, dass sich die Unternehmen im internationalen Technologiewettbewerb behaupten können. Gelingt es ihnen, hier an der Spitze dabei zu sein, haben sie gute Chancen, sich dem Wettbewerb mit Unternehmen aus Ländern mit deutlich günstigeren Kostenstrukturen zu entziehen, die Wertschöpfung zu erhöhen und Einkommen zu generieren, die es weiterhin erlauben, das soziale System zu finanzieren. Fällt Deutschland dagegen zurück, werden Produktivitätsfortschritte und Wertschöpfungszuwächse immer schwerer zu realisieren sein und der Kostenwettbewerb mit Unternehmen in kleineren Industriestaaten (Ost-)Europas und in den aufstrebenden Ländern Asiens wird zunehmen.

Welche Chancen deutsche Unternehmen in diesen zukunftssträchtigen Feldern haben, hängt aber nicht allein davon ab, wie viele finanzielle Ressourcen sie für die Forschung und Entwicklung auf diesen Gebieten einsetzen werden. Vorgelagert ist vielmehr die Frage, unter welchen Voraussetzungen die Unternehmen entsprechende FuE-Aktivitäten am Standort Deutschland durchführen und hier zukunftsfähige Arbeitsplätze in Forschung, Entwicklung, Produktion und Vermarktung schaffen werden. Wichtig hierfür ist nicht zuletzt, wie das politisch-gesellschaftliche Umfeld neue technische Entwicklungen aufnehmen wird und wie die vom Staat mitgestalteten infrastrukturellen Voraussetzungen aussehen werden.

Der wirtschaftliche Strukturwandel in Richtung Dienstleistungsgesellschaft setzt sich in den nächsten zwanzig Jahren fort. Die reale wirtschaftliche Leistung der Dienstleistungsbereiche wird sich bis zum Jahr 2020 gegenüber heute um fast 50 % erhöhen. Dieser Trend mündet jedoch nicht in einer Deindustrialisierung. Der sich abzeichnende Trend zur Dienstleistungsgesellschaft ist Ausdruck einer „modernen Produktion“ für einen hoch entwickelten industriellen Kern. Insbesondere die wissensintensiven industrienahe und unternehmensorientierten Dienstleistungen dürften sich als das dynamische Segment erweisen. Deutschland hat hier Wettbewerbsvorteile, da diese unter-

nehmensbezogenen Dienstleistungen eine technologisch leistungsfähige industrielle Basis benötigen, um ihre Wachstums- und Beschäftigungseffekte entfalten zu können. Eine starke Komplementarität und nicht eine zunehmende Substitutionalität kennzeichnen also das künftige Verhältnis von Industrie und Dienstleistungen in Deutschland. Die Zukunft dürfte vor allem in der intelligenten Verknüpfung von Industrieproduktion und ergänzenden Dienstleistungen liegen. Integration und Systemlösungen werden vom Strukturwandel begünstigt und könnten Deutschlands Wettbewerbsposition auf dem Weltmarkt stärken.

Das produzierende Gewerbe wird demnach Kernbestandteil der deutschen Wirtschaft bleiben, bei der direkten Erwerbstätigkeit in den Sektoren selbst wird es aber zu erheblichen Strukturverschiebungen kommen. Die mit der Handelsliberalisierung einher gehende Intensivierung des internationalen Wettbewerbsdrucks zwingt die Industrieunternehmen zu Produktivitätsfortschritten, deren Zuwächse höher ausfallen als die Zunahme der Wertschöpfung. Im produzierenden Gewerbe (ohne Bau) wird die Zahl der Erwerbstätigen bis zum Jahr 2020 um fast 1,4 Mio. zurückgehen. Der Anteil der Erwerbstätigen an der Gesamtwirtschaft wird dabei von heute 22 % auf gut 18 % fallen. Die Dienstleistungsbranchen werden dagegen sowohl von der Nachfrage der Unternehmen (u. a. Logistik, Beratung, Service) als auch der Endverbraucher (u. a. Freizeit- und Kulturgüter, Gesundheitspflege, Versicherungen) profitieren.

Sektorale Entwicklung

Lediglich eine Studie von Prognos veröffentlicht eine detaillierte Disaggregation der wirtschaftlichen Entwicklung einzelner Wirtschaftsbranchen, die konkrete Aussagen über die Anwenderbranchen der IWBT liefert. Allerdings können die Ergebnisse anderer Studien auf einer höher aggregierten Ebene (z. B. Verarbeitendes Gewerbe) mit den Resultaten von Prognos verglichen werden, um deren Projektionen besser einordnen zu können (Schnur und Zika 2005, IPTS 2001).

Die Anwenderbranchen der IWBT zählen allesamt zum Verarbeitenden Gewerbe, dessen Entwicklung in der Prognos-Studie hinsichtlich der Erwerbstätigkeit zwar negativ, aber immer noch vergleichsweise optimistisch eingeschätzt wird. Die zukünftige Entwicklung der wichtigsten Anwenderbranchen gleicht in etwa der Entwicklung des gesamten verarbeitenden Gewerbes, für die Lebensmittelverarbeitung und Landwirtschaft sind die Zukunftsaussichten negativer. Demnach werden die Wachstumsraten für die Umsätze und Wertschöpfung für die betrachteten Branchen zwar positiv sein, die Beschäftigung wird allerdings auf Grund der Produktivitätsfortschritte zurückgehen. Hier ist allerdings die bereits erwähnte stärkere Verflechtung mit den Dienstleistungssektoren zu beachten. Ein steigender Anteil an Vorleistungen aus diesen Sektoren für die

Industrie führt schließlich zu höheren Beschäftigungseffekten in den Vorleistungssektoren. D. h. auch im Bezug auf die Beschäftigungseffekte der IWBT ist ein höherer Anteil an Vorleistungseffekten zu erwarten.

Tabelle A-2: Prognos-Studie Erwartete Wachstumsraten für wichtige IWBT-Sektoren 2005-2020

	Prognos: Umsatz: Wachstum in % (2005-2020)	Prognos: Brutto- wertschöpfung: Wachstum in % (2005-2020)	Prognos: Erwerbstätige: Wachstum in % (2005-2020)
Gesamtwirtschaft	38 %	32 %	-0,3 %
Verarbeitendes Gewerbe	38 %	25 %	-14 %
Chemie: Grundstoffe	33 %	20 %	-28 %
Chemie: Sonstige	48 %	27 %	-14 %
Lebensmittel	16 %	9 %	-17 %
Landwirtschaft	3 %	4 %	-34 %
Forschung u. Entwicklung	56 %	57 %	16 %

Quelle: Prognos 2002

7.3 Anhang A.3: Akteure, die an der schriftlichen Befragung und den Experteninterviews teilnahmen

Unternehmen: AB Enzymes, AHN Biotechnologie, AmBio, ARTES Biotechnology, ASA Spezialenzyme, Agragenossenschaft Voigtsdorf, Agrargesellschaft „Niederer Flaming“ Agrar – Produkte Bäuerliche Produktion & Absatz, Bayer, Biorefinery.de, Bio-serve, BioTek Instruments, Biozym, BISANTECH-NUOVA, Blessing Biotech, Blue-Sens, Braunschweigerische Maschinenbauanstalt, Celanese Chemicals Europe, Celonic, Cerestar Deutschland, Chiron Vaccines, Chr. Hansen Deutschland GmbH, CHT R.Beitlich, Combinature Biopharma, Cognis, Davids Biotechnologie, Degussa, Döhler, DOW Deutschland, DSM, Durst malz, EUCODIS, Festel Capital, Flott weg, Givaudan, Heller-Leder, Herbstreith & Fox, IEP, Jülich Chiral Solutions, KD Pharma Bexbach, Kelheim Fibres, KWS SAAT, LACTOPROT, LANXESS Deutschland, Lonza, Merck (Darmstadt), MicroPro, MW Textilveredelung- u. Handelsges. Windel, Novozymes A/S, Dr. August Oetker Nahrungsmittel, PolymerLatex, Remmers Bauchemie, Rentschler Biotechnologie, Rettenheimer & Söhne, Rich Hengstenberg, Dr. Riexs Healthcare, Roquette, Sartorius BBI Systems, Dr. Willmar Schwabe, Südchemie, Symrise, Südzucker, Trenzyme, Wacker FINE Chemicals, X-Zyme, Zucht-Zentrum Gleichamberg

Forschungseinrichtungen: RWTH Aachen, Universität des Saarlandes, Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald, Technische Universität Hamburg-Harburg, Universität Kiel, Universität Rostock, Universität Stuttgart, Universität Dortmund, Uni Duisburg-Essen, Universität Münster, Universität Würzburg, Universität Dresden, Universität Freiburg, Ruhr Universität Bochum, TU Darmstadt, Universität Hannover, TU Braunschweig, International University Bremen, Universität Göttingen, Universität Hannover, Universität Hohenheim, Utrecht University Copernicus Institute, Technische Universität München, Fachhochschule Bingen Leibniz-Institut für Agrartechnik, Hochschule Anhalt, Leibniz Institut für Naturstoff-Forschung u. Infektionsbiologie, ttz Bremerhaven, Forschungszentrum Karlsruhe (ITC-WGT), Sächsisches Institut für angewandte Biotechnologie, FILK, Gesellschaft für umweltkompatible Prozesstechnik mbH, BIFA GmbH, , Biotechnologie-Gesellschaft Mittelhessen, Bundesforschungsanstalt für Ernährung u. Lebensmittel, Fraunhofer ICT, Institut für Molekulare Enzymtechnologie (IMET), Saaten Union Resistenzlabor, Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West, Gesellschaft für biotechnologische Forschung. Universität Göttingen, Technische Universität München

Sonstige: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, BIOPOS, ChemSite Initiative NRW, Verband der Deutschen Lederindustrie, WiN Emscher Lippe

8 Literatur

- Acemoglu, D. (1998): Why Do New Technologies Complement Skills? Directed Technical Change and Wage Inequality. In: Quarterly Journal of Economics, 113, S. 1055-1089.
- Acevedo, F. (2002): Present and future of bioleaching in developing countries. In: Electronic Journal of Biotechnology, 5 (2), S. 4-13.
- Allansdotir, A.; Bonaccorsi, A.; Gambardella, A.; Mariani, M.; Orsenigo, L.; Pammolli, F.; Riccaboni, M. (2003): Innovation and Competitiveness in the European biotechnology, Enterprise Papers – No 7, report commissioned by the European Commission, DG Enterprise, as background paper for the Competitiveness Report 2001.
- Arundel, A.; Crespi, G. Patel, P. (2006): Biotechnology, Scoping Paper, 31.05.2006, Europe INNOVA, Innovation Watch.
- Audretsch, D.B. (2000): Knowledge, Globalization and Regions: An Economist's Perspective. In: Dunning, J.H. (eds.): Regions, Globalization and the Knowledge-Based Economy. Oxford, New York, S.63-81
- BACAS Royal Belgian Academy Council of Applied Science (2004): Industrial Biotechnology and Sustainable Chemistry. Brussels: BACAS.
- Bachmann, R.; Budde, F.; Riese, J. (2004): Die dritte Welle - Die Biotechnologie erobert die Chemieindustrie. In: Chemie Ingenieur Technik, 76 (8), pp. 1155-1158.
- Bajpai, P. (2004): Biological bleaching of chemical pulps. In: Critical Reviews in Biotechnology, 24 (1), S. 1-58.
- Bajpai, P. (2005): Environmentally benign approaches for pulp bleaching, 1, Amsterdam: Elsevier.
- Baker, R.T.; Kobayashi, S.; Leitner, W. (2006): Divide et Impera - Multiphase, green solvent and immobilization strategies for molecular catalysis. In: Advanced Synthesis and Catalysis, 348 (12-13), S. 1337-1340.
- Bakker, H., Osseweijer, P. (2005): Dutch Industrial Biotechnology: Building on Strengths, BIOforum Europe 7/2005.

- Bansal, A.K. (2005): Bioinformatics in microbial biotechnology - A mini review. In: *Microbial Cell Factories*, 4, S. Article No. 19.
- Barrault, J.; Pouilloux, Y.; Clacens, J.M.; Vanhove, C.; Bancquart, S. (2002): Catalysis and fine chemistry. In: *Catalysis Today*, 75 (1-4), S. 177-181.
- Batelle/Dornier/ISI (1976): Szenarien Chemische Technik. Studie im Auftrag des BMBF. Batelle-Bericht, Frankfurt.
- BCG (2001): Positionierung deutscher Biotechnologiecluster im internationalen Vergleich.
- Becher, G.; Schuppenhauer, M. (1996): *Kommerzielle BIOTECHNOLOGIE – Umsatz und Arbeitsplätze 1996-2000*. Basel: Prognos.
- Beilen, J.B.v.; Li, Z. (2002): Enzyme technology: an overview. In: *Current Opinion in Biotechnology*, 13 (4), S. 338-344.
- Beise, M., Cleff, T. (2004): Assessing the Lead Market Potential of Countries for Innovations Projects. In: *Journal of International Management*, 10 (4), S. 453-477.
- Beise, M., Rennings, K. (2005): Lead markets and regulation: a framework for analyzing the in-ternational diffusion of environmental innovations. In: *Ecological Economics*, 52(1), S. 5-17.
- Beise, M.; Belitz, H.; Reger, G.; Schmoch, U. (1999): Trends der Internationalisierung in ausgewählten Schlüsseltechnologien. In: Reger, G.; Beise, M.; Belitz, H. (Hrsg.): *Innovationsstandorte multinationaler Unternehmen*. Heidelberg: Physica-Verlag.
- Beise, M.; Cleff, T.; Heneric, O.; Rammer, C. (2002): *Lead Markt Deutschland*. ZEW.
- Berendsen, W.R.; Samorski, M.; Reuss, M. (2006): Einsatz und Potenzial der integrierten Miniplant-Technologie für die Enzymkatalyse. In: *Chemie Ingenieur Technik*, 78 (8), S. 1013-1021.
- Berg, C. (2004): *World Fuel Ethanol Analysis and Outlook*. Online: <http://www.distill.com/World-Fuel-Ethanol-A&O-2004.html> (Stand: 20.09.2004).

-
- Bevan, M.W.; Franssen, M.C.R. (2006): Investing in green and white biotech. In: *Nature Biotechnology*, 24 (7), S. 765-767.
- Bhat, M.K. (2000): Cellulases and related enzymes in biotechnology. In: *Biotechnology Advances*, 18, S. 355-383.
- biotechnologie.de (2006): Die deutsche Biotechnologie-Branche 2006, Daten & Fakten, Berlin.
- Blaser, H.-U. (2000): Heterogeneous catalysis for fine chemicals production. In: *Catalysis Today*, 60 (3-4), S. 161-165.
- Blaser, H.-U.; Spindler, F.; Studer, M. (2001): Enantioselective catalysis in fine chemicals production. In: *Applied Catalysis A: General*, 221 (1-2), S. 119-143.
- Blaser, H.-U.; Studer, M. (1999): The role of catalysis for the clean production of fine chemicals. In: *Applied Catalysis A: General*, 189 (2), S. 191-204.
- Blattner, N. (1996): Technischer Fortschritt und Arbeitslosigkeit, in: Gahlen, B. et al. (Hrsg.): *Arbeitslosigkeit und Möglichkeiten ihrer Überwindung*, Tübingen, S. 211-228.
- Blazejczak, J. et al. (1999): Umweltpolitik und Innovation: Politikmuster und Innovationswirkungen im internationalen Vergleich. In: *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht*, 22, S. 1-32.
- Blechinger, D.; Pfeiffer, F. (1999): Qualifikation, Beschäftigung und Technischer Fortschritt. Eine Analyse mit dem Mannheimer Innovationspanel. In: *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*, 218, S. 128-146.
- Blind, K.; Edler, J.; Frietsch, R.; Schmoch, U. (2003): Erfindungen kontra Patente. Schwerpunktstudie „Zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands“. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Blind, K.; Edler, J.; Frietsch, R.; Schmoch, U. (2004): The Patent Upsurge in Germany: The Outcome of a Multi-Motive Game induced by Large Companies, Working Paper presented at the 8th Schumpeter Conference in Milano. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

- Blind., K., Edler, J., Frietsch, R., Schmoch, U. (2006): Motives to Patent: Empirical Evidence from Germany.
- Blind., K., Frietsch, R. (2006): Integration verschiedener Technologieindikatoren, Studie zum deutschen Innovationssystem, Nr. 16-2006.
- Bloom, J.D.; Meyer, M.M.; Meinhold, P.; Otey, C.R.; MacMillan, D.; Arnold, F.H. (2005): Evolving strategies for enzyme engineering. In: *Current Opinion in Structural Biology*, 15 (4), S. 447-452.
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2000-2006): Jährliche Berichte zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands (inkl. der jeweiligen ergänzenden Berichte). Bonn.
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2005): Förderkatalog: Mittel des BMBF nach Förderbereichen/Förderschwerpunkten und Empfängergruppen in T EUR, Bonn, Berlin.
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2006): Bekanntmachung von Richtlinien zur Fördermaßnahme „BioIndustrie 2021 - Cluster-Wettbewerb zur Entwicklung neuer Produkte und Verfahren in der industriellen Biotechnologie“ im Rahmenprogramm „Biotechnologie - Chancen nutzen und gestalten“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.) (1996): Bundesbericht Forschung 1996. Bonn: BMBF.
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.) (2002): Faktenbericht Forschung 2002. Bonn: BMBF.
- BMVEL (2005): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2005.
- Bock, A.-K.; Rodriguez-Cerezo, E.; Hüsing, B.; Bührlen, B.; Nusser, M. (2005): Human tissue-engineered products: Potential socio-economic impacts of a new European regulatory framework for authorisation, supervision and vigilance. Technical Report EUR 21838 EN. Online: <ftp://ftp.jrc.es/pub/EURdoc/eur21838en.pdf>.
- Bornscheuer, U.T. (2005): Trends and challenges in enzyme technology. In: *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 100, S. 181-203.

-
- Boudet, A.M.; Kajita, S.; Grima-Pettenati, J.; Goffner, D. (2003): Lignins and lignocelluloses: a better control of synthesis for new and improved uses. In: Trends in Plant Science, 8 (12), S. 576-581.
- Braun, M.; Teichert, O.; Zweck, A. (2006): Übersichtstudie Biokatalyse in der industriellen Produktion, VDI Technologiezentrum, Düsseldorf.
- Breen, A.; Singleton, F. (1999): Fungi in lignocellulose breakdown and biopulping. In: Current Opinion in Biotechnology, 10, S. 252-258.
- Breier, R. (2000): Purely enzymatic antifelting finish of wool using the Lanazym process. In: Melliand Textilberichte/International Textile Reports, 81 (4), S. 298-302.
- Breuer, M.; Stürmer, R. (2006): Chemie und Biologie Hand in Hand. Enzyme als Katalysatoren. In: Chemie in unserer Zeit, 40 (2), S. 104-111.
- Brockmeier, M. (1998): Germany. In: McDougall, R. A.; Elbehri, A.; Truong, T. P. (Hrsg.): Global Trade Assistance and Protection: The GTAP 4 Data Base. Center for Global Trade Analysis, Purdue University, S. 14.7-1 – 14.7-7. http://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v4/v4_doco.asp.
- Bruch-Krumbein, W., Hochmuth, E. (2000): Cluster und Clusterpolitik, Begriffliche Grundlagen und empirische Fallbeispiele aus Ostdeutschland. Marburg
- Bruland K.; Mowery D. (2005): Innovation through time; in: Fagerberg J., Mowery D., Nelson R. (Hrsg.) (2005): The Oxford Handbbok of Innovation. Oxford.
- Bull, A.T.; Bunch, A.W.; Robinson, G.K. (1999): Biocatalysts for clean industrial products and processes. In: Current Opinion in Microbiology, 2, S. 246-251.
- Busch, R.; Hirth, T.; Liese, A.; Nordhoff, S.; Puls, J.; Pulz, O.; Sell, D.; Syldatk, C.; Ulber, R. (2006): Nutzung nachwachsender Rohstoffe in der industriellen Stoffproduktion. In: Chemie Ingenieur Technik, 78 (3), S. 219-228.
- BVK Bundesverband Deutscher Kapitalbeteiligungsgesellschaften (2000-2005): Jährliche BVK Statistiken, Berlin .
- Cammack, R.; Frey, M.; Robson, R. (2001): Hydrogen as a Fuel. Learning from Nature, 1, London: Taylor & Francis.

- Cao, L. (2005): Immobilised enzymes: Science or art? In: *Current Opinion in Chemical Biology*, 9 (2), S. 217-226.
- CheManager (2005). Umfeld Chemiemärkte. In: *CheManager*, 22/05.
- Cherry, J.R.; Wenger, K. (2005): Biomass conversion to fermentable sugar. In: *Bio-WorldEurope*, 1-2005, S. 10-12.
- Chiang, V.L. (2006): Monolignol biosynthesis and genetic engineering of lignin in trees, a review. In: *Environmental Chemistry Letters*, 4 (3), S. 143-146.
- Choudhary, R.B.; Jana, A.K.; Jha, M.K. (2004): Enzyme technology applications in leather processing. In: *Indian Journal of Chemical Technology*, 11 (5), S. 659-671.
- Claus, P.; Vogel, H. (2006): Die Rolle der Chemokatalyse bei der Etablierung der Technologieplattform „Nachwachsende Rohstoffe“. In: *Chemie Ingenieur Technik*, 78 (8), S. 991-1012.
- Clements, F.; Bayer, K. (2006): Improvement of bioprocess monitoring: Development of novel concepts. In: *Microbial Cell Factories*, 5, S. Article No. 19.
- Coss, S. (1998): EU-ministers debate EU-wide moratorium on GM crops. In: *European Voice* of December 17th, 1998.
- Cowling, M., Fryges, H., Licht, G., Murray, G. (2007): The survival and growth of adolescent high-tech firms in Germany and the UK, 1997-2003. Mannheim
- Crank, M.; Patel, M.; Marscheider-Weidemann, F.; Schleich, J.; Hüsing, B.; Angerer, G. (2004): Techno-economic Feasibility of Large-scale Production of Bio-based Polymers in Europe (PRO-BIP). Final Report prepared for the European Commission's Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla, Spain, Utrecht, Karlsruhe: Universiteit Utrecht, Fraunhofer ISI.
- Dechema (2004): Weiße Biotechnologie: Chancen für Deutschland, Frankfurt/M.: DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V.
- Dechema (2005): BIOTECHNOLOGIE 2020 - Von der gläsernen Zelle zum maßgeschneiderten Prozess, Frankfurt.

-
- Deutsche Bank Research (2007): Weiße Biotechnologie. Schlummerndes Potenzial wird geweckt. Frank, H.-J. (ed.), Frankfurt/M: Deutsche Bank Research.
- Dinus, R.J. (2001): Genetic improvement of poplar feedstock quality for ethanol production. In: Applied Biochemistry and Biotechnology, 91-93, S. 23-34.
- Dinus, R.J.; Payne, P.; Sewell, M.M.; Chiang, V.L.; Tuskan, G.A. (2001): Genetic Modification of Short Rotation Poplar Wood: Properties for Ethanol Fuel and Fiber Productions. In: Critical Reviews in Plant Sciences, 20 (1), S. 51-69.
- Dohse (2005): Clusterorientierte Technologiepolitik in Deutschland: Konzepte und Erfahrungen. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis Nr. 1, 14. Jg., März 2005
- Dohse, D. (2005): Clusterorientierte Technologiepolitik in Deutschland: Konzepte und Erfahrungen. Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis Nr. 1, 14. Jg.
- Dosi, G. (1988): The nature of the innovative process. In: Dosi, G. et al. (Hrsg.): Technical change and economic theory. London: Pinter, S. 221-238.
- Drepper, T.; Eggert, T.; Hummel, W.; Leggewie, C.; Pohl, M.; Rosenau, R.; Jaeger, K.-E. (2006a): Neue Biokatalysatoren für die Weiße Biotechnologie. In: Chemie Ingenieur Technik, 78 (3), S. 239-248.
- Drepper, T.; Eggert, T.; Hummel, W.; Leggewie, C.; Pohl, M.; Rosenau, F.; Wilhelm, S.; Jaeger, K.-E. (2006b): Novel biocatalysts for white biotechnology. In: Biotechnology, 1 (7-8), S. 777-786.
- Drumm, L. (2005): Increasing the penetration rate of biotechnology in the chemical industry, in: Industrial Biotechnology, 1, No.4, S. 244-246.
- DSM (2004): Industrial (White) Biotechnology: An Effective Route to Increase EU Innovation and Sustainable Growth - Position Document on Industrial Biotechnology in Europe and the Netherlands.
- DTI (2004): Impact of industrial biotechnology on sustainability of the manufacturing base – the Japanese perspective. Report of a DTI Global Watch Mission.

- Dudukovic, M.P.; Larachi, F.; Mills, P.L. (2002): Multiphase catalytic reactors: A perspective on current knowledge and future trends. In: *Catalysis Reviews - Science and Engineering*, 44 (1), S. 123-246.
- Dunn, D.A.; Pinkert, C.A.; Kooyman, D.L. (2005): Foundation Review: Transgenic animals and their impact on the drug discovery industry. In: *Drug Discovery Today*, 10 (11), S. 757-767.
- Duran, N.; Duran, M. (2000): Enzyme applications in the textile industry. In: *Review of Progress in Coloration and Related Topics*, 30, S. 41-44.
- Dürre, P. (1998): New insights and novel developments in clostridial acetone/butanol/isopropanol fermentation. In: *Appl Microbiol Biotechnol*, 49, S. 639-648.
- Ebskamp, M.J.M. (2002): Engineering flax and hemp for an alternative to cotton. In: *Trends in Biotechnology*, 20 (6), S. 229-230.
- Edler, J., Bühner, S., Lo, V., Rainfurth, C., Kuhlmann, S., Sheikh, S. (2003): Assessment „Zukunft der Kompetenzzentrenprogramme (K plus und K ind/net) und Zukunft der Kompetenzzentren, Endbericht an das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) und das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) in Kooperation mit KMU Forschung Austria, Wien.
- Edquist, C. (Hrsg.) (1997): *Systems of Innovations, Technologies, Institutions and Organisations*. London.
- Egorova, K.; Antranikian, G. (2005): Industrial relevance of thermophilic Archaea. In: *Current Opinion in Microbiology*, 8 (6), S. 649-655.
- El Sakhawy, M. (2002): Innovative approaches in pulping of lignocelluloses - A review. In: *IPPTA: Quarterly Journal of Indian Pulp and Paper Technical Association*, 14 (1), S. 47-56.
- EPO (2002): *Fakten und Zahlen*. München: Europäisches Patentamt. Zugriff unter: http://www.european-patent-office.org/epo/facts_figures/facts2002/pdf/facts_figures_02.pdf.
- Ernst & Young (1996): *European biotech 96 – Volatility and value*. Brüssel.

-
- Ernst & Young (1997): European biotech 97 – A new economy. Brüssel.
- Ernst & Young (1998a): European biotech 98 – Continental shift. Brüssel.
- Ernst & Young (1998b): Erster deutscher BIOTECHNOLOGIE-Report – Aufbruchstim-
mung. Mannheim.
- Ernst & Young (1999): European biotech 99 – Communicating value. Brüssel.
- Ernst & Young (2000): Gründerzeit. Zweiter Deutscher BIOTECHNOLOGIE-Report.
Stuttgart.
- Ernst & Young (2002): Neue Chancen. Ernst & Young Deutscher Biotechnologie-
Report 2002. Mannheim.
- Ernst & Young (2003): Zeit der Bewährung. Deutscher BIOTECHNOLOGIE-Report
2003, Mannheim.
- Ernst & Young (2003a): Endurance. Cambridge, UK.
- Ernst & Young (2003b): Zeit der Bewährung. Deutscher Biotechnologie-Report 2003.
Mannheim.
- Ernst & Young (2004): Per Aspera Ad Adstra – Der steinige Weg zu den Sternen.
Deutscher Biotechnologie-Report 2004. Mannheim.
- Ernst & Young (2005): Kräfte der Evolution. Deutscher Biotechnologie-Report 2005,
Mannheim.
- Ernst & Young (2006): Zurück in die Zukunft. Deutscher Biotechnologie-Report 2006,
Mannheim.
- Etschmann, M.M.W.; Gebhart, P.; Sell, D. (1999): Ökonomische und ökologische Vor-
teile durch die industrielle Anwendung biotechnologischer Verfahren ein Fallbei-
spiel aus der Textilindustrie: Karl-Winnacker-Institut. Online: www.kwi.dechema.de/biovt/deutsch/texber.htm.
- Eurobarometer (2003): Europeans and Biotechnology in 2002, Eurobarometer 58.0, A
report to the EC Directorate General for Research from the project „Life Sciences
in European Society”, UK.

Eurobarometer (2006): Europeans and Biotechnology in 2005: Patterns and Trends, Eurobarometer 64.3, A report to the EC Directorate General for Research, UK.

EuropaBio (2003): White Biotechnology - Gateway to a More Sustainable Future, Brussels: EuropaBio.

EuropaBio (2005): Industrial or White Biotechnology: A driver of sustainable growth in Europe.

EuropaBio (2006): Developing a Lead Market in Europe for Bio-Based-Products, , SuSChem Platform Document .

EWI/Prognos (2005): Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030. Energie-wirtschaftliche Referenzprognose im Auftrag des BMWA, Köln/Basel .

Ezeji, T.C.; Qureshi, N.; Blaschek, H.P. (2004): Butanol fermentation research: upstream and downstream manipulations. In: Chem Rec, 4 (5), S. 305-314.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2004): Handreichung. Biogasgewinnung und -nutzung, Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe.

Fernandes, P.; Cabral, J.M.S. (2006): Microlitre/millilitre shaken bioreactors in fermentative and biotransformation processes - A review. In: Biocatalysis and Biotransformation, 24 (4), S. 237-252.

Ferrer, M.; Martinez-Abarca, F.; Golyshin, P.N. (2005): Mining genomes and 'metagenomes' for novel catalysts. In: Current Opinion in Biotechnology, 16 (6), S. 588-593.

Festel, G., Foth, O., Zinke, H., (2005): Getting white to right. Eur. Chem. News May 23-29, 20-21.

Festel, G., Knöll, J., Götz, H., Zinke, H. (2004): Der Einfluss der Biotechnologie auf Produktionsverfahren in der Chemieindustrie, in: Chemie Ingenieur Technik, 76, No. 3, S. 307-308.

Flaschel, E., Sell D. (2005): Charme und Chancen der Weißen Biotechnologie; in: Chemie Ingenieur Technik, 77, No. 9, S. 1298-1312.

-
- Floss, H.G. (2006): Combinatorial biosynthesis - Potential and problems. In: Journal of Biotechnology, 124 (1), S. 242-257.
- Freeman, C. (1988): Japan: A new national system of innovation. In: Dosi, G. et al. (Hrsg.): Technical change and economic theory. London: Pinter Publishers Ltd., S. 331-348.
- Frietsch, R. (2004): „Intensivierung“ von Bildungsabschlüssen zwischen 1970 und 2000, Studien zum deutschen Innovationssystem, Nr. 5-2004.
- Frietsch, R. (2006): Patente in Europa und der Triade - Strukturen und deren Veränderung, Studienzum deutschen Innovationssystem, Nr. 12-2006.
- Frietsch, R. (2006): Qualifikationsstrukturen im Spiegel der technologischen Leistungsfähigkeit, Studien zum deutschen Innovationssystem, Nr. 15-2006.
- Fritsch, M. (2005): Technologietransfer durch Unternehmensgründungen. In: Fritsch, M., Koschatzky, K. (Hg.): Den Wandel gestalten. Stuttgart, S. 21-33
- Fuchs, J., Schnur, P., Zika, G. (2005): Arbeitsmarktbilanz bis 2020 Besserung langfristig möglich; IAB-Kurzbericht Nr. 24.
- Futurewatch (2005): Biotechnologies to 2025. The Ministry of Research, Science and Technology, New Zealand, Januar 2005.
- Gaisser, S.; Hoogeveen, R.; Hüsing, B. (2002): Überblick über den Stand von Wissenschaft und Technik im produktionsintegrierten Umweltschutz durch Biotechnologie (PIUS-BT), Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Gambardella, A.; Orsenigo, L.; Pammolli, F. (2000): Global competitiveness in pharmaceuticals: a European perspective. Report prepared for the Directorate General Enterprise of the European Commission.
- Gapes, J.R. (2000): The Economics of Acetone-Butanol Fermentation: Theoretical and Market Considerations. In: Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology, 2 (1), S. 27-32.
- Gardner, D. (2005): Pro-Bio Faraday Partnership – Views on Issues Raised in the Lambert Review.

- Gaskell, G.; Stares, S.; Allansdottir, A.; Allum, N.; Corchero, C.; Fischler, C.; Hampel, J.; Jackson, J.; Kronberger, N.; Mejlgaard, N.; Revuelta, G.; Schreiner, C.; Torgersen, H.; Wagner, W. (2006): Europeans and Biotechnology in 2005. Patterns and Trends. Eurobarometer 64.3, London, Brussels: London School of Economics, European Commission DG Research.
- Gassen, H.-G. (2007): High-tech bioactives and novel enzymes from BRAIN, a European pioneer in white biotechnology. In: *Biotechnology Journal*, Vol. 1, Issue 7-8, S.752-755.
- Gausemeier, J. et al. (1997): Szenariotechnik. In: Westphalen, R. v. (Hrsg.), *Technikfolgenabschätzung*, 3. Auflage, München, S. 203-221.
- Gavrilescu, M., Chisti, Y. (2004): Biotechnology - a sustainable alternative for chemical industry, in: *Biotechnology Advances*, 23 (7-8), S. 471-49.
- Gavrilescu, M.; Chisti, Y. (2005): Biotechnology--a sustainable alternative for chemical industry. In: *Biotechnology Advances*, 23 (7-8), S. 471-499.
- Gerybadze, A. (2005): Governance-Strukturen in multinationalen Konzernen. In: Fritsch, M., Koschatzky, K. (Hg.) (2005): *Den Wandel gestalten*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2005, S. 51-69
- Gerybadze, A.; Meyer-Kramer, F.; Reger, G. (1997): *Globales Management von Forschung und Entwicklung*. Stuttgart.
- Godet, M. (2000): The Art of Scenarios and Strategic Planning: Tools and Pitfalls. In: *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 65, 2000, Nr. 1, S. 23-30.
- Gomes, J.; Steiner, W. (2004): The biocatalytic potential of extremophiles and extremozymes. In: *Food Technology and Biotechnology*, 42 (4), S. 223-235.
- Granovetter, M. (1984): Small is Bountiful: Labour Markets and Establishment Size, *American Sociological Review*, Vol. 49, No. 3, S. 323-334
- Greer, D. (2005): Spinning straw into fuel. In: *BioCycle*, 46 (4), S. 61-65.
- Gupta, R.; Ramnani, P. (2006): Microbial keratinases and their prospective applications: An overview. In: *Applied Microbiology and Biotechnology*, 70 (1), S. 21-33.

-
- Gutierrez, A.; Del Ro, J.C.; Martnez, M.J.; Mart, A.T. (2001): The biotechnological control of pitch in paper pulp manufacturing. In: Trends in Biotechnology, 19 (9), S. 340-348.
- Hagemann, H. (1985): Freisetzungs- und Kompensationseffekte neuer Technologien. In: Butler, F.; Kühl, B. (Hrsg.): Rahmen, Staat und Beschäftigung, Beiträge zur Arbeitsmarkt und Berufsforschung Nr. 88, Nürnberg, S. 291-335.
- Hagemann, H. et al. (1998): Zukunftsperspektiven Deutschlands im internationalen Wettbewerb: Industriepolitische Implikationen der Neuen Wachstumstheorie. Heidelberg.
- Haki, G.D.; Rakshit, S.K. (2003): Developments in industrially important thermostable enzymes: A review. In: Bioresource Technology, 89 (1), S. 17-34.
- Halpin, C.; Boerjan, W. (2003): Stacking transgenes in forest trees. In: Trends in Plant Science, 8 (8), S. 363-365.
- Hamlyn, P.F.; McCarthy, B.J. (2001): Application of genetic modification techniques in the production of textile fibres. In: Review of Progress in Coloration and Related Topics, 32, S. 15-20.
- Hasan, F.; Shah, A.A.; Hameed, A. (2006): Industrial applications of microbial lipases. In: Enzyme and Microbial Technology, 39 (2), S. 235-251.
- Häussler, B., Cassel, D., Wille, E. (2006): Steuerung der Arzneimittelausgaben und Stärkung des Forschungsstandortes für die pharmazeutische Industrie. Gutachten für das Bundesministerium für Gesundheit
- Heine, C., Egel, J., Kerst, C., Müller, E., Park ;S. (2006): Bestimmungsgründe für die Wahl von ingenieur- und naturwissenschaftlichen Studiengängen, Studien zum deutschen Innovationssystem, Nr. 4-2006.
- Hempel, D.C. (2006): Integration gen- und verfahrenstechnischer Methoden zur Entwicklung biotechnologischer Prozesse Sonderforschungsbereich 578 – Vom Gen zum Produkt, in Chemie Ingenieur Technik 2006, 78, No.3.
- Henry, D. (2006): Production of biopharmaceuticals and vaccines in plants via the chloroplast genome. In: Biotechnology Journal, 1 (10), S. 1071-1079.

- Herdt, R.W. (2006): Biotechnology in Agriculture. In: Annual Review of Environment and Resources, 31 (1), S. 265-295.
- Herrera S. (2004): Industrial biotechnology: A chance at redemption, in: Nature Biotechnology, Vol. 22, Nr. 6, S. 671-675.
- Hetmeier, H.-W.; Göbel, W.; Brugger, P. (1995): Ausgaben für biotechnologische Forschung. Metzler-Poeschel. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Hinze, S.; Reiß, T.; Dominguez Lacasa, I.; Wörner, S. (2001): Einfluss der Biotechnologie auf das Innovationssystem der pharmazeutischen Industrie. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Hollrichter (2007): Weiße Biotechnologie im Aufwind?, in: Laborjournal 03/2007.
- Holme, I. (2004): Enzymes for innovative textile treatments. In: Textiles Magazine, 31 (3), S. 8-14.
- Holub, H.-W.; Schnabl, H. (1994): Input-Output-Analyse. München, Wien: Oldenburg.
- Holwegler B. (2003): Innovation, Diffusion und Beschäftigung : die ökonomische Theorie der Technologiediffusion und ihr Beitrag zur Erklärung technologischer Arbeitslosigkeit; Berlin.
- Hudson, E.P.; Eppler, R.K.; Clark, D.S. (2005): Biocatalysis in semi-aqueous and nearly anhydrous conditions. In: Current Opinion in Biotechnology, 16 (6), S. 637-643.
- Huisman, G.W.; Gray, D. (2002): Towards novel processes for the fine-chemical and pharmaceutical industries. In: Current Opinion in Biotechnology, 13, S. 352-358.
- Hüsing, B. (1997): Trends of Bio-Hydrogen Research and Development in Europe. Report for the Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE), Tokyo, Japan, Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Hüsing, B. (1998): Aktuelle Trends in der UmweltBIOTECHNOLOGIE. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

-
- Hüsing, B. (2004): Umweltbiotechnologie im produktionsintegrierten Umweltschutz In: Tagungsband „2. Reissensburger Umweltbiotechnologie-Tag: Anwendung der Biotechnologie in der chemischen Industrie“. Gröger, G. (Hrsg.). Ulm: Umweltregion Augsburg-Ulm, S. 51-64.
- Hüsing, B. (2005): From Technology to Economy and Society – Conclusions from the BREW project. Presentation at the Bioperspectives Conference, Wiesbaden, Germany, May 11, 2005.
- Hüsing, B., Bierhals, R., Bührlen B., Friedwald, M., Kimpeler, S., Menrad, K., Wengel, J., Zimmer, R., Zoche, P. (2002): Technikakzeptanz und Nachfragemuster als Standortvorteil: Abschlussbericht an das Bundesministerium für Bildung und Forschung, Referat Z22, vertreten durch den Projektträger VDI/VDE-Technologiezentrum Informationstechnik GmbH.
- Hüsing, B.; Angerer, G.; Gaisser, S.; Marscheider-Weidemann, F. (2003): Biotechnologische Herstellung von Wertstoffen unter besonderer Berücksichtigung von Energieträgern und Biopolymeren aus Reststoffen. Forschungsbericht 200 66 301. UBA-Texte 64/03. Berlin: Umweltbundesamt.
- Hüsing, B.; Gießler, S.; Jaeckel, G. (1998): Stand der Möglichkeiten von prozessintegrierten biotechnischen Präventivtechniken zur Vermeidung oder zur Verminderung von Umweltbelastungen. UBA-Texte 68/98, Berlin: Umweltbundesamt.
- Hüsing, B.; Jaeckel, G.; Wörner, S.; Würth, A. (2000): The Introduction of Process-integrated Biocatalysts into Companies - Effect of Dynamics in Internal and External Networks. Seville: Institute for Prospective Technological Studies.
- IBTF (2004): Industrial Biotechnology: Delivering Sustainability and Competitiveness. A Draft Report by the UK Industrial Biotechnology Task Force (IBTF).
- IPTS (2001): Impact of Technological and Structural Change on Employment, Prospective Analysis 2020, Synthesis Report, Sevilla.
- IPTS (2002): The Assessment of Future Environmental and Economic Impacts of Process-Integrated Biocatalysts.
- Jacobs et al. (2005): Lead Markets for Environmental Innovations, ZEW Economic Studies, Bd. 27, Mannheim.

- Jaeger, K.-E.; Reetz, M.T. (1998): Microbial lipases form versatile tools for biotechnology. In: *Tibtech*, 16, S. 396-403.
- James, C. (2005): *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops 2005*. Itaca, N. Y.: International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA), Brief 34.
- James, C. (2005): *Preview. Global review of commercialised transgenic plants 2005*. Itaca, N. Y.: International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA).
- Jänicke, M., Kunig, P., Stitzel, M. (1999): *Umweltpolitik*. Bonn.
- Janssen-Timmen R.; Moos, W. (2004): *The Economic Importance of Cross-Sectional Technologies: An Input-Output Approach*. A. Bayar (ed.): *Input-Output and General Equilibrium: Data, Modeling, and Policy Analysis*. Proceedings. Brussels.
- Janz, N.; Licht, G.; Doherr, T. (2001): *Innovation Activities and European Patenting of German Firms: A Panel Data Analysis*, Paper presented at the Annual Conference of the European Association of Research in Industrial Economics.
- Jestin, J.L.; Vichier-Guerre, S. (2005): *How to broaden enzyme substrate specificity: Strategies, implications and applications*. In: *Research in Microbiology*, 156 (10), S. 961-966.
- Jewett, M.C.; Oliveira, A.P.; Patil, K.R.; Nielsen, J. (2005): *The role of high-throughput transcriptome analysis in metabolic engineering*. In: *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 10 (5), S. 385-399.
- Jochem, E. (1988): *Technikfolgenabschätzung am Beispiel der Solarenergienutzung*. Frankfurt/Bern/New York/Paris: Peter Lang Verlag.
- Johannes, T.W.; Zhao, H. (2006): *Directed evolution of enzymes and biosynthetic pathways*. In: *Current Opinion in Microbiology*, 9 (3), S. 261-267.
- Johnson, C.R.; Wells, G.W. (1998): *Organic synthesis using biocatalytically generated intermediates*. In: *Current Opinion in Chemical Biology*, 2, S. 70-76.
- Joshi, L.; Lopez, L.C. (2005): *Bioprospecting in plants for engineered proteins*. In: *Current Opinion in Plant Biology*, 8 (2), S. 223-226.

-
- Jouvenel, H. D. (2000): A Brief Methodological Guide to Scenario Building. In: Technological Forecasting and Social Change, Vol. 65, 2000, Nr. 1, S. 37-48.
- Jungmittag, A.; Reger, G.; Reiss, T. (Hrsg.) (2000): Changing innovation in the pharmaceutical industry. Globalization and new ways of drug development. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Junker, B.H.; Wang, H.Y. (2006): Bioprocess monitoring and computer control: Key roots of the current PAT initiative. In: Biotechnology and Bioengineering, 95 (2), S. 226-261.
- Kahn H., Bruce-Briggs B. (1972): Things to Come. New York: The MacMillan Company.
- Kaltschmitt, M., Hartmann, H. (2001): Energie aus Biomasse. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Kalyanpur, M. (2002): Downstream processing in the biotechnology industry. In: Applied Biochemistry and Biotechnology - Part B Molecular Biotechnology, 22 (1), S. 87-98.
- Kamm, B.; Gruber, P.R.; Kamm, M. (2006a): Biorefineries - industrial processes and products. Status quo and future directions. Vol. 1, Weinheim, Berlin, New York, Chichester: Wiley-VCH.
- Kamm, B.; Gruber, P.R.; Kamm, M. (2006b): Biorefineries - industrial processes and products. Status quo and future directions. Vol. 2, Weinheim, Berlin, New York, Chichester: Wiley-VCH.
- Kamm, B.; Kamm, M.; Kromus, S.; Narodoslawsky, M. (2000): Green Biorefinery - European Network for the Implementation of Biorefineries (NIB). In: Brandenburgische Umwelt Berichte (BUB), 8, S. 251-259.
- Karshenas, M. und Stoneman, P. (1995): Technological Diffusion. In: Stoneman, P. (Hrsg.): Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change. Oxford, S. 265-297.
- Kaur, J.; Sharma, R. (2006): Directed evolution: An approach to engineer enzymes. In: Critical Reviews in Biotechnology, 26 (3), S. 165-199.

- Kemp, R. et al. (2000): How should we study the relationship between environmental regulation and innovation? IPTS report. Sevilla, May 2000.
- Kinkel, S. (2004): Erfolgskritische Standortfaktoren ableiten – eine erfahrungsbasierte Auswahlhilfe. In: Kinkel, S. (Hrsg.): Erfolgsfaktor Standortplanung. S. 49-73.
- Kircher, M. (2006): White Biotechnology: Ready to partner and invest in. In: *Biotechnology*, 1, S. 787-794.
- Kirk, O.; Borchert, T.V.; Fuglsang, C.C. (2002): Industrial enzyme applications. In: *Current Opinion in Biotechnology*, 13 (4), S. 345-351.
- Kitano, H. (2002): Systems biology: a brief overview. In: *Science*, 295 (5560), S. 1662-1664.
- Klauder, W. (1986): Technischer Fortschritt und Beschäftigung. In: *Mitt AB* 1986, Nr. 1, S. 1-19.
- Klemmer, P. et al. (1999): *Umweltinnovationen*. Berlin: Analytica Verlag.
- Kline, S. J. (1985): Innovation is not a Linear Process. In: *Research Management*, 28/1985, S. 34-45.
- Kline, S. J.; Rosenberg, N. (1986): An overview on innovation. In: Landau, R.; Rosenberg, N. (Hrsg.): *The positive sum strategy. Harnessing technology for economic growth*. Washington D. C.: National Academy Press, S. 275-305.
- KMK (Kulturministerkonferenz) (2005): Prognose der Studienanfänger, Studierenden und Hochschulabsolventen bis 2020. In: *Statistische Veröffentlichungen der Kultusministerkonferenz, Dokumentation Nr. 176*.
- Koeller, K.M.; Wong, C.-H. (2001): Enzymes for chemical synthesis. In: *Nature*, 409, S. 232-240.
- Koffas, M.; Stephanopoulos, G. (2005): Strain improvement by metabolic engineering: Lysine production as a case study for systems biology. In: *Current Opinion in Biotechnology*, 16 (3 SPEC. ISS.), S. 361-366.
- Kortum, S.; Lerner, J. (1999): What is behind the recent surge in patenting? In: *Research Policy*, 28, S. 1-22.

-
- Koschatzky, K. (2003): Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen in Deutschland. Bestandsaufnahme, Marktanalyse und innovationspolitische Schlussfolgerung. In: Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis 12 (2003), H. 3/4, S. 79-85
- Koschatzky, K., Krauthelm, G., Pleschak, F., Stummer, F., Uhlmann, H.-J. (2002): Perspektiven der Ansiedlung innovativer Technologien in Südwestsachsen. Stuttgart, 103 S.
- Koschatzky, K., Lo, V (2005): Innovationspolitik in den neuen Ländern: Bestandsaufnahme und Gestaltungsmöglichkeiten. Stuttgart
- Koschatzky, K., Müller, E., Zenker, A. (2003): Katalysatoren und Hemmnisse der regionalen Innovationstechnik. In: Koschatzky, Knut (Hg.): Innovative Impulse für die Region - Aktuelle Tendenzen und Entwicklungsstrategien. Stuttgart, S. 133-152
- Koschatzky, Knut, Kulicke, Marianne (Hg.) (2002): Wissenschaft und Wirtschaft im regionalen Gründungskontext. Stuttgart
- Kriegesmann B., Kerka F., Sieger C. (2005): Zukunftsperspektiven der BIOTECHNOLOGIE – Nur Umsetzungseliten schaffen Wachstum. In: Innovation: Forschung und Management, Band 24.
- Kultusministerkonferenz (2003): Fächerspezifische Prognose der deutschen Hochschulabsolventen. In: Statistische Veröffentlichungen der Kultusministerkonferenz, Band 168.
- Kumar, R.A.; Clark, D.S. (2006): High-throughput screening of biocatalytic activity: applications in drug discovery. In: Current Opinion in Chemical Biology, 10 (2), S. 162-168.
- Kumar, S.; Wittmann, C.; Heinzle, E. (2004): Minibioreactors. In: Biotechnology Letters, 26 (1), S. 1-10.
- Kurian, J.V. (2005): A new polymer platform for the future - Sorona from corn derived 1,3-propanediol. In: Journal of Polymers and the Environment, 13 (2), S. 159-167.
- Langer, M.; Gabor, E.M.; Liebeton, K.; Meurer, G.; Niehaus, F.; Schulze, R.; Eck, J.; Lorenz, P. (2006): Metagenomics: An inexhaustible access to nature's diversity. In: Biotechnology, 1, S. 815-821.

- Lazaris, A.; et.al. (2002): Spider silk fibers spun from soluble recombinant silk produced in mammalian cells. In: *Science*, 295, S. 472-476.
- Ledford, H. (2006): The farmyard drug store. In: *Nature*, 443 (7107), S. 16-17.
- Lee, S.Y.; Lee, D.Y.; Kim, T.Y. (2005): Systems biotechnology for strain improvement. In: *Trends in Biotechnology*, 23 (7), S. 349-358.
- Legler, H., Gehrke, B., Krawczyk, O. (2005): Deutschlands forschungs- und wissensintensive Wirtschaftszweige: Spezialisierung, Wachstum, Beschäftigung und Qualifikationserfordernisse, Studie zum deutschen Innovationssystem 14-2005.
- Lichtenthaler, F.W.; Peters, S. (2004): Carbohydrates as green raw materials for the chemical industry. In: *Comptes Rendus Chimie*, 7 (2), S. 65-90.
- Liese, A.; Seelbach, K.; Wandrey, C. (2000): *Industrial Biotransformations*, 1, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH.
- Lievonen, J. (1999): Technological opportunities in biotechnology, Technical Research Center of Finland.
- Lillico, S.G.; McGrew, M.J.; Sherman, A.; Sang, H.M. (2005): Transgenic chickens as bioreactors for protein-based drugs. In: *Drug Discovery Today*, 10 (3), S. 191-196.
- Lindroos, P. , Ferreira B.S. (2006): Priorities in Advancing Plant and Industrial Applications of Biotech, Presentation Working Group on „Plant Science and the Knowledge-based Bioeconomy” of the Member States contact network for biotechnology, Helsinki.
- Lorenz, P. (2006): Metagenomics für die Weiße Biotechnologie. In: *Chemie Ingenieur Technik*, 78 (4), S. 461-468.
- Lorenz, P., Zinke, H. (2005): White Biotechnology: differences in US and EU approaches? In: *TRENDS in Biotechnology*, 23, No.12, S. 570-574.
- Lorenz, P.; Eck, J. (2004): Screening for novel industrial biocatalysts. In: *Engineering in Life Sciences*, 4 (6), S. 501-504.

-
- Lorenz, P.; Eck, J. (2005): Metagenomics and industrial applications. In: *Nature Reviews Microbiology*, 3 (6), S. 510-516.
- Lundvall B.Ä.; Borrás S. (1997): *The globalising learning economy: implications for innovation policy*. Luxemburg: EUR-OP, 1997.
- Lundvall, B. A. (1988) *Innovation as an Interactive Process: From User – Producer Interaction to National System of Innovation*. In: G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg and L. Soete (Hrsg.) (1988) *Technical change and Economic Theory*. London: Frances Pinter.
- Lundvall, B. A. (1992): *National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. London.
- Lusk, J.L.; Jamal, M.; Kurlander, L.; Roucan, M.; Taulman, L. (2005): A meta-analysis of genetically modified food valuation studies. In: *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 30 (1), S. 28-44.
- Lynd, L.R.; Van Zyl, W.H.; McBride, J.E.; Laser, M. (2005): Consolidated bioprocessing of cellulosic biomass: An update. In: *Current Opinion in Biotechnology*, 16 (5), S. 577-583.
- Lynd, L.R.; Weimer, P.; van Zyl, W.; Pretorius, I. (2002): Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology. In: *Microbiology and Molecular Biology Review*, 66 (3), S. 506-577.
- Maddox, I.S.; Steiner, E.; Hirsch, S.; Wessner, S.; Gutierrez, N.A.; Gapes, J.R.; Schuster, K.C. (2000): The cause of „acid-crash“ and „acidogenic fermentations“ during the batch acetone-butanol-ethanol (ABE-) fermentation process. In: *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*, 2 (1), S. 95-100.
- Mai, C.; Militz, H. (2004): Biotechnology in the wood industry. In: *Applied Microbiology and Biotechnology*, 63 (5), S. 477-494.
- Malerba, F. (2002): Sectoral Systems of Innovation and Production. In: *Research Policy*, 32/2002, S. 247-254.
- Malerba, F. (2006): Innovation and the evolution of industries, *Journal of Evolutionary Economics*, Vol. 16(1), S. 3-23.

- Marhuenda-Egea, F.C.; Bonete, M.J. (2002): Extreme halophilic enzymes in organic solvents. In: *Current Opinion in Biotechnology*, 13 (4), S. 385-389.
- Marris, C.; Wynne, B.; Simmons, P.; Weldon, S. (2001): *Public Perceptions of Agricultural Biotechnologies in Europe*. Final Report of the PABE research project, funded by the European Commission, contract number FAIR CT98-3844, Lancaster: Centre for the Study of Environmental Change, Lancaster University.
- Marschall, L. (2005): Weiße Biotechnologie: Eine zweite Chance für eine alte Technik, in: *GAIA*, 14, No. 4, S. 314-322.
- Marscheider-Weidemann, F.; Hüsing, B. (2004): Abfallvermeidung bei Produktionen für organische Spezialchemikalien durch den Einsatz hochspezifischer Katalysatoren. Forschungsbericht 201 94 313. UBA-Texte 21/04, Berlin: Umweltbundesamt.
- McDaniel, R.; Weiss, R. (2005): Advances in synthetic biology: On the path from prototypes to applications. In: *Current Opinion in Biotechnology*, 16 (4), S. 476-483.
- McKinsey (2006a): By 2010 Industrial Biotechnology Will Account for 10 Percent of Sales within the Chemical Industry, www.bio-economy.net/Docs/McKinsey.doc, aufgerufen am 15.09.2006.
- McKinsey (2006b): *Industrial Biotechnology -- Turning Potential into Profits*, Jens: Plenary at the annual World Congress on Industrial Biotechnology and Bioprocessing 2006.
- McKinsey-Studie (2004): *Industrial Biotech and Biomass – From Awareness to Capturing the Value*; Presentation at the third World Congress on Industrial Biotechnology and Bioprocessing, Orlando 2004, In: *Dechema* (2004).
- Menrad K., Frietsch R. (2006): Zukünftige Ausstrahlung der BIOTECHNOLOGIE auf die Beschäftigung in Deutschland; in: *Schmollers Jahrbuch, Journal of Applied Science Studies*.
- Menrad K.; Blind K.; Frietsch R.; Hüsing B.; Nathani C.; Reiss T.; Strobel O., Walz R., Zimmer R. (2003): *Beschäftigungspotenziale in der Bioetchnologie*, Stuttgart .
- Menrad, K. (2001): Entwicklungstendenzen im Ernährungsgewerbe und im Lebensmittelhandel in Deutschland. In: *Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft*, S. 597-627.

-
- Menrad, K. (2001): Innovation management in agrobiotech companies in Germany. Vortragsmanuskript zu 5. ICABR-Konferenz vom 15.6. - 18.6.2001 in Ravello.
- Menrad, K. (2003): Market and marketing of Functional Food in Europe. In: Journal of Food Engineering 56, S. 181-188.
- Menrad, K.; Agrafiotis, D.; Enzing, C.; Lemkow, L.; Terragni, F. (1999): Future impacts of biotechnology on agriculture, food production and food processing. Heidelberg: Physica-Verlag.
- Menrad, K.; Blind, K.; Frietsch, R.; Hüsing, B.; Nathani, C.; Reiss, T.; Strobel, O.; Walz, R.; Zimmer, R. (2003): Beschäftigungspotenziale in der Biotechnologie. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag .
- Menrad, K.; Frietsch, R. (2006): Zukünftige Ausstrahlung der Biotechnologie auf die Beschäftigung in Deutschland. In: Schmollers Jahrbuch: Zeitschrift für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. 126. Jahrgang/Heft 1.
- Menrad, K.; Gaisser, S.; Hüsing, B.; Menrad, M. (2003): Gentechnik in der Landwirtschaft, Pflanzenzucht und Lebensmittelproduktion. Stand und Perspektiven, Heidelberg: Physica-Verlag.
- Menrad, K.; Gießler, S.; Strauß, E. (1998): Auswirkungen der BIOTECHNOLOGIE auf Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie – eine Delphi-Studie. Ergebnisse aus Deutschland. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Menrad, M.; Hüsing, B.; Menrad, K.; Reiß, T.; Beer-Borst, S.; Zenger, C.A. (2000): Functional Food. TA 37/2000, Bern: Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung beim Schweizerischen Wissenschafts- und Technologierat.
- Merkle, S.A.; Dean, J.F. (2001): Forest tree biotechnology. In: Current Opinion in Biotechnology, 11, S. 298-302.
- Meyer, D.; Bühler, B.; Schmid, A. (2006): Process and Catalyst Design Objectives for Specific Redox Biocatalysis. In: Advances in Applied Microbiology, 59, S. 53-91.
- Meyer-Krahmer, F. (1999): Innovation als Beitrag zur Lösung von Beschäftigungsproblemen? In: Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Vol. 32, Nr. 4, S. 402-415.

- Mietzsch, A. (2001): BIOTECHNOLOGIE: Jahr- und Adressbuch 2001. Berlin: BIOCOM.
- Mietzsch, A. (2002): BIOTECHNOLOGIE: Jahr- und Adressbuch 2002. Berlin: BIOCOM.
- Mietzsch, A. (2003): BIOTECHNOLOGIE. Das Jahr- und Adressbuch 2004. Berlin: BIOCOM.
- Mietzsch, A. (2004): German Biotech Industry in the Headwind, in: European Biotechnology. Science & Industry News, Vol. 3, Nr. 12, S.33.
- Milken Institute (2006): Mind to market: A global analysis of university biotechnology transfer and commercialization. Santa Monica.
- Moldenhauer, H.; Mertens, M.; Volling, A.; Striegel, S. (2006): Nachwachsende Rohstoffe Einfallstor für die Gentechnik in der Landwirtschaft, Berlin: AbL; BUND; Institut Arbeit und Wirtschaft.
- Mosier, N.; Wyman, C.; Dale, B.; Elander, R.; Lee, Y.Y.; Holtzapple, M.; Ladisch, M. (2005): Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. In: Bioresource Technology, 96 (6), S. 673-686.
- Mussatto, S.I.; Dragone, G.; Roberto, I.C. (2006): Brewers' spent grain: Generation, characteristics and potential applications. In: Journal of Cereal Science, 43 (1), S. 1-14.
- Nakamura, C.E.; Whited, G.M. (2003): Metabolic engineering for the microbial production of 1,3-propanediol. In: Current Opinion in Biotechnology, 14 (5), S. 454-459.
- Nehra, N.S.; Becwar, M.R.; Rottmann, W.H.; Pearson, L.; Chowdhury, K.; Chang, S.; Wilde, H.D.; Kodrzycki, R.J.; Zhang, C.; Gause, K.C.; Parks, D.W.; Hinchee, M.A. (2005): Forest biotechnology: Innovative methods, emerging opportunities. In: In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant, 41 (6), S. 701-717.
- Nelson, R. R. (1994): The co-evolution of technology, industrial structure, and supporting institutions. In: Industrial and Corporate Change 3(1), S. 47-63.
- Nelson, R. R.; Wright, G. (1993): National innovation systems: a comparative analysis. New York: Oxford University Press.

-
- Nevalainen, K.M.H.; Te'o, V.S.J.; Bergquist, P.L. (2005): Heterologous protein expression in filamentous fungi. In: Trends in Biotechnology, 23 (9), S. 468-474.
- Novo Nordisk (1997): Biotechnology for cleaner production. Written information.
- Nusser, M. (2000): Innovative Wachstumsprozesse und zunehmende strukturelle Arbeitslosigkeit: Komplementäre Entwicklungsprozesse? Berlin: TENEA Verlag für Medien.
- Nusser, M. (2005): Pharma-Innovationsstandort Deutschland: Leistungsfähigkeit, Innovationshemmnisse und Handlungsoptionen. In: Gesundheit & Gesellschaft Wissenschaft GGW 03/2005. S. 15-27.
- Nusser, M.; Gaisser, S. (2005): Input- und prozessorientierte Systemanalyse des Pharma-Innovationsstandortes Deutschland. In: Gaisser, S.; Nusser, M.; Reiss, T. (Hrsg.) (2005): Stärkung des Pharma-Innovationsstandortes Deutschland; Stuttgart, S. 29-80.
- Nusser, M.; Hinze, S. (2005): Outputorientierte Systemanalyse des Pharma-Innovationsstandortes Deutschland. In: Gaisser, S.; Nusser, M.; Reiss, T. (Hrsg.) (2005): Stärkung des Pharma-Innovationsstandortes Deutschland; Stuttgart, S. 81-184.
- O'Loughlin, T.L.; Patrick, W.M.; Matsumura, I. (2006): Natural history as a predictor of protein evolvability. In: Protein Engineering, Design and Selection, 19 (10), S. 439-442.
- Oberholz, A: (2004): Neue Wege zu innovativen Produkten: Das Degussa Science-to-Business-Konzept: Statement anlässlich der Grundsteinlegung des S2B-Centers am 28. Juni 2004 in Marl.
- OECD (1998): Biotechnologie für umweltverträgliche industrielle Produkte und Verfahren. Wege zur Nachhaltigkeit in der Industrie. Paris: OECD Publications.
- OECD (2001): Application of Biotechnology to industrial Sustainability. Paris: OECD Publications.
- OECD (2001): The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability. Paris: OECD Publications.

- OECD (2002): *Dynamising National Innovation Systems*. Paris: OECD Publications.
- Ogawa, J.; Shimizu, S. (1999): Microbial enzymes: new industrial applications from traditional screening methods. In: *Trends in Biotechnology*, 17, S. 13-21.
- Ogawa, J.; Shimizu, S. (2002): Industrial microbial enzymes: their discovery by screening and use in large-scale production of useful chemicals in Japan. In: *Current Opinion in Biotechnology*, 13 (4), S. 367-375.
- Öhgren, K.; Bengtsson, O.; Gorwa-Grauslund, M.F.; Galbe, M.; Hahn-Hägerdal, B.; Zacchi, G. (2006): Simultaneous saccharification and co-fermentation of glucose and xylose in steam-pretreated corn stover at high fiber content with *Saccharomyces cerevisiae* TMB3400. In: *Journal of Biotechnology*, 126 (4), S. 488-498.
- Onaca, O.; Nallani, M.; Ihle, S.; Schenk, A.; Schwaneberg, U. (2006): Functionalized nanocompartments (Synthosomes): Limitations and prospective applications in industrial biotechnology. In: *Biotechnology*, 1 (7-8), S. 795-805.
- Opwis, K.; Knittel, D.; Schollmeyer, E.; Dörfler, C.; Bachus, H.; Köppe, A.; Köppe, U. (2006): Combined use of enzymes in the pretreatment of cotton. In: *Melliand International*, 12 (2), S. 130-135.
- Ossenkopf, B., Lo, V., Eggers, T., Gersten, K., Hemer, J., Koschätzky, K., Wengel, J., Feine, P., Jürgens, H., Wolf, B. (2004): *Evaluierung und Weiterentwicklung der Netzwerkstrategie des Freistaates Sachsen. Endbericht für das Sächsische Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit*. Fraunhofer ISI, Karlsruhe, 200 S.
- Paitan, Y.; Biran, D.; Biran, I.; Shechter, N.; Babai, R.; Rishpon, J.; Ron, E.Z. (2003): On-line and in situ biosensors for monitoring environmental pollution. In: *Biotechnology Advances*, 22 (1-2), S. 27-33.
- Palsson, B. (2002): In silico biology through „omics“. In: *Nature Biotechnology*, 20 (7), S. 649-650.
- Panke, S.; Held, M.; Wubbolts, M. (2004): Trends and innovations in industrial biocatalysis for the production of fine chemicals. In: *Current Opinion in Biotechnology*, 15 (4), S. 272-279.

-
- Patel, M. et al. (2006): Medium and long-term opportunities and risks of the biotechnological production of bulk chemicals from renewable resources. <http://www.chem.uu.nl/brew/programme.html>.
- Patel, M.; Crank, M.; Dornburg, V.; Hermann, B.; Roes, L.; Hüsing, B.; Overbeek, L.; Terragni, F.; Recchia, E. (2006): Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources. The Potential of White Biotechnology. Utrecht: Utrecht University, Department of Science, Technology and Society (STS)/Copernicus Institute.
- Patel, P. (2003a): UK Performance in Science related to Biotechnology: An Analysis of Publications data, Sussex, SPRU- Science and Technology Policy Research.
- Patel, P. (2003b): UK Performance in biotechnology-related innovation: An analysis of patent data, with assistance from Hopkins, M.; Mahdi, S. and Senker, J., Final Report prepared for the Assessment Unit of the UK Department of Trade and Industry, SPRU, University of Sussex, Brighton.
- Patel, R. N. (2006): Biocatalysis: Synthesis of chiral intermediates for pharmaceuticals. In: *Current Organic Chemistry*, 10 (11), S. 1289-1321.
- Paul, N. (2006): Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe: Bundeseinrichtung fördert weiße Biotechnologie, in: *Chemie Ingenieur Technik*, 78, No. 3, S. 181-182.
- Perco, P.; Rapberger, R.; Siehs, C.; Lukas, A.; Oberbauer, R.; Mayer, G.; Mayer, B. (2006): Transforming omics data into context: Bioinformatics on genomics and proteomics raw data. In: *Electrophoresis*, 27 (13), S. 2659-2675.
- Perlack, R.D.; Wright, L.L.; Turhollow, A.F.; Graham, R.L.; Stokes, B.J.; Erbach, D.C. (2005): Biomass as Feedstock for a Bioenergy and Bioproducts Industry: The Technical Feasibility of a Billion-Ton Annual Supply, Oak Ridge National Laboratory (Hrsg.), Oak Ridge, TN: US Department of Energy; US Department of Agriculture.
- Peters, D. (2006a): Kohlenhydrate als Fermentationsrohstoff. In: *Chemie Ingenieur Technik*, 78 (3), S. 229-238.
- Peters, D. (2006b): Carbohydrates for fermentation. In: *Biotechnology*, 1, S. 806-814.

- Pilate, G.; Guiney, E.; Holt, K.; Petit-Conil, M.; Lapierre, C.; Leple, J.-C.; Pollet, B.; Mila, I.; Webster, E.A.A.; Mastrop, H.G.; Hopkins, D.W.; Jouanin, L.; Boerjan, W.; Schuch, W.; Cornu, D.; Halpin, C. (2002): Field and pulping performances of transgenic trees with altered lignification. In: *Nature Biotechnology*, 20, S. 607-612.
- Porro, D.; Sauer, M.; Branduardi, P.; Mattanovich, D. (2005): Recombinant protein production in yeasts. In: *Molecular Biotechnology*, 31 (3), S. 245-259.
- Porter, M. E. (1990): *The competitive advantage of nations*. New York: Free Press.
- Porter, M. E. (1999): Unternehmen können von regionaler Vernetzung profitieren. In: *Harvard Business Manager* Nr. 3, S. 51-63.
- Prognos AG (2002): *Deutschland Report (2002-2020)*. Basel.
- Qureshi, N.; Ezeji, T.; Blaschek, H. (2004): Acetone butanol ethanol (ABE) production from concentrated substrate: reduction in substrate inhibition by fed-batch technique. In: *Applied Microbiology and Biotechnology*, 63, S. 653-658.
- Qureshi, N.; Hughes, S.; Maddox, I.S.; Cotta, M.A. (2005): Energy-efficient recovery of butanol from model solutions and fermentation broth by adsorption. In: *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 27 (4), S. 215-222.
- Ragauskas, A.J.; Williams, C.K.; Davison, B.H.; Britovsek, G.; Cairney, J.; Eckert, C.A.; Frederick, W.J., Jr.; Hallett, J.P.; Leak, D.J.; Liotta, C.L.; Mielenz, J.R.; Murphy, R.; Templer, R.; Tschaplinski, T. (2006): The Path Forward for Biofuels and Biomaterials. In: *Science*, 311 (5760), S. 484-489.
- Ramachandran, T.; Karthik, T. (2004): Application of genetic engineering and enzymes in textiles. In: *Journal of the Institution of Engineers (India), Part TX: Textile Engineering Division*, 84 (2), S. 32-36.
- Ramesh, H.P.F.; Tharanathan, R.N. (2003): Carbohydrates - the renewable raw materials of high biotechnological value. In: *Critical Reviews in Biotechnology*, 23 (2), S. 149-173.

-
- Rammer, C. (2006): Unternehmensdynamik in Deutschland 1995-2004 im internationalen Vergleich: Bedeutung forschungs- und wissensintensiver Wirtschaftszweige, Rahmenbedingungen für Unternehmensgründungen und Entwicklung des Wagniskapitalmarktes, Studie zum deutschen Innovationssystem 09-2006.
- Rammer, C.; Ohmstedt, J.; Binz, H.; Heneric, O. (2006): Unternehmensgründungen in der Biotechnologie in Deutschland 1991 bis 2004. Mannheim: ZEW.
- Rawlings, D.E. (2002): Heavy metal mining using microbes. In: Annual Review of Microbiology, 56, S. 65-91.
- Reetz, M.T. (2006): Directed Evolution of Enantioselective Enzymes as Catalysts for Organic Synthesis. In: Advances in Catalysis, 49, S. 1-69.
- Reger, G.; Beise, M.; Belitz, H. (1999): Innovationsstandorte multinationaler Unternehmen: Internationalisierung technologischer Kompetenzen in der Pharmazie, Halbleiter- und Telekommunikationstechnik, Heidelberg: Physica-Verlag.
- Reichardt, W. (2006): Anwendungen von Gendiagnostik und Gentechnik in der Tierproduktion - eine Literaturstudie, Jena: Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (Erfurt); Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Jena).
- Reiss, T. et al. (2003): Efficiency of innovation policies in high technology sectors in Europe (EPOHITE). Final Report to the European Commission. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Reiss, T. Hinze, S.; Dominguez Lacasa, I. (2004): Performance of European Member States in Biotechnology. In: Science and Public Policy 31 (2004), 5, p. 344-358.
- Reiss, T.; Diekmann, W. (2005): The take-off of European systems biology (EUSYSBIO) - Benchmarking and foresight of systems biology; systems biology research in central and eastern European countries and China. ISI-Schriftenreihe Innovationspotenziale. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

- Reiss, T.; Gaisser, S.; Buehrlen, B.; Enzing, C.; van der Giessen, A.; Arundel, A.; Bordoy, C.; Cozzens, S.; Catalán, P.; Gatchair, S.; Ordóñez, G. (2006): Consequences, opportunities and challenges of modern biotechnology for Europe (Bio4EU) - Task 1: A preparatory study mapping modern biotechnology applications and industrial sectors, identifying data needs and developing indicators. Brussels: European Techno-Economic Policy Support Network (ETEPS Net).
- Reiß, T.; Hüsing, B. (Hrsg.) (1993): Biologische Wasserstoffgewinnung – Forschungsperspektiven und Technikfolgen. Köln: Verlag TÜV Rheinland (Schriftenreihe Zukunft der Technik).
- Reiß, T.; Schmoch, U.; Schubert, T.; Rammer, C.; Heneric, O. (2007): Aussichtsreiche Zukunftsfelder der Biotechnologie - Neue Ansätze der Technologievorausschau. Stuttgart: Fraunhofer IRB
- Reiss, Thomas; Hinze, Sybille (2004): The Biopharmaceutical Innovation System in Germany: OECD Case Study on Structure, Performance, Innovation Barriers and Drivers. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Reiss, Thomas; Hinze, Sybille; Dominguez Lacasa, Iciar (2004a): Performance of European Member States in Biotechnology. In: Science and Public Policy 31, 5, S. 344-358 .
- Reiss, Thomas; Hinze, Sybille; Dominguez-Lacasa, Iciar; Mangematin, Vincent; Enzing, Christien M.; Giessen, Annelieke; Kern, Sander; Senker, Jacqueline; Calvert, Jane; Nesta, Lionel; Patel, Pari (2004b): Efficiency of Innovation Policies in High Technology Sectors in Europe (EPOHITE). Final Report with National Case Studies (Annex) : In Cooperation with UMR GAE, Grenoble, France; TNO-STB, Delft, the Netherlands; SPRU, Brighton, United Kingdom. Brussels: Commission of the European Communities (European Commission Studies EUR 20904).
- Revermann, C.; Hennen, L. (2000): TA-Projekt „Klonen von Tieren“. Endbericht. TAB-Arbeitsbericht Nr. 65. Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB).
- Richter, S. (2003): Abfallvermeidung bei Produktionen für organische Spezialchemikalien durch den Einsatz weiterentwickelter Katalysatoren. Fachgespräch zum UBA-Forschungsprojekt (FKZ 201 94 313). UBA-Texte 17/03. Berlin: Umweltbundesamt.

-
- Riese, J. , Bachmann, R. (2004): Industrial Biotechnology: Turning the Potential into Profits, Chemical Market Reporter McKinsey & Company.
- Riva, S. (2006): Laccases: blue enzymes for green chemistry. In: Trends in Biotechnology, 24 (5), S. 219-226.
- Robertson, W.O.; Steer, B. (2004): Recent progress in biocatalyst discovery and optimization. In: Current Opinion in Chemical Biology, 8 (2), S. 141-149.
- Rodriguez Couto, S.; Toca Herrera, J.L. (2006): Industrial and biotechnological applications of laccases: A review. In: Biotechnology Advances, 24 (5), S. 500-513.
- Roelandt, T.J.A., den Hertog, P. (1999): Cluster Analysis and Cluster-based Policy Making in OECD Countries: An Introduction to the Theme. In: OECD, Boosting Innovation: The Cluster Approach. Paris
- Rothwell, R. (1995): The fifth generation innovation process. In: Oppenländer, K. H., Popp, W. (Hrsg.): Innovationen und wirtschaftlicher Fortschritt: betriebs- und volkswirtschaftliche Perspektiven. Bern, S. 9-26.
- Roychoudhury, P.; Harvey, L.M.; McNeil, B. (2006): The potential of mid infrared spectroscopy (MIRS) for real time bioprocess monitoring. In: Analytica Chimica Acta, 571 (2), S. 159-166.
- Rubin-Pitel, S.B.; Zhao, H. (2006): Recent advances in biocatalysis by directed enzyme evolution. In: Combinatorial Chemistry and High Throughput Screening, 9 (4), S. 247-257.
- Salter, A. J.; Martin, B. R. (2001): The economic benefits of publicly funded basic research: a critical review. In: Research Policy 30, S. 509-532.
- Samland, A.K.; Sprenger, G.A. (2006): Microbial aldolases as C-C bonding enzymes - Unknown treasures and new developments. In: Applied Microbiology and Biotechnology, 71 (3), S. 253-264.
- Saravanabhavan, S.; Aravindhan, R.; Thanikaivelan, P.; Rao, J.R.; Nair, B.U.; Ramasami, T. (2004): A source reduction approach: Integrated bio-based tanning methods and the role of enzymes in dehairing and fibre opening. In: Clean Technologies and Environmental Policy, 7 (1), S. 3-14.

- Saravanabhavan, S.; Thanikaivelan, P.; Rao, J.R.; Nair, B.U.; Ramasami, T. (2005): Reversing the conventional leather processing sequence for cleaner leather production. In: *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 35 (1), S. 37-79.
- Sasson, A. (2006): „The promise of biotechnology“, speech at Biotech Policy Round Table Austria-Finland EU Presidencies 2006, Helsinki, Juni 2006.
- Sauter, A. (1996): Monitoring „Stand und Perspektiven der Katalysatoren- und Enzymtechnik“ Sachstandsbericht. Arbeitsbericht Nr. 46. Bonn: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.
- Saxenian, A. (1994): *Regional advantage. Culture and competition in Silicon Valley and route 128*. Cambridge (MA): Harvard University Press.
- Scarff, M.; Arnold, S.A.; Harvey, L.M.; McNeil, B. (2006): Near infrared spectroscopy for bioprocess monitoring and control: Current status and future trends. In: *Critical Reviews in Biotechnology*, 26 (1), S. 17-39.
- Schedel, M. (2006): Weiße Biotechnologie bei Bayer HealthCare Product Supply: Mehr als 30 Jahre Erfahrung. In: *Chemie Ingenieur Technik*, 78 (4), S. 485-489.
- Scheibel, T. (2004): Spider silks: recombinant synthesis, assembly, spinning, and engineering of synthetic proteins. In: *Microbial Cell Factories*, 3 (1), S. 14.
- Schell von, T.; Mohr, H. (1995): *Biotechnologie - Gentechnik, Eine Chance für neue Industrien*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Scheller, J.; Conrad, U. (2004): Production of Spider Silk Proteins in Transgenic Tobacco and Potato In: *Molecular Farming. Plant-made Pharmaceuticals and Technical Proteins*. Fischer, R.; Schillberg, S. (Hrsg.). Weinheim: Wiley-VCH Verlag, S. 171-181.
- Schiraldi, C.; De Rosa, M. (2002): The production of biocatalysts and biomolecules from extremophiles. In: *Trends in Biotechnology*, 20 (12), S. 515-521.
- Schladot, J.D., Straub, R. (2006): Forschungsförderung der nachhaltigen Bioproduktion. In: *Chemie Ingenieur Technik*, 78, No. 3, S. 177-180.

-
- Schmid, A.; Dordick, J.S.; Hauer, B.; Kieners, A.; Wubbolts, M.G.; Witholt, B. (2001): Industrial biocatalysis today and tomorrow. In: *Nature*, 409, S. 258-268.
- Schmid, A.; Hollmann, F.; Park, J.B.; Buhler, B. (2002): The use of enzymes in the chemical industry in Europe. In: *Current Opinion in Biotechnology*, 13 (4), S. 359-366.
- Schmitz, N. (2003): *Bioethanol in Deutschland*, 21, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“. Münster: Landwirtschaftsverlag GmbH.
- Schmitz, N. (2005): *Innovation bei der Bioethanolerzeugung und ihre Auswirkungen auf Energie- und Treibhausgasbilanzen - Neue Verfahren, Optimierungspotenziale, internationale Erfahrungen und Marktentwicklungen*, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.), Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ Bd. 26, Münster: Landwirtschaftsverlag.
- Schnur, P.; Zika, G. (2005): *Projektion des Arbeitskräftebedarfs bis 2020. Nur zögerliche Besserung am deutschen Arbeitsmarkt*. IAB-Kurzbericht Nr.12.
- Schoemaker, H.E.; Mink, D.; Wubbolts, M.G. (2003): *Dispelling the Myths - Biocatalysis in Industrial Synthesis*. In: *Science*, 299, S. 1694-1697.
- Schönberger, H. (1994): *Reduktion der Abwasserbelastung in der Textilindustrie*. UBA-Texte 3/94. Berlin: Umweltbundesamt.
- Schudy, S. (2006): *Jüngere Entwicklungen auf dem Risikokapitalmarkt für Biotechnologie in Deutschland*, Kieler Arbeitspapier Nr. 1270. Kiel: Institut für Weltwirtschaft, März 2006.
- Schulze, B.; Wubbolts, M.G. (1999): *Biocatalysis for industrial production of fine chemicals*. In: *Current Opinion in Biotechnology*, 10, S. 609-615.
- Schwartz, P. (1991): *The Art of the Long View*. Currency and Doubleday, New York, 1991.
- Senker, J.; van Zwanenberg, P.; Enzing, C.; Kern, S.; Mangematin, V.; Martinsen, R.; Munoz, E.; Diaz, V.; O'Hara, S.; Burke, K.; Reiss, T.; Wörner, S. (2001): *European Biotechnology Innovation System*. Brussels: EC.

- Shoemaker, P.J.H. (1995): Scenario Planning: A Tool for Strategic Thinking. In: Sloan Management Review, Vol. 36, 1995, Nr. 4, S. 25-40.
- Siddiqui, K.S.; Cavicchioli, R. (2006): Cold-adapted enzymes. In: Annual Review of Biochemistry, 75, S. 403-433.
- Singh, S.K.; Ahmed, S.U.; Pandey, A. (2006): Metabolic engineering approaches for lactic acid production. In: Process Biochemistry, 41 (5), S. 991-1000.
- Slaby, M. , Urban, D. (2001): Differentielle Technikakzeptanz, oder: Nicht immer führt die Ablehnung einer Technik auch zur Ablehnung ihrer Anwendung, Schriftenreihe des Instituts für Sozialwissenschaften der Universität Stuttgart No. 2 / 2001, Stuttgart, 2001.
- Smits, R., Kuhlmann, S., Hertog, P. den, Boon, W. (2002): Strengthening Interfaces in Innovation Systems: Rational, Concepts and (new) Instruments. Report published in: European Commission (ed.): Science and Technology Policies in Europe: New Challenges and New Responses. Proceedings of the STRATA Consolidating Workshop, Brussels, 22-23 April 2002, S. 300-370
- Soetaert, W.; Vandamme, E. (2005): The impact of industrial biotechnology. In: Biotechnology, 1 (7-8), S. 756-769.
- Soete, B. (2006): Biotechnologie im Vergleich – Wo steht Deutschland? Eine Untersuchung nationaler Innovationssysteme, edition der Hans Böckler Stiftung 165, Düsseldorf.
- Stahlecker, T., Klink, H. (2002): Potenziale und Hemmnisse in der Technologieregion Stuttgart. Analyse und Handlungsempfehlungen. IHK, Stuttgart
- Statistisches Bundesamt (1995-2005): Produzierendes Gewerbe – Fachserie 4/Reihe 4.1.1. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2000): Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen. Stuttgart.
- Statistisches Bundesamt (2004): Fachserie 4 Reihe 3.1: Produktion im produzierenden Gewerbe. Wiesbaden.

-
- Statistisches Bundesamt (2005): Unternehmen der BIOTECHNOLOGIE in Deutschland. Ergebnisse der Wiederholungsbefragung 2004. Wiesbaden.
- Stifterverband (2006): Materialien zur Pressekonferenz „FuE in der Wirtschaft“ am 23. Februar 2006 in Essen.
- Stitt, E.H. (2002): Alternative multiphase reactors for fine chemicals - A world beyond stirred tanks? In: Chemical Engineering Journal, 90, S. 47-60.
- Straathof, A.J.J.; Panke, S.; Schmid, A. (2002): The production of fine chemicals by biotransformations. In: Current Opinion in Biotechnology, 13, S. 548-556.
- Sundmann, M. (2005): Lessons from healthcare: Are pharma deals relevant to industrial biotech? In: Industrial Biotechnology, 1, No. 2, S. 88-91.
- SusChem (2005a): Innovating for a Better Future - Sustainable Chemistry Strategic Research Agenda 2005, Brussels: European Technology Platform for Sustainable Chemistry (SusChem). Online: [http://www.suschem.org/content.php?document\[ID\]=2049&pageId=3217](http://www.suschem.org/content.php?document[ID]=2049&pageId=3217) (Stand: 06.11.2006a).
- SusChem (2005b): Innovating for a Better Future - Sustainable Chemistry Strategic Research Agenda 2005. Appendix, Brussels: European Technology Platform for Sustainable Chemistry (SusChem). Online: [http://www.suschem.org/content.php?document\[ID\]=2049&pageId=3217](http://www.suschem.org/content.php?document[ID]=2049&pageId=3217) (Stand: 06.11.2006b).
- SusChem (2006a, b, c): Innovating for a Better Future - Putting Sustainable Chemistry into Action. Implementation Action Plan 2006, Brussels: European Technology Platform for Sustainable Chemistry (SusChem). Online: [http://www.suschem.org/content.php?document\[ID\]=2049&pageId=3217](http://www.suschem.org/content.php?document[ID]=2049&pageId=3217) (Stand: 06.11.2006).
- TAB (2005): Grüne Gentechnik - transgene Pflanzen der 2. und 3. Generation (Autoren: Sauter, Arnold unter Mitarbeit von Hüsing, Bärbel). TAB-Arbeitsbericht Nr. 104. Berlin: TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag).
- Tausche, J.G. (2005): Furnishing better deinking Tailoring enzymes to suit your recycling needs. In: PPI Pulp and Paper International, 47 (7), S. 20-23.

- Terpe, K. (2006): Overview of bacterial expression systems for heterologous protein production: From molecular and biochemical fundamentals to commercial systems. In: *Applied Microbiology and Biotechnology*, 72 (2), S. 211-222.
- Teufel, A.; Krupp, M.; Weinmann, A.; Galle, P.R. (2006): Current bioinformatics tools in genomic biomedical research (Review). In: *International Journal of Molecular Medicine*, 17 (6), S. 967-973.
- Thanikaivelan, P.; Rao, J.R.; Nair, B.U.; Ramasami, T. (2004): Progress and recent trends in biotechnological methods for leather processing. In: *Trends in Biotechnology*, 22 (4), S. 181-188.
- Thomas, S.M.; DiCosimo, R.; Nagarajan, V. (2002): Biocatalysis: applications and potentials for the chemical industry. In: *Trends in Biotechnology*, 20 (6), S. 238-242.
- Tringe, S.G.; Rubin, E.M. (2005): Metagenomics: DNA sequencing of environmental samples. In: *Nature Reviews Genetics*, 6 (11), S. 805-814.
- Troltsch, K. (2004): Strukturen und Entwicklungen der dualen Ausbildung in Technikberufen und Trends im Fachkräfteangebot bis 2015, Nr. 6-2004.
- Tryfona, T.; Bustard, M.T. (2005): Fermentative production of lysine by *Corynebacterium glutamicum*: transmembrane transport and metabolic flux analysis. In: *Process Biochemistry*, 40 (2), S. 499-508.
- Twyman, R.M.; Schillberg, S.; Fischer, R. (2005): Transgenic plants in the biopharmaceutical market. In: *Expert Opinion on Emerging Drugs*, 10 (1), S. 185-218.
- Tyson, K.S.; Bozell, J.; Wallace, R.; Petersen, E.; Moens, L. (2004): Biomass Oil Analysis: Research Needs and Recommendations. Technical Report NREL/TP-510-34798, Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- Tzanov, T.; Calafell, M.; Guebitz, G. M.; Cavaco-Paulo, A. (2001): Bio-preparation of cotton fabrics. In: *Enzyme and Microbial Technology* 29, S. 357-362.
- Umeno, D.; Tobias, A.V.; Arnold, F.H. (2005): Diversifying Carotenoid Biosynthetic Pathways by Directed Evolution. In: *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 69 (1), S. 51-78.

-
- Utterback, J. M. (1994): *Mastering the Dynamics of Innovation: How Companies Can Seize Opportunities in the Face of Technological Change*. Boston (MA, USA): Harvard Business School Press.
- van Dam, J.E.G.; Klerk-Engels, B.; Struik, P.C.; Rabbinge, R. (2005): Securing renewable resource supplies for changing market demands in a bio-based economy. In: *Industrial crops and products*, 21 (1), S. 129-144.
- Van Ooyen, A.J.J.; Dekker, P.; Huang, M.; Olsthoorn, M.M.A.; Jacobs, D.I.; Colussi, P.A.; Taron, C.H. (2006): Heterologous protein production in the yeast *Kluyveromyces lactis*. In: *FEMS Yeast Research*, 6 (3), S. 381-392.
- Videbaek, T. (1997): Persönliche Mitteilung. Abt. Lebensmittelenzyme, Novo Nordisk, Bagsvaerd, Dänemark.
- Vigsoe, D.; Jørgensen, E.; Kvistgaard, M. (2002): The assessment of future environmental and economic impacts of process-integrated biocatalysts. European Commission, Joint Research Centre (DG JTC), Institute of Prospective Technological Studies.
- Walz, R. (2002): *Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Operationalisierung, Präzisierung der Anforderungen und Politikfolgenabschätzung*. Habilitationsschrift, Universität Freiburg.
- Wendisch, V.F.; Bott, M.; Eikmanns, B.J. (2006): Metabolic engineering of *Escherichia coli* and *Corynebacterium glutamicum* for biotechnological production of organic acids and amino acids. In: *Current Opinion in Microbiology*, 9 (3), S. 268-274.
- Werner, E. (2003): *In silico multicellular systems biology and minimal genomes*. In: *Drug Discovery Today*, 8 (24), S. 1121-1127.
- Werpy, T.; Petersen, G. (2004): *Top Value Added Chemicals from Biomass. Volume I - Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas*, Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- Westerhoff, H.V.; Palsson, B.O. (2004): The evolution of molecular biology into systems biology. In: *Nat Biotech*, 22 (10), S. 1249-1252.
- Weuster-Botz, D. (2006): *Microbioprocess engineering*. In: *Chemie-Ingenieur-Technik*, 78 (3), S. 256-260.

- Whitfield, E.J.; Pruess, M.; Apweiler, R. (2006): Bioinformatics database infrastructure for biotechnology research. In: *Journal of Biotechnology*, 124 (4), S. 629-639.
- Wichmann, R.; Vasic-Racki, D. (2005): Cofactor regeneration at the lab scale. In: *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 92, S. 225-260.
- Woerner, S.; Reiss, T.; Menrad, K.; Menrad, M. (2000): European Biotechnology Innovation Systems (EBIS). Case Studies Germany. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Wolf, O. Crank., M., Patel, M., Marscheider-Weidemann, F., Schleich, J., Hüsing, B., Angerer, G. (2005): Feasibility of Largescale Production of Bio-based Polymers in Europe , European Commission, DG Joint Research Centre, Brussels.
- World Intellectual Property Organization (WIPO) (2002): Yearly Review of the PCT: 2002. Zugriff unter: http://www.wipo.int/pct/en/activity/pct_2002.pdf.
- Zhao, H.; Chockalingam, K.; Chen, Z. (2002): Directed evolution of enzymes and pathways for industrial biocatalysis. In: *Current Opinion in Biotechnology*, 13, S. 104-110.
- Zhao, H.; Van Der Donk, W.A. (2003): Regeneration of cofactors for use in biocatalysis. In: *Current Opinion in Biotechnology*, 14 (6), S. 583-589.
- Zinke, H. (2004): Weiße Biotechnologie: Neue Produkte, gesellschaftlicher Nutzen und Wertschöpfungspotentiale. In: *Zeitschrift für Biopolitik*, 3, Nr. 2, S. 31-41.