197

Michael Nusser
Birgit Soete
Sven Wydra (Hrsg.)

Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigungspotenziale der Biotechnologie in Deutschland

edition der
Hans **Böckler**
Stiftung
Fakten für eine faire Arbeitswelt.

Michael Nusser (Projektleitung)
Birgit Soete
Sven Wydra (Hrsg.)

unter Mitarbeit von Bernd Beckert, Michael Friedewald, Bärbel Hüsing und Thomas Reiß (Fraunhofer ISI), Martin Gornig, Axel Werwatz und Zhentang Zhang (DIW Berlin)

Projektassistenz: Silke Just, Bora Ger und Jens Selt (Fraunhofer ISI) und Martina Grunow und Hella Steinke (DIW Berlin)

Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigungspotenziale der Biotechnologie in Deutschland

edition der Hans-Böckler-Stiftung 197

Dr. **Michael Nusser** hat nach seinem Studium der Volkswirtschaftslehre an der Universität Bamberg promoviert. Er ist Senior Projektleiter am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI). Aktuelle Forschungsschwerpunkte sind Analysen zu Innovations-, Wachstums- und Beschäftigungspotenzialen von Technologien/Wirtschaftsbranchen und zur internationalen Wettbewerbsfähigkeit.

Dr. **Birgit Soete** ist Dipl.-Volkswirtin und hat von November 2001 bis Dezember 2006 im Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin) in der Abteilung Innovation, Industrie, Dienstleistung gearbeitet. Ihre Forschungsschwerpunkte sind Innovationsforschung, Innovations- und Technologiepolitik sowie Biotechnologie.

Sven Wydra ist Diplom-Ökonom und seit 2005 wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand am Fraunhofer ISI. Aktuelle Forschungsschwerpunkte sind Modellierung gesamtwirtschaftlicher Effekte von Technologien und Wirtschaftsbranchen sowie Innovationssystem-Analysen.

Dr. **Bärbel Hüsing** hat nach ihrem Studium der Biologie an der Universität Düsseldorf promoviert und ist seit 1991 am Fraunhofer ISI; seit 1996 als stellvertretende Abteilungsleiterin und seit 2006 Leiterin der Abteilung „Neue Technologien". Aktuelle Forschungsschwerpunkte sind Technikentwicklung, Gestaltungsbedingungen und Folgen von Innovationen in der Bio- und Gentechnologie, Zukunftsstudien und Technikfolgenabschätzung.

Dr. **Thomas Reiß** hat nach seinem Studium der Biologie und Chemie an der Universität Freiburg promoviert und ist seit 1987 am Fraunhofer ISI tätig, seit 1996 als Abteilungsleiter und seit 2006 als stellvertretender Direktor. Aktuelle Forschungsschwerpunkte sind Technologiediffusion, Innovationssysteme und Innovationspolitik in der Biotechnologie.

© Copyright 2007 by Hans-Böckler-Stiftung
Hans-Böckler-Straße 39, 40476 Düsseldorf
Buchgestaltung: Horst F. Neumann Kommunikationsdesign, Wuppertal
Produktion: Setzkasten GmbH, Düsseldorf
Printed in Germany 2007
ISBN: 978-3-86593-077-4
Bestellnummer: 13197

Alle Rechte vorbehalten, insbesondere die des öffentlichen Vortrages,
der Rundfunksendung, der Fernsehausstrahlung,
der fotomechanischen Wiedergabe, auch einzelner Teile.

INHALTSVERZEICHNIS

TABELLENVERZEICHNIS **7**

ABBILDUNGSVERZEICHNIS **10**

ZUSAMMENFASSUNG **13**

Teil 1: Aktuelle und zukünftige Beschäftigungspotenziale der Biotechnologie in Deutschland 13

Teil 2: Wie wettbewerbsfähig ist die Biotechnologieindustrie und Biotechnologieforschung in Deutschland? 23

Teil 3: Bewertung des Biotechnologie-Standortes Deutschland 25

SUMMARY **29**

Part I: Present and Future Employment Potentials of Biotechnology in Germany 29

Part II: How Competitive is Biotech Industry and Bio Research in Germany? 38

Part III: Evaluation of Germany as a Location for Biotechnology 40

EINLEITUNG: AUSGANGSSITUATION, ZIELSETZUNGEN DES PROJEKTES UND METHODIK **43**

TEIL 1:
AKTUELLE UND ZUKÜNFTIGE BESCHÄFTIGUNGS-POTENZIALE DER BIOTECHNOLOGIE IN DEUTSCHLAND

Autoren: Michael Nusser und Sven Wydra (Fraunhofer ISI) 51

1 UNTERSUCHUNGSDESIGN UND METHODIK **53**

1.1 Drei-Säulen-Konzept zur Messung der Beschäftigungseffekte der Biotechnologie 53

1.2 Zum Verständnis von Szenarien 63

1.3 Quellen- und Methoden-Mix 65

2 AKTUELLE UND ZUKÜNFTIGE BESCHÄFTIGUNGS-POTENZIALE DER BIOTECHNOLOGIE IN DEUTSCHLAND 67

2.1 Direkte Beschäftigungswirkungen bei der Bereitstellung biotechnologischen Wissens („BT-Bereitstellung“) 67
2.1.1 Arbeitsplätze in öffentlichen Forschungseinrichtungen 67
2.1.2 Arbeitsplätze in der privaten Wirtschaft 70
2.1.2.1 Arbeitsplätze in Biotech-KMU 70
2.1.2.2 Arbeitsplätze bei Biotechnologie-Ausstattern 72
2.1.2.3 Arbeitsplätze bei Pflanzenzüchtungsunternehmen 73
2.1.2.4 Methodik Beschäftigung 2020 BT-Bereitstellung 76
2.2 Direkte Beschäftigungseffekte in den Anwenderindustrien („BT-Anwendung“) 76
2.2.1 Einleitende Bemerkungen zum Forschungsdesign 76
2.2.2 Anwendungsfelder in verschiedenen Anwenderbranchen 79
2.2.3 Wirtschaftliche Bedeutung der Biotechnologie für die direkten Anwenderbranchen 83
2.2.3.1 Allgemeine Entwicklungen in den Anwenderbranchen 83
2.2.3.2 Art der wirtschaftlichen Potenziale der Biotechnologie 86
2.2.3.3 Bedeutung der Biotechnologie auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Anwenderbranchen und für die Schaffung neuer und Sicherung bestehender Arbeitsplätze 89
2.2.4 Methodik zur Bestimmung der Szenarienannahmen für die Anwenderbranchen 103
2.2.5 Direkte Brutto-Beschäftigungseffekte in den Anwenderbranchen 108
2.2.6 Einflussfaktoren für die Diffusion der Biotechnologie 109
2.3 Beschäftigungswirkungen in den vorgelagerten Sektoren („BT-Vorleistung“) 114
2.4 Hauptreiber für die Beschäftigungseffekte 119
2.5 Gesamtübersicht aller Beschäftigungseffekte 2004 und 2020 (BT-Anwendung, BT-Bereitstellung, BT-Vorleistung) 126
2.5.1 Brutto-Beschäftigungseffekte 2004 und 2020 126
2.5.2 Qualifikationsspezifische Beschäftigungseffekte 2004 144

3 ZUKÜNFTIGE POTENZIALE DER BIOTECHNOLOGIE DURCH KONVERGENZPROZESSE VON SPITZENTECHNOLOGIEN 153
(Bernd Beckert, Michael Friedewald, Michael Nusser)

4 ZUSAMMENFASSUNG ERGEBNISSE TEIL 1 169

TEIL 2:
WIE WETTBEWERBSFÄHIG IST DIE BIOTECHNOLOGIE-INDUSTRIE UND BIOTECHNOLOGIEFORSCHUNG IN DEUTSCHLAND? 173
Autoren: Birgit Soete unter Mitarbeit von Martin Gornig, Axel Werwatz, Zhentang Zhang (DIW Berlin)

1 AUSGANGSLAGE UND ZIELSTELLUNG 175

2 MESSKONZEPT ZUR ERFASSUNG DER WETTBEWERBSFÄHIGKEIT 179
2.1 Vorgehensweise 179
2.2 Indikatorenauswahl 182

3 ENTWICKLUNGSTENDENZEN DES BIOTECHNOLOGIE-BEREICHS IN DEUTSCHLAND 185
3.1 Die Wissensbasis der Biotechnologie 185
3.2 Kleine und mittlere Biotechnologieunternehmen 197
3.3 Biotechnologie in großen Unternehmen 206

4 INTERNATIONALER VERGLEICH FÜR AUSGEWÄHLTE LÄNDER 209
4.1 Wissensbasis 209
4.2 Kleine und mittlere Biotechnologieunternehmen 212
4.3 Einschätzungen zur Gesamtpositionierung 217

5 WETTBEWERBSPOSITION AUSGEWÄHLTER ANWENDERINDUSTRIEN 221
5.1 Generelle Wettbewerbsstellung der Anwenderindustrien 221

5.2 Auswirkungen des Biotechnologiebereichs 232

6 FAZIT 241

TEIL 3:
BEWERTUNG DES BIOTECHNOLOGIESTANDORTES DEUTSCHLAND 265
Autoren: Michael Nusser, Bärbel Hüsing, Thomas Reiß, Sven Wydra (Fraunhofer ISI) und Birgit Soete (DIW Berlin)

ANHANG 267

ANHANG TEIL 1 269
Anhang A.1: Modellbeschreibung des Fraunhofer Input-Output-Modells ISIS 269
Anhang A.2: Beschreibung Szenarienannahmen für 2020 zu Wachstum und Strukturwandel 275
Anhang A.3: Beschreibung teilnehmende Institutionen 283

ANHANG TEIL 2 285

LITERATUR 295

SELBSTDARSTELLLUNG DER HANS-BÖCKLER-STIFTUNG 327

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 0-1:	Biotechnologie-Umsatzanteile 2004 und 2020 (in Prozent bezogen auf den Produktionswert der Gesamtbranche)	16
Tabelle 0-2:	Zusammenfassung direkte, indirekte/induzierte Brutto-Beschäftigungswirkungen in den Szenarien 2004 und 2020	19
Tabelle 0-3:	Berufliche Qualifikationsprofile in den „Biotechnologie-Teilsegmenten“ im Jahr 2004	22
Table 0-1:	Biotechnology Turnover Shares 2004 and 2020 (in per cent referring to the production value of the whole industry)	32
Table 0-2:	Summary of Direct, Indirect/Induced Gross Employment Impacts in the Scenarios 2004 and 2020	34
Table 0-3:	Professional Qualification Profiles in „Biotechnology Subsegments“ in 2004	37
Tabelle 1-1:	Berücksichtigung technologiebedingter Beschäftigungs-effekte	59
Tabelle 1-2:	Charakterisierung Quellen- und Methoden-Mix	66
Tabelle 2-1:	Personal an Hochschulinstituten mit biotechnologischer Forschung (Basis: StaBu-Koeefizient 1992) (in Tausend)	68
Tabelle 2-2:	Personal an außeruniversitären Forschungseinrichtungen mit biotechnologischer Forschung im Jahr 2004	70
Tabelle 2-3:	Biotech-KMU Deutschland: Beschäftigtenzahlen 1995-2004 (in Tsd.)	72
Tabelle 2-4:	Entwicklung Zahl an Freisetzungsanträgen mit gentechnisch veränderten Pflanzen sowie beantragten Freisetzungsorten in Deutschland	75
Tabelle 2-5:	Anwenderbranchen: Szenarienannahmen Biotechnologie-Umsatzanteile 2004 und 2020 (in Prozent bezogen auf den Produktionswert der Gesamtbranche)	107
Tabelle 2-6:	Direkte Brutto-Beschäftigungseffekte 2004 und 2020 in den Anwenderbranchen (in Tausend)	109
Tabelle 2-7:	Vorgehensweise bei der Ermittlung der Vorleistungsstrukturen für die einzelnen Biotechnologie-Teilsegmente	118
Tabelle 2-8:	Zusammenfassung direkte, indirekte/induzierte Brutto-Beschäftigungswirkungen in den Szenarien 2004 und 2020	130

Tabelle 2-9:	Sektorale Aufteilung vorgelagerte Beschäftigungseffekte BT-Bereitstellung und BT-Anwendung im Jahr 2004 (in Tsd. Erwerbstätige FTE)	133
Tabelle 2-10:	Berufliche Qualifikationsprofile in den „Biotechnologie-Teilsegmenten“ im Jahr 2004	146
Tabelle 2-11:	Fächerspezifische Prognose Hochschulabsolventen bis 2010 (in 1000)	151
Tabelle II-3-1:	Zahl der Absolventen in technischen Berufen und Chemieberufen	186
Tabelle II-3-2:	Studenten und Absolventen	188
Tabelle II-3-3:	Wissenschaftliches Personal in Hochschulen	190
Tabelle II-3-4:	FuE-Personal in Forschungsinstituten und nach Wissenschaftszweig	192
Tabelle II-3-5:	BMBF-Förderung im Bereich Biotechnologie (in Mio. €)	194
Tabelle II-3-6:	BMBF-Förderung nach Empfängergruppen (in %)	194
Tabelle II-3-7:	Patentanmeldungen	196
Tabelle II-3-8:	Entwicklung der Core-Unternehmen in der Biotechnologie	200
Tabelle II-3-9:	Die Biotechnologieindustrie	201
Tabelle II-3-10:	Der Beteiligungskapitalmarkt in Deutschland	201
Tabelle II-3-11:	Große Unternehmen der Anwenderindustrien mit Biotechnologie	208
Tabelle II-4-1:	Altersstruktur der Biotechnologieunternehmen	214
Tabelle II-5-1:	Entwicklung des Ernährungsgewerbes, der Chemischen und Pharmazeutischen Industrie	222
Tabelle II-5-2:	RCA-Werte für die Chemische und Pharmazeutische Industrie	223
Tabelle II-5-3:	FuE in ausgewählten Anwenderindustrien	224
Tabelle II-5-4:	Patentanmeldungen in den Anwenderindustrien (EPO, priority year)	225
Tabelle II-5-5:	FuE-Ausgaben und Patentanmeldungen (EPO) im Ernährungsgewerbe	229
Tabelle II-5-6:	FuE-Ausgaben und Patentanmeldungen (EPO) in der Pharmazeutischen Industrie	230
Tabelle II-5-7:	FuE-Ausgaben und Patentanmeldungen (EPO) in der Chemische Industrie ohne Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	231
Tabelle E1-6-1:	Zahl angemeldeter Feldversuche	246
Tabelle E2-6-2:	Entwicklung der Biotechnologieindustrie in Asien	247

Tabelle E2-6-3: Wissenschaftliche Veröffentlichungen in der Biomedizin und Biologie 248
Tabelle E2-6-4: Patentanmeldungen in der Biotechnologie EPO (priority day) 249
Tabelle A-I-1: Sektorgliederung des Fraunhofer Input-Output-Modells (ISIS) in der disaggregierten Version (71 Wirtschaftssektoren) 273
Tabelle A-I-2: Prognos-Studie Erwartete Wachstumsraten für wichtige Biotechnologie-Sektoren 2005-2020 281
Tabelle A-II-1: Die Biotechnologie in den DTI-Ländern 1995 und 2000 286
Tabelle A-II-2: Die Entwicklung der Biotechnologie in den DTI-Ländern zwischen 1995 und 2000 288
Tabelle A-II-3: Vergleich der DTI-Länder für das Jahr 2003 289
Tabelle A-II-4: Entwicklung der DTI-Länder 2001-2003 (in %) 290
Tabelle A-II-5: Biotechnologie in den DTI-Länder im Jahr 2003 auf Basis der E&Y Studien 291
Tabelle A-II-6: Entwicklung der DTI-Länder 2002-2004 auf Basis der E&Y-Studien (in %) 292
Tabelle A-II-7: Vergleich der E&Y-Länder für das Jahr 2003 293
Tabelle A-II-8: Beteiligungskapital im Jahr 2003 294

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 0-1: „Drei-Säulen-Konzept“ zur Analyse der Beschäftigungseffekte neuer Technologien, angewendet auf die Biotechnologie 14

Abbildung 0-2: Sektorale Aufteilung der vorgelagerten indirekten Beschäftigungseffekte (BT-Vorleistung) der Biotechnologie-Segmente BT-Bereitstellung und BT-Anwendung 20

Figure 0-1: „Three Pillar Concept“ for the Analysis of the Employment Effects of New Technologies, Applied to Biotechnology 30

Figure 0-2: Sectoral Division of the Upstream Indirect Employment Effects (BT Input) of the Biotechnology Segments BT Provision and BT Application 35

Abbildung 1-1: „Drei-Säulen-Konzept“ zur Analyse der Beschäftigungseffekte neuer Technologien, angewendet auf die Biotechnologie 54

Abbildung 1-2: Schematische Darstellung Mikro-Makro-Brücke bei der Analyse der Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie 61

Abbildung 2-1: Wirtschaftliche Potenziale: Bedeutung der Biotechnologie in 2004 88

Abbildung 2-2: Wirtschaftliche Potenziale: Bedeutung der Biotechnologie bis 2020 88

Abbildung 2-3: Bedeutung der Biotechnologie in 2004 für die internationale Wettbewerbsfähigkeit und Schaffung/Sicherung von Arbeitsplätzen 90

Abbildung 2-4: Bedeutung der Biotechnologie bis 2020 für die internationale Wettbewerbsfähigkeit und Schaffung/Sicherung von Arbeitsplätzen 91

Abbildung 2-5: Biotechnologie-Teilsegmente: Importanteile 2004 (bezogen auf die inländische Produktion) 121

Abbildung 2-6: Biotechnologie-Teilsegmente: Arbeits- bzw. Beschäftigungsintensitäten in 2004 (in Erwerbstätige pro Million € inländischer Produktionswert) 123

Abbildung 2-7: Biotechnologie-Teilsegmente: Indirekte Beschäftigungsmultiplikatoren in 2004 zur Bewertung vorgelagerter Beschäftigungseffekte in Zulieferersektoren 130

Abbildung 2-8:	Sektorale Aufteilung der vorgelagerten indirekten Beschäftigungseffekte (BT-Vorleistung) der Biotechnologie-Segmente BT-Bereitstellung und BT-Anwendung	131
Abbildung 2-9:	Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Universitäten und außeruniversitäre FuE-Einrichtungen	134
Abbildung 2-10:	Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Biotech-KMU	135
Abbildung 2-11:	Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Biotechnologie-Ausstatter	136
Abbildung 2-12:	Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Pflanzenzüchtung	137
Abbildung 2-13:	Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Pharmabranche	138
Abbildung 2-14:	Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Chemieindustrie	139
Abbildung 2-15:	Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Lebensmittelindustrie	141
Abbildung 2-16:	Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Landwirtschaft	143
Abbildung 2-17:	Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Umweltbiotechnik	144
Abbildung 3-1:	Konvergenz von Nano-Bio-Info-Kogno (NBIC)	156
Abbildung 3-2:	Die Wissenschaftsarchitektur des 21 Jahrhunderts	157
Abbildung 3-3:	Neue Strategien zur Wirkstoffentwicklung	160
Abbildung II-3-1:	Institutionelle Förderung des BMBF (in Mio. €)	193
Abbildung II-3-2:	Unternehmensgründungen nach Finanzierungsbasis (in %)	208
Abbildung II-4-1:	Vergleich der Wissensbasis in den DTI-Ländern 2003	210

Abbildung II-4-2:	Entwicklung der Wissensbasis in den DTI-Ländern zwischen 1999 und 2003	211
Abbildung II-4-3:	Struktur der Biotechnologieindustrie in den DTI-Ländern 2003	213
Abbildung II-4-4:	Vergleich der Biotechnologieunternehmen in den DTI-Ländern im Jahr 2003	215
Abbildung II-4-5:	Vergleich der Entwicklung der Biotechnologieindustrie in den DTI-Ländern 2001-2003	216
Abbildung II-4-6:	Vergleich der E&Y-Länder 2003	218
Abbildung II-5-1:	Entwicklung der Produktivität im Ernährungsgewerbe zwischen 2000 und 2003	226
Abbildung II-5-2:	Entwicklung der Produktivität bei der Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen zwischen 2000 und 2003	226
Abbildung II-5-3:	Entwicklung der Produktivität in der Chemischen Industrie ohne Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen zwischen 2000 und 2003	227
Abbildung E1-6-1:	Zustimmung bei der Aussage: Bio- und Gentechnologie werden in den nächsten 20 Jahren unser Leben positiv beeinflussen.	243
Abbildung E1-6-2:	Zustimmung bei der Aussage: Arzneimittel und neue medizinische Technologien werden in den nächsten 20 Jahren unser Leben positiv beeinflussen.	244
Abbildung E1-6-3:	Zustimmung bei der Aussage: Hightech-Agrartechnologien werden in den nächsten 20 Jahren unser Leben positiv beeinflussen.	244
Abbildung E1-6-4:	Niveau der Unterstützung für verschiedene Anwendungen der Biotechnologie oder biotechnologischer Produkte 2002	245
Abbildung E1-6-5:	Zustimmung bei der Aussage: Gentechnisch veränderte Lebensmittel sind gefährlich	246
Abbildung III-3-1:	Innovationssystem-Perspektive	255
Abbildung A-I-1:	Schema einer Input-Output-Tabelle (inkl. Arbeitskoeffizienten)	270

TEIL 1:
AKTUELLE UND ZUKÜNFTIGE BESCHÄFTIGUNGSPOTENZIALE DER BIOTECHNOLOGIE IN DEUTSCHLAND

Die Biotechnologie spielt als Spitzen- und Querschnittstechnologie in mehreren Branchen im Innovations- und Wachstumsprozess eine wichtige Rolle. Sie verfügt über ein enormes Potenzial für die Entwicklung neuer oder verbesserter Prozesse, Produkte und Dienstleistungen. Neue Märkte entstehen und die Wettbewerbsfähigkeit traditioneller Branchen kann gestärkt werden. Dadurch werden neue Arbeitsplätze geschaffen und bestehende gesichert. Nach Einschätzung von Experten steht die Realisierung des wirtschaftlichen Potenzials der Biotechnologie erst am Anfang ihrer Entwicklung.

Bereits existierende Studien zu den Beschäftigungseffekten der Biotechnologie (BT) „beschränken" sich in der Regel auf die *direkt Beschäftigten* in den kleinen und mittelständischen Biotechnologieunternehmen und/oder auf die Biotechnologie-Ausstatter, d. h. auf die Beschäftigungseffekte, die bei der Bereitstellung von biotechnologischen Methoden, Prozessen, Produkten oder Dienstleistungen entstehen *(BT-Bereitstellung)*. Hierbei werden allerdings meist die Beschäftigten in den öffentlichen FuE-Einrichtungen nicht berücksichtigt. Vor allem werden aber die direkten Beschäftigungseffekte in den verschiedenen nachgelagerten Anwenderindustrien *(BT-Anwendung)* oder die *indirekten Beschäftigungswirkungen* in den vorgelagerten Zulieferersektoren *(BT-Vorleistung)* nicht bzw. unvollständig erfasst. Ebenso fehlen bislang zukunftsbezogene quantitative Extrapolationen der Beschäftigungseffekte auf Basis konsistenter Szenarien. An diesem Forschungsbedarf setzt die vorliegende Studie an.

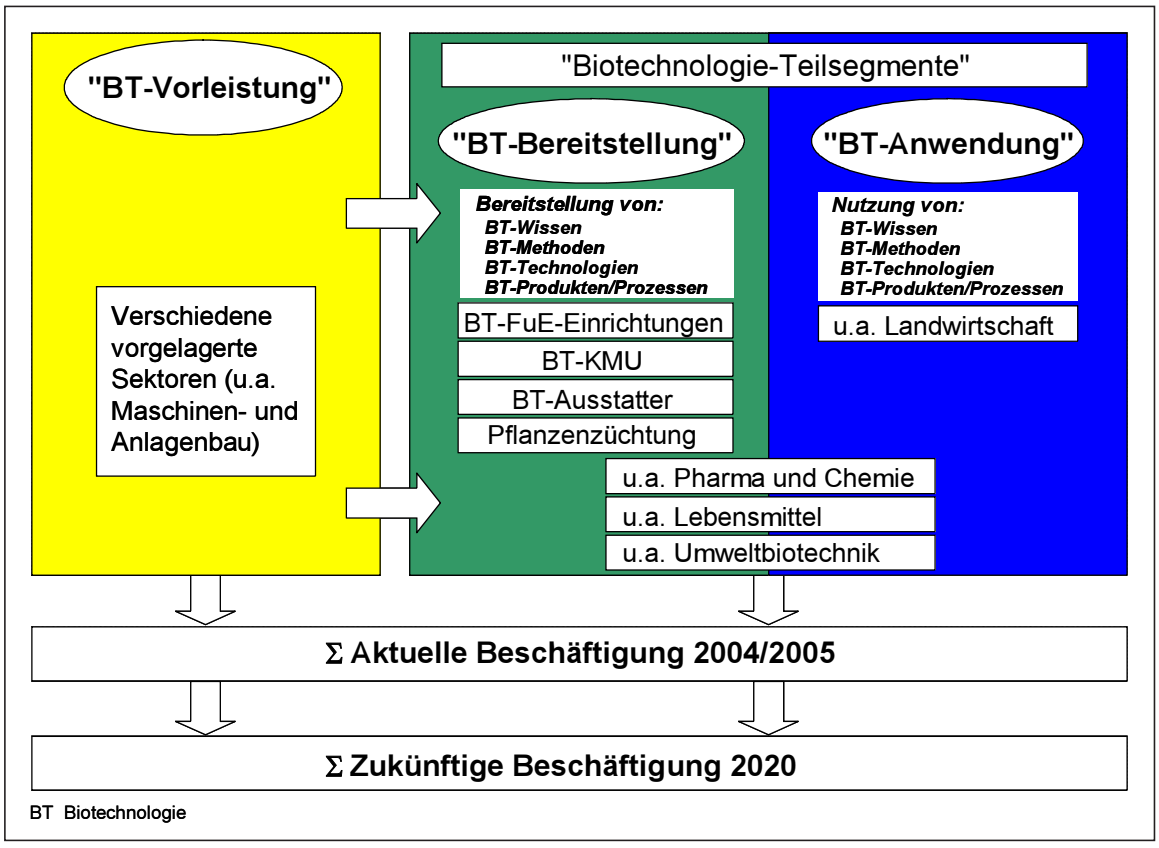
Zur Analyse der aktuellen und zukünftigen Beschäftigungspotenziale der Biotechnologie wurde ein Untersuchungskonzept mit drei Säulen (Abbildung 0.1) verwendet, das die unterschiedlichen Arten von Beschäftigungswirkungen berücksichtigt. Die Modellberechnungen in Teil 1 der Studie

- **umfassen positive direkte Brutto-Beschäftigungseffekte der Biotechnologie-Teilsegmente (BT-Bereitstellung und BT-Anwendung)**, d. h. die in Deutschland mit der Bereitstellung von Biotechnologie-Know-how in Universitäten/FuE-

Einrichtungen, kleinen und mittelständischen Biotechnologieunternehmen, Biotechnologie-Ausstattern und Pflanzenzüchtungsunternehmen sowie die mit der Nutzung von Biotechnologie-Know-how in den Anwenderindustrien der Pharmabranche, Chemieindustrie, Lebensmittelindustrie sowie in der Landwirtschaft und Umweltbiotechnik verbundenen direkten Beschäftigungseffekte der Biotechnologie.

- **umfassen positive Brutto-Vorleistungseffekte der „Biotechnologie-Teilsegmente" (BT-Vorleistung):** Durch ihre Investitionstätigkeiten und Ausgaben für Vorleistungskäufe sind die Biotechnologie-Teilsegmente BT-Bereitstellung und BT-Anwendung an der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung beteiligt. Diese Lieferverflechtungen mit anderen Wirtschaftssektoren bewirken zusätzliche indirekte vorgelagerte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte in Zulieferersektoren.

Abbildung 0-1: „Drei-Säulen-Konzept" zur Analyse der Beschäftigungseffekte neuer Technologien, angewendet auf die Biotechnologie



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Die Modellberechnungen **umfassen nur positive Beschäftigungseffekte**. Neben den positiven Brutto-Beschäftigungseffekten aus dem Zuwachs bei der Bereitstel-

lung und Nutzung von Biotechnologie-Know-how entstehen aber auch negative Beschäftigungseffekte. Diese negativen Effekte bzw. negativen Impulse ergeben sich u. a. auf Grund einer geringeren Verwendung (im Sinne einer absoluten und/oder relativen Schrumpfung) bei „konventionellen" Prozessen, Produkten und Dienstleistungen (z. B. chemiebasierte Pharmaprodukte, 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 Biotechnologie-Prozessen, Produkten und Dienstleistungen gegenüber konventionellen Prozessen, Produkten und Dienstleistungen mit sich bringt (z. B. Biotechnologie-Forschungsförderung, Subventionen und Steuerbefreiungen für biogene Kraftstoffe), gesamtwirtschaftlich durch Minderausgaben an anderer Stelle (u. a. sinkende private Konsumausgaben auf Grund von Steuererhöhungen) kompensiert werden müssen. Die Ermittlung von negativen Beschäftigungseffekten würde eine in sich geschlossene Bilanzierung der gesamtwirtschaftlichen Effekte eines zusätzlichen Einsatzes von Biotechnologie-Prozessen, Produkten und Dienstleistungen gewährleisten. Die Berechnung derartiger negativer Beschäftigungseffekte ist jedoch methodisch sehr aufwändig und war im finanziellen Rahmen dieses Projektes nicht leistbar.

Bei der Interpretation solcher negativen Beschäftigungseffekte sollten jedoch stets generelle Trends in den entsprechenden Anwenderbranchen berücksichtigt werden: Wenn Deutschland im FuE- und Produktionsbereich nicht auf international wettbewerbsfähige Biotechnologie-Prozesse, Produkte und Dienstleistungen 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.

Für die Berechnung der Beschäftigungseffekte wurde das am Fraunhofer ISI entwickelte ISIS-Modell eingesetzt, dessen Kern aus einem Input-Output-Modell besteht. 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 und sechs Endnachfragesektoren (u. a. private und staatliche Konsumnachfrage, Export) unterteilt. An entsprechenden Stellen (u. a. Bildung „eigener Biotechnologie-Teilsegmente", Produktivitätsfortschreibung) wurde mittels geeigneter statistischer Quellen eine Anpassung an die

Jahre 2004/05 und 2020 vorgenommen Durch das ISIS-Modell werden die Auswirkungen von Veränderungen in der Zwischen- und Endnachfrage nach biotechnologischen Methoden, Prozessen, Produkten und Dienstleistungen 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 Biotechnologie auf Basis einer schriftlichen Befragung, zahlreichen Experteninterviews sowie technoökonomischen Studien ergeben.

Beschäftigungsszenarien wurden mit Hilfe eines aufwändiges **„Top-down/Bottom-up"-Verfahren** entwickelt. Hierbei wurde die aktuelle und zukünftige Marktdurchdringung mit biotechnologischen Methoden, Prozessen, Produkten und Dienstleistungen in den Anwenderbranchen bestimmt. Dabei wurden eine Vielzahl von Methoden und Quellen (u. a. schriftliche Befragung, Experteninterviews, Patentanalysen, technoökonomische Studien) verwendet, um die Unter- und Obergrenzen für die jeweiligen Anwenderbranchen festzulegen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 0.1 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 0-1: Biotechnologie-Umsatzanteile 2004 und 2020 (in Prozent bezogen auf den Produktionswert der Gesamtbranche)

Anwenderbranchen	Biotechnologie-Umsatzanteil 2004/05	Biotechnologie-Umsatzanteil 2020
Szenariowerte Chemie	4-6 %	9-18 %
Szenariowerte Pharma	11-18 %	18-40 %
Szenariowerte Lebensmittel	9-23 %	17-32 %
Szenariowerte Landwirtschaft	11-20 %	26-42 %
Szenariowerte Umweltbiotechnik	13-18 %	30-45 %

Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Da – wie in neuen Technikfeldern üblich - die tatsächliche Marktdurchdringung in 2004 und 2020 mit Unsicherheiten behaftet ist, werden auch die aktuellen Beschäftigungseffekte in 2004 mit Unter- und Obergrenze angegeben. Die Grenzen sind dabei zu verstehen als „pessimistische und optimistische Marktanteilsabschätzung". Die Unter- und Obergrenzen der Beschäftigungseffekte für das Jahr 2020 können als „langsame und schnelle Diffusion" bzw. Marktdurchdringung interpretiert werden. Die direkten Beschäftigungseffekte der Biotechnologie-Teilbereiche BT-Bereitstellung und BT-Anwendung sowie deren vorgelagerte (indirekte und investitionsinduzierte) Beschäftigungseffekte sind in Tabelle 0.2 zusammenfassend dargestellt. Einige Summenwerte können nicht ausgewiesen werden, da

sich aus methodischer Sicht das Problem von Doppelzählungen ergibt. Bei den ausgewiesenen Erwerbstätigen, die mit der Biotechnologie verknüpft sind, handelt es sich um Erwerbstätige in Vollzeitäquivalenten (FTE). Die Untersuchungsergebnisse zeichnen für 2004 und 2020 folgendes Bild:

- **BT-Bereitstellung:** Die größte Beschäftigungswirkung (Summe aus direkten und vorgelagerten Effekten) geht in 2004 mit rund 109.000-118.200 Erwerbstätigen von den Universitäten und außeruniversitären FuE-Einrichtungen aus, gefolgt von den Biotechnologie-Ausstattern mit ca. 40.500 Beschäftigten. Demgegenüber ist die Beschäftigungswirkung von kleinen und mittelständischen Biotechnologieunternehmen – auch unter Berücksichtigung der Vorleistungseffekte – mit etwa 18.800 Beschäftigten vergleichsweise gering. Die Pflanzenzüchtungsunternehmen vereinen rund 3.600-4.300 Beschäftigte auf sich. Für das Jahr 2020 ergibt sich folgendes Bild: Etwa 122.500-132.900 Erwerbstätige können den Universitäten und außeruniversitären FuE-Einrichtungen, ca. 43.800-56.100 Beschäftigte den Biotechnologie-Ausstattern, etwa 19.900-25.400 Beschäftigte den kleinen und mittelständischen Biotechnologieunternehmen und rund 3.900-4.600 Beschäftigte den Pflanzenzüchtungsunternehmen zugerechnet werden.
- **BT-Anwendung:** Die höchste Zahl an induzierten 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 mit ca. 113.100-205.600 Beschäftigten die Landwirtschaft. Demgegenüber ist die Beschäftigungswirkung in den anderen Teilsegmenten vergleichsweise gering. Auf Grund hoher Vorleistungseffekte folgt die Chemie mit etwa 37.000-55.500 Erwerbstätigen, vor der Pharmaindustrie (rund 25.600-41.800 Beschäftigte) und der Umweltbiotechnik (ca. 17.900-24.800 Beschäftigte). Für das Jahr 2020 ergibt sich folgendes Bild: Rund 293.600-552.700 Erwerbstätige können der Lebensmittelindustrie und etwa 181.600-293.400 Beschäftigte der Landwirtschaft zugerechnet werden, gefolgt von der Chemiebranche mit etwa 82.100-164.300 Erwerbstätigen, vor der Pharmaindustrie (rund 37.800-90.000 Beschäftigte) und der Umweltbiotechnik (ca. 43.100-64.600 Beschäftigte)
- **BT-Vorleistung:** Die vorgelagerten Beschäftigungseffekte sind in Summe sowohl in 2004 als auch in 2020 größer als die direkten Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie. Die Effekte sind für die einzelnen Biotechnologie-Teilsegmente sehr unterschiedlich. Bei den Biotech-KMU, den Biotechnologie-Aus-

stattern und den Pflanzenzüchtungsunternehmen 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 das Doppelte bis Dreifache der direkten Beschäftigungswirkung. In den übrigen Biotechnologie-Teilsegmenten sind die direkten und vorgelagerten Beschäftigungswirkungen in etwa gleich hoch.

Tabelle 0-2: Zusammenfassung direkte, indirekte/induzierte Brutto-Beschäftigungswirkungen in den Szenarien 2004 und 2020

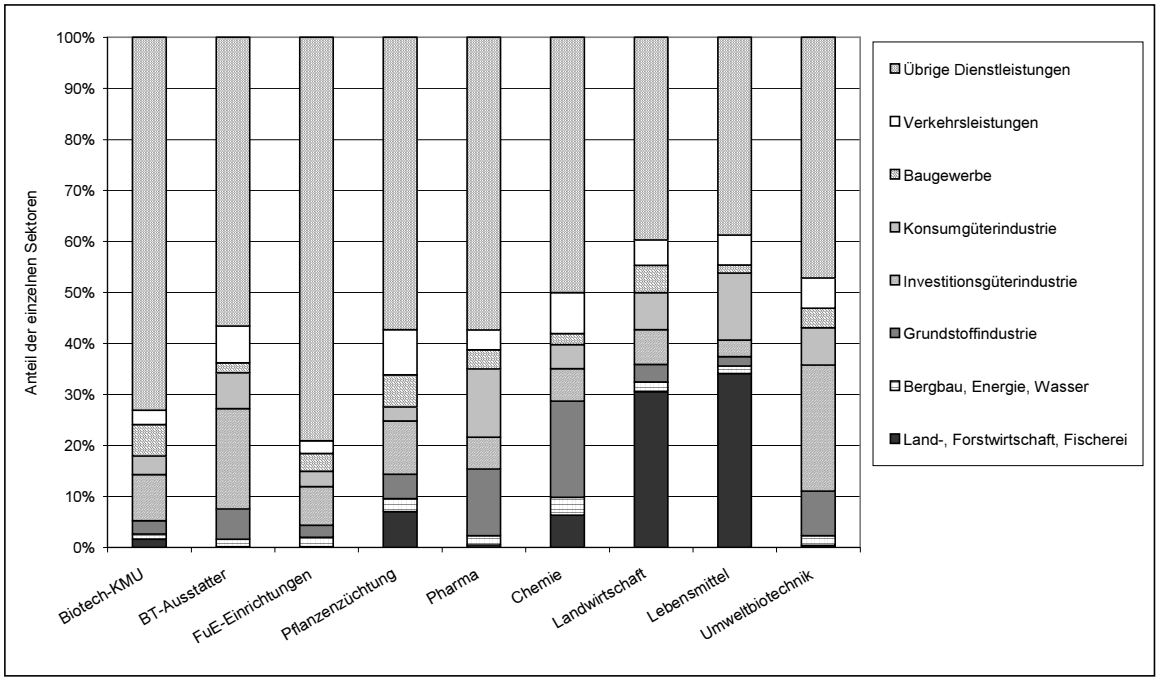
	Direkte Brutto-Erwerbstätige (in Tsd. FTE)		**BT-Vorleistung**: Indirekte/ induzierte Brutto-Erwerbstätige (in Tsd. FTE)		Brutto-Erwerbstätige **gesamt** (in Tsd. FTE)	
	2004	2020	2004	2020	2004	2020
Szenarien (Summe 1+2)	**257,7- 443,0**	**368,7- 595,9**	**n.v. ***	**n.v. ***	**n.v. ***	**n.v. ***
1. BT-Bereitstellung	**88,6 - 93,4**	**97,1 - 113,0**	**83,2 - 88,4**	**93,0 - 106,1**	**n.v. ***	**n.v. ***
- Universitäten/FuE-Einrichtungen	50,5 - 55,0	56,6 - 61,4	58,2 - 63,2	65,9 - 71,5	108,9 - 118,2	122,5 - 132,9
- Biotechnologie-KMU	12,0	12,2 - 15,6	6,8	7,7 - 9,9	18,8	19,9 - 25,4
- Biotechnologieausstatter	23,7	25,8 - 33,0	16,9	18,0 - 23,1	40,5	43,8 - 56,1
- Pflanzenzüchtung	2,3 - 2,7	2,6 - 3,0	1,3 - 1,6	1,4 - 1,6	3,6 - 4,3	3,9 - 4,6
2. BT-Anwendung	**169,1-349,6**	**271,6 - 482,9**	**217,4 - 471,2**	**369,4 - 682,1**	**n.v. ***	**n.v. ***
- Pharmaindustrie	12,4 - 20,4	17,8 - 39,6	13,1 - 21,5	22,7 - 50,5	25,6 - 41,8	40,5 - 90,0
- Chemiebranche	9,8 - 14,7	18,0 - 35,9	27,2 - 40,8	64,2 - 128,3	37,0 - 55,5	82,1 - 164,3
- Lebensmittel	69,6 - 177,7	108,0 - 203,2	123,4 - 315,2	185,7 - 349,5	192,9 - 493,0	293,7 - 552,7
- Landwirtschaft	68,8 - 125,1	107,4 - 173,5	44,3 - 80,6	74,2 - 119,8	113,1 - 205,6	181,6 - 293,4
- Umweltbiotechnik	8,5 - 11,8	20,4 - 30,6	9,4 - 13,1	22,7 - 34,0	17,9 - 24,8	43,1 - 64,6

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

Zum Problem der Doppelzählungen: Beim Ausweis von Summenwerten entstehen zum Teil erhebliche Doppelzählungen, weshalb bestimmte Summenwerte nicht ausgewiesen werden können. Am **Gesamt-Summenwert BT-Vorleistung** (BT-Bereitstellung plus BT-Anwendung) soll dies illustriert werden: Die Anwenderbranchen (z. B. Pharma- und Chemiebranche) beziehen Biotechnologie-basierte Vorleistungsgüter von Biotech-KMU (z. B. industrielle Enzyme) oder Biotechnologieausstattern (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 Biotech-KMU sind somit zu bestimmten (schwer bzw. nicht quantifizierbaren) Anteilen auch in den Vorleistungen der Pharma- und Chemiebranche berücksichtigt. Eine Aufsummierung über BT-Bereitstellung und BT-Anwendung ist daher nicht möglich. 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 noch hinzu, dass auf Grund der oben beschriebenen Vorleistungsverflechtungen viele indirekt Beschäftigte im Bereich BT-Anwendung direkt Beschäftigte im Bereich BT-Bereitstellung sind. Zudem beziehen Pharmaunternehmen Vorleistungen von der Chemieindustrie oder Biotech-KMU Vorleistungen von den Ausstattern. Daher können Brutto-Erwerbstätige gesamt für die BT-Bereitstellung, BT-Anwendung und BT-Anwendung plus BT-Bereitstellung nicht ausgewiesen werden.

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 0.2): 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 Biotech-KMU sogar 75 bis 80 %. Damit trägt die Biotechnologie in erheblichem Maße zur Stärkung von zukunftsfähigen Dienstleistungssektoren bei. Für die Pharmaindustrie und die (Fein)Chemie sind die Sektoren der Grundstoffindustrie, insbesondere Lieferungen aus anderen Feldern der chemischen Industrie relevant. Für die Biotechnologie-Ausstatter und die Umweltbiotechnik 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 Landwirtschaft (aber auch die Fischerei) mit ihrer hohen Arbeitsintensität maßgeblich zur vorgelagerten Beschäftigungswirkung beiträgt. Die Landwirtschaft selbst ist wiederum stark mit sich selbst verflochten, ähnlich wie die Chemieindustrie.

Abbildung 0-2: Sektorale Aufteilung der vorgelagerten indirekten Beschäftigungseffekte (BT-Vorleistung) der Biotechnologie-Segmente BT-Bereitstellung und BT-Anwendung



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

Die Anteile verschiedener Qualifikationsgruppen in den Biotechnolgie-Teilsegmenten und den vorgelagerten Zuliefererindustrien sind in Tabelle 0.3 zusammen-

fassend dargestellt. Bei den direkt in den „Biotechnologie-Teilsegmenten“ beschäftigten Personen zeigen sich deutliche sektorale Unterschiede bei der qualifikationsspezifischen Arbeitsnachfrage. Die forschungsintensiven Teilsegmente für die Bereitstellung von Biotechnologie-Wissen (BT-Bereitstellung) haben einen höheren Akademikeranteil (48 %) als die Teilsegmente der Anwendung (BT-Anwendung) mit ca. 7 %. Besonders die Lebensmittelverarbeitung und die Landwirtschaft weisen niedrige Akademikerquoten auf, 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. Die Betrachtung der Qualifikationsprofile bei den vorgelagerten Biotechnologie-Zulieferersektoren zeigt insgesamt Ähnlichkeiten zu den Werten für die Gesamtwirtschaft. Auffällig sind die im Vergleich zur direkten Beschäftigung geringeren sektoralen Unterschiede bei den einzelnen Vorleistungsketten der Biotechnologie-Teilsegmente. Insgesamt ist der Akademikerbedarf bei den indirekt und investitionsinduzierten Erwerbstätigen der BT-Bereitstellung mit 29 % höher als in der Gesamtwirtschaft (16 %), in der BT-Anwendung mit 13 % dagegen niedriger.

Tabelle 0-3: Berufliche Qualifikationsprofile in den „Biotechnologie-Teilsegmenten" im Jahr 2004

Qualifikationsprofile der direkt Beschäftigten in den Biotechnologie-Teilsegmenten BT-Bereitstellung und BT-Anwendung												
	BT-Bereitstellung					**BT-Anwendung**						
	Biotech-KMU *	BT-Ausstatter	FuE-Einrichtungen	Pflanzen-züchter	Summe	Pharma	Chemie	Landwirtschaft	Lebensmittel	Umwelt-biotechnik	Summe	**Gesamtwirtschaft**
Erwerbstätige (FTE)	12.000	23.700	50.500-55.000	2.300-2.700	88.600-93.400	12.400-20.400	9.800-14.700	68.800-125.100	69.600-177.700	8.500-11.800	169.100-349.600	
Keinen (formellen) Abschluss	2 %	15 %	8 %	18 %	9 %	12 %	16 %	18 %	21 %	15 %	19 %	16 %
Berufliche Ausbildung	33 %	51 %	26 %	62 %	34 %	53 %	55 %	62 %	64 %	63 %	62 %	57 %
Meister/Techniker	2 %	12 %	8 %	15 %	8 %	10 %	12 %	15 %	10 %	12 %	12 %	11 %
Akademiker	63 %	22 %	58 %	6 %	48 %	25 %	17 %	6 %	6 %	9 %	7 %	16 %
Qualifikationsprofile der indirekt und investitionsinduzierten Beschäftigten in den vorgelagerten Zulieferersektoren (BT-Vorleistung)												
Erwerbstätige (FTE)	6.800	16.900	58.200-63.200	1.300-1.600	83.200-88.400	13.100-21.500	27.200-40.800	44.300-80.600	123.400-315.200	9.400-13.100	217.400-471.200	
Keinen (formellen) Abschluss	14 %	18 %	13 %	16 %	14 %	16 %	17 %	17 %	18 %	17 %	18 %	16 %
Berufliche Ausbildung	47 %	58 %	44 %	58 %	47 %	55 %	57 %	60 %	60 %	59 %	59 %	57 %
Meister/Techniker	10 %	9 %	10 %	10 %	10 %	9 %	9 %	11 %	11 %	9 %	11 %	11 %
Akademiker	29 %	16 %	33 %	16 %	29 %	20 %	16 %	12 %	12 %	14 %	13 %	16 %
Qualifikationsprofile der direkt, indirekt und investitionsinduzierten Beschäftigten (BT-Bereitstellung + BT-Anwendung + BT-Vorleistung)												
Erwerbstätige (FTE)	18.800	40.500	109.000-118.200	3.600-4.300	n.v.	25.600-41.800	37.000-55.500	113.100-205.600	192.900-493.000	17.900-24.800	n.v.	
Keinen (formellen) Abschluss	6 %	16 %	11 %	17 %	n.v.	14 %	17 %	17 %	19 %	16 %	n.v.	16 %
Berufliche Ausbildung	38 %	54 %	36 %	60 %	n.v.	54 %	57 %	61 %	61 %	61 %	n.v.	57 %
Meister/Techniker	5 %	11 %	9 %	13 %	n.v.	10 %	10 %	13 %	10 %	11 %	n.v.	11 %
Akademiker	51 %	19 %	45 %	10 %	n.v.	22 %	17 %	8 %	10 %	12 %	n.v.	16 %

Quellen: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006 (Datenbasis: Mikrozensus 2004, Input-Output-Tabellen 2002); * Kriegesmann et al (2005). n.v. = nicht verfügbar (Doppelzählungen)

TEIL 2:
WIE WETTBEWERBSFÄHIG IST DIE BIOTECHNOLOGIEINDUSTRIE UND BIOTECHNOLOGIE-FORSCHUNG IN DEUTSCHLAND?

Den Ausgangspunkt zur Abschätzung der Wettbewerbsfähigkeit der verschiedenen Biotechnologiebereiche bilden zunächst differenzierte Analysen der Entwicklungsdynamik in Deutschland. Darauf aufbauend werden die Ergebnisse für Deutschland im internationalen Vergleich interpretiert. Die Einschätzungen zur Wettbewerbsfähigkeit basieren auf einem breit angelegten Indikatorenansatz. Untersuchungen zur Wettbewerbsfähigkeit mit solchen quantitativen Ansätzen sind allerdings bei neuen Technikfeldern, so auch bei der Biotechnologie, mit besonderen Datenrestriktionen verbunden. Dennoch ergeben sich aus dem international vergleichenden Indikatorenansatz wesentliche Hinweise auf die Stärken und Schwächen des Biotechnologiebereichs in Deutschland.

Die Analyse der Entwicklung der Biotechnologiebereichs im internationalen Vergleich zeigt ein differenziertes Bild. Deutschland ist im Vergleich zu anderen Ländern verspätet in die Kommerzialisierung der Biotechnologie eingetreten, hat aber in kurzer Zeit eine leistungsfähige Biotechnologieindustrie entwickelt. Den Schwerpunkt bildet dabei die rote Biotechnologie. Im Ranking der Core-Biotechnologieindustrie nimmt Deutschland nach den USA und Großbritannien den dritten Platz ein. Insgesamt ist allerdings der Anteil an Unternehmen, die älter als 15 Jahre sind, gering. Gleichzeitig bleibt die durchschnittliche Größe der Biotechnologieunternehmen und die Risikokapitalausstattung je Unternehmen im internationalen Vergleich zurück. Es ist aber auch zu berücksichtigen, dass in Deutschland vermutlich stärker als in vielen anderen Ländern der Biotechnologiebereich auch durch die Biotechnologieaktivitäten großer Unternehmen insbesondere aus Chemie- und Pharmaindustrie bestimmt wird. Sich abzeichnende Schwächen in der Core-Biotechnologieindustrie hinsichtlich der Größe und Kapitalausstattung könnten damit zumindest teilweise kompensiert werden.

Die Biotechnologie in Deutschland konnte in den letzten Jahren sowohl in den kleinen und mittleren Unternehmen als auch innerhalb der Großunternehmen ihren Wachstumskurs fortsetzen. Im Bereich der Core-Biotechnologieindustrie entwickelte sich Deutschland zwischen 2001 und 2003 allerdings unterdurchschnittlich. Insbesondere Frankreich, Dänemark und Schweden konnten aufholen. Gegenüber Großbritannien verringerte Deutschland dagegen den Rückstand spürbar.

Die Grundlagenforschung und die Qualifikation der Arbeitskräfte in Deutschland wird von den befragten Experten als gut und international wettbewerbsfähig bewertet. Gestützt wird diese Einschätzung durch die im internationalen Vergleich hohen Wachstumsraten bei den wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Patentanmeldungen in der Biotechnologie. Berücksichtigt man allerdings bei der Bewertung der Indikatoren der Wissensbasis die jeweilige Größe des Landes, werden auch relative Schwächen deutlich. Insbesondere im Vergleich zu den kleinen Ländern Dänemark, Schweden und die Schweiz ist in Deutschland die relative Ausrichtung auf den Wissensbereich Biotechnologie geringer. Daraus könnten sich längerfristig beispielsweise bei der Akquisition von Nachwuchskräften Engpässe ergeben.

Gleichzeitig allerdings ist zwischen 2002 und 2005 ein positiver Trend in der Einstellung der Bevölkerung zur Biotechnologie in den Ländern der Europäischen Union zu erkennen. Entsprechend dürften sich die Rahmenbedingungen für Forschung und Produktion weiter verbessern. Auch in Deutschland ist der Zustimmungsindex zur Biotechnologie deutlich gestiegen. Eine besondere Skepsis der Deutschen gegenüber der Biotechnologie ist damit nicht mehr auszumachen. Lediglich die Anwendung der Biotechnologie bei Lebensmitteln wird weiterhin zurückhaltend bewertet.

Blickt man über die traditionellen Produktionsstandorte in Amerika und Europa hinaus, ist zu erkennen, dass auch die asiatischen Länder wie Japan, Südkorea, China und Indien erheblich in die Biotechnologie investieren. Aber bisher befindet sich sowohl die Forschung zur Biotechnologie als auch die Kommerzialisierung noch am Anfang. Die biotechnologischen Produkte, die in den asiatischen Ländern auf dem Markt sind, sind Imitationen oder Importprodukte. Bisher gibt es noch kein selbstständig entwickeltes neues biotechnologisches Produkt oder Plattformtechnologien auf den asiatischen Märkten. Experten sehen derzeit in Japan, Südkorea, China und Indien keine unmittelbaren Konkurrenzstandorte oder Konkurrenzunternehmen.

Die Anwenderindustrien der Biotechnologie in Deutschland, vor allem die chemische und die pharmazeutische Industrie, sind im Vergleich zu anderen Branchen forschungsintensiv und exportorientiert. Trotz der absoluten Exporterfolge, ist allerdings die Spezialisierung Deutschlands auf diese Branchen innerhalb der internationalen Arbeitsteilung zurückgegangen – ein Anzeichen dafür, dass die komparativen Vorteile Deutschlands für Chemie und Pharma kleiner geworden sind. Hier bietet die Biotechnologie, die in den Anwenderindustrien in Deutschland schon adaptiert bzw. selbst betrieben wird, auf vielfältige Weise die Möglichkeit mit Produkt- und Prozessinnovationen verlorenes Terrain zurückzugewinnen und die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit zu sichern.

TEIL 3:
BEWERTUNG DES BIOTECHNOLOGIE-STANDORTES DEUTSCHLAND

Zur Bestimmung der kritischen Erfolgsfaktoren für die Entstehung, Entwicklung, Anwendung und Marktdurchdringung der Biotechnologie in Deutschland wird an dem Innovationssystem-Forschungsansatz angeknüpft. Dieser Forschungsansatz ist für die Analyse der Leistungsfähigkeit von Volkswirtschaften in ausgewählten Technologiefeldern gut geeignet und liefert die Grundlage, um im internationalen Vergleich Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken von Forschungs- und Produktionsstandorten herauszuarbeiten. Dies wurde für die beiden Wertschöpfungsstufen

- Forschung und Entwicklung (FuE), und
- Umsetzung in Industrieprozesse und international wettbewerbsfähige Produkte und Dienstleistungen

durchgeführt. Die hierbei abgeleiteten Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der Biotechnologie am Standort Deutschland beschreiben die innovationsfördernden und innovationshemmenden Entwicklungsfaktoren, die mögliche Handlungsfelder für unterschiedliche Akteure darstellen. Die Untersuchungsergebnisse lassen sich wie folgt zusammen:

Bereich Forschung und Entwicklung

- Stärken sind u. a. die aktuelle Verfügbarkeit an hoch qualifiziertem Personal (u. a. Wissenschaftler, Ingenieure, Techniker), eine breite Wissensbasis in allen Biotechnologiebereichen (sowohl in der Grundlagenforschung als auch in der angewandten Forschung) sowie eine gute FuE-Infrastruktur mit ausdifferenzierter Forschungslandschaft (u. a. Universitäten, außeruniversitäre FuE-Einrichtungen, große Unternehmen, Core-Biotechnologieunternehmen).
- Chancen für Deutschland ergeben sich u. a. daraus, dass alle Anwenderindustrien sowie Core-Biotechnologieunternehmen vorhanden sind und in allen Biotechnologiebereichen forschen, dass eine zukünftig an Bedeutung gewinnende interdisziplinäre akademische Ausbildung möglich ist, da alle biotechnologierelevanten Fachgebiete an Universitäten, Fachhochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen vertreten sind, dass bereits bestehende Kooperationsbeziehungen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft ausgebaut werden können, dass langjährige dezidierte Erfahrungen in der Biotechnolo-

gie-Förderpolitik existieren und Potenziale aus einer zunehmenden Konvergenz von Technologien (z. B. Bioinformatik, BioNano) auf Grund der bestehenden breiten Wissensbasis genutzt werden können.

- Schwächen sind u. a. die relativ geringere FuE-Ausgaben deutscher Biotechnologieunternehmen im internationalen Vergleich, die geringe Personalmobilität zwischen Wissenschaft und Industrie (die den Wissenstransfer behindert), die geringen FuE-Aufwendungen der kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) in den Anwenderindustrien sowie die hohe Komplexität durch eine Vielzahl an relevanten Gesetzen, deren Passfähigkeit zueinander sowie eine hohe Regelungsdichte innerhalb einzelner Gesetzesbereiche. Zudem gibt es bislang in Deutschland keine nationale Entwicklungsstrategie für die Biotechnologie wie sie vergleichsweise von der Europäischen Kommission oder Großbritannien formuliert worden ist.
- Risiken für Deutschland sind u. a. die im Vergleich zu Deutschland höhere FuE-Dynamik in etablierten und aufstrebenden Konkurrenzländern in Anwenderbranchen und Biotechnologieunternehmen, die im internationalen Vergleich geringe Anzahl an Top-Forschungseinrichtungen, die zunehmende Auslandsorientierung von Wissenschaftlern und Unternehmen, zukünftige Engpässe bei (hoch) qualifizierten Personal, (u. a. Wissenschaftler, Ingenieure, Techniker), das risikoaverse FuE-Verhalten deutscher Unternehmen in den Anwenderindustrien, eine oftmals unzureichende Koordination der Förderprogramme verschiedener Politikressorts untereinander sowie die gesellschaftliche Einstellung zur Biotechnologie, da in Deutschland der Fokus häufig mehr auf den Risiken als auf den Chancen liegt.

Bereich Umsetzung in Industrieprozesse und international wettbewerbsfähige Produkte und Dienstleistungen

- Stärken sind u. a. die aktuelle Verfügbarkeit an hoch qualifiziertem Personal (u. a. Ingenieure, Techniker), eine breite und wettbewerbsfähige industrielle Basis in Deutschland mit allen wichtigen Anwenderindustrien, ein relativ großer inländischer Markt und etablierter Zugang der Unternehmen zu großen Exportmärkten, differenzierte Unternehmensstrukturen mit jungen Technologieunternehmen in allen Biotechnologiebereichen, KMU und multinationale Großunternehmen in wichtigen Anwenderindustrien und Zulieferersektoren sowie eine gute Infrastruktur (u. a. Energie, Verkehr, IT) und hohe Rechtssicherheit (Schutz von „Intellectual Property Rights“).

- Chancen für Deutschland ergeben sich u. a. daraus, dass ein großer technologischer Wissenspool existiert (u. a. viele Patente und hohe Dynamik bei Patentanmeldungen), dass vorhandenes privates Finanzierungskapital (u. a. Stiftungen, Business Angels) in größerem Umfang zur Finanzierung von Gründungs- und Wachstumsprozessen genutzt werden könnte, dass die zentrale geographische Lage Deutschlands innerhalb der EU sowie die vorhandene Infrastruktur und das Know-how im Logistikbereich Deutschland als Vertriebsstandort für international agierende Unternehmen attraktiv macht (positive Ausstrahleffekte auf Produktion möglich), und dass die öffentliche Akzeptanz beim Einsatz der Biotechnologie im Gesundheits- und Medizinbereich sowie in industriellen Produktionsprozessen in der Regel gegeben ist.
- Schwächen sind u. a. eine im internationalen Vergleich mangelnde Risiko- und Investitionsbereitschaft bei den industriellen Akteuren, ein zu geringes Angebot an Risikokapital in Frühphasen (insb. Seed- und Start-up-Kapital) sowie zu geringe FuE-Ausgaben und eine geringe Bereitschaft zur Adaption neuer Technologien bei KMU in den Anwenderindustrien, Reibungsverluste beim Wissens- und Technologietransfer auf Grund einer eingeschränkten disziplinenübergreifenden Zusammenarbeit sowie häufig eine unzureichende Expertise bei Patent- und Technologietransferstellen, eine sehr starke Fragmentierung dieser Transferstellen sowie hohe Bürokratiekosten (insb. für KMU) durch häufig langwierige und intransparente administrative Prozesse und eine mangelnde Serviceorientierung der Behörden.
- Risiken für Deutschland sind u. a. zukünftige Engpässe bei (hoch) qualifiziertem Personal (z. B. Ingenieure, Techniker), ein geringes Wachstumspotenzial inländischer Anwenderbranchen (u. a. durch eine geringe inländische Marktdynamik bzw. Binnennachfrage), Produktionsverlagerungs- bzw. Abwanderungsprozesse von Unternehmen in wichtigen Anwenderindustrien, ein zunehmender Wettbewerbsdruck im Produktionsbereich durch aufstrebende Konkurrenzländer (insb. aus Asien und Osteuropa) mit günstiger Kostenposition, einem großen Pool an qualifizierten Arbeitskräften und attraktiven fiskalpolitischen Rahmenbedingungen (u. a. geringe Gewinnsteuern, Investitionszuschüsse), technologische Pfadabhängigkeiten (z. B. gewachsene sehr kapitalintensive Verbundstrukturen in der deutschen Chemieindustrie) sowie ein starker Preiswettbewerb in wichtigen Anwenderindustrien, die häufig einen Technologiewechsel behindern, sowie eine hohe Regelungsdichte und Gesetzes-Komplexität bei relevanten Märkten und Produktionsprozessen, eine unzureichende Koordinierung von Politikmaßnahmen sowie eine geringe Akzeptanz

biotechnologischer Produkte in der Landwirtschaft und bei Lebensmitteln und eine starke Auslandsorientierung führender Unternehmen im Bereich der grünen Biotechnologie.

Die Ergebnisse zeigen, dass es Stärken und Chancen einerseits sowie Schwächen und Risiken anderseits für die Entwicklung der Biotechnologie in Deutschland gibt, und zwar sowohl auf der politischen als auch auf der unternehmerischen und wissenschaftlichen Ebene. Nur durch die gemeinsamen Kraftanstrengungen aller Akteure wird es möglich sein, den Biotechnologie-Standort Deutschland und dessen Unternehmen zukünftig international noch wettbewerbsfähiger zu machen, um so die Innovations-, Wachstums- und Beschäftigungspotenziale der Biotechnologie am Standort voll ausschöpfen zu können.

PART I: PRESENT AND FUTURE EMPLOYMENT POTENTIALS OF BIOTECHNOLOGY IN GERMANY

Biotechnology plays an important role as a leading-edge and cross-sectional technology in several branches in the innovation and growth process. It has an enormous potential to develop new or improved processes, products and services. New markets emerge, and the competitiveness of traditional branches can be strengthened. This leads to the creation of new jobs and the guarantee of existing ones. Experts estimate that the realisation of the economic potentials of biotechnology is only at a the beginning (of its development).

Existing studies on the employment effects of biotechnology (BT) are „limited" as a rule to the *direct employees* in the small and medium-sized biotechnology enterprises and/or to the biotechnology suppliers, i. e. to the employment effects which are generated in the provision of biotechnological methods, processes, products or services *(BT Provision)*. However, this estimate mostly does not take the employees in the public R&D institutions into account. Above all, however, the direct employment effects in the various downstream user industries *(BT Application)* or the *indirect employment* impacts in the upstream supplier sectors *(BT Input)* are not or only incompletely covered. Equally, up to now no future-oriented quantitative extrapolations of the employment effects on the basis of consistent scenarios have been carried out. The present study takes this research need as its starting point.

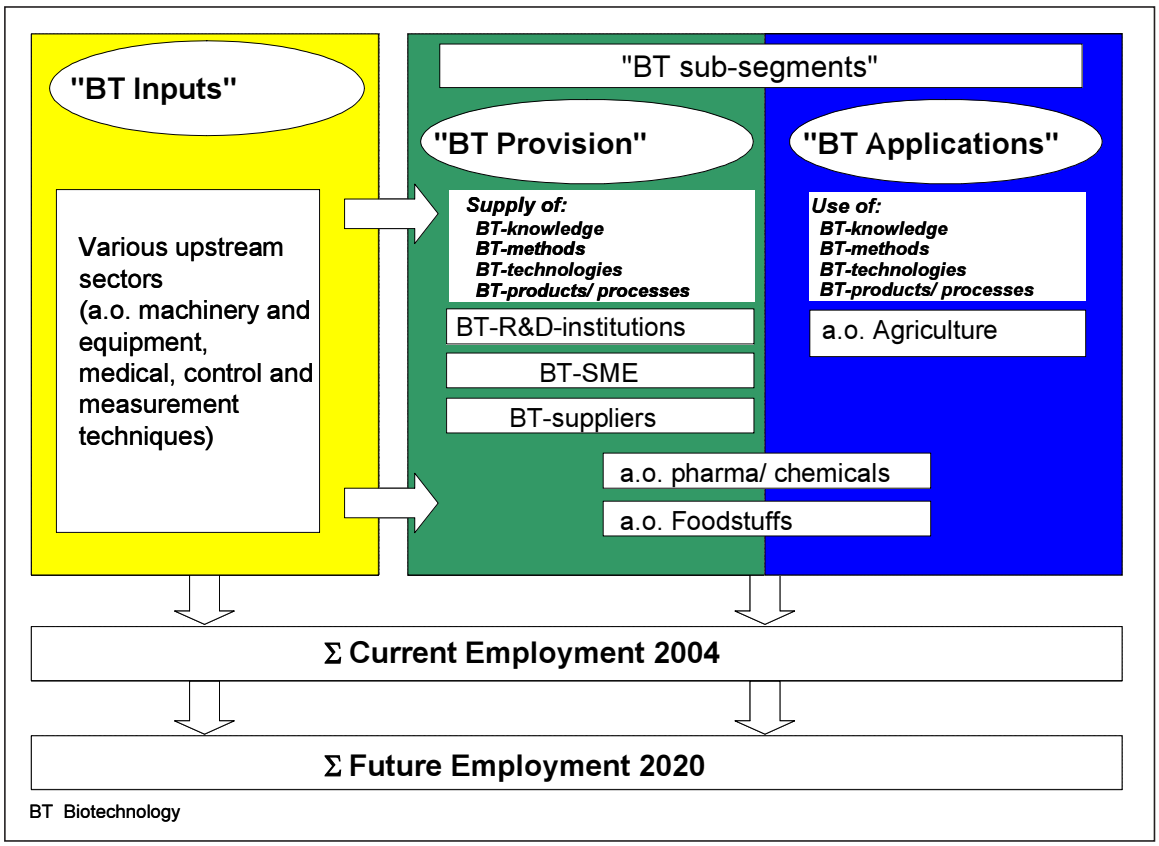
In order to analyse the present and future employment potentials of biotechnology, an investigative concept consisting of three pillars (Figure 0.1) was utilised which takes the different types of employment impacts into consideration. The model calculations in Part 1 of the study

- **encompass positive direct gross employment effects of the „biotechnology sub-segments" (BT Provision and BT Application),** i. e. the persons employed in Germany in the provision of biotechnology know-how in universities, R&D institutions, small and medium-sized biotechnology firms, biotechnology suppliers and plant breeding companies, as well as those involved in the application of biotechnology know-how in the application industries of the pharmaceuticals branch, chemical industry, foodstuff industry, as well as in agricul-

ture and environmental biotechnology combined, as the direct employment effects of biotechnology.

- **include positive gross input effects of the „biotechnology sub-segments" (BT Input)**: through their investment activities and expenditures on input buys, the biotechnology sub-segments BT Provision and BT Application participate in the overall value added of the economy. These supplier linkages with other industrial sectors lead to additional indirect upstream and investment-induced employment effects in supplier sectors.

Figure 0-1: „Three Pillar Concept" for the Analysis of the Employment Effects of New Technologies, Applied to Biotechnology



Source: Fraunhofer ISI 2006

The model calculations **do only include positive employment effects.** Besides the positive gross employment effects from the growth in the provision and utilisation of biotechnology know-how, negative employment effects emerge. These negative impacts or negative impulses result amongst others from a reduced utilisation (in the sense of an absolute and/or relative shrinking) in „conventional" processes, products and services (e. g. chemical-based pharmaceutical products, fossile energy sources) and the expenditures and investments thereby avoided. In addition,

compensatory effects and budget effects arise, as e. g. extra costs caused by the provision and application of biotechnology processes, products and services as opposed to conventional processes, products and services (e. g. biotechnology research funding, subsidies and tax exemptions for biofuels), must be compensated in the entire economy by reducing expenditure in other places (among others, falling private consumer expenditure because of tax increases). Ascertaining the negative employment effects would provide a consistent balance of the overall economic effects of an additional use of biotechnology processes, products and services. The calculation of such negative employment effects is however methodologically very demanding and was not feasible within the financial framework of this project.

When interpreting such negative employment effects, general trends in the user branches concerned should always be taken into account: if Germany does not invest in the R&D and production area in internationally competitive biotechnology processes, products and services, which can be researched, developed and for as long as possible (industrially) produced in Germany, then there is a real danger that companies in future will outsource standardised production processes in „classical or conventional" processes, products and services (e. g. on a petrochemical manufacturing base) to eastern European and/or Asian countries. Many jobs would be lost thereby, possibly on the scale of the positive gross employment effects outlined in the following.

The ISIS model developed at Fraunhofer ISI was utilised to calculate the employment effects, the core of which consists of an input-output model. This model is based on the up-to-date input-output tables of the Federal Statistical Office for the year 2002. They divide the German economy into 71 production and service sectors and six end-user sectors (among others, private and state consumer demand, export). In corresponding places (among others, formation of „biotechnology sub-segments", updating of productivity indices), an adjustment was made for the years 2004/05 and 2020, using appropriate statistical sources. With the help of the ISIS model, the impacts of changes in the interim and final demand for biotech methods, processes, products and services was simulated for the entire economy. The economic (demand) impulses are applied as data input for the input-output model calculations, which result from the assessment of the present and future market potentials for biotechnology based on a written survey, numerous interviews with experts as well as techno-economic studies.

Employment scenarios were developed with the aid of a elaborated **„top-down/bottom-up" procedure.** The present and future market penetration of biotechnological methods, processes, products and services in the user areas was here-

by ascertained. A variety of methods and sources (among others, a written survey, expert interviews, patent analyses, techno-economic studies) were applied, in order to determine the upper and lower limits for the respective application branches. The results are summarised in Table 0.1.

Table 0-1: Biotechnology Turnover Shares 2004 and 2020 (in per cent referring to the production value of the whole industry)

Application industries	Biotechnology turnover share 2004/05	Biotechnology turnover share 2020
Scenario figures Chemicals	4-6 %	9-18 %
Scenario figures Pharmaceuticals	11-18 %	18-40 %
Scenario figures Foodstuffs	9-23 %	17-32 %
Scenario figures Agriculture	11-20 %	26-42 %
Scenario figures Environmental Biotechnology	13-18 %	30-45 %

Source: Fraunhofer ISI 2006

As is usual in new technology fields, the actual market penetration in 2004 and 2020 contains uncertainties, so the actual employment effects in 2004 are also quoted with upper and lower limits. The limits are to be understood as „pessimistic and optimistic market share estimates". The upper and lower limits of employment effects for the year 2020 can be interpreted as „slow and rapid diffusion", respectively market penetration. The direct employment effects of the biotechnology sub-areas BT Provision and BT Application, as well as their upstream (indirect and investment-induced) employment effects are summarised in Table 0.2. Cumulative values cannot be shown, as the problem of double counting arises from a methodological perspective. The established employees connected to biotechnology are calculated as full time equivalents (FTE). The study results show the following for 2004 and 2020:

- **BT Provision:** the greatest employment impact (sum of direct and upstream effects) comes in 2004 with approx. 109,000-118,200 staff members from the universities and extra-university R&D institutions, followed by the biotechnology suppliers with ca. 40,500 employees. By contrast, the employment impact of small and medium-sized biotechnology firms, even taking the input effects into account, is relatively small with round 18,800 employees. The plant breeding firms together employ approx. 3,600-4,300 employees. For the year 2020 the following picture emerges: approx. 122,500-132,900 staff can be estimated for the universities and non-university R&D institutions, ca. 43,800-56,100 employees

in biotechnology supplier firms, about 19,900-25,400 employees in small and medium-sized biotech companies and round 3,900-4,600 staff in the plant breeding businesses

- **BT Application:** the highest number of jobs involved is found in the foodstuff industry, which exhibits a considerable input effect, so that in this sub-segment on the whole (i. e. direct plus upstream) ca. 192,900-493,000 employees can be connected with the utilisation of biotechnical methods, processes or products. This is followed with ca. 113,100-205,600 employees in agriculture. Comparatively speaking, the employment effect is relatively low in the other sub-segments. Due to high input effects, the chemical industry follows with ca. 37,000-55,500 employees, ahead of the pharmaceutical industry (round 25,600-41,800 employees) and environmental biotechnology (ca. 17,900-24,800 workforce). The following situation emerges for the year 2020: round 293,600-552,700 employees for the foodstuff industry and ca. 181,600-293,400 employees in agriculture, followed by the chemical branch with ca. 82,100-164,300 employees, ahead of the pharmaceutical industry (approx. 37,800-90,000 staff) and environmental biotechnology (ca. 43,100-64,600 employees)
- **BT Input:** in sum, the upstream employment effects are greater than the direct employment impacts of biotechnology, not only in 2004 but also in 2020. The effects differ greatly for the individual biotechnology sub-segments. In the biotech SMEs, the biotechnology suppliers and the plant breeding companies, as well as in agriculture, the direct employment effects dominate, i. e. the upstream effects have lower significance. Conversely, in the chemicals branch and in the food industry the upstream employment effects are two to three times more than those of the direct employment impact. In the other biotechnology sub-segments, the direct and upstream employment impacts are almost equally high.

Table 0-2: Summary of Direct, Indirect/Induced Gross Employment Impacts in the Scenarios 2004 and 2020

	Direct gross employees * (in thousand FTEs)		**BT Input**: indirect/ induced gross employees (in thousand FTEs)		Gross employees **Total** (in thousand FTEs)	
	2004	2020	2004	2020	2004	2020
Scenarios (sum 1+2)	**257,7- 443,0**	**368,7- 595,9**	**n.a. ***	**n.a. ***	**n.a. ***	**n.a. ***
1. BT Provision	**88,6 - 93,4**	**97,1 - 113,0**	**83,2 - 88,4**	**93,0 - 106,1**	**n.a. ***	**n.a. ***
- Universities/R&D institutions	50,5 - 55,0	56,6 - 61,4	58,2 - 63,2	65,9 - 71,5	108,9 - 118,2	122,5 - 132,9
- Biotech SMEs	12,0	12,2 - 15,6	6,8	7,7 - 9,9	18,8	19,9 - 25,4
- Biotechnology suppliers	23,7	25,8 - 33,0	16,9	18,0 - 23,1	40,5	43,8 - 56,1
- Plant breeders	2,3 - 2,7	2,6 - 3,0	1,3 - 1,6	1,4 - 1,6	3,6 - 4,3	3,9 - 4,6
2. BT Application	**169,1-349,6**	**271,6 - 482,9**	**217,4 - 471,2**	**369,4 - 682,1**	**n.a. ***	**n.a. ***
- Pharmaceuticals	12,4 - 20,4	17,8 - 39,6	13,1 - 21,5	22,7 - 50,5	25,6 - 41,8	40,5 - 90,0
- Chemicals	9,8 - 14,7	18,0 - 35,9	27,2 - 40,8	64,2 - 128,3	37,0 - 55,5	82,1 - 164,3
- Foodstuffs	69,6 - 177,7	108,0 - 203,2	123,4 - 315,2	185,7 - 349,5	192,9 - 493,0	293,7 - 552,7
- Agriculture	68,8 - 125,1	107,4 - 173,5	44,3 - 80,6	74,2 - 119,8	113,1 - 205,6	181,6 - 293,4
- Environmental biotechnology	8,5 - 11,8	20,4 - 30,6	9,4 - 13,1	22,7 - 34,0	17,9 - 24,8	43,1 - 64,6

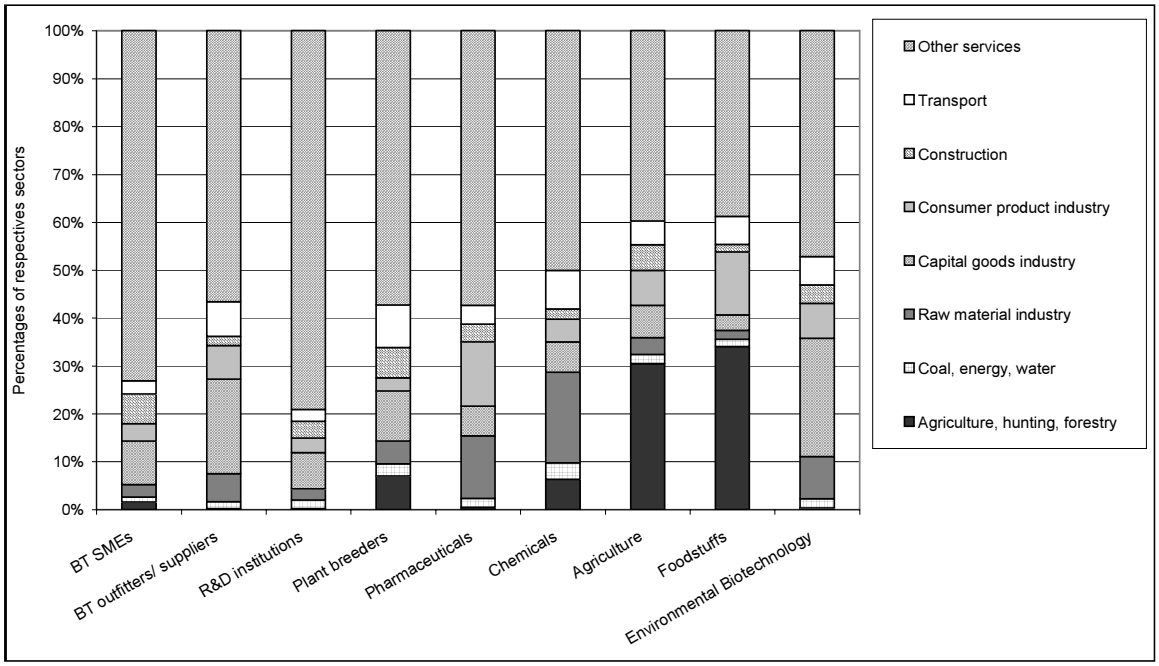
Source: Calculation Fraunhofer ISI 2006 (errors possible in rounding up).

FTE = full time equivalents. n.a. * = not available (problem of double counting)

The problem of double counting: Significant double counting occurs in accounting total sums, therefore certain cumulative values cannot be shown. This is illustrated by the total sum „BT-Input" (BT-Provision plus BT-Application): The application industries (e.g. pharmaceutical and chemical industry) purchase biotechnology-based inputs from Biotech-SMEs (e.g. industrial enzymes) or Biotechnology suppliers (e.g. components of laboratory apparatus). The idea of the input-output model works with multiple turns, that means not only the direct input is calculated, but the inputs of the inputs etc.. Therefore, the input effects of the Biotech SMEs are partly (but not exactly quantifiable) also considered in the inputs of the pharmaceutical and chemical industry. Thus the sum of the BT-Provision and BT-Application cannot be calculated. Consequently, the adding up of the direct employment effects with the BT-Input effects, which results in the total gross employees, is not possible. Moreover, due to the mentioned supply linkages, many indirect/induced employees of BT-Application are directly employed in BT-Provision. In addition the pharmaceutical industry purchases inputs of the chemical industry or Biotech-SMEs inputs of the Biotech suppliers/outfitters. Therefore total gross employees of BT-Provision, BT-Application and BT-Apllication plus BT-Provision cannot be shown.

Due to the great significance of the upstream employment effects, a more precise analysis of the sectoral division of the upstream employment effects was conducted. The results paint the following picture (Figure 0.2): a relatively high significance of the service area can be recognised, which in most cases amounts to between 40 and 60 % of the upstream employees, in the R&D institutions and biotech SMEs even 75 to 80 %. Thus biotechnology contributes to a considerable extent to strengthening the future-oriented service sectors. The sectors of raw materials industry, in particular deliveries from other fields of the chemical industry, are relevant for the pharmaceutical industry and the (fine) chemical industry. For biotechnology suppliers and environmental biotechnology, capital goods sectors such as measurement and control engineeering or the manufacturers of metal goods play a greater role. Foodstuff processing is unusual in that here agriculture (and also fishing) with its high labour intensity contributes decisively to upstream employment impacts. Agriculture itself on the other hand is strongly intraconnected, in similar fashion to the chemical industry.

Figure 0-2: Sectoral Division of the Upstream Indirect Employment Effects (BT Input) of the Biotechnology Segments BT Provision and BT Application



Source: Calculations Fraunhofer ISI 2006

The shares of various qualification groups in the biotechnolgy sub-segments and the upstream supplier industries are summarised in Table 0.3. For the persons directly employed in the „biotechnology sub-segments", distinct sectoral differences

are observed in the qualification-specific work requirements. The research-intensive sub-segments concerned with providing biotechnology knowledge (BT Provision) have a higher share of academics (48 %) than the sub-segments for application (BT Application) with only ca. 7 %. In particular, foodstuff processing and agriculture have only low quotas of academics, in these sub-fields the shares of workers with vocational training (or a similar occupational qualification) with 62 or 64 % and a qualification as technician/master craftsman are high, at 10 respectively 15 %. The examination of the qualification profiles in the upstream biotechnology supplier sectors show similarities on the whole with the figures for the overall economy. Striking by comparison with the direct employment are the lower sectoral differences in the individual value chains of the biotechnology sub-segments. In total, the need for academics in the indirect and investment-induced employees in BT Provision is higher, at 29 %, than in the economy as a whole (16 %), in BT Application on the other hand lower, at only 13 %.

Table 0-3: Professional Qualification Profiles in „Biotechnology Sub-segments" in 2004

Qualification Profiles of Direct Employees in the Biotechnology Sub-segments BT Provision and BT Application												
	BT Provision					**BT Application**						
	Biotech SMEs *	BT Suppliers	R&D institu-tions	Plant breeders	Sum	Pharma-ceuticals	Chemi-cals	Agricul-ture	Food-stuffs	Environ-mental biotech	Sum	**Entire Economy**
Employees (FTE)	12,000	23,700	50,500-55,000	2,300-2,700	88,600-93,400	12,400-20,400	9,800-14,700	68,800-125,100	69,600-177,700	8,500-11,800	169,100-349,600	
Without (formal) qualification	2 %	15 %	8 %	18 %	9 %	12 %	16 %	18 %	21 %	15 %	19 %	16 %
Vocational education	33 %	51 %	26 %	62 %	34 %	53 %	55 %	62 %	64 %	63 %	62 %	57 %
Master/technician	2 %	12 %	8 %	15 %	8 %	10 %	12 %	15 %	10 %	12 %	12 %	11 %
Academics	63 %	22 %	58 %	6 %	48 %	25 %	17 %	6 %	6 %	9 %	7 %	16 %
Qualification Profiles of Indirect and Investment-induced Employees in the Upstream Supplier Sectors (BT Input)												
Employees (FTE)	6,800	16,900	58,200-63,200	1,300-1,600	83,200-88,400	13,100-21,500	27,200-40,800	44,300-80,600	123,400-315,200	9,400-13,100	217,400-471,200	
Without (formal) qualification	14 %	18 %	13 %	16 %	14 %	16 %	17 %	17 %	18 %	17 %	18 %	16 %
Vocational education	47 %	58 %	44 %	58 %	47 %	55 %	57 %	60 %	60 %	59 %	59 %	57 %
Master/ technician	10 %	9 %	10 %	10 %	10 %	9 %	9 %	11 %	11 %	9 %	11 %	11 %
Academics	29 %	16 %	33 %	16 %	29 %	20 %	16 %	12 %	12 %	14 %	13 %	16 %
Qualification Profiles of the Direct, Indirect and Investment-induced Employees (BT Provision + BT Application + BT Input)												
Employees (FTE)	18,800	40,500	109,000-118,200	3,600-4,300	n.a.	25,600-41,800	37,000-55,500	113,100-205,600	192,900-493,000	17,900-24,800	n.a.	
Without (formal) qualification	6 %	16 %	11 %	17 %	n.a.	14 %	17 %	17 %	19 %	16 %	n.a.	16 %
Vocational education	38 %	54 %	36 %	60 %	n.a.	54 %	57 %	61 %	61 %	61 %	n.a.	57 %
Master/ technician	5 %	11 %	9 %	13 %	n.a.	10 %	10 %	13 %	10 %	11 %	n.a.	11 %
Academics	51 %	19 %	45 %	10 %	n.a.	22 %	17 %	8 %	10 %	12 %	n.a.	16 %

Sources: Calculations Fraunhofer ISI 2006 (Database: Microcensus 2004, input-output tables 2002); * Kriegesmann et al (2005). n.a. = not available (double counting)

PART II:
HOW COMPETITIVE IS BIOTECH INDUSTRY AND BIO RESEARCH IN GERMANY?

Different analyses of development dynamics in Germany provide the starting point for assessing competitiveness of different biotechnology sub-segments. From this, the results of Germany in international comparison are interpreted. The appraisement of competitiveness is based on a broadly designed indicator approach. However, the analyses of competitiveness with this sort of quantitative approaches are subject to special data restrictions for new technological fields, including biotechnology. Nevertheless, this indicator approach sheds light on the strengths and the weaknesses of biotechnology sub-segment in Germany.

The analysis of development of biotechnology sub-segments in international comparison shows a diverse picture. In comparison to other countries, Germany jointed the commercialization of biotechnology late, but has since developed a competent biotechnology industry in a short period. The red biotechnology is its main focus. In the core biotechnology industry rankings, Germany is at the third place after US and Britain. Nonetheless, the fraction of companies with more than 15 years of market experience is in general small. In parallel to this, the average size of biotechnology firms as well as the venture capital capacity of each firm is lacked behind in international comparison. On should also take into account the fact that biotechnological activities of big companies, especially from chemical and pharmaceutical industries, have probably a bigger impact on biotechnology sub-segments in Germany than in many other countries. This compensates, at least partially, the weaknesses of the core biotech industry in terms of size and capital capacity.

During recent years, the growth of biotechnology in Germany carries forward in small and medium firms, and as well as within big firms. However, in the area of core biotech industry the development in Germany was below average between 2001 and 2003. In particular, France, Denmark and Sweden have caught up. As compared to Britain, Germany has, nonetheless, noticeably narrowed its gap.

According to the expert interview, the basic research and the qualification of labour force in Germany are appraised to be good and internationally competitive. This is backed up from the relative high scientific publications and patent registration in the biotechnology internationally. However, when country size is taken into account, the weakness of Germany is revealed clearly by indicators of knowledge-base. In particular, as compared to the small countries such as Denmark, Sweden and the Switzerland, the development in the knowledge areas of biotechnology is

lagged behind, This can, for example, give rise to bottleneck for acquisition of offspring scientists in the long run.

At the same time, one sees a positive trend in the attitude of citizens towards biotechnology in the European Union between 2002 and 2005. Accordingly, the general conditions for research and production should be further improved. In Germany, the acceptance of biotechnology has clearly risen. A special scepticism of Germans against the biotechnology does not exist anymore. Only in the application of biotechnology to foodstuffs do Germans still hold conservative views.

Besides the traditional production locations in US and Europe, it is obvious that the Asian countries, such as Japan, South Korea, China and India have invested heavily in the biotechnology. However, until now the biotechnology and its commercialization are still at an early stage in these countries. The biotechnological products at the Asian markets are either imitations or imported products. Up to now these countries have not yet developed new biotechnological products or platform technology on their own. In experts' opinion, Japan, South Korea, China and India are not yet competitors for production location or for products.

The application industries of biotechnology in Germany, in particular the chemical and pharmaceutical industries, are research-intensive and export-orientated in comparison with other sectors. In spite of the absolute success in export, the specialization of Germany in those sectors is falling back in terms of international division of labour. This is a signal for a drop in comparative advantages for German chemical and pharmaceutical industries. Biotechnology, which is already adopted or plays an active role in the application industries in Germany, provides these industries chances to gain back their lost terrains and to assure their future competitiveness with their product and process innovation in various areas.

PART III:
EVALUATION OF GERMANY AS A LOCATION FOR BIOTECHNOLOGY

In order to determine the critical success factors for generation, development, application and market penetration of biotechnology in Germany, the innovation system research approach is followed. This research approach is well suited to analysing the performance of economies in selected technology fields and supplies the basis to develop strengths, weaknesses, chances and risks of research and production locations in an international comparison. This was conducted for the two value added steps

- research and development (R&D), and
- implementation in industrial processes and internationally competitive products and services.

The strengths, weaknesses, chances and risks of biotechnology in the location Germany derived from these analyses describe the innovation-promoting and innovation-hampering factors which present the fields of action possible for different actors. The results of the investigation can be summarised as follows:

Research and Development Area

- Strengths are, among other factors, the momentary availability of highly qualified personnel (among others, scientists, engineers, technicians), a broad knowledge base in all biotechnology fields (not only in basic research, but also in applied research) as well as a good R&D infrastructure with a differentiated research landscape (e.g. universities, non-university R&D institutions, large concerns, core biotech enterprises).
- Chances for Germany also arise from the facts that all application industries plus core biotech enterprises are already up and running, and are researching in all biotechnology fields, that an academic education with a growing significance for interdisciplinarity is possible in future, as all biotechnology-relevant specialist fields are represented in universities, universities of applied science and non-university research institutions, that already existing cooperations between science and industry can be expanded, that long-term decisive experiences in biotechnology promotional policy exist and potentials from an increasing convergence of technologies (e. g. bioinformatics, bio-nanotechnology) will be able to be exploited, due to the available broad knowledge base.

- Weaknesses are among others the relatively low R&D expenditures of German biotechnology enterprises by international comparison, the low personnel mobility between science and industry (which hampers knowledge transfer), the low R&D expenditures of the small and medium-sized enterprises (SMEs) in the application industries, as well as the high complexity occasioned by a large number of relevant laws, their compatibility with each other as well as a high regulatory density within single legal areas. In addition, up to now Germany has not formulated a common development strategy for biotechnology, as the European Commission and Great Britain have already done, for instance.
- Risks for Germany are among others the higher R&D dynamic compared with Germany in established and in new ambitious competitor countries in application branches and biotech enterprises, the low number of top research institutions viewed internationally, the growing orientation abroad of scientists and firms, future bottlenecks with (highly) qualified personnel, (amongst others, scientists, engineers, technicians), the risk-averse R&D behaviour of German firms in the application industries, an often inadequate coordination of the promotional programmes run by various policy departments, as well as public attitude towards biotechnology, for in Germany the focus is frequently brought to bear more on the latent risks than the opportunities.

Area Realisation in Industrial Processes and Internationally Competitive Products and Services

- Strengths are among other factors the present availability of highly qualified personnel (e. g. engineers, technicians), a broad and competitive industrial basis in Germany with all important application industries, a relatively large domestic market and established access of enterprises to large export markets, differentiated enterprise structures with young technology enterprises in all biotech areas, SMEs and multinational, large concerns in important application industries and supplier sectors, as well as a good infrastructure (among others, energy, transportation, IT) and excellent legal system (protection of „intellectual property rights“).
- Opportunities for Germany emerge, among others, in the fact that a large pool of technological knowledge exists (many patents and high dynamic in patent applications), that available private financing capital (for instance, foundations, business angels) could be utilised to a greater extent to finance start-up and growth processes, that Germany's central geographical position within the EU

as well as the existing infrastructure and know-how in the area of logistics makes Germany an attractive sales and marketing location for internationally active concerns (possible positive spillover effects to production), and that public acceptance of the use of biotechnology in the health and medical areas as well as in industrial production processes is taken for granted as a rule.

- Weaknesses are among other factors risk aversion and a lack of willingness to invest on the part of the industrial actors in an international comparison, too little venture capital on offer in early phases (in particular, seed and start-up capital), as well as too low R&D expenditures and lack of willingness to adapt to new technologies in SMEs in the user industries, frictional losses in the course of knowledge and technology transfer because of limited cross-disciplinary cooperation and frequently inadequate expertise in patent and technology transfer offices, a very strong fragmentation of these transfer bodies plus high bureaucratic costs (in particular for SMEs) because of often protracted and intransparent administrative processes and poor service orientation on the part of the authorities.
- Among the risks for Germany are future bottlenecks with (highly) qualified personnel (e. g. engineers, technicians), a low growth potential of domestic application branches (caused by a low domestic market dynamic, respectively domestic demand, among others), production outsourcing or emigration processes of enterprises in important application industries, a growing competitive pressure in the production area emanating from ambitious competitive countries (especially from Asia and eastern Europe) with cheaper cost positions, a large pool of qualified employees and attractive fiscal policy framework conditions (for instance, low taxes on earnings, investment subsidies), technological path dependencies (e. g. traditionally very capital-intensive structure in the German chemical industry), as well as strong price competition in important application industries, which frequently prevent a technology switch, as well as a high regulatory density and legal complexity in relevant market and production processes, an inadequate coordination of policy measures plus a low acceptance for biotechnology products in agriculture and food and a strong orientation abroad of leading firms in the area of green biotechnology.

The results show that there are strengths and chances on the one hand for the development of biotechnology in Germany, not only on the political, but also on the entrepreneurial and scientific level. Only the combined efforts of all actors will make it possible for the biotechnology location Germany and its enterprises to be internationally even more competitive in future, in order to fully exploit the innovation, growth and employment potentials of biotechnology here.

EINLEITUNG: AUSGANGSITUATION, ZIELSETZUNGEN DES PROJEKTES UND METHODIK

Deutschland ist ein wichtiger Standort für forschungs- und wissensintensive Branchen. Berichte zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands (BMBF 2005, 2006) zeigen, dass Unternehmen zunehmend in innovative Spitzentechnologien investieren. Dies ist erforderlich, damit sich ein hoch entwickeltes und rohstoffarmes Land wie Deutschland dauerhaft im internationalen Wettbewerb behaupten kann. Die Biotechnologie spielt als Spitzen- und Querschnittstechnologie in mehreren Branchen im Innovations- und Wachstumsprozess eine wichtige Rolle. Sie verfügt über ein enormes Potenzial zur Entwicklung neuer oder verbesserter Produkte, Prozesse und Dienstleistungen. Neue Märkte entstehen und die Wettbewerbsfähigkeit traditioneller Branchen kann gestärkt werden. Dadurch werden neue Arbeitsplätze geschaffen und bestehende gesichert. Längst hat die Biotechnologie ihre Disziplingrenzen überschritten und beeinflusst auch zahlreiche andere Technikbereiche. Nach Einschätzung von Experten steht die Realisierung des wirtschaftlichen Potenzials der Biotechnologie erst am Anfang ihrer Entwicklung.

Um dieses Potenzial und die Chancen – unter Beachtung der Risiken – der Biotechnologie zu nutzen, müssen bereits existierende Stärken am Standort Deutschland weiter ausgebaut und Hemmnisse bzw. Schwächen abgebaut werden. Die vorliegende Studie soll ein wissenschaftlich fundiertes Gesamtbild der Beschäftigungspotenziale und der Wettbewerbsfähigkeit der Biotechnologie in Deutschland liefern sowie mögliche Handlungsfelder zur Stärkung des Biotechnologie-Standortes Deutschland aufzeigen. Auf Basis der Ergebnisse kann ein intensiver Dialog zwischen Politik, Wirtschaft und Wissenschaft erfolgen, um den Biotechnologie-Standort Deutschland durch gemeinsame Kraftanstrengungen aller beteiligten Akteure und entsprechende Maßnahmen weiter nach vorne zu bringen.

Zielsetzung der Gesamtstudie ist es, die

- Beschäftigungspotenziale,
- Wettbewerbsfähigkeit,
- innovationsfördernden und innovationshemmenden Faktoren

der Biotechnologie am Standort Deutschland zu untersuchen.

Somit stehen folgenden Fragen im Fokus der Untersuchungen:

(1) WIE HOCH SIND DIE AKTUELLEN UND ZUKÜNFTIGEN BESCHÄFTIGUNGSPOTENZIALE DER BIOTECHNOLOGIE?

Bereits existierende Untersuchungen zu den Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie „beschränken" sich in der Regel auf die direkt Beschäftigten in den kleinen und mittelständischen Biotechnologieunternehmen und/oder auf die Biotechnologie-Ausstatter. Beschäftigungseffekte in den verschiedenen nachgelagerten Anwenderindustrien oder vorgelagerten Zulieferersektoren werden nicht bzw. sehr unvollständig erfasst. Zukunftsbezogene quantitative Extrapolationen der Beschäftigungswirkungen auf Basis konsistenter Szenarien fehlen bislang. An diesem Forschungsbedarf setzt die vorliegende Studie an.

Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen der Biotechnologie verbreiten sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und Intensität in den verschiedenen Biotechnologie-Teilsegmenten einzelner Branchen. Innovations-, Wachstums- und damit Beschäftigungspotenziale der Biotechnologie sind daher stark an die jeweiligen Branchenspezifika gebunden. Im Einzelnen wurden daher untersucht:

- aktuelle direkte Beschäftigungswirkungen, die bei der Bereitstellung von biotechnologischen Methoden, Prozessen, Produkten oder Dienstleistungen in öffentlichen Forschungseinrichtungen, in kleinen und mittleren Biotechnologieunternehmen, Pflanzenzüchtungsunternehmen und bei Biotechnologie-Ausstattern entstehen,
- aktuelle direkte Beschäftigungseffekte in wichtigen Anwenderindustrien (unter anderem Pharma- und Chemiebranche),
- aktuelle indirekte Beschäftigungswirkungen in vorgelagerten Zulieferersektoren (z. B. Maschinen- und Anlagenbau),
- zukünftige Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie in 2020 auf Basis konsistenter Zukunftsszenarien.

Um ein wissenschaftlich fundiertes Gesamtbild der Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie in Deutschland zu erhalten, wurden im Projekt zunächst die vorhandene Literatur und verfügbare Statistiken (z. B. zu den kleinen und mittleren Biotechnologieunternehmen) analysiert. Ergänzend wurden eine schriftliche Primärerhebung sowie Experteninterviews unter Einbeziehung aller relevanten Stakeholder durchgeführt. Auf Basis der Ergebnisse wurden konsistente Szenarien entwickelt und modellgestützt die heutigen Beschäftigungswirkungen quantifiziert

und die Beschäftigungspotenziale in 2020 geschätzt. Darüber hinaus wurden die Verbindungen der Biotechnologie zu anderen Zukunftstechnologien untersucht.

Die direkten Beschäftigungseffekte in wichtigen Anwenderindustrien sowie die indirekte Beschäftigungswirkungen in vorgelagerten Zulieferersektoren wurden im Rahmen des Projektes auf Basis eines Input-Output-Modells des Fraunhofer ISI (ISIS-Modell) berechnet. Dieses Modell basiert auf den derzeit aktuellen Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2002. Darin wird die deutsche Volkswirtschaft in 71 Produktions- und Dienstleistungssektoren unterteilt. Dadurch konnten die Auswirkungen der Biotechnologie auf die gesamte Wirtschaft für verschiedene Szenarien adäquat simuliert werden.

Die Vorteile dieser szenariobasierten Input-Output-Modellberechnungen lassen sich wie folgt zusammenfassen. Input-Output-Modelle weisen im Vergleich zu anderen Modellen (z. B. Gleichgewichtsmodellen) eine relativ große Flexibilität auf. So konnten vorliegende quantitative, vor allem aber auch qualitative Informationen oder Spezialkenntnisse zur Biotechnologie berücksichtigt werden. Das verwendete Modell ist keine „black box", sondern die Strukturen und Annahmen sind transparent und nachvollziehbar. Das Modell liefert verständliche Informationen zur Bruttoproduktion der verschiedenen Wertschöpfungsstufen der Biotechnologie-Teilsegmente und lässt sich gut mit einem Arbeitsmarktmodul ergänzen. Zudem eignet es sich für szenariobasierte Simulationen, ein Vorteil, der gerade bei der Bewertung neuer Technologien wichtig ist, da hier eine Vielzahl von Unsicherheiten existiert (z. B. hinsichtlich der zukünftigen Marktdurchdringung), die sich über verschiedene Szenarien gut abbilden lassen. Ein spezifischer Vorteil von Input-Output-Modellen besteht in der Darstellung von Vorleistungsverflechtungen, da einfache sektorale Reaktionsfunktionen angenommen werden, die aber eine umfassende, ökonomisch interpretierbare intersektorale Vernetzung von Wertschöpfungsprozessen abbilden können (Holub und Schnabl 1994). Somit konnte die gesamte Wertschöpfungskette der Biotechnologie im Detail nachgezeichnet und analysiert werden.

Allerdings weist das verwendete Input-Output-Modell, wie jedes Modell, auf Grund seiner Annahmen auch Restriktionen auf, die bei der Interpretierbarkeit der Zahlen berücksichtigt werden sollten. Das Modell basiert auf der Datenbasis von Stichjahren. Dabei muss für die Simulationen angenommen werden, dass diese Jahre ein typisches Abbild der Wirtschaftsstrukturen vermitteln. Die erfassten Produktionsfunktionen der einzelnen betrachteten Branchen sind für das Stichjahr linear-limitational und werden für Simulationen konstant gehalten, d. h. es wird bei dieser statischen Analyse angenommen, dass sich der Produktionsprozess nicht ver-

ändert. So bleiben auch die Anteile der Arbeit und des Kapitals und der Wertschöpfung insgesamt an der Bruttoproduktion innerhalb eines Stichjahres konstant. Substitutionsmöglichkeiten zwischen den verschiedenen in die Produktion einfließenden Vorleistungen und an der Produktion beteiligten Produktionsfaktoren werden im Grundmodell vernachlässigt. Da jedoch gerade neue Technologien wie die Biotechnologie Substitutionsprozesse induzieren, wurden Modellanpassungen in der Weise vorgenommen, dass für jedes Biotechnologie-Teilsegment für die beiden Stichjahre 2004 und 2020 spezifische Vorleistungsstrukturen entwickelt wurden. Basis hierfür waren Expertenbefragungen und verschiedene technoökonomische Studien.

Rückkopplungen zwischen Wertschöpfung und Endnachfrage wurden bei den Input-Output-Berechnungen vernachlässigt. D. h., preis- und nachfrageinduzierte Substitutionsvorgänge konnten auf Grund einer eingeschränkten Datenverfügbarkeit nicht abgebildet werden. Zudem wurden bei den qualifikationsspezifischen Beschäftigungsanalysen auf Grund nicht verfügbarer Daten konstante sektorspezifische Strukturen der Qualifikationsprofile auf Basis von Mikrozensusdaten für das Jahr 2004 unterstellt.

Die Beschäftigungseffekte sind das Ergebnis einer Vielzahl von Wirkungsmechanismen der Biotechnologie auf die Gesamtwirtschaft. Ein wichtiger Wirkungszusammenhang ist der der Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit durch den Einsatz der Biotechnologie. Auf Grund Biotechnologie-basierter neuer Prozesse und Produkte kann die preisliche und technologische Wettbewerbsfähigkeit der Anwenderindustrien ebenso wie die der Hersteller dieser Biotechnologie-basierten Prozesse und Produkte steigen. Dadurch kann es u. a. zu erhöhten Exporten und/ oder geringeren Importen sowie einer Standorterhaltung im Produktionsbereich kommen. Die dadurch erhöhte inländische Produktion hat eine positive Wirkung auf die inländische Beschäftigung.

(2) WIE WETTBEWERBSFÄHIG IST DEUTSCHLAND?

In welchem Umfang die (vor allem zukünftigen) Beschäftigungspotenziale in Deutschland realisiert werden, hängt daher entscheidend von den Standortbedingungen für die Biotechnologie in Deutschland sowie der Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen ab.

Den Ausgangspunkt zur Abschätzung der Wettbewerbsfähigkeit bilden zunächst Analysen der Entwicklungsdynamik des Biotechnologiebereichs in Deutschland.

Darauf aufbauend werden die Ergebnisse für Deutschland im internationalen Vergleich interpretiert. Die Einschätzungen zur Wettbewerbsfähigkeit basieren auf einem breit angelegten Indikatorenansatz. Analysiert werden dabei quantitative Informationen aus den Bereichen:

- Wissensbasis der Biotechnologie
- Biotechnologie in kleinen und mittleren Unternehmen
- Biotechnologie in Großunternehmen

Die internationale Position des Biotechnologiebereichs in Deutschland wird insbesondere in Bezug zu anderen entwickelten Volkswirtschaften in Europa und Amerika bestimmt. Ergänzend werden die Entwicklungstrends der Biotechnologie in ausgewählten asiatischen Staaten dargestellt, die potentiell als Konkurrenzstandorte in Frage kommen. Die Grundlage für die empirischen Arbeiten bilden Auswertungen von Datenbanken und vorliegenden Studien. Die Ergebnisse wurden für die hier anstehenden Fragen speziell aufbereitet. So wurde die Gesamtposition Deutschlands im internationalen über eine einheitliche Skalierung der Indikatoren ermittelt. Ergänzend wurden insbesondere zur Bewertung der Ergebnisse Experteninterviews durchgeführt.

Der international vergleichende Indikatorenansatz ermöglicht es, Stärken und Schwächen des Biotechnologiebereichs in Deutschland herauszuarbeiten. Aus der Analyse können Rückschlüsse auf die Wettbewerbsfähigkeit der Biotechnologieindustrie und der Biotechnologie in Deutschland gezogen werden. Außerdem wurde der Frage nachgegangen, inwiefern die Biotechnologie die Wettbewerbsfähigkeit der Anwenderindustrien, die häufig in der Entwicklung dieses Bereichs selbst engagiert sind, steigern kann.

Untersuchungen zur Wettbewerbsfähigkeit mit solchen quantitativen Indikatorenansätzen sind allerdings bei neuen Technikfeldern, so auch bei der Biotechnologie, mit besonderen Restriktionen verbunden. Verschiedene internationale Analysen (z. B. Reiss et al. 2006) haben gezeigt, dass die aktuelle Datenverfügbarkeit sehr begrenzt ist. Man beobachtet eine umgekehrte Proportionalität zwischen Datenverfügbarkeit und Aussagekraft der Daten. So sind derzeit Informationen über die Anzahl von Biotechnologieunternehmen europaweit am Besten verfügbar, ihre Aussagekraft ist jedoch sehr begrenzt, da keine Informationen über Unternehmensgröße, Beschäftigte, Forschungsaktivitäten, thematische Orientierung eingeschlossen sind. Sehr wichtige Indikatoren für Aussagen zur Wettbewerbsfähigkeit wie beispielsweise Wertschöpfung durch Anwendung der Biotechnologie, Umsatzanteile von Biotechnologieanwendungen in Bezug zum Gesamtumsatz, Forschungsaufwendungen für die Biotechnologie in bestimmten Anwendungsfeldern,

Anzahl der Beschäftigten nach Anwendungsfeldern sind kaum in einer Qualität verfügbar, die internationale Vergleiche erlaubt.

Besonders schlecht ist die Datenlage, wenn es darum geht, nicht nur Biotechnologieunternehmen im engeren Sinne (DBFs oder Core-Biotech-Unternehmen) zu erfassen, sondern auch die Nutzung der Biotechnologie in Unternehmen, deren Hauptgeschäftszweck nicht die Biotechnologie ist. Geeignete Indikatoren sollten beispielsweise die Anteile der Biotechnologiebeschäftigten an allen Beschäftigten oder die Biotechnologieumsatzanteile am gesamten Umsatz erfassen. Die derzeit fehlenden Informationen können nur durch regelmäßige offizielle Erhebungen zur Nutzung der Biotechnologie ermittelt werden. Seit 1997 werden entsprechende Umfragen in Kanada von Statistics Canada (www.statcan.ca) durchgeführt. Um in Europa diesbezüglich weiter zu kommen, wird empfohlen, vergleichbare Erhebungen nach internationalen Standards zu etablieren.

Ein zweites Feld, in dem die Datenbasis zur Bewertung der aktuellen Nutzung der Biotechnologie unbefriedigend ist, sind Produktions- und Außenhandelsstatistiken. Biotechnologie wird von den entsprechenden Klassifikationssystemen bisher nicht adäquat erfasst. Daher können Aussagen zur Produktion und zum internationalen Handel mit Biotechnologiegütern bisher nur annäherungsweise getroffen werden.

Schließlich ist auch die Datenbasis zur Abschätzung der „Humanressourcen" mit Relevanz für Biotechnologie bislang unzureichend. Die hierzu geeigneten Bildungsstatistiken der OECD erfassen Biotechnologie nicht als eigene Gruppe, sondern beziehen sich nur auf „Life Sciences". Somit sind auch hier Aussagen über die Entwicklung der für die Aufrechterhaltung der Wissensbasis entscheidenden Hochschulabsolventen nur ansatzweise möglich.

Neben dem Datenproblem weisen strikt quantitativ ausgerichtete Wettbewerbsanalysen häufig den Nachteil auf, dass Einflüsse nicht empirisch fassbarer Wettbewerbsfaktoren unterschätzt werden. Neuere Untersuchungen (u. a. Blind et al. 2004, Jacobs et al. 2005, Beise und Rennings 2005, Jänicke et al. 1999) machen z. B. deutlich, dass regulative Rahmenbedingungen einen hohen Einfluss auf die Innovationsfähigkeit und damit auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit haben. So kann eine Regulierung beispielsweise die Legitimität neuer technischer Lösungen, die technologische Diversität sowie die Etablierung neuer Akteure und Netzwerke begünstigen (z. B. durch einen geeigneten rechtlichen Schutz des geistigen Eigentums). Die Studien zeigen auch, dass der langfristigen Verlässlichkeit und Vorhersehbarkeit rechtlicher Rahmenbedingungen sowie der frühzeitigen Etablierung rechtlicher Infrastrukturen eine hohe Bedeutung beigemessen werden kann. Aller-

dings ist die Bedeutung sektorspezifischer Regulierungsbesonderheiten für die internationale Wettbewerbsfähigkeit für einzelne Wirtschaftsbranche sehr unterschiedlich. Die Studien zeigen, dass z. B. für die Pharmaindustrie die Regulierungsdesigns von sehr hoher Bedeutung sind, die regulativen Rahmenbedingungen für den Maschinenbau oder die Elektrotechnik jedoch eher eine untergeordnete Rolle spielen. Da die Biotechnologie als Querschnittstechnologie in mehreren Branchen im Innovationsprozess eine wichtige Rolle spielt, wären wissenschaftlich belastbare Untersuchungen hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen konkreten Regulierungen und der Wettbewerbsfähigkeit sehr umfangreich und facettenreich. Angesichts der begrenzten finanziellen Mittel musste daher im Rahmen des Projektes auf derartige Untersuchungen verzichtet werden. Als Exkurs werden allerdings Einstellungen der Bevölkerung zur Biotechnologie im europäischen Vergleich dargestellt. Sie könnten indirekt nationale Unterschiede in den gesetzlichen Regelungen begründen. Zudem dürften solche Einstellungsunterschiede die Endnachfrage nach Produkten bestimmen, die mit Hilfe der Biotechnologie erzeugt werden.

(3) WELCHE FAKTOREN FÖRDERN UND HEMMEN BIOTECHNOLOGIE-INNOVATIONEN?

Entlang der gesamten Biotechnologie-Wertschöpfungskette, d. h. von der Forschung und Entwicklung bis zur Umsetzung in Industrieprozesse und internationale wettbewerbsfähige Produkte und Dienstleistungen wurden die innovationshemmenden und innovationsfördernden Faktoren am Standort Deutschland bewertet (im Sinne von Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken).

Zur Bestimmung der kritischen Erfolgsfaktoren für die Entstehung, Entwicklung, Anwendung und Marktdurchdringung der Biotechnologie in Deutschland wurde an dem Innovationssystem-Forschungsansatz angeknüpft. Dieser Forschungsansatz ist für die Analyse der Leistungsfähigkeit von Volkswirtschaften in ausgewählten Technologiefeldern gut geeignet und liefert die Grundlage, um im internationalen Vergleich Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken von Forschungs- und Produktionsstandorten adäquat herauszuarbeiten.

Die Datenbasis zur Identifizierung der kritischen Erfolgsfaktoren sowie der innovationshemmenden und innovationsfördernden Faktoren bildeten einerseits die Untersuchungsergebnisse zu den Teilen (1) und (2) sowie Ergebnisse aus Experteninterviews und Literaturauswertungen im Rahmen des Projektes und andererseits die Forschungsergebnisse aus früheren Projekten im nationalen und inter-

nationalen Kontext, die das Fraunhofer ISI oder das DIW Berlin durchgeführt haben. Im Rahmen des Projektes selbst wurden keine eigenständigen Innovationssystem-Analysen und kein internationaler Systemvergleich für die Biotechnologie durchgeführt.

Ursprünglich sollten im Rahmen des Projektes auch die Nachhaltigkeitspotenziale, die sich aus der Anwendung der Biotechnologie ergeben, analysiert werden. Im weitesten Sinne ist eine nachhaltige Entwicklung dadurch charakterisiert, dass sie den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeit zukünftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen (Grunwald und Kopfmüller 2006). Potenziale der Biotechnologie hierfür könnten sich aus der Entwicklung neuer Medikamente, Diagnostika und Therapien für bisher nicht behandelte oder heilbare Krankheiten und einer besseren Gesundheitsversorgung sowie der Ernährungssicherung, der Produktion nachwachsender Rohstoffe, der Ressourceneinsparung in der Landwirtschaft und in industriellen Prozessen, im Umweltschutz oder in der Entwicklung umweltverträglicher Produkte (UBA 1999) ergeben. Im Laufe der Untersuchung zeigte sich, dass diese Fragestellung im finanziellen Rahmen dieses Projektes nicht in adäquatem Umfang wissenschaftlich abgehandelt werden konnte. Deshalb wurde auf die Untersuchung der Frage der Nachhaltigkeit verzichtet.

Durch die Analyse der Beschäftigungspotenziale, der Wettbewerbsfähigkeit sowie der innovationshemmenden und innovationsfördernden Faktoren kann die Studie die Bandbreite möglicher Potenziale sowie Handlungsfelder zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der Biotechnologie in Deutschland aufzeigen. Im Projekt selbst werden zwar keine Handlungsmaßnahmen abgeleitet, allerdings kann die durch das Projekt erzielte Transparenz hinsichtlich der Handlungsfelder zukünftig als Plattform für weitere Diskussionen aller beteiligten Akteure und der Ableitung konkreter Maßnahmen zur Stärkung des Biotechnologie-Standortes Deutschland dienen.

Teil 1: Aktuelle und zukünftige Beschäftigungs-potenziale der Biotechnologie in Deutschland

Autoren:
Michael Nusser und Sven Wydra
(Fraunhofer ISI)

1 UNTERSUCHUNGSDESIGN UND METHODIK

1.1 DREI-SÄULEN-KONZEPT ZUR MESSUNG DER BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE DER BIOTECHNOLOGIE

Die Biotechnologie weist die typischen Charakteristika einer Schlüsseltechnologie auf: Sie spielt als Spitzen- und Querschnittstechnologie in mehreren Branchen eine wichtige Rolle im Innovations- und Wachstumsprozess. Sie verfügt daher über ein enormes Potenzial für die Entwicklung neuer oder verbesserter Produkte, Prozesse und Dienstleistungen. Neue Märkte entstehen und die Wettbewerbsfähigkeit traditioneller Branchen kann mit Hilfe der Biotechnologie gestärkt werden. Dadurch werden neue Arbeitsplätze geschaffen und bestehende gesichert.

Für die Analyse der Beschäftigungseffekte solcher Schlüsseltechnologien müssen deshalb mehrere Arten von Beschäftigungseffekten betrachtet werden. Eine alleinige Betrachtung der unmittelbar im Bereich der Biotechnologie forschenden und produzierenden Unternehmen reicht nicht aus, es müssen zusätzlich die Effekte in Anwender- und Vorleistungsbranchen berücksichtigt werden (z. B. Menrad et al. 2003, Janssen-Timmen und Moos 2004). Zur Analyse dieser Beschäftigungseffekte der Biotechnologie wurde daher ein auf drei Säulen basierendes Untersuchungskonzept genutzt (Abbildung 1.1), das die unterschiedlichen Arten von Beschäftigungswirkungen berücksichtigt:

Direkte Beschäftigungswirkungen in den „Biotechnologie-Teilsegmenten“

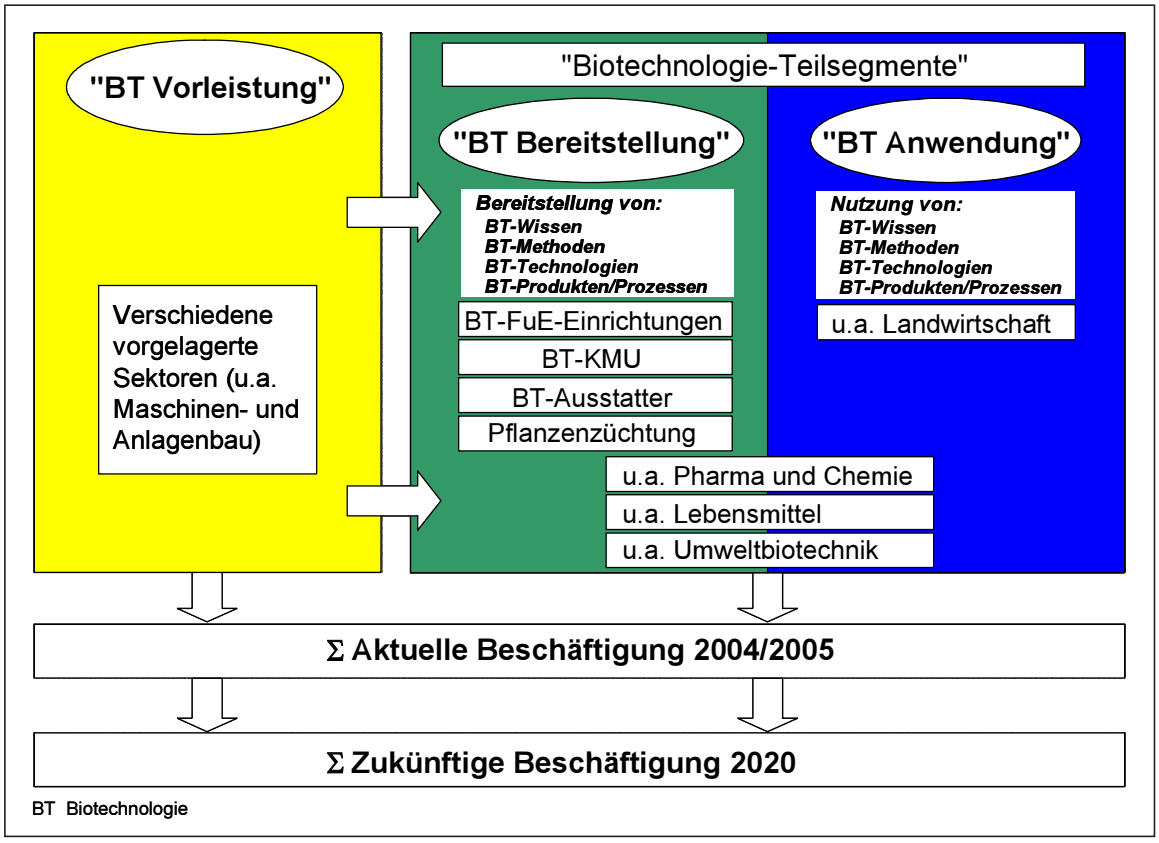
- Direkte Beschäftigungseffekte in Unternehmen oder Forschungseinrichtungen, die sich unmittelbar mit der Erforschung und Entwicklung, Produktion oder Vermarktung biotechnischer Methoden, Prozesse, Produkte oder Dienstleistungen beschäftigen („BT[1] Bereitstellung“).
- Direkte Beschäftigungseffekte in anderen Wirtschaftszweigen der Volkswirtschaft, die biotechnische Methoden, Produkte oder Prozesse anwenden und nutzen („BT-Anwendung“). Hierbei werden nur die der BT-Bereitstellung direkt nachgelagerten wichtigen Anwenderindustrien in die Untersuchungen einbezogen, d. h. konkret die Pharma- und Chemiebranche, die Lebensmittelindustrie und Landwirtschaft sowie die Umweltbiotechnik.

1 BT: Biotechnologie.

Beschäftigungswirkungen in den der „Biotechnologie-Teilsegmenten“ vorgelagerten Zulieferersektoren

- Vorleistungseffekte der „Biotechnologie-Teilsegmente“: Der gesamtwirtschaftliche Beschäftigungseffekt der Biotechnologie wird mit dem Indikator der direkt Erwerbstätigen in den „Biotechnologie-Teilsegmenten“ (d. h. die Akteure, die das Wissen zu biotechnischen Methoden, Produkte oder Prozesse bereitstellen sowie denen, die dieses biotechnologische Wissen nutzen und anwenden) nur unzureichend erfasst. Durch ihre Investitionstätigkeiten (u. a. Forschungslaboreinrichtungen, Produktionsanlagen) und Ausgaben für Vorleistungskäufe (u. a. Leistungen von privaten FuE-Dienstleistern, Ingenieuren und Unternehmensberatungen) sind die Biotechnologie-Teilsegmente an der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung beteiligt. Diese Lieferverflechtungen mit anderen Wirtschaftssektoren induzieren zusätzliche Beschäftigungseffekte in vorgelagerten Zulieferersektoren („BT-Vorleistung“).

Abbildung 1-1: „Drei-Säulen-Konzept“ zur Analyse der Beschäftigungseffekte neuer Technologien, angewendet auf die Biotechnologie



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Bei den direkten Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie werden für die in diesem Feld tätigen universitären und außeruniversitären FuE-Einrichtungen, kleinen und mittelständischen Biotechnologieunternehmen, Pflanzenzüchtungsunternehmen sowie Biotechnologie-Ausstatter die Erwerbstätigen ermittelt („BT-Bereitstellung"). Unter Biotechnologie-Ausstatter (BT-Ausstatter) werden solche Unternehmen verstanden, die wissenschaftliche (Labor)Geräte und die dafür notwendigen Reagenzien und Verbrauchsmaterialien herstellen, die in den „Biotechnologie-Teilsegmenten" Verwendung finden.

Bei den Beschäftigungswirkungen in den Anwenderbranchen werden vor allem die Branchen Pharma, Chemie, die Lebensmittelindustrie und Landwirtschaft sowie die Umweltbiotechnik untersucht.[2] Innerhalb dieser Branchen werden die Marktsegmente (d. h. Produktgruppen) mit Bezug zur Biotechnologie identifiziert und analysiert. Die meisten dieser Branchen nehmen bezüglich der Bereitstellung und Anwendung/Nutzung von Biotechnologie-Wissen eine Zwischenstellung ein: Einerseits entstehen in den unternehmenseigenen FuE-Abteilungen direkte Beschäftigungseffekte durch die Erforschung und Weiterentwicklung von biotechnischen Methoden, Prozessen oder Produkten (im Sinne einer Bereitstellung von biotechnologischem Wissen). Diese Effekte entstehen unmittelbar in den Bereichen Forschung, Entwicklung und Produktion, beispielsweise von bestimmten (Wirk)stoffen (z. B. Insulinproduktion mit gentechnisch veränderten Mikroorganismen, Synthese von Acrylamid durch Mikroorganismen) oder zum Abbau von Stoffen (z. B. Abbau von Geruchsstoffen durch Mikroorganismen in Biofiltern). Andererseits dienen biotechnische Methoden und Ansätze in diesen Branchen auch dazu, die Wirkung, Wirksamkeit und Sicherheit chemisch hergestellter Pharmazeutika oder die Toxizität von Chemikalien zu untersuchen. Diese Anwendung und Nutzung von biotechnologischen Methoden und Ansätzen führt zu weiteren Beschäftigungseffekten („BT-Anwendung"). Eine exakte Trennung dieser Beschäftigungseffekte der Biotechnologie in „BT-Bereitstellung" und „BT-Anwendung" ist auf Grund der vorliegenden Datenbasis in diesen „Anwenderbranchen" nicht möglich. Hierfür wären sehr umfangreiche und aufwändige Primärerhebungen erforderlich. Deshalb werden im Rahmen dieser Studie die Beschäftigungswirkungen in den Branchen Pharma, Chemie, Lebensmittel und Umweltbiotechnik vollständig den Beschäftigungseffekten „BT-Anwendung" zugerechnet.

2 In der Chemiebranche wird der an Bedeutung zunehmende Bereich Bioethanol berücksichtigt. In der Landwirtschaft und der Umweltbiotechnik werden Biogasanlagen mit erfasst.

Bei der Analyse der Beschäftigungseffekte „BT-Anwendung" ist zu berücksichtigen, dass die Methoden, Prozesse oder Produkte der modernen Biotechnologie[3] mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und Intensität die verschiedenen Märkte durchdringen. Zudem unterscheidet sich die Situation und voraussichtliche zukünftige Entwicklung hinsichtlich Marktvolumen und Wettbewerbsverhältnissen, Zahl der verknüpften Arbeitsplätze und Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen sowie der verfügbaren Datenbasis deutlich zwischen den verschiedenen Biotechnologie-Anwendungsfeldern. Daher werden die Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie differenziert nach den wichtigsten Anwenderbranchen Pharma/Medizin, Chemie (inkl. Bioethanol), Lebensmittelherstellung und -verarbeitung, Landwirtschaft (inkl. Anteil Energie/Strom aus Biogasanlagen), Umwelttechnik (inkl. Anteil Energie/Strom aus Biogasanlagen) ermittelt. Die Marktdurchdringung, d. h. der Biotechnologie-Anteil am Gesamtumsatz, wurde im Rahmen des Projektes auf Basis einer schriftlichen Befragung und Experteninterviews ermittelt (s. Abschnitt 2.2.4).

Die Vorleistungseffekte der „Biotechnologie-Branche" in vorgelagerten Zulieferersektoren entstehen einerseits bei der Bereitstellung biotechnologischer Methoden, Produkte oder Prozesse als auch in den Anwenderindustrien, in denen durch die Anwendung und Nutzung von Biotechnologie beispielsweise neue Investitionen getätigt werden. Diese Beschäftigungseffekte entstehen in einer Vielzahl von Wirtschaftssektoren und können über eine Input-Output-Analyse quantifiziert werden (siehe S. 18 f. für eine ausführliche Darstellung).

Beschäftigungseffekte neuer Technologien

Setzt sich eine Technologie schrittweise am Markt durch, entstehen eine Vielzahl von Beschäftigungseffekten. Im Folgenden werden die wichtigsten Effekte aufgezeigt, die bei der Analyse der ökonomischen Wirkungen neuer Technologien, so auch für die Biotechnologie (BT), berücksichtigt werden sollten (vgl. Hagemann 1985, Klauder 1986, Blattner 1996, Hagemann et al. 1998, Meyer-Krahmer 1999 sowie Walz 2002):

3 Unter der „modernen Biotechnologie" versteht man in der vorliegenden Studie die Anwendung von Wissenschaft und Technologie auf lebende Organismen sowie auf deren Bestandteile, Produkte und Modelle mit dem Ziel, lebende oder nicht-lebende Materialien für die Produktion von Wissen, Waren oder Serviceleistungen zu verändern (OECD 2005).

Niveaueffekte

- Nachfrage nach Produktinnovationen: Wenn durch neue BT-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 biotechnologischen Methoden, Prozesse und Produkte müssen erst hergestellt werden. Dadurch entstehen positive Beschäftigungseffekte bei den BT-Herstellern, den Herstellern von Investitionsgütern (BT-Produktionsanlagen) und ihren Vorlieferanten. Dem sind allerdings die vermiedenen Investitionen bei den traditionellen Prozessen gegen zu rechnen, die durch die Prozesse bzw. Produkte der Biotechnologie substituiert werden.
- Steigerung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit: Wenn auf Grund des Einsatzes von BT-Prozessen/-Produkten Preise gesenkt oder neue 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 Biotechnologie sind drei Segmente zu unterscheiden, auf die dieses Argument zutreffen kann: die auf Grund besserer Prozesse (z. B. geringerer Energie- und Ressourcenverbrauch) erhöhte preisliche Wettbewerbsfähigkeit der BT-anwendenden Industrien, die qualitative Wettbewerbsfähigkeit der Hersteller von BT-Prozessen/-Produkten sowie die qualitative Wettbewerbsfähigkeit bei Produktinnovationen, die durch BT 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 Biotechnologie bedeutet dies, dass es zu Produktivitätssteigerungen und damit Freisetzungseffekten in den Anwenderbranchen (z. B. chemische Industrie, Lebensmittelindustrie) kommen könnte.
- Real-Einkommenseffekte: Wenn BT-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 Einkommenserhöhungen 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. BT-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 Biotechnologie 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 Produktionsbereiche begünstigt, die durch geringe Importanteile gekennzeichnet sind, 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.

Die empirisch quantitative Analyse derartiger Wirkungsmechanismen gestaltet sich methodisch schwierig und kann mit keinem Modellansatz „vollständig" analysiert werden. Da die Wirkung neuer Technologien nicht isoliert erfolgt, sondern in einem Zusammenspiel mit einer Vielzahl anderer Faktoren (u. a. politische und rechtlicher Rahmenbedingungen), sind kausale Rückschlusse auf technologische Auswirkungen nur begrenzt möglich (Pianta 2005, RWI 2005). Tabelle 1.1 zeigt auf, welche Effekte mit dem Untersuchungsdesign in welcher Weise berücksichtigt werden können.

Tabelle 1-1: Berücksichtigung technologiebedingter Beschäftigungseffekte

Technologische Effekte	Art der Berücksichtigung in diesem Projekt
Nachfrage nach Produkt-innovationen	Wird indirekt in den Szenarien über potenzielles Marktwachstum abgebildet. Basis hierfür sind qualitative und quantitative Ergebnisse aus Experteninterviews und schriftlicher Befragung (z. B. zu Biotechnologie-Umsatzanteilen) 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 Biotechnologie-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 (Biotechnologie-relevante ökonomische Nachfrageimpulse, Biotechnologiespezifische 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

Für eine fundierte quantitative Abschätzung der ökonomischen Auswirkungen ist es erforderlich, die Aggregationsebene der Analyse und die betrachteten Größen in Abhängigkeit der relevanten Wirkungsmechanismen zu wählen. Der in diesem Projekt gewählte methodische Ansatz zur ökonomischen Gesamtbewertung orientiert sich deshalb an den *Wertschöpfungsketten*, die mit dem Einsatz der Biotechnologie verbunden sind. Damit werden alle relevanten Wirtschaftsaktivitäten, die an der Erforschung, (Weiter-) Entwicklung, Anwendung und Diffusion bzw. Marktdurchdringung von biotechnologischen Methoden, Prozessen, Produkten und Dienstleistungen beteiligt sind, einbezogen.

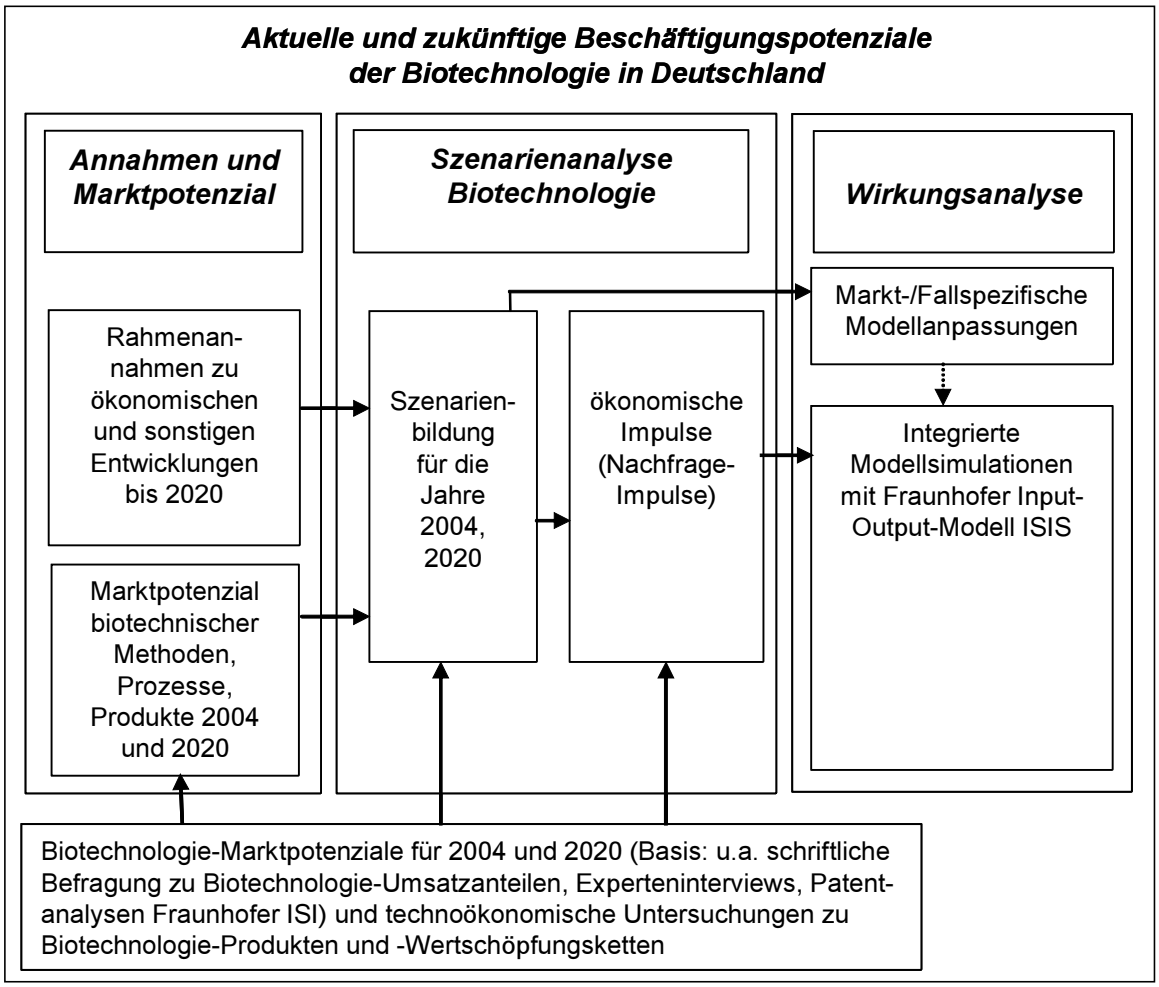
Im Vordergrund der Analyse stehen folglich nicht makroökonomische Wirkungsmechanismen (z. B. Zinseffekte), sondern durch spezifische technische Änderungen ausgelöste strukturelle Wirkungen. Damit wird nicht eine makroökonomische, sondern eine mesoökonomische, einzelne Wirtschaftssektoren unterscheidende Analyseebene gewählt. Hierbei werden die Auswirkungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette auf wichtige ökonomische Größen wie z. B. Produktion und Beschäftigung analysiert.

Zur Erfassung dieser strukturellen Effekte wird bei der vorgesehen Modellierung an eine so genannte **technologisch fundierte Mikro-Makro-Brücke** angesetzt (Abbildung 1.2), 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.

Erfassung der Wirkungsmechanismen

Zentral sind die sich mit einer zunehmenden Marktdurchdringung und Diffusion biotechnologischer Methoden, Prozesse und Produkte ergebenden Nachfrageveränderungen und deren Folgewirkungen auf Produktion und Beschäftigung. Die Wirkungsanalyse solcher Technikänderungen ist ein klassischer Anwendungsfall für die Input-Output-Analyse (vgl. Petit 1995, Meyer-Krahmer 1999, Walz 2002), die in Form einer Mikro-Makrobrücke an die Ergebnisse der Technikanalyse ankoppeln kann.

Abbildung 1-2: Schematische Darstellung Mikro-Makro-Brücke bei der Analyse der Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie



Quelle: Fraunhofer ISI 2006

Für die Berechnung der Beschäftigungseffekte wird das am Fraunhofer ISI entwickelte ISIS-Modell (Integrated Sustainability Assessment System) eingesetzt, dessen Kern aus einem Input-Output-Modell besteht. 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 (siehe Anhang Tabelle A-II.1) und sechs Endnachfragesektoren, darunter die private Konsumnachfrage und die Ausfuhr, unterteilt. Dabei werden auch 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 Biotechnologie-Teilsegmente", Produktivitätsfortschreibung) wird mittels geeigneter statistischer Quellen eine Anpassung an das Jahr 2004 und 2020 vorgenommen Durch das ISIS-Modell werden die Aus-

wirkungen von Veränderungen in der Zwischen- und Endnachfrage nach biotechnologischen Methoden, Prozessen und Produkten 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 Biotechnologie auf Basis einer schriftlichen Befragung (mit n=72) und Experteninterviews ergeben.

Produktivitätseffekte in den Anwendersektoren sowie Veränderungen in den Vorleistungsinputs werden durch fallspezifische Modellanpassungen der Biotechnologie-Teilsegmente berücksichtigt. Der Einsatz biotechnologischer Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen 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. „Biotechnologie-Sektoren" wie z. B. Umweltbiotechnik) und deren Integration in das Modell in eine fallspezifisch angepasste Analyse einbezogen werden. Dazu ist die Vorleistungsstruktur dieser neuen Biotechnologie-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 Biotechnologie hin auszurichten. Durch Ankopplung eines qualifikationsspezifischen Beschäftigungsmoduls lassen sich zudem Auswirkungen auf die Qualifikationsanforderungen (Datenbasis: Mikrozensus) für das Jahr 2004 ableiten, die aus dem Einsatz biotechnologischer Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen resultieren.

Im Ergebnis ergibt sich eine Abschätzung der ökonomischen Folgewirkungen des Einsatzes der Biotechnologie, die die beschriebenen relevanten Wirkungsmechanismen (Niveau- und Struktureffekte) auf einer technologisch fundierten Basis abbildet und damit eine realistische Abschätzung der ökonomischen Auswirkungen der Biotechnologie auf Produktion und Beschäftigung ermöglicht. Durch die Durchführung abschließender Validitätsprüfungen, Sensitivitätsanalysen und Konsistenzchecks wird die Robustheit der Ergebnisse gegenüber alternativen Annahmen und (technologischen) Entwicklungspfaden untersucht, d. h. durch Variation der Szenarienannahmen werden deren Auswirkungen auf das Gesamtergebnis überprüft.

1.2 ZUM VERSTÄNDNIS VON SZENARIEN

Die aktuellen und zukünftigen Beschäftigungspotenziale der Biotechnologie werden wie im vorigen Abschnitt beschrieben auf Basis von konsistenten Szenarien berechnet. Die dahinter liegende Idee soll im Folgenden kurz beschrieben werden.

State-of-the-Art bei den Projektionsanalysen im Technikbereich ist das aus der angewandten Systemanalyse stammende Instrumentarium der Szenarienbildung.[4] Dieser Abschnitt reflektiert kurz die methodischen Aspekte der Szenario-Technik und gibt einige Hinweise zum Verständnis von Szenarien. Da im Unterschied zu rein physikalischen Systemen in sozio-ökonomischen Systemen keine prognostische Aussage im Sinne „Was wird sein?", sondern nur eine bedingte Aussage „Wenn-dann" über künftig mögliche Entwicklungen in Form einer Folgerung auf Grund eines Annahmenbündels möglich ist, sollen an dieser Stelle kurz die Vorgehensweise und grundsätzlich zentrale Aspekte derartiger Annahmenbündel skizziert werden.

Mit der Szenarienanalyse bezeichnet man 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 Stu-

4 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.

die sind dies z. B. die Biotechnologie-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 BT-Bereitstellung, BT-Anwendung und BT-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 Biotechnologie gehören hierzu Annahmen u. a. zur allgemeinen sowie sektorspezifischen Wachstumsentwicklungen in Deutschland, aber auch zur Entwicklung des Welthandels (vgl. Abschnitt 2.2.4 und 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 2020.
- In einem zweiten Schritt erfolgt die Spezifizierung der Annahmen im Gegenstandsbereich. Hierbei müssen die Annahmen im Gegenstandsbereich wie z. B. Marktdurchdringung von biotechnologischen 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. 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 Biotechnologie-Beschäftigungseffekte noch offen bzw. in einem offenen Entwicklungsraum.

1.3 QUELLEN- UND METHODEN-MIX

Angesichts der hohen Komplexität des interdisziplinären Untersuchungsfeldes sowie der hohen Dynamik wissenschaftlicher und technologischer Entwicklungen im Bereich der Biotechnologie kommt ein umfassender Quellen- und Methoden-Mix zur Anwendung. Dabei werden sowohl qualitative Ansätze (z. B. Literaturauswertungen, Experteninterviews) als auch quantitative Ansätze[5] (z. B. Analyse verfügbarer Statistiken und technoökonomischer Studien auf den unterschiedlichen Wertschöpfungsebenen, Primärerhebungen im Rahmen des Projektes sowie Erhebungen aus früheren Projekten, Sekundärliteratur und Marktstudien) genutzt. Neben diesem ausgewogenen Quellen- und Methoden-Mix wurde bei der schriftlichen Befragung und den Experteninterviews im Rahmen des Projektes zudem auf eine ausgewogene Akteursstruktur Wert gelegt. Dadurch ergibt sich in der Summe ein „objektiveres" Bild, das die Bandbreite möglicher Entwicklungen innerhalb der Szenarien aufzeigt.

5 Auf Grund der hohen Dynamik des Untersuchungsfeldes müssen in der Regel nationale sowie internationale Datenquellen aktualisiert werden, die älter als 2-3 Jahre sind.

Tabelle 1-2: Charakterisierung Quellen- und Methoden-Mix

Methode	**adressierter Akteurstyp**	**Art des Beitrags**
Literaturauswertung	alle Akteure im Spiegel der Wissenschaft	Wissenschaftlich basierte Analyse („objektive Außensicht")
Fragebogen in den Anwenderbranchen	Gesamtrücklauf n = 72 * **Struktur Akteure:** Großunternehmen (n = 29) KMU (n = 27) Forschungseinrichtung (n = 14) Sonstige, z. B. Verbände (n = 2) **Branchenstruktur:** Chemie (n = 14) Pharma (n = 35) Lebensmittel (n = 10 bzw. 14**) Landwirtschaft (n = 13 bzw. 18**)	Festlegung Biotechnologie-Umsatzanteile 2004 und 2020 als Indikator für die Marktdurchdringung sowie qualitative Aussagen zu wirtschaftlichen Potenzialen der Biotechnologie und Beschäftigungseffekten („subjektive Innensicht", obgleich die Akteure darum gebeten wurden, alle Fragen aus Branchen- und nicht aus (eigener) Unternehmenssicht zu beantworten)
Experteninterviews	Anzahl Interviews gesamt n = 23	analog zu Fragebogen („subjektive Innensicht")

Quelle: Fraunhofer ISI 2006. * Vgl. Teil I-Anhang A.3.: Teilnehmende Akteure ** Einige Chemie-Akteure wurden zusätzlich zur Landwirtschaft und zum Lebensmittelbereich befragt.

Als Definition für die moderne Biotechnologie in der schriftlichen Befragung wurde die OECD-Definition verwendet: „Unter der modernen Biotechnologie versteht man die Anwendung von Wissenschaft und Technologie auf lebende Organismen sowie auf deren Bestandteile, Produkte und Modelle mit dem Ziel, lebende oder nicht-lebende Materialien für die Produktion von Wissen, Waren oder Serviceleistungen zu verändern (OECD 2005). Hierzu zählen beispielsweise bio- und gentechnische Methoden als Werkzeug in Forschung und Entwicklung (FuE), Fermentationen, Biotransformationen und Synthesen unter Einsatz von Mikroorganismen, Zellkulturen, Enzymen und gentechnisch veränderten Organismen oder auch analytische Verfahren unter Verwendung von Enzymen, DNA, Antikörpern, Biosensoren und Biochips." Für den Landwirtschaftsbereich wurde der zweite Teil wie folgt angepasst, weil bei einzelnen Fragen eine Trennung in Biotechnologie und Gentechnik erfolgte: „… Hierzu zählen beispielsweise Fermentationen, Biotransformationen, der Einsatz von Starterkulturen, Enzymen, reproduktionstechnische Verfahren oder auch analytische Verfahren unter Verwendung von Enzymen, DNA, Antikörpern, Biosensoren und Biochips. Fragen im Kontext des Einsatzes gentechnisch veränderter Organismen (GVO) werden davon getrennt erfragt."

2 AKTUELLE UND ZUKÜNFTIGE BESCHÄFTIGUNGSPOTENZIALE DER BIOTECHNOLOGIE IN DEUTSCHLAND

2.1 DIREKTE BESCHÄFTIGUNGSWIRKUNGEN BEI DER BEREITSTELLUNG BIOTECHNOLOGISCHEN WISSENS („BT-BEREITSTELLUNG")

2.1.1 Arbeitsplätze in öffentlichen Forschungseinrichtungen

Die öffentlichen Forschungseinrichtungen nehmen im Bereich der Biotechnologie eine besonders bedeutende Rolle ein. Insbesondere die Grundlagenforschung hat in diesem in vielen Bereichen noch jungen Technologiefeld eine entscheidende Bedeutung. Deutschland hat in diesem Bereich ein sehr differenziertes System an öffentlichen FuE-Organisationen (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, die im Folgenden getrennt voneinander analysiert werden.

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). Mit Hilfe dieser Erhebung konnte 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 werden. 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 2.1). 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.

Tabelle 2-1: Personal an Hochschulinstituten mit biotechnologischer Forschung (Basis: StaBu-Koeefizient 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**
1995	5,4	5,5	1,0	1,6	**13,6**
1996	5,4	5,5	1,0	1,6	**13,4**
1997	5,4	5,5	1,0	1,5	**13,4**
1998	5,3	5,5	1,0	1,5	**13,2**
1999	5,3	5,6	1,0	1,5	**13,4**
2000	5,2	5,5	1,0	1,5	**13,1**
2001	5,2	5,6	1,0	1,5	**13,2**
2002	5,4	5,6	1,0	1,4	**13,4**
2003	5,3	5,6	0,9	1,4	**13,3**
2004	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.
2004	Anpassung StaBu-Koeefizient: Zunahme Anteil Biotechnologie-Publikationen am Gesamtpublikationsaufkommen (von 3,2 auf 7 %)				**25-29**

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)

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. Für die Modellberechnungen in Abschnitt 2.5.1 wurde daher für die Szenarien eine Bandbreite von 25.000 bis 29.000 Beschäftigte angenommen. Die Annahme hinsichtlich der Anpassung des StaBu-Koeffizienten wird durch weitere Indikatoren zur öffentlichen Forschung untermauert. Das BMBF hat seine finanzielle Ausgaben zur Projektförderung[6] in der Biotechnologie zwischen 1996 und 2004 um 85 % erhöht, also nahezu verdoppelt (BMBF 2005).

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 wurden durch Angaben in den jeweiligen Jahresberichten und Internet-Recherchen ermittelt.

In außeruniversitären Forschungseinrichtungen sind im Jahr 2004 knapp unter 26.000 Beschäftigte mit Fragen der Biotechnologie befasst (Tabelle 2.2). 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

6 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.

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 8.500 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. Für die Modellberechnungen in Abschnitt 2.5.1 wurde für die Szenarien eine Bandbreite von 25.500 bis 26.000 Beschäftigte angenommen.

Tabelle 2-2: 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): z. B. Institut für Pflanzenbiochemie	16	3,3
Hermann von Helmholtz Gemeinschaft deutscher Forschungszentren (HGF): Forschungszentrum Juelich	6	8,7
Max-Planck-Gesellschaft (MPG): z. B. Institut für Biochemie	29	7,3
Fraunhofer-Gesellschaft für angewandte Forschung (FhG): z. B. Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB)	6	0,7
Insgesamt	-	25,7
Szenarienwert für Modellberechnungen	-	**25,5-26,0**
[1)] Wissenschaftler, technisches und sonstiges Personal		

Quelle: Erhebungen und Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

2.1.2 Arbeitsplätze in der privaten Wirtschaft

2.1.2.1 Arbeitsplätze in Biotech-KMU

Die kleinen und mittelständischen Biotechnologieunternehmen (Biotech-KMU) stehen häufig im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses, da sie als Motor für Innovation und Fortschritt angesehen werden (Statisches Bundesamt 2005). Jedoch gibt es bisher keine einheitliche Datengrundlage über die Anzahl dieser Unternehmen

und ihrer Beschäftigten. Es existieren mehrere Erhebungen, bei denen sich keine bezüglich ihres Erhebungskonzept im breiten Konsens durchsetzen konnte. Wichtige Erhebungen sind 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. In Abstimmung mit dem „Lenkungsgremium" des Projektes wurden für die Modellberechnung der Beschäftigungseffekte 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 1.3). Auch in der aktuellsten OECD-Studie zur Biotechnologiestatistik aus dem Jahr 2006 werden die Daten der Erhebung des Statistischen Bundesamts verwendet (OECD 2006). Für die Analyse der zeitlichen Entwicklung und größenmäßigen Einordnung ist aber ein Vergleich mit den anderen Studien sinnvoll.

Im Jahr 2004 sind gemäß den Zahlen des Statistischen Bundesamtes rund 12.000 Personen in den kleinen und mittelständischen Biotechnologieunternehmen beschäftigt (Tabelle 2.3). Dieser Wert liegt oberhalb der Angaben von Ernst & Young, aber unterhalb der Biocom-Daten. Zwischen 1995 und 2001 ist die Anzahl der Beschäftigten gemäß Ernst & Young deutlich angestiegen, für 2001 bis 2004 weisen aber alle Erhebungen einen deutlichen Beschäftigungsrückgang auf, bei Ernst & Young und Biocom liegt dieser bei rund 30 %.[7] Für die Modellberechnungen in Abschnitt 2.5.1 wurde für die Szenarien der Beschäftigungswert 12.000 angenommen.

7 Die Beschäftigung in den Biotech-KMU wird wesentlich durch das Gründungsgeschehen sowie das Unternehmenswachstum bestimmt. Für beide Wachstumsdeterminanten zeigt sich zwischen 2001 und 2004 eine rückläufige Entwicklung. Ebenso spielt die Schließungsrate als Einflussdeterminante auf die Beschäftigung eine Rolle.

Tabelle 2-3: Biotech-KMU Deutschland: Beschäftigtenzahlen 1995-2004 (in Tsd.)

Jahr	Ernst Young	Statistisches Bundesamt	Biocom AG
1995	2,3	–	–
1996	3,1	–	–
1997	5,2	–	–
1998	6,7	–	–
1999	8,4	–	–
2000	10,7	–	16,5
2001	14,4	–	19,8
2002	13,4	13,3	18,9
2003	11,5	–	16,1
2004	10,1	**12,0**	14,4
2005	–	–	13,0

Quellen: Ernst & Young 2005, BIOCOM 2005 und 2006, Statistisches Bundesamt 2005

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 % der Biotech-KMU tätig sind, beschäftigen sich 35 % mit „unspezifischen" Forschungsmethoden, rund 19 % mit Tiergesundheit, rund 13 % mit der industriellen, weißen Biotechnologie und etwa 10 % mit der Landwirtschaft der Biotechnologieunternehmen (BIOCOM 2006).[8]

2.1.2.2 Arbeitsplätze bei Biotechnologie-Ausstattern

Zusätzlich zu den kleinen und mittelständischen Kernbiotechnologieunternehmen sind auch Biotechnologie-Ausstatter direkt von der Entwicklung der Biotechnologie abhängig. Sie 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 beschäftigen. Dies sind Geräte für die Trennung von biologischen Substanzen (z. B. Filtriergeräte, Zentrifugen), Bioreaktoren, Geräte und Apparate für die DNA-Technologie, insbeson-

8 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 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.

dere für die DNA-Synthese und -Analyse, Geräte für Proteintechnologie (Proteinsynthese, -analyse, -charakterisierung), Mikrotechniken für biotechnologische Labors, Laborautomatisierung (z. B. Laborroboter oder automatisierte Workstations), Geräte für die Zellkulturtechnik, Geräte für die molekularbiologische Forschung. 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.

Trotz ihrer zentralen Rolle für die biotechnologische Forschung und deren kommerziellen Umsetzung gibt es nur sehr wenige Analysen für diesen Bereich der Biotechnologie (z. B. Reiß und Wörner 2002). Das Statistische Bundesamt hat bei seiner Abgrenzung der Biotechnologie-Ausstatter 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. Für die Modellberechnungen wird der Wert der aktuellen Sondererhebung 2005 (Statistischen Bundesamt 2005) verwendet. Demnach sind im Jahr **2004 rund 23.700 Beschäftigten** bei den Biotechnologie-Ausstattern beschäftigt.

2.1.2.3 Arbeitsplätze bei Pflanzenzüchtungsunternehmen

Sowohl bei Pflanzenzüchtungsunternehmen, bei denen bio- und gentechnische Methoden bei der Züchtung neuer Sorten eingesetzt werden, als auch bei den mit Freisetzungsversuchen gentechnisch veränderter Pflanzen befassten Landwirten, treten direkte Beschäftigungseffekte durch die Biotechnologie auf.

Forschende Pflanzenzüchtungsunternehmen

Bio- und gentechnische Verfahren sind wichtige Werkzeuge für die Züchtung neuer Pflanzensorten. Bei den biotechnologischen Methoden ist vor allem der Einsatz von markergestützten Pflanzenzüchtungstechniken von Bedeutung. Mit gentechnischen Methoden können praktisch alle weltweit genutzten wichtigen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen (insbesondere auch die bedeutendsten Nahrungspflanzen wie Getreide, Reis, Mais oder Sojabohnen) verändert werden. Solche Pflanzen werden weltweit in großem Umfang angebaut, in Deutschland sind entsprechende Anbauflächen derzeit äußerst begrenzt (James 2005).

Es sind keine amtlichen Statistiken hinsichtlich der Anzahl von Beschäftigten, die in Pflanzenzüchtungsunternehmen in Deutschland mit bio- und gentechnischen Methoden befasst sind, verfügbar. Deshalb werden Angaben des Bundesverbandes Deutscher Pflanzenzüchter e. V. (BDP, Bonn) sowie Ergebnisse verschiedener Befragungen zur Nutzung bio- und gentechnischer Methoden zur Berechnung genutzt. Demnach beschäftigten die direkt mit der Züchtung neuer Pflanzensorten befassten Unternehmen in 2003 knapp 2.400 Personen (BDP 2006). Zwar werden in den Zuchtprogrammen nicht zwingend bio- und gentechnische Methoden eingesetzt, deren Verbreitung ist aber sehr hoch.

Während die Beschäftigungszahl der mit neuen Pflanzensorten befassten Unternehmen rückgängig ist (BDP 2006, BDP 2002), scheint die Verbreitung von gen- und biotechnologischen Methoden zugenommen zu haben. Einer Befragung von Pflanzenzüchtungsunternehmen in der EU in 1999 zufolge haben Unternehmen, bei denen gentechnische Methoden und Verfahren eingesetzt werden, einen Beschäftigtenanteil von 68 %. Unternehmen, die keine Gentechnik, aber markergestützte Pflanzenzüchtungstechniken verwendeten, beschäftigten weitere 18 % der Arbeitnehmer (Arundel 2001). Insgesamt beschäftigen sich damit 86 % der Beschäftigten in Pflanzenzüchtungsunternehmen mit Methoden der modernen Biotechnologie und Gentechnik. Eine Befragung von Unternehmen in Deutschland, die in der Pflanzenzüchtung und bei der Produktion von Agrochemikalien tätig waren, ergab ähnlich hohe Werte (Wörner et al. 2000, Menrad 2001). Expertenmeinungen zufolge ist inzwischen bereits eine vollständige Diffusion des Einsatzes von bio- und gentechnische Methoden in Züchtprogrammen denkbar. Insbesondere der Einsatz von markergestützten Pflanzenzüchtungstechniken ist für die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen unabdingbar.

Zur Berechnung der aktuellen Beschäftigungswirkungen wurde eine Bandbreite ermittelt. Die untere Grenze bildet die von Arundel 2001 genannten Beschäftigungsanteile (86 %) multipliziert mit der Beschäftigungszahl der mit der Züchtung neuer Pflanzensorten befassten Unternehmen. Für die obere Grenze wird eine vollständige Diffusion (100 %) unterstellt. Damit ergeben sich direkte Beschäftigungseffekte bei den Pflanzenzüchtungsunternehmen in einer Höhe von **2.000 – 2.400 Beschäftigten.**

Arbeitsplätze bei Landwirten mit Freisetzungsversuchen

Bevor die Vermarktung von mit gentechnischen Verfahren entwickelten Pflanzensorten möglich ist, sind umfangreiche Freisetzungsversuche mit diesen Sorten notwendig, um die Ertragsfähigkeit, Sicherheit und ihr Verhalten unter natürlichen

Anbaubedingungen zu untersuchen. Diese Freisetzungsversuche werden sowohl von Pflanzenzüchtungsunternehmen als auch von in diesem Feld tätigen Forschungseinrichtungen durchgeführt. Häufig werden auch Landwirte mit der praktischen Durchführung zumindest eines Teils der Versuche betraut. Neben den Mitarbeitern von Pflanzenzüchtungsunternehmen oder Forschungseinrichtungen sind bei den Freisetzungsversuchen daher auch zusätzliche Beschäftigte aus der Landwirtschaft involviert.

In einem Antrag auf Freisetzung sind häufig mehrere Freisetzungsorte enthalten. Deshalb werden Informationen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) genutzt, bei denen für die einzelnen EU-Mitgliedsstaaten die Freisetzungen von gentechnisch veränderten Organismen nach beantragten Orten und Jahren veröffentlicht werden (BBA 2006). Dabei werden die realisierten Freisetzungsversuche tendenziell überschätzt, da Freisetzungsanträge einen Zeitraum von bis zu zehn Jahren umfassen können (TAB 2005). Es wird unterstellt, dass in jedem Freisetzungsort ein Landwirt mit diesen Versuchen befasst ist. Da in 2003 im Durchschnitt 1,2 Beschäftigte pro landwirtschaftlichen Betrieb tätig waren (BMELV 2005), bedeutet ein Landwirt je Freisetzungsort eher eine Unterschätzung.

Bis Mitte der 1990er-Jahre waren Anzahl der Freisetzungsanträge und Freisetzungsorte sehr gering (Tabelle 2.4). Dann erfolgte ein deutlicher Anstieg bis zur Jahrtausendwende. Seit Anfang des Jahrtausends zeigt sich ein starker Rückgang. Die zeitversetzte Entwicklung zwischen Freisetzungsanträgen und Freisetzungsorten ist durch die mehrere Jahre umfassende Genehmigungsdauer zu erklären. Da für jeden Freisetzungsort ein Landwirt angenommen wird, werden in den Modellrechnungen knapp unter **300 direkte Arbeitskräfte** für die mit Gentechnik befassten Landwirte angesetzt.

Tabelle 2-4: Entwicklung Zahl an Freisetzungsanträgen mit gentechnisch veränderten Pflanzen sowie beantragten Freisetzungsorten in Deutschland

Jahr	Zahl der Freisetzungsanträge	Zahl der beantragten Freisetzungsorte
1995	12	38
1996	17	96
1997	20	162
1998	18	255
1999	23	427
2000	7	470
2001	8	484
2002	7	448
2003	9	304
2004	10	**282**

Quelle: BBA 2006, ICHP 2006

Insgesamt belaufen sich somit die direkten Arbeitsplätze bei der Pflanzenzüchtung (Pflanzenzüchtungsunternehmen und Landwirte) für die **Modellberechnungen auf 2.300 bis 2.700 Arbeitsplätze.**

2.1.2.4 Methodik Beschäftigung 2020 BT-Bereitstellung

Die Beschäftigung in den Szenarien für 2020 wurde wie folgt berechnet: Für die Pflanzenzüchter und Universitäten/ FuE-Einrichtungen wurde in Anlehnung an eine Prognos-Studie (vgl. ausführlich Anhang A.2) sowohl für die Untergrenze 2004 und Obergrenze 2004 ein jährliches Beschäftigungswachstum von 0,7 % bis 2020 unterstellt. Bei den Biotech-KMU und Biotechnologie-Ausstatter erfolgte ein analoges Vorgehen für die Untergrenze (0,7 % p. a.). Die Werte für die Obergrenze 2020 ergeben sich aus dem unterstellten Marktwachstum bzw. Wachstums des Produktionsvolumens in den Anwendersektoren (vgl. ausführlich Abschnitt 2.2.4). Im Ergebnis heißt das: Über alle Anwenderbranchen hinweg kommt es etwa zu einer Verdoppelung des Produktionsvolumens. Bei den Biotech-KMU und Biotechnologie-Ausstatter wurde daher ebenfalls eine Verdoppelung des Umsatzes unterstellt.

2.2 DIREKTE BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE IN DEN ANWENDERINDUSTRIEN („BT-ANWENDUNG")

2.2.1 Einleitende Bemerkungen zum Forschungsdesign

Bereits existierende Untersuchungen (u. a. Statistisches Bundesamt 2002, 2005; Ernst&Young 2000-2006, Mietzsch 2002-2005, BMBF 2000, Becher und Schuppenhauer 1996, Hetmaier et al. 1995) zu den quantitativen Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie 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-Biotechnologieunternehmen (Core-Biotechs) und/oder auf die Biotechnologie-Ausstatter (u. a. jährliche Ernst&Young-Berichte, Sondererhebung des Statistischen Bundesamtes 2005). Wenn überhaupt Beschäftigungseffekte in den Anwenderindustrien beschrieben werden, dann beispielsweise „nur" die Beschäftigungseffekte beim FuE-

Personal (BIOCOM 2006). Auch die zukünftige Entwicklung des Biotechnologie-relevanten qualifikationsspezifischen Arbeitskräfteangebots oder die Arbeitsnachfrage der Wirtschaft nach qualifizierten Biotechnologie-Arbeitskräften wird nicht bzw. nur unzureichend berücksichtigt.

Die „Grenzen bzw. Unzulänglichkeiten" bereits existierender Studien zu Beschäftigungseffekten der Biotechnologie in den Anwenderindustrien lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- 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 2.2 (insb. qualitativ) sowie in Abschnitt 2.5 (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 2.3 ausführlich untersucht.
- Keine quantitativen zukunftsbezogenen Extrapolationen von Beschäftigungseffekten, d. h. keine konsistenten Beschäftigungsszenarien. Die zukunftsbezogenen Szenarien werden ausführlich in diesem Abschnitt 2.2 (insb. qualitativ) sowie in Abschnitt 2.5 (quantitativ) untersucht.
- Unterschiedliche Bedingungen der zukünftigen Entwicklung/Adoption bzw. Marktdurchdringung biotechnologischer Methoden, Verfahren/Prozesse und Produkte werden oftmals nicht ausreichend beschrieben. Dies erfolgt in dieser Studie in Abschnitt 2.2.6.
- Keine bzw. unzureichende Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklung des biotechnologierelevanten Angebots an qualifizierten Arbeitskräften und der qualifikationsspezifischen Arbeitsnachfrage nach Biotechnologie-Arbeitskräften. Diese Aspekte werden in dieser Studie in Abschnitt 2.5.2 analysiert.

Die Integration dieser Elemente in ein konsistentes Gesamtforschungsdesign ist daher wünschenswert und wurde im Rahmen dieses Projektes geleistet. Einige der oben beschriebenen Aspekte waren bereits in einer früheren Studie des Fraunhofer ISI berücksichtigt, wo insbesondere Beschäftigungseffekte für das Jahr 2000 untersucht wurden (Menrad et al. 2003). Wie diese Studie zeigt, entstehen die größten Beschäftigungseffekte der Biotechnologie in den Anwenderbranchen. Daher werden diese Anwenderbranchen sowie das methodische Vorgehen zur Bestimmung der Beschäftigungseffekte in diesen Branchen in den folgenden Teilabschnitten sehr ausführlich beschrieben, da das methodische Vorgehen einerseits bestehen-

de „Forschungslücken“ schließen kann und dadurch einen erheblichen Mehrwert gegenüber bisherigen Studien schafft. Anderseits ist die Qualität des methodischen Vorgehens entscheidend für die Belastbarkeit der in Abschnitt 2.5 ausgewiesenen quantitativen Beschäftigungseffekte, da in diesen Anwenderindustrien die größten Beschäftigungseffekte der Biotechnologie zu erwarten sind.

Zu den Beschäftigungswirkungen in den Anwenderindustrien der Biotechnologie zählen Arbeitsplätze, die in einem direkten engen Zusammenhang mit der Nutzung und Anwendung biotechnischer Methoden, Prozesse und Produkte stehen. Schwierigkeiten bei der Quantifizierung dieser Wirkungen bereitet die Problematik der Abgrenzung, welche Arbeitsplätze in einen konkreten Zusammenhang mit Biotechnologie gebracht werden können.[9] Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob diese Arbeitsplätze durch den Einsatz von Biotechnologie neu geschaffen werden (z. B. bei einer Marktausweitung durch die Herstellung völlig neuer Produkte) oder ob durch die Anwendung dieser Technik „traditionelle“ Arbeitsplätze ersetzt oder gesichert werden, und ob dabei die Anforderungen an die Inhalte und das erforderliche Qualifikationsprofil bestehender Arbeitsplätze grundlegend verändert werden. Bei der Betrachtung der Ersetzung von „traditionellen“ Arbeitsplätzen ist zu beachten, dass der Einsatz neuer spitzentechnologischer Verfahren in vielen Fällen eine Vorraussetzung für den Erhalt von inländischen Arbeitsplätzen ist.

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 Zuliefersektoren werden im nachfolgenden Abschnitt 2.3 sowie in Abschnitt 2.5 ausführlich untersucht.

Der Charakter der Schlüsseltechnologie führt dazu, dass die Biotechnologie 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 BT-Bereitstellung direkt nachgelagerten Sektoren“) in folgenden Bereichen liegen: Pharma, Chemie

9 Dieses Problem bei Beschäftigungswirkungsanalysen gilt nicht speziell für die Biotechnologie, sondern allgemein für alle neuen Technologien.

(inkl. Bioethanol), Lebensmittelproduktion und -verarbeitung, Landwirtschaft (inkl. Anteil Energie/Strom aus Biogasanlagen)[10] sowie Umweltbiotechnik (inkl. Anteil Energie/Strom aus Biogasanlagen).

Die wiederum dieser „ersten Ebene der direkten Anwendersektoren" (Pharma, Chemie, Lebensmittel, , Landwirtschaft, Umweltbiotechnik) nachgelagerten Sektoren der „zweiten, dritten etc. Ebene" (z. B. Leder-, Textil- Papier- und Zellstoffindustrie, die meist Chemievorleistungsgüter nutzen, sowie neue Dienstleistungsfelder, die durch die Möglichkeit einer gezielten Ernährung durch den Einsatz der Biotechnologie entstehen, oder Gesundheitsdienstleistungen auf Basis biotechnologie-basierter Arzneimittel) werden nicht berücksichtigt, da diese vor allem statistisch nicht bzw. nur sehr „unsauber" erfasst 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) Dienstleistungssektor anfallen (u. a. Legler et al. 2005). Hier stellt sich allerdings auch die Frage hinsichtlich der direkten Verknüpfung zur Biotechnologie, denn z. B. könnte man theoretisch auch die Apothekerin, die das biotechnologie-basierte Arzneimittel in das Regal einräumt (d. h. eine der letzten Stufen der Wertschöpfungskette), den Biotechnologie-Beschäftigungseffekten zuordnen. In diesem Projekt findet jedoch eine „Beschränkung" auf die erste nachgelagerte Ebene der BT-Bereitstellung statt, d. h. die direkt nachgelagerten Anwenderbranchen werden berücksichtigt, was „wissenschaftlich State-of-the-Art" ist.

2.2.2 Anwendungsfelder in verschiedenen Anwenderbranchen

Im Folgenden werden Anwendungsfelder der Biotechnologie bzw. Biotechnologie-basierte Produkte bzw. Produktgruppen in den verschiedenen Anwenderbranchen exemplarisch skizziert (u. a. Gaisser et al. 2002, Hüsing et al. 1998, Menrad et al. 2003; Reiss et al. 2006), ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

10 Berücksichtigt werden Biotechnologie und Gentechnik, wobei die Akteure jeweils differenziert nach diesen Bereichen befragt wurden. 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 und Meyer 2000, James 2005).

Direkte Beschäftigungseffekte der Biotechnologie in der Pharmabranche ergeben sich, wenn pharmazeutisch wirksame Substanzen oder ihre Vorstufen biotechnisch hergestellt werden („Biopharmazeutika"). Zu diesen Biopharmazeutika zählen gentechnisch produzierte (rekombinante) Proteine, therapeutische Antikörper und Medikamente auf Nukleinsäurebasis. Wichtige Beispiele für Biopharmazeutika sind Erytropoietin, ein Medikament gegen Anämie, die Wachstumsfaktoren G-, CSF- und GM-CSF, die zur Krebstherapie und bei Knochenmarkstransplantationen eingesetzt werden, Humaninsulin gegen Diabetes, Alpha-Interferon zur Krebstherapie und Behandlung viraler Infektionen sowie der Plasminogenaktivator zur Therapie von Koronarthrombosen. Neben diesen Biopharmazeutika im engeren Sinne tragen auch Antibiotika zu den direkten Beschäftigungswirkungen bei, da in vielen Fällen deren Vorstufen biotechnisch produziert werden. Auch die Herstellung zahlreicher Diagnostika, insbesondere Immun- und DNA-Diagnostika (zur Diagnose von Infektionskrankheiten, zur Krebsfrüherkennung, zur Identifizierung von Prädispositionen für genetisch bedingte Erkrankungen sowie für Erberkrankungen), die in der Immundiagnostik eingesetzten Antigene und Antikörper sowie wesentliche Komponenten der DNA-Diagnostik (definierte Nukleinsäurefragmente) basieren auf biotechnologischen Methoden. Weiterhin wird eine Reihe von Impfstoffen (z. B. gegen Hepatitis B) biotechnisch hergestellt.

In der Chemieindustrie gibt es bislang vergleichsweise wenige Produkte und Produktgruppen, die rein biotechnisch hergestellt werden. Großtechnisch betriebene fermentative und enzymatische Prozesse sind u. a. (Patel et al. 2006)

- die Produktion von Enzymen, die in der Chemiebranche selbst als Biokatalysatoren genutzt, aber auch als Prozesshilfsstoffe an andere Sektoren (z. B. Textil-, Lebensmittel-, Papier- und Zellstoffindustrie) geliefert werden,
- die Produktion von Zucker und Zuckeralkoholen aus Stärke,
- die Produktion von Aminosäuren (z. B. Glutamat, Lysin, Threonin), die als Geschmacksverstärker in Lebensmitteln, als Futtermittelzusätze und für medizinische Infusionslösungen verwendet werden sowie
- die Produktion organischer Säuren (z. B. Citronen-, Essig- und Milchsäure),
- die Produktion von Alkoholen (z. B. Ethanol, 1-Butanol, 1,3-Propandiol).

Zunehmende Bedeutung erlangt der Einsatz von Biokatalysatoren (isolierte Enzyme, fermentative Verfahren, ruhende Zellen) in komplexen Synthesen, die mit konventionellen chemischen Verfahren schwierig durchzuführen sind. Auf Grund ihrer hohen Spezifität und Selektivität weisen Biokatalysatoren bei der Umwandlung und Synthese von Naturstoffen, bei komplexen Synthesen sowie bei der asymme-

trischen Synthese von chiralen Substanzen komparative Vorteile gegenüber chemischen Katalysatoren auf. Daher werden biokatalytische Verfahren u. a. angewendet

- bei Syntheseschritten zur Herstellung chiraler Wirkstoffe, z. B. für Agrochemikalien wie z. B. (S)-2-Chlorpropionat, Nicotinamid, R-2-(4-hydroxy-phenoxy)propionsäure),
- bei der Herstellung hochpreisiger Spezial- und Feinchemikalien sowie
- bei der Synthese von Naturstoffen: z. B. verschiedene Zuckerderivate, die in der Lebensmittelindustrie und bei Kosmetika Einsatz finden (z. B. Glucose, Fructose, L-Sorbose, Aspartam).

Da die Segmente der enantiomerenreinen chiralen Substanzen sowie der Spezial- und Feinchemikalien künftig noch an Bedeutung gewinnen werden und zudem technologische Fortschritte erzielt wurden, die die schnelle Verfügbarkeit von Biokatalysatoren für den Einsatz in der industriellen Praxis deutlich verbessern, wird die Bedeutung der Biotechnologie in der chemischen Industrie weiter wachsen. Wegen der Endlichkeit fossiler Ressourcen wird angestrebt, chemische Produktionsverfahren nachhaltiger zu gestalten und sie mittel- bis langfristig auf eine regenerative Rohstoffbasis umzustellen. Dies begünstigt biotechnische Verfahren, da sie spezifische Stärken bei der Umwandlung von Naturstoffen aufweisen. Die Herstellung von Bioethanol zur Verwendung als Kraftstoff wird zukünftig deutlich ansteigen. Auch großtechnische fermentative Verfahren, u. a. für die Biosynthese des Polymerbausteins 1,3-Propandiol (ausgehend von Zucker) und die Herstellung des Polymers Polylactid (ausgehend von Maisstärke) gewinnen an Bedeutung. Der Einfluss biotechnischer Verfahren auf die Produktion von Massenchemikalien wird bis 2020 wachsen (Patel et al. 2006). Biotechnische Verfahren können auch dort Beschäftigungswirkungen entfalten, wo sie in der Produktanalytik zum Einsatz kommen, so z. B. bei der Charakterisierung von Chemikalien in Bezug auf ihre Toxizität oder Abbaubarkeit. Außerdem sind sie für chemisch synthetisierte Agrochemikalien von Bedeutung, da für die Identifizierung von Wirkorten und die Aufklärung von Wirkungsmechanismen, ähnlich wie in der Pharmaindustrie, biotechnische Verfahren breit zum Einsatz kommen.

Wichtige Einsatzfelder biotechnischer Verfahren zum Schutz der Umwelt ergeben sich in der Umweltanalytik und -überwachung (z. B. Biosensoren zur Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfs von Abwasser, Immuntests zum Nachweis von Pestiziden oder Organochlorverbindungen, DNA-Sonden zum Nachweis von Mikroorganismen oder Viren in Umweltproben), in nachsorgenden „End-of-pipe"-Umwelttechniken (z. B. Entfernung von Schad- und Geruchsstoffen aus Wasser, Luft und Boden mittels Biofilter, Behandlung fester und flüssiger Abfälle) und

bei der Behandlung von Luft, Wasser, Abfall und Boden (z. B. Abbau von Schadstoffen in kontaminierten Böden). Da nachsorgende Umwelttechnologien zunehmend an ihre Grenzen stoßen, gewinnt das Konzept des produktionsintegrierten Umweltschutzes zur Vermeidung bzw. Verminderung von Umweltbelastungen an Bedeutung. Biotechnische Verfahren zur Stoffproduktion und -umwandlung haben ein erhebliches Potenzial, da sie unter milden Bedingungen in wässrigen Medien und mit hoher Selektivität und Spezifität ablaufen (OECD 2001; Hüsing et al. 2003).

Im Bereich der Lebensmittelproduktion und -verarbeitung wird eine breite Palette an Hilfs- und Zusatzstoffen über bio- und gentechnisch veränderte Mikroorganismen oder Zellkulturen durch Fermentation gewonnen: z. B. das bei der Käseherstellung eingesetzte Enzym Chymosin, bei der Stärkeverzuckerung verwendete Enzyme (z. B. Amylase, Glucose-Isomerase, Pullulanase) sowie im Zusatzstoffbereich Aminosäuren (z. B. Glutaminsäure, Phenylalanin, L-Lysin), Vitamine (z. B. Riboflavin, Beta-Carotin) sowie diverse organische Säuren. In der Lebensmittelüberwachung haben sich DNA-gestützte Diagnostik- und Analyseverfahren zum Nachweis mikrobieller Nahrungsmittelverderber und Krankheitserreger sowie zur Art und Herkunftsbestimmung von Pflanzen und Tierarten in Lebensmitteln etabliert. Zusätzliche Bedeutung für die Lebensmittelverarbeitung haben eingeführte landwirtschaftliche Rohwaren bei solchen Kulturarten, bei denen weltweit bereits in erheblichem Umfang transgene Pflanzen angebaut werden (z. B. Sojabohnen, Mais, Raps) (James 2005).

Diese hier skizzierte Unterschiedlichkeit bzw. Heterogenität der Anwendungsfelder wurde bei der Analyse der Beschäftigungseffekte berücksichtigt. Die wirtschaftliche Bedeutung (bspw. Schaffung neuer Arbeitsplätze und/oder die Sicherung bestehender Arbeitsplätze), aber auch die zukünftigen Potenziale (z. B. Diffusionsgeschwindigkeit) der Biotechnologie sind stark an die jeweiligen Branchenspezifika gebunden. Aus diesem Grund wurde die „Biotechnologie-Anwenderbranche" in die oben beschriebenen Teilbereiche Pharma, Chemie, Lebensmittel, Landwirtschaft, Umweltbiotechnik differenziert, so dass den Branchenspezifika Rechnung getragen werden kann. Basis für die Bewertung der aktuellen und zukünftigen Potenziale der Biotechnologie im Sinne einer Marktdurchdringung in den einzelnen Branchen waren eine schriftliche Befragung und Experteninterviews sowie technoökonomische Studien.

Wie im einleitenden Abschnitt beschrieben, wird in dieser Studie „nur" die „erste Ebene der direkten nachgelagerten Anwendersektoren" (Pharma, Chemie, Lebensmittel, Landwirtschaft, Umweltbiotechnik) berücksichtigt. Weitere nachgelagerte Sektoren der „zweiten, dritten etc. Ebene" (z. B. Leder-, Textil- Papier- und Zell-

stoffindustrie) werden nicht berücksichtigt, da diese vor allem statistisch nicht bzw. nur sehr „unsauber" erfasst werden können. Damit erfolgt möglicherweise eine gewisse Unterschätzung der Beschäftigungseffekte.

2.2.3 Wirtschaftliche Bedeutung der Biotechnologie für die direkten Anwenderbranchen

2.2.3.1 Allgemeine Entwicklungen in den Anwenderbranchen

Bevor im nachfolgenden (Teil-)Abschnitt die qualitativen Ergebnisse der schriftlichen Befragung hinsichtlich der Bedeutung der Biotechnologie für die Wettbewerbsfähigkeit der Anwenderbranchen beschrieben werden, soll im Folgenden zunächst die „allgemeine" Wettbewerbsfähigkeit dieser Anwenderbranchen und deren Unternehmen dargestellt werden. Hintergrund ist u. a. folgender: Nur wenn die Unternehmen der Anwenderbranchen wettbewerbsfähig im weiteren Sinne sind (d. h. nicht nur Technologievorteile wie z. B. die Verfügbarkeit von Biotechnologie-Know-how besitzen, sondern z. B. auch Differenzierungs-, Qualitäts- oder Kostenvorteile haben), erwirtschaften Sie entsprechende Umsätze und Gewinne, um wieder in ausreichendem Maße in zukunftsorientierte biotechnologische Forschung reinvestieren zu können.

Die Charakteristika der wichtigsten Anwenderbranchen sowie aktuelle Entwicklungstendenzen werden nachfolgend skizziert (u. a. verschiedene Statistiken des Statistischen Bundesamtes und Stifterverbands, Prognos 2002). Zusätzlich werden noch wichtige Trends im FuE-Sektor (relevant für BT-Bereitstellung) dargestellt.

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 464.000 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 betrugen 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 dieser Branche 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 Biotechnologie 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 Biotechnologie 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-Anwendungen sind mit ca. 115 Mio. € gering und liegen deutlich unter einem Prozent 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.

Umweltbiotechnik:

Die Umwelttechnik ist ein wichtiger Zweig der gesamten „Umweltschutzwirtschaft". Der Umsatz im Verarbeitenden Gewerbe und Baugewerbe für den Umweltschutz beträgt 10,5 Mrd. € im Jahr 2004. Amtliche Zahlen für die direkt damit verbundene Beschäftigung existieren nicht, anhand von durchschnittlichen Arbeitskoeffizienten bei den entsprechenden Teilbranchen lässt sich auf eine Beschäftigung von ca. 65.000 Personen schließen. Eine genaue Bestimmung der FuE-Aufwendungen für die Umwelttechnik ist ebenfalls nicht möglich. Von den

staatlichen Forschungsausgaben entfallen ca. 3,3 % auf Forschung im Umweltschutz, die Entwicklung ist dabei rückläufig (Legler et al. 2006). Im internationalen Vergleich spielt Deutschland mit einem Weltanteil von 15 % bei den FuE-Aufwendungen eine wichtige Rolle. Noch deutlicher zeigt sich dies bei anderen Indikatoren. Deutschland ist bei den Ausgaben für Umweltschutz europaweit führend (Peter 2006). Ähnliches gilt für den Außenhandel. Mit einem Anteil am Welthandel von knapp 19 % liegt Deutschland an erster Stelle.

Forschung und Entwicklung:

Aktuelle Berichte zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands (BMBF 2005) zeigen, dass Unternehmen wieder zunehmend in innovative Spitzentechnologien investieren. Dies ist erforderlich, damit sich ein hoch entwickeltes und rohstoffarmes Land wie Deutschland dauerhaft im internationalen Wettbewerb behaupten kann. 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. 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.

2.2.3.2 Art der wirtschaftlichen Potenziale der Biotechnologie

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 Biotechnologie bzw. biotechnologische Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen setzen sich im Wettbewerb am Markt nur dann durch, wenn sie im Vergleich zu existierenden bzw. etablierten Technologien besser zur

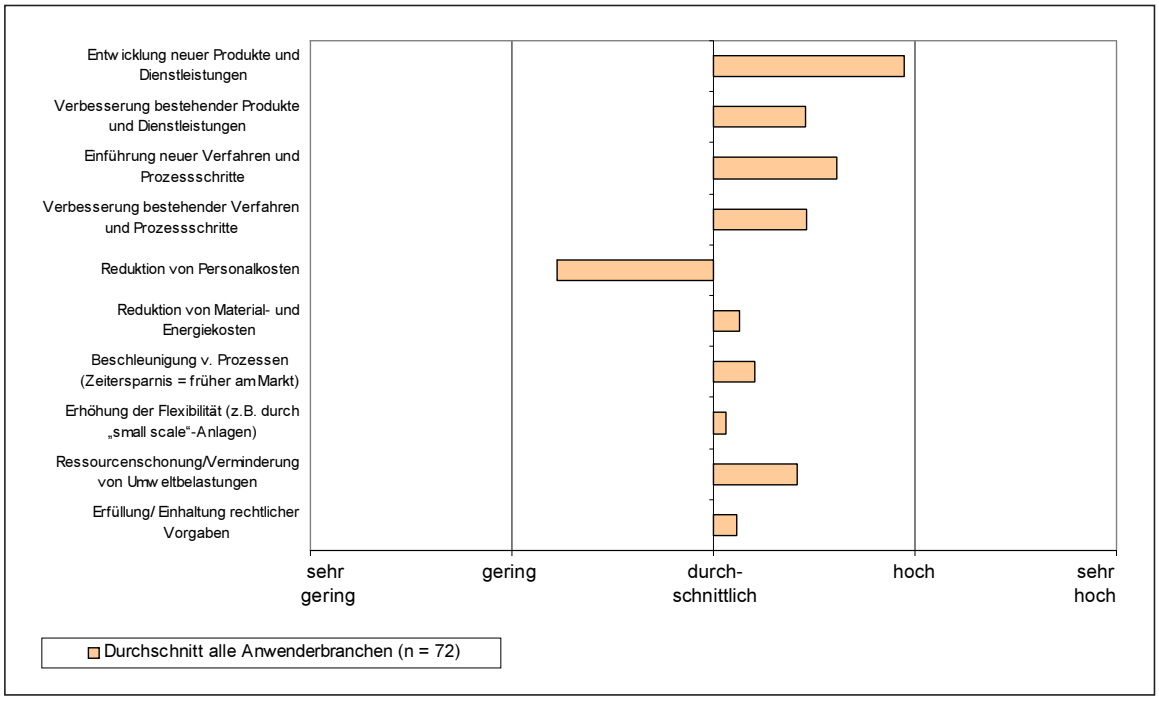
- Entwicklung neuer und Verbesserung bestehender Produkte und Dienstleistungen,
- Einführung neuer und Verbesserung bestehender Prozesse und Verfahrensabläufe,
- Senkung von Kosten (insb. Personal, Material, Energie),
- Zeitersparnisse und Prozessbeschleunigung („schneller am Markt sein"),
- Erhöhung 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 Nachfrageschätzungen).

Wie Abbildung 2.1 und Abbildung 2.2 deutlich zeigen, sehen die 72 Teilnehmer (zur Struktur vgl. Abschnitt 1.3; S. 23) der im Rahmen dieses Projektes durchgeführten schriftlichen Befragung die großen wirtschaftlichen Potenziale der Biotechnologie sowohl in 2004 als auch bis 2020 vor allem in der

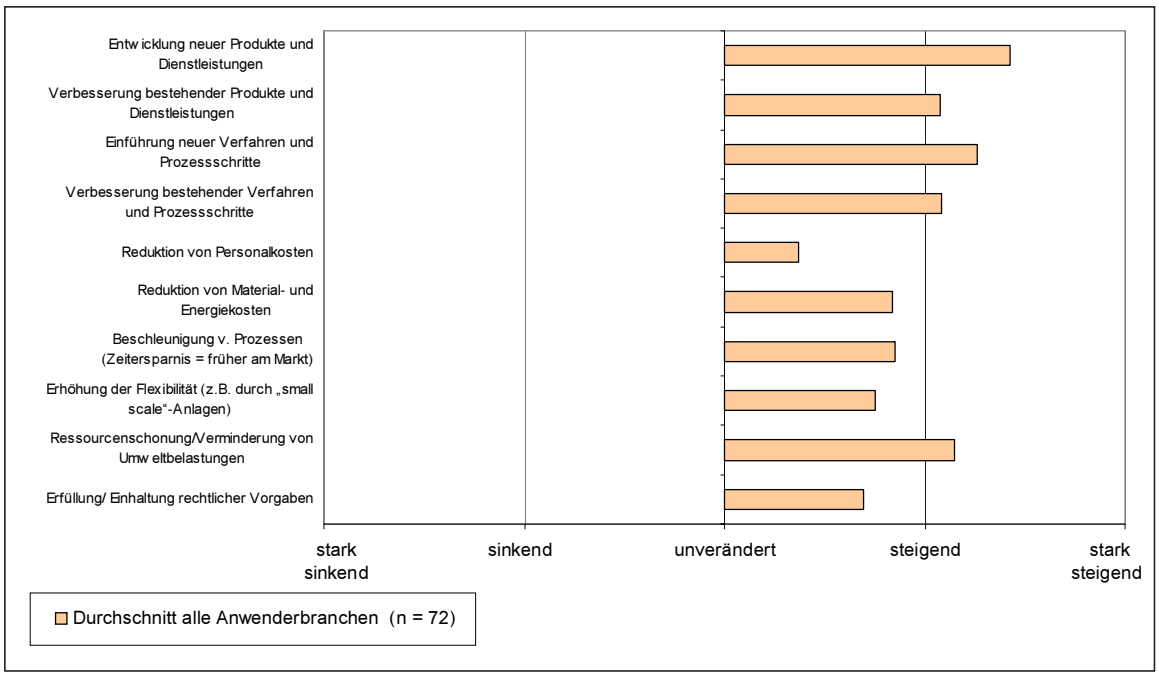
- Entwicklung neuer sowie der Verbesserung bereits existierender Produkte und Dienstleistungen,
- Einführung neuer sowie der Verbesserung bereits existierender Prozesse und Verfahrensabläufe, und der
- Ressourcenschonung und Verminderung von Umweltbelastungen.

Abbildung 2-1: Wirtschaftliche Potenziale: Bedeutung der Biotechnologie in 2004



Quelle: Fraunhofer ISI 2006 (n = 72 Teilnehmer)

Abbildung 2-2: Wirtschaftliche Potenziale: Bedeutung der Biotechnologie bis 2020



Quelle: Fraunhofer ISI 2006 (n = 72 Teilnehmer)

Eine Beschleunigung von Prozessen und damit verbundene Zeitersparnisse („schneller am Markt"), eine Reduktion der Material- und Energiekosten, die Erfüllung/Ein-

haltung rechtlicher Vorgaben sowie eine erhöhte Flexibilität werden mit der Einführung und zunehmenden Anwendung bzw. Nutzung der Biotechnologie für das Jahr 2004/05 nicht gesehen, wobei allerdings diese wirtschaftlichen Potenziale in Zukunft an Bedeutung gewinnen. In 2004, aber auch bis 2020 wird die Bedeutung der Biotechnologie für die Senkung der Personalkosten als gering eingeschätzt.

Vertiefende branchenspezifische Analysen wurden durchgeführt, um zu identifizieren, ob sich einzelne Anwenderbranchen durch ein besonderes Antwortverhalten auszeichnen, das vom Durchschnitt über alle Anwenderbranchen abweicht. Die branchenspezifischen Besonderheiten in 2004 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Bei den Akteuren der Landwirtschaft sind in 2004 alle Ausprägungen mit „durchschnittlich" bewertet, außer der Aspekt der Reduktion der Personalkosten, der ebenfalls mit gering bewertet wird.
- Von den Pharma-Akteuren wird die Bedeutung der Biotechnologie zur Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen bereits in 2004 mit hoch bis sehr hoch bewertet.
- Von den Lebensmittel-Akteuren wird die Bedeutung der Biotechnologie zur Ressourcenschonung und Verminderung von Umweltbelastungen bereits in 2004 mit hoch bis sehr hoch bewertet. Auch der Aspekt Reduktion der Material- und Energiekosten wird etwas höher bewertet als vom Durchschnitt über alle Anwenderbranchen.

Hinsichtlich der Bedeutung der Biotechnologie bis 2020 gibt es keine wesentlichen branchenspezifischen Besonderheiten, d. h. bei allen Antwortkategorien bewegen sich alle Anwenderbranchen um den Mittelwert. Die einzige kleine Auffälligkeit ist, dass bei den Lebensmittel-Akteuren die Bedeutung bezüglich der Reduktion der Personalkosten unverändert bleibt, während die anderen Branchen diesem Aspekt leicht steigende Bedeutung beimessen.

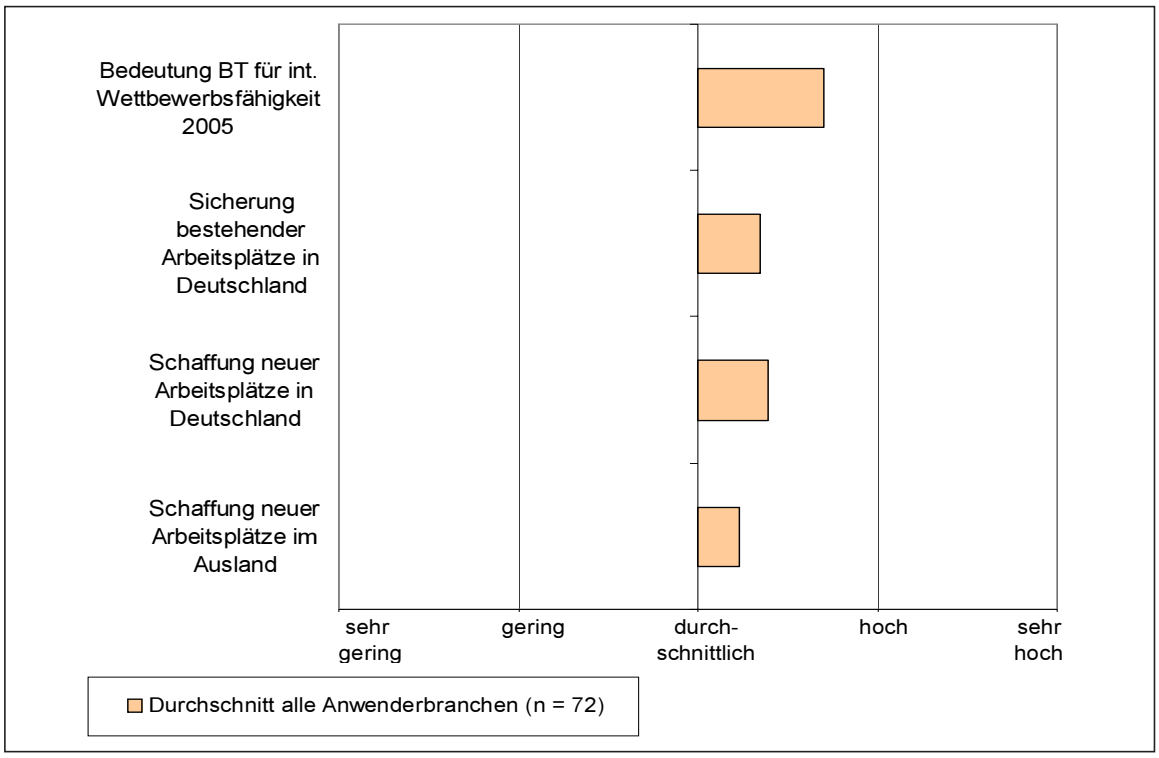
2.2.3.3 Bedeutung der Biotechnologie auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Anwenderbranchen und für die Schaffung neuer und Sicherung bestehender Arbeitsplätze

Neben den reinen Brutto-Beschäftigungswirkungen des Einsatzes der Biotechnologie in den Anwenderbranchen interessiert auch die Frage, ob durch die Anwendung bzw. Nutzung der Biotechnologie 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 Biotechnologie in Deutschland „lediglich" bestehende Arbeitsplätze

in den Anwenderindustrien gesichert werden. Zur Analyse dieser Fragestellung wurde die schriftliche Befragung genutzt, bei der die Experten aus Wissenschaft und Wirtschaft um ihre Einschätzung zu dieser Frage gebeten wurden. Zudem wurde gefragt, welchen Einfluss die Biotechnologie auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit der jeweiligen Anwenderbranche hat. Die Frage hinsichtlich der Wettbewerbsfähigkeit wurde sowohl für die „Anwenderbranche gesamt" abgefragt als auch für wichtige Produktgruppen (je nach Branche wurden zwischen 12 und 18 Produktgruppen abgefragt). Die Akteure wurden in der schriftlichen Befragung darum gebeten, die Fragen aus Branchen- und nicht aus (der eigenen) Unternehmenssicht zu bewerten. Die Ergebnisse der schriftlichen Befragung für die „Anwenderbranche gesamt" zeichnen folgendes Bild (Abbildung 2.3 und Abbildung 2.4):

- Der Einfluss der Biotechnologie auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Anwenderbranchen ist bereits in 2004 durchschnittlich bis hoch und wird bis 2020 weiter (stark) steigen.
- Die Bedeutung der Biotechnologie zur Schaffung neuer Arbeitsplätze, sowohl im In- als auch im Ausland, sowie zur Sicherung bestehender Arbeitsplätze in den Anwenderindustrien ist in 2004 leicht überdurchschnittlich, wird aber bis 2020 in all diesen Bereichen steigen.

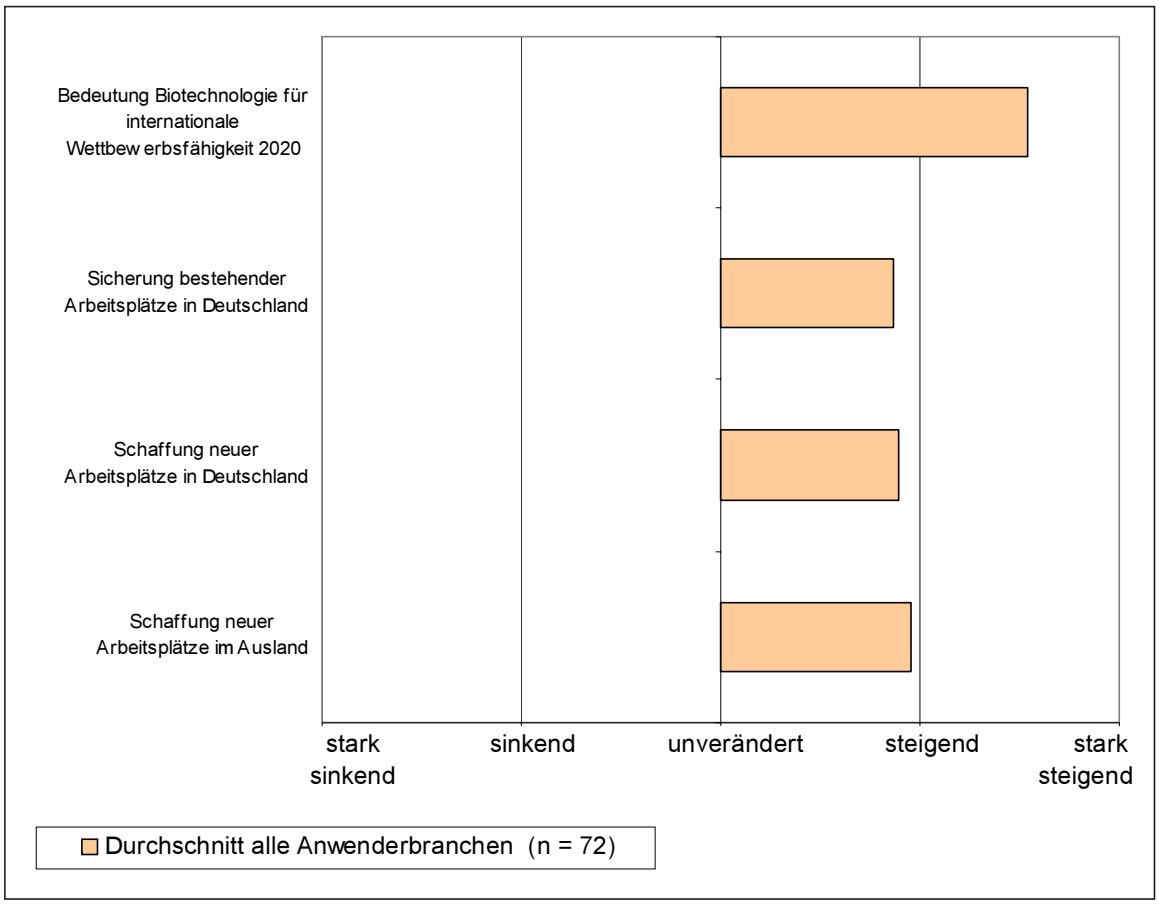
Abbildung 2-3: Bedeutung der Biotechnologie in 2004 für die internationale Wettbewerbsfähigkeit und Schaffung/Sicherung von Arbeitsplätzen



Quelle: Fraunhofer ISI 2006 (n = 72 Teilnehmer) BT = Biotechnologie

Vertiefende branchenspezifische Analysen wurden durchgeführt, um zu identifizieren, ob sich einzelne Anwenderbranchen durch ein besonderes Antwortverhalten auszeichnen, das vom Durchschnitt über alle Anwenderbranchen abweicht. Die Analysen zeigen, dass es keine wesentlichen branchenspezifischen Besonderheiten gibt. Allerdings bewerten die Akteure der Chemiebranche die Bedeutung der Biotechnologie auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit in 2004 mit „leicht unterdurchschnittlich". Ebenso liegen die Werte der Chemie-Akteure bei der Bedeutung bis 2020 ebenfalls etwas unterhalb des Durchschnittes aller Anwenderbranchen.

Abbildung 2-4: Bedeutung der Biotechnologie bis 2020 für die internationale Wettbewerbsfähigkeit und Schaffung/Sicherung von Arbeitsplätzen



Quelle: Fraunhofer ISI 2006 (n = 72 Teilnehmer) BT = Biotechnologie

Die nachfolgenden produktspezifischen Ausführungen basieren auf der schriftlichen Befragung und Experteninterviews im Rahmen dieses Projektes sowie im Rahmen früherer Projekte des Fraunhofer ISI (u. a. Menrad et al. 2003). Bei der schriftlichen Befragung handelt es sich nicht um eine „Vollerhebung" in den einzelnen Anwenderbranchen, so dass die jeweiligen branchenspezifischen Teilnehmerzah-

len im statistischen Sinne nicht repräsentativ sind. Die Aussagen sind daher eher als „schriftliche Experteninterviews" zu verstehen. Zu betonen ist jedoch, dass es sich bei den Teilnehmern um wichtige Player in den jeweiligen Biotechnologie-Branchensegmenten handelt (s. Anhang A.3). Zudem wurden die abgeleiteten Ergebnisse durch weitere Experteninterviews untermauert und mit Ergebnissen aus anderen Studien abgeglichen (u. a. Menrad et al. 2003, Gaisser et al. 2002, Hüsing et al. 2002, 1998).

Über alle Anwenderbranchen hinweg ist auffällig, dass dieselben Akteure bei der schriftlichen Befragung bei (fast) allen Produktgruppen die Bedeutung der Biotechnologie sowohl auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit (2004/05 und bis 2020) als auch zur Schaffung neuer Arbeitsplätze bis 2020 um rund einen ¼-¾ Prozentpunkt geringer einschätzen (und bei einigen Produktgruppen sogar über einen Prozentpunkt geringer) als bei ihrer Bewertung der „Anwenderbranchen gesamt". Mit anderen Worten: (Fast) Keine Produktgruppe erreicht so hohe Werte wie sie für die „Anwenderbranche gesamt" (s. Abbildung 2.3 und Abbildung 2.4) angegeben werden. Dies deutet darauf hin, dass möglicherweise ein gewisser „Biotechnologieoptimismus" existiert, der sich aber in der genaueren produktspezifischen Bewertung nicht wiederfindet.

Produktgruppenspezifisches Antwortverhalten in der Pharmaindustrie

Sowohl in der schriftlichen Befragung (n = 35 für die Pharmaindustrie) als auch in Experteninterviews zeigt sich, dass die Biotechnologie einen großen Einfluss auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit des Pharmasektors hat. Die Bedeutung der Biotechnologie wird für folgende Produktgruppen am höchsten bewertet: Insulin, Humanimpfstoffe, Peptone und Proteinderivate, Nukleinsäuren, Antikoagulanzien und andere Blutprodukte, sowie Antibiotika und Wachstumsfaktoren. Dies sind auch diejenigen Segmente, in denen Biopharmazeutika auf dem Markt sind. Hierzu zählen beispielsweise Insulin, Interleukine, Interferone, der Plasminogenaktivator, Erythropoietin oder die Wachstumsfaktoren G-CSF und GM-CSF sowie monoklonale Antikörper. Die meisten Antibiotika werden semisynthetisch hergestellt. Eher gering wird dagegen der Einfluss der Biotechnologie auf die Wettbewerbsfähigkeit bei der Vitaminproduktion sowie bei Pharmawirkstoffen auf Pflanzenbasis (z. B. Alkaloide) eingeschätzt.

Für das Teilsegment Diagnostika beruht der Einfluss der Biotechnologie auf die Wettbewerbsfähigkeit der Pharmabranche sowohl auf der Substitution traditioneller Produkte oder Verfahren als auch auf der Bereitstellung neuartiger Produkte oder

Verfahren. Die Experten erwarten jedoch, dass neue Produkte in diesem Segment künftig sehr viel wichtiger werden.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Biotechnologie in den Segmenten der Pharmaindustrie, in denen sie heute schon angewendet wird, 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.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Biotechnologie in der Pharmabranche einen großen Einfluss auf rund zwei Drittel der direkten Biotechnologie-Arbeitsplätze hat. Die fünf Produktgruppen, denen (auf ungefähr mittlerem bis hohem Bedeutungsniveau) der höchste Beitrag zur Schaffung neuer Arbeitsplätze bis 2020 beigemessen wird, sind Nukleinsäuren, Humanimpfstoffe, Insulin, Antikoagulanzien und andere Blutprodukte sowie Peptone und Proteinderivate. Also diejenigen Produktgruppen, für die auch der Einfluss der Biotechnologie auf die Wettbewerbsfähigkeit am höchsten eingestuft wird. Eine geringe Bedeutung zur Schaffung neuer Arbeitsplätze wird lediglich der Herstellung von Vitaminen beigemessen, wo starke Konkurrenz in asiatischen Ländern, v. a. China, besteht.

Produktgruppenspezifisches Antwortverhalten in der chemischen Industrie

In der schriftlichen Befragung (n = 14 für die Chemieindustrie) zeigt sich, dass die Biotechnologie derzeit noch einen geringeren, aber zukünftig einen zunehmenden Einfluss auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Chemieindustrie hat. Die Bedeutung der Biotechnologie für die Wettbewerbsfähigkeit in 2004/05 wird für folgende Produktgruppen am höchsten bewertet: Enzyme, Aminosäuren, Reagenzien für Diagnostik und Analytik sowie Wasch- und Reinigungsmittel. Gering wird dagegen in 2004/05 der Einfluss der Biotechnologie auf die Wettbewerbsfähigkeit bei der Herstellung von Farben und Lacken, Schmierstoffen sowie Monomeren für Polymere eingeschätzt. Die Zunahme der Bedeutung der Biotechnologie für die internationale Wettbewerbsfähigkeit bis 2020 wird für folgende Produktgruppen am höchsten bewertet: Reagenzien für Diagnostik und Analytik, Enzyme, 1-wertige Alkohole, Klebstoffe auf Stärke- und Proteinbasis. Eine (leicht) steigende Bedeutung wird auch für modifizierte Fette, Fettsäuren und -derivate, Schmierstoffe, Monomere für Polymere, Agrochemikalien und Aminosäuren gesehen.

Nach Einschätzung der befragten Experten hat die Biotechnologie die größte Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit der Branche bei der Herstellung chiraler

Substanzen, der Herstellung von Naturstoffen sowie bei den Enzymen. Am Beispiel der Agrochemikalien, bei denen die Bedeutung der Biotechnologie zukünftig steigend ist, sollen einige Wirkungszusammenhänge aufgezeigt werden. Das für Agrochemikalien Gesagte trifft weitgehend auch auf andere Produktgruppen zu, die sich durch komplexe Synthesen und große Bedeutung der Chiralität für die Funktionalität auszeichnen. Dies sind insbesondere die Produktgruppen der Fein- und Spezialchemikalien sowie der Naturstoffe.

Bei **Agrochemikalien** handelt es sich meist um Wirkstoffe, die über vergleichsweise komplexe chemische Synthesen produziert werden und bei denen nur eine bestimmte chirale Form biologisch wirksam ist. Bei der Herstellung von Substanzen mit solchen Charakteristika weisen Biokatalysatoren im Vergleich zu chemischen Katalysatoren spezifische Stärken auf. Dementsprechend kommen sie bei der Herstellung entsprechender Agrochemikalien zunehmend zum Einsatz. Dennoch werden bestehende Herstellverfahren für am Markt etablierte Agrochemikalien in der Regel nicht auf biotechnische Verfahren umgestellt, da dies möglicherweise eine Neuzulassung der Substanz erforderlich machen könnte. Die Biotechnologie führt dann häufig nicht zu einem Ersatz existierender „traditioneller" Produkte und Verfahren. Sehr groß ist hingegen die Bedeutung der Biotechnologie für neuartige Produkte und Verfahren: zum einen werden – wie in der Pharmaforschung – neue Wirkorte für Agrochemikalien sowie neue Agrochemikalienwirkstoffe ganz überwiegend mit Hilfe genombasierter Ansätze identifiziert. Für die Synthese dieser neuen Wirkstoffe werden in zunehmendem Maße auch biotechnische Syntheseschritte entwickelt. Und schließlich ermöglicht die Biotechnologie auch völlig neue Agrochemikalienkonzepte, wie z. B. gentechnisch veränderte Nutzpflanzen, die die entsprechenden Wirkstoffe selbst produzieren. Zwar haben diese Substanzen und Agrochemikalienkonzepte zurzeit nur einen geringen Anteil am Gesamt-Agrochemikalienmarkt, doch gehen Experten davon aus, dass Neuentwicklungen von Agrochemikalien überwiegend in diese Gruppe von Wirkstoffen fallen, die mit Hilfe der Biotechnologie entwickelt und produziert wird.

Auch bei **Enzymen** und Aminosäuren ist bereits die aktuelle Bedeutung der Biotechnologie hoch und wird weiter steigen. Enzyme werden in der chemischen Industrie entweder für den In-house-Gebrauch in unternehmenseigenen Synthesen, für andere Unternehmen der chemischen Industrie oder für Kunden in der Lebensmittel- und Getränke-, Textil-, Papier- und Zellstoff- und Lederindustrie hergestellt. Im vergangenen Jahrzehnt haben technologische Entwicklungen die Enzymproduktion grundlegend verändert. Seit Mitte der 1990er-Jahre haben sich sowohl der Markt für industrielle Enzyme als auch die Anbieterstrukturen drastisch

gewandelt. An Enzymhersteller wird zum einen die Anforderung gestellt, durch kostengünstige Enzymproduktion im großen Maßstab im Preiswettbewerb bestehen zu können und zum anderen innovative Produkte möglichst mit Piniercharakter zu entwickeln. Die Beherrschung, konsequente Weiterentwicklung und Integration technologischer Schlüsselkompetenzen, die wesentlich der Biotechnologie und Gentechnik zuzuordnen sind (u. a. effiziente und originelle Screeningverfahren, Gentechnik, *„protein engineering"* (rationales Design, gerichtete Evolution), Entwicklung von Hochleistungsstämmen, Verfahrenstechnik der Enzymproduktion und des *„downstream processing"*), ist dabei integraler Bestandteil der FuE-Unternehmensstrategien. Nur Unternehmen, die diese Schlüsselkompetenzen beherrschen, konnten sich in den letzten Jahren am Markt behaupten, so dass der Einfluss der Biotechnologie auf die Wettbewerbsfähigkeit der Enzymhersteller sehr hoch ist.

Es ist davon auszugehen, dass mittelfristig nur für ökonomisch weniger bedeutende Anwendungen und Nischenmärkte „traditionelle" Produkte und Verfahren weiterhin bestehen können, beispielsweise im Bereich der Lebensmittelenzyme. Hier existieren Akzeptanzvorbehalte gegenüber gentechnisch hergestellten Enzymen. In diesen Bereichen können Enzyme, die nicht mit Hilfe gentechnisch veränderter Mikroorganismen produziert werden, noch wesentliche Marktanteile halten. Im Allgemeinen werden traditionelle Produkte und Verfahren jedoch rasch substituiert, weil die oben genannten Methoden insgesamt zu einer deutlichen Verkürzung des Produktentwicklungszyklus beitragen, so dass neue Enzymvarianten statt in fünf bis zehn Jahren nunmehr in ein bis zwei Jahren zur Marktreife gebracht werden können. Eine weitere Folge davon ist, dass bisherige Spezialenzyme sehr schnell Commodity-Status mit deutlich sinkenden Preisen (auf Grund von Skaleneffekten) erlangen.

Mindestens gleichwertig ist im Bereich der Enzyme aber die Bedeutung neuartiger Produkte und Verfahren, die nur durch biotechnische Methoden erschlossen werden können. Moderne Biotechniken ermöglichen eine wesentliche Erweiterung des Angebots industrieller Enzyme: Durch die Senkung der Produktionskosten können bestimmte Anwendungsbereiche überhaupt erstmals für Enzyme erschlossen werden. Zudem können durch weitgehend automatisierte, computergesteuerte Verfahren (u. a. High-Throughput-Screening) interessante Enzyme selbst in Organismengruppen identifiziert werden, die sich nicht selbst als Produktionsorganismen eignen. Die korrespondierenden Gene werden dann unter Nutzung gentechnischer Methoden in gut handhabbare Produktionsorganismen übertragen. Mit Hilfe des Protein Designs und der gerichteten Evolution können die Enzyme zudem für bestimmte Anwendungen maßgeschneidert werden. Damit tragen auf der Bio-

technologie beruhende Innovationen entscheidend zum (zukünftigen) Umsatzwachstum und zur Behauptung der Marktposition vieler Enzymhersteller bei. Um forschungsintensive, hochwertigere Enzymprodukte einführen zu können, ist es teilweise erforderlich, auch als Niedrigpreisproduzent im Massenenzymgeschäft etabliert zu sein, da in bestimmten Abnehmerindustrien die Massenenzyme als „Türöffner" fungieren.

Bei **Aminosäuren** handelt es sich um eine Substanzgruppe, die den chiralen Naturstoffen und ihren Derivaten zuzurechnen ist. Sie ist grundsätzlich über chemische Synthese oder über biotechnische Verfahren zugänglich, wobei im Einzelfall zu entscheiden ist, welche Verfahren für welche Anwendungszwecke der Aminosäuren vorteilhafter sind. Zahlreiche natürlich vorkommende Aminosäuren werden seit langem fermentativ hergestellt, so z. B. Glutamat und Lysin. Diese biotechnischen Verfahren wurden kontinuierlich weiterentwickelt, sie sind als weitgehend ausgereift und als am Markt etabliert zu betrachten. Hier sind in absehbarer Zukunft keine wesentlichen Innovationssprünge zu erwarten. Für einige Aminosäuren, die bislang chemisch synthetisiert wurden, wurden jedoch fermentative Verfahren so weit entwickelt, dass sie nunmehr die chemischen Verfahren substituieren können (z. B. L-Threonin, L-Tryptophan). Teilweise ist mit dem Wechsel des Herstellungsverfahrens eine Änderung in der Produktqualität bzw. der Produktkosten verbunden, die es ermöglichen kann, zusätzliche Märkte gegenüber dem bisherigen chemischen Verfahren zu erschließen. Zudem können biotechnische Verfahren genutzt werden, um neuartige Produkte, z. B. nicht natürlich vorkommende Aminosäuren (b-Aminosäuren) herzustellen, die insbesondere durch ihre Chiralität und den Besitz verschiedener funktioneller Gruppen interessante Verbindungen für vielfältige Anwendungen darstellen.

Von mittlerer Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit der Branche ist die Biotechnologie nach Einschätzung der interviewten Experten bei der – sehr breiten – Sammelgruppe der acyclischen und alicyclischen Carbonsäuren, bei Propandiol sowie bei Süßstoffen und funktionellen Lebensmittelinhaltsstoffen. Bei den Carbonsäuren sowie Propandiol steht der Ersatz „traditioneller" Produkte und Verfahren im Vordergrund: Wurde 1,3-Propandiol auf Basis fossiler Rohstoffe chemisch synthetisiert, so ist mittlerweile ein biotechnischer Prozess kommerzialisiert, in dem 1,3-Propandiol ausgehend von regenerativen Rohstoffen (z. B. Stärke) synthetisiert wird. Auch bei einigen acyclischen und alicyclischen Carbonsäuren wird die Substitution rein chemischer Prozesse durch biotechnische angestrebt, da mit den biotechnischen Verfahren teilweise enantiomerenreine Substanzen herstellbar werden, die interessante Ausgangsstoffe für die Synthese von hochwertigeren Produkten

darstellen. Zum anderen kann dadurch wiederum eine fossile Rohstoffbasis durch eine regenerative ersetzt werden (z. B. L-Lactat für die Synthese von Polylactid). In der Gruppe der Süßstoffe (z. B. Aspartam, Fructose) und funktionellen Lebensmittelinhaltsstoffe kommt der Biotechnologie sowohl beim Ersatz „traditioneller" Produkte und Verfahren als auch bei neuartigen Produkten und Verfahren Bedeutung zu. Eine Umstellung auf biotechnische Verfahren bei traditionellen Produkten wird dadurch begünstigt, dass mit Hilfe der Biotechnologie Rationalisierungen im Produktionsprozess erreicht, höhere Produktqualitäten erzielt oder aber ein Marketingvorteil erreicht werden kann, da biotechnisch hergestellte Lebensmittelinhaltsstoffe (z. B. Aromen) als „natürlich" deklariert werden dürfen. „Natürliche" Lebensmittelinhaltsstoffe werden von Verbrauchern gegenüber „naturidentischen" Substanzen in der Regel bevorzugt. Zudem stellen zahlreiche funktionelle Lebensmittelinhaltsstoffen neuartige Produkte und Verfahren dar, die eine Ausweitung des Marktes in Segmente mit hoher Wertschöpfung ermöglichen (Menrad 2003).

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Biotechnologie-ähnlich wie in der Pharmabranche-einen großen Einfluss auf rund zwei Drittel der direkten Biotechnologie-Arbeitsplätze in der Chemiebranche hat. Die fünf Produktgruppen, denen der höchste Beitrag zur Schaffung neuer Arbeitsplätze bis 2020 beigemessen wird sind Reagenzien für Diagnostik und Analytik, Geruchsstoffe und Aromen, Wasch- und Reinigungsmittel, Enzyme und 1-wertige Alkohole. Hierbei handelt es sich ebenfalls um diejenigen Produktgruppen, für die auch der Einfluss der Biotechnologie auf die Wettbewerbsfähigkeit am höchsten bzw. hoch eingestuft wird. Eine geringe Bedeutung zur Schaffung neuer Arbeitsplätze wird der Herstellung von Farben und Lacken, Papier und Aminosäuren beigemessen. Das insgesamt geringe bis mittlere Bedeutungsniveau zur Schaffung neuer Arbeitsplätze bis 2020 deutet darauf hin, dass eher traditionelle Arbeitsplätze substituiert bzw. gesichert werden, als dass neue Jobs geschaffen werden.

Produktgruppenspezifisches Antwortverhalten in der Lebensmittelindustrie

In der schriftlichen Befragung (n = 10 für die Lebensmittelindustrie) zeigt sich, dass die Biotechnologie derzeit einen durchschnittlich bis hohen, und zukünftig weiter zunehmenden Einfluss auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Lebensmittelindustrie hat. Die Bedeutung der Biotechnologie für die Wettbewerbsfähigkeit in 2004/05 und bis 2020 wird für folgende Produktgruppen am höchsten bewertet: Starterkulturen, Hefe; Joghurt, fermentierte Milchgetränke, Milchbestandteile; sonstige fermentierte Getränke; alkoholische Getränke und Käse. Gering wird

dagegen in 2004/05 und bis 2020 der Einfluss der Biotechnologie auf die Wettbewerbsfähigkeit bei der Produktion von Süßwaren und Schokolade, Pasta sowie Obst- und Gemüseverarbeitung eingestuft (wobei bei Obst und Gemüse die Bedeutung bis 2020 zunimmt). Für die kommenden Jahre wird allgemein eine steigende Relevanz biotechnischer Produkte, Methoden oder Verfahren für die Lebensmittelverarbeitung erwartet, auch wenn die bestehenden Akzeptanzvorbehalte in Deutschland den Einsatz der Gentechnik nach Meinung der befragten Experten zumindest verzögern dürfte. Die Zunahme der Bedeutung der Biotechnologie für die Wettbewerbsfähigkeit bis 2020 wird neben den oben genannten (für 2004/05) auch für folgende Produktgruppen als steigend bewertet: Modifizierte Stärke, Zucker und Zuckerderivate, Frucht- und Gemüsesäfte und Fleischzubereitung. Zu betonen wäre, dass gegenüber einer früheren Befragung (Menrad et al. 2003), bei der der Anwendung der Biotechnologie eine geringe bis allenfalls mittlere Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit der jeweiligen Lebensmittelbranchensegmente zugesprochen wurde, die Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit inzwischen angestiegen ist.

Als wichtige Beispiele werden von den Experten Enzyme angeführt, die mit Hilfe gentechnisch veränderter Mikroorganismen gewonnen werden und die z. B. bei der Käseherstellung (Chymosin), Fleischverarbeitung, Fruchtsaftgewinnung, Verarbeitung von Obst und Gemüse, in Backwaren oder in fermentierten Milchprodukten Verwendung finden können.

Bio- und gentechnische Verfahren haben auch eine erhebliche Bedeutung für die Produktion zahlreicher Lebensmittelinhalts- und -zusatzstoffe (z. B. verschiedene Vitamine, Aminosäuren, Aromastoffe oder einzelne „funktionelle" Lebensmittelinhaltsstoffe), die jedoch ähnlich wie die Enzymproduktion weitgehend in der (fein)chemischen Industrie stattfindet. Auf Grund von Qualitäts- oder Kostengründen werden solche durch die Biotechnologie beeinflussten Produkte zunehmend in der Lebensmittelindustrie eingesetzt. An gentechnisch veränderten Mikroorganismen, die unmittelbar bei der Verarbeitung von Lebensmitteln eingesetzt werden können, wird nach Einschätzung der befragten Experten weltweit zwar geforscht (z. B. an gentechnisch veränderten Hefen für die Backwarenindustrie oder Bierherstellung; gentechnisch veränderten Milchsäurebakterien, die z. B. in der Fleischverarbeitung, Molkereiindustrie oder in der Gemüseverarbeitung eingesetzt werden können), doch sind in der EU bislang keine solchen Organismen für die menschliche Ernährung zugelassen (EFSA 2006). Auf Grund der bestehenden Akzeptanzvorbehalte der Verbraucher erwarten die befragten Experten auch keine bzw. eine sehr geringe Nutzung dieser Organismen in den kommenden Jahren in Deutschland.

In den genannten Feldern führt die Anwendung der Biotechnologie 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.

Der Einsatz der mit Hilfe der Biotechnologie erzeugten Produkte bzw. biotechnische Verfahren führt in der Lebensmittelindustrie häufig weitgehend zu einem Ersatz traditioneller Produkte. Die fünf Produktgruppen, denen (auf ungefähr mittlerem bis hohem Bedeutungsniveau) der höchste Beitrag zur Schaffung neuer Arbeitsplätze bis 2020 beigemessen wird sind Starterkulturen und Hefe; Frucht- und Gemüsesäfte; Joghurt, fermentierte Milchgetränke, Milchbestandteile; sonstige fermentierte Getränke; Zucker und Zuckerderivate, also auch weitestgehend diejenigen Produktgruppen, für die auch der Einfluss der Biotechnologie auf die Wettbewerbsfähigkeit am höchsten bzw. hoch eingestuft wird. Eine geringe Bedeutung zur Schaffung neuer Arbeitsplätze wird der Herstellung alkoholischer Getränke beigemessen.

Produktgruppenspezifisches Antwortverhalten in der Landwirtschaft

In der schriftlichen Befragung (n = 13 für die Landwirtschaft) zeigt sich, dass die Biotechnologie derzeit noch einen mittleren, aber zukünftig einen steigenden bis stark steigenden Einfluss auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Landwirtschaft hat. Die Bedeutung der Biotechnologie für die Wettbewerbsfähigkeit in 2004/05 wird für folgende Produktgruppen am höchsten bewertet: Zuckerrüben, Ölsaaten, Geflügel, Schwein, Rind und Fische. Gering wird dagegen in 2004/05 und 2020 der Einfluss der Biotechnologie auf die Wettbewerbsfähigkeit bei der „Produktion" von sonstigen Tieren (z. B. Schafe, Ziegen), Gemüse und Obst eingeschätzt, obgleich auch hier die Werte bis 2020 leicht ansteigen. Die Zunahme der Bedeutung der Biotechnologie für die Wettbewerbsfähigkeit bis 2020 wird für folgende Produktgruppen am höchsten bewertet: Zuckerrüben, Ölsaaten, Futterpflanzen, Kartoffeln und Fische. Eine steigende Bedeutung wird auch für landwirtschaftliche Dienstleistungen, Getreide, Geflügel, Schwein und Rind gesehen.

Im Bereich der Landwirtschaft wurde in der schriftlichen Befragung eine zusätzliche Frage hinsichtlich des Umsatzanteils gentechnisch veränderter Organis-

men sowie der Bedeutung gentechnisch veränderter Organismen für die internationale Wettbewerbsfähigkeit gestellt. Die Befragung ergab, dass gentechnisch veränderter Organismen in 2004 keine Bedeutung haben auf den Umsatz, der Umsatzanteil wurde bei fast allen Produktgruppen mit 0 bis 1 Prozent beantwortet. Es wird allerdings angenommen, dass die Bedeutung gentechnisch veränderter Organismen in der Landwirtschaft stark zunehmen wird. Für das Jahr 2020 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 Biotechnologie eingeschätzt, bei den Tieren (z. B. Rinder, Schweine) wird die Gentechnik im Unterschied zur Biotechnologie weiterhin nur eine geringe Rolle haben. Ähnlich Ergebnisse zeigen sich bei der Bedeutung der Gentechnik für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Landwirtschaft. Aktuell ist die Bedeutung gering, für 2020 zeigt sich bei den Pflanzen eine ähnliche Bedeutung für die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit und Schaffung von Arbeitsplätzen wie bei der Biotechnologie. Für den Einsatz bei Tieren ist die Bedeutung der Gentechnik für die Wettbewerbsfähigkeit aktuell und zukünftig niedrig.

Die Literaturauswertung und Experteninterviews 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 eingesetzt. 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). Angesichts dieser weltweit bereits erheblichen Bedeutung gentechnisch veränderter Pflanzen bei wichtigen Rohstofflieferanten für pflanzliche Öle und Fette ist es nach Einschätzung der befragten Experten nicht auszuschließen, dass diese auch in Deutschland zum Einsatz kommen, zumal die gentechnische Veränderung im raffinierten Öl nicht mehr nachzuweisen ist. Für die kommenden Jahre wird eine wichtige Rolle der Biotechnologie in diesem Feld auch darin gesehen, dass transgene Pflanzen mit einem veränderten Fettsäurespektrum bereitgestellt werden. Derzeit spielen solche Produkte allerdings noch keine Rolle, da nach Einschätzung der befragten Experten bei der Gewinnung und Verarbeitung pflanzlicher Öle und Fette bislang überwiegend traditionelle Produkte, d. h. auf konventionellem Wege gezüchtete Pflanzensorten, eingesetzt werden.

Da die proteinhaltigen Rückstände aus der Ölgewinnung oftmals als Futtermittel (z. B. Soja-, Rapsschrot) verwendet werden, ist die analoge Bewertung des Einflusses der Biotechnologie auf die Wettbewerbsfähigkeit der Futtermittelindustrie durch die befragten Experten wenig überraschend. Dies gilt um so mehr, da auch bei Mais, der ebenfalls häufig als stärkehaltige Rohstoffquelle bei Futtermitteln und Biogasanlagen verwendet wird, im Jahr 2005 14 % der weltweiten Anbaufläche mit transgenen Sorten bepflanzt wurden (James 2005). 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 Biotechnologie ersetzt (wie z. B. konventionell gezüchtete Pflanzensorten, vor allem bei Sojabohnen, Mais und Raps; sowie durch chemische Synthese gewonnene Vitamine).

Die fünf Produktgruppen, denen (auf geringen bis mittlerem Bedeutungsniveau) der höchste Beitrag zur Schaffung neuer Arbeitsplätze bis 2020 beigemessen wird, sind Ölsaaten, Zuckerrüben, Futterpflanzen, Kartoffeln, landwirtschaftliche Dienstleistungen und Rinder, also viele Produktgruppen, für die auch der Einfluss der Biotechnologie auf die Wettbewerbsfähigkeit entweder aktuell oder zukünftig am höchsten bzw. hoch eingestuft wird. Eine sehr geringe Bedeutung zur Schaffung neuer Arbeitsplätze wird der Herstellung von sonstigen Tieren (z. B. Schafe, Ziegen), Fischen, Obst, Weinmost/Wein und Baumschulerzeugnissen beigemessen. Das geringe bis mittlere Bedeutungsniveau zur Schaffung neuer Arbeitsplätze bis 2020 deutet darauf hin, dass eher traditionelle Arbeitsplätze substituiert bzw. gesichert werden als das neue Jobs geschaffen werden.

Umweltbiotechnik

Die nachfolgenden Ergebnisse für die Umweltbiotechnik wurden nicht mittels der schriftlichen Befragung erhoben, sondern beziehen sich auf Experteninterviews im Rahmen einer früheren Studie des Fraunhofer ISI (Menrad et al. 2003). Innerhalb der Umwelttechnik nimmt die Umweltbiotechnik seit Jahren einen festen Platz ein. Die kommunale Abwasserreinigung fußt ganz wesentlich auf biotechnischen Verfahren, die durch mechanische und chemisch-physikalische Verfahren ergänzt werden. Somit kommt der Biotechnologie in diesem Teilbereich eine große Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit zu. Auch bei der Weiterentwicklung bestehender Verfahren wird die Biotechnologie eine bedeutende Rolle spielen (z. B. Biomembranverfahren, Elimination besonderer Schadstoffe wie z. B. Phosphat, Stickstoff,

endokrine Stoffe). Dies betrifft auch die (Teil-)Substitution der vergleichsweise teuren aeroben Verfahren, die mit einem hohen Klärschlammanfall verbunden sind, durch kostengünstigere anaerobe Verfahren sowie die Weiterentwicklung biotechnischer Verfahren zur Elimination bzw. Rückgewinnung von Stickstoff und Phosphor. Entsprechende Entwicklungen sind auch für bestimmte Aufgabenstellungen der industriellen Abwasserbehandlung zu erwarten, größtenteils in Kombination mit anderen Behandlungsverfahren. Zudem könnten angepasste biotechnische Produkte und Verfahren eine größere Marktbedeutung erlangen, wenn strukturelle Veränderungen in der Abwasserreinigung implementiert würden: Hierzu zählen beispielsweise eine stärkere Trennung der unterschiedlichen Abwasserströme (z. B. Erfordernis der biologischen Behandlung von Grauwasser) sowie die Umstellung von der derzeitigen zentralisierten Abwasserreinigung auf dezentrale Anlagen.

Die biotechnische Stabilisierung und Behandlung von Klärschlämmen ist Stand der Technik. Auch wenn die Verbrennung der anfallenden Klärschlämme, unter anderem bedingt durch die Änderung der Rechtslage, künftig (deutlich) zunehmen wird, bleibt der Stellenwert der biotechnischen Verfahren auf Grund der Notwendigkeit einer Vorbehandlung der Klärschlämme erhalten.

Eine ähnliche Situation besteht bei der Behandlung fester Abfälle. Die Kompostierung zur Behandlung von Bioabfällen hat sich in Deutschland fest etabliert. Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass kurzfristig eine wesentliche Expansion von biotechnischen Verfahren zur Behandlung fester Abfälle stattfinden wird. Zwar nähern sich deren spezifische Kosten an die thermischen Verfahren an, doch dürfte der Umstellungsprozess einige Zeit in Anspruch nehmen.

In den letzten Jahren wurden wesentliche Fortschritte bei der Entwicklung biotechnischer Verfahren zur Sanierung kontaminierter Standorte gemacht, was das Potenzial bietet, sowohl traditionelle Verfahren zu ersetzen als auch neuartige Verfahren zu etablieren. Dennoch ist der Markt für biotechnische Bodensanierungen in den letzten Jahren stark eingebrochen. Dies ist zum einen auf Regelungen im Bodenschutzgesetz zurückzuführen, die auch eine Sicherung kontaminierter Standorte statt ihrer Sanierung bzw. auch die kostengünstigere Deponierung der kontaminierten Böden zulassen. Zum anderen kommt die Mittelknappheit in öffentlichen, z. B. kommunalen Kassen stark zum Tragen, so dass geplante Sanierungsvorhaben zurückgestellt oder nur das Allernotwendigste durchgeführt wird.

Bei der Behandlung von Abluft können biotechnische Verfahren mit Biofiltern und Biowäschern nur ein kleines Segment des Marktes der Abluftreinigung abdecken, und zwar überwiegend die Behandlung sehr geruchsintensiver Abluft mit einem hohen Gehalt flüchtiger organischer Substanzen. Es gibt aber auch neuarti-

ge Verfahren, die auf die Entfernung niedermolekularer Abluftinhaltsstoffe abzielen (Grommen und Verstraete 2002).

Im Rahmen eines produktionsintegrierten Umweltschutzes kommt der Biotechnologie insbesondere in der Prozessindustrie (z. B. chemische Industrie, Lebensmittel-, Textil-, Papier- und Zellstoff- sowie Lederindustrie) Bedeutung zu.[11] Mehrere Verfahren sind anwendungsreif bzw. anwendungsnah, jedoch erst in sehr geringem Maße in der Industrie etabliert (u. a. Hüsing et al. 1998, OECD 2001, Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg 2001, Hüsing et al. 2003).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass biotechnische Verfahren in allen hier betrachteten Anwendungsbereichen der Umwelttechnik Potenziale bieten, herkömmliche Verfahren zu verbessern und weiterzuentwickeln. Die Realisierung von Potenzialen, auch neuartige Verfahren zu etablieren, wird aber ganz wesentlich durch die Umweltgesetzgebung (und dem dahinter liegenden politischen Willen), strukturelle Veränderungen (z. B. Umstellung von zentraler auf dezentrale Abwasserbehandlung) sowie die zukünftigen Spielräume im Bereich öffentlicher Finanzen beeinflusst. Dies gilt auch für die Bereiche der Strom- und Wärmeerzeugung, in denen biotechnische Verfahren zunehmende Bedeutung erlangen (z. B. zunehmende Nutzung von dezentralen Biogasanlagen). Die Bedeutung wird zudem weiter zunehmen, wenn die Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse verstärkt wird. Insgesamt soll nach Einschätzung der befragten Experten die Wettbewerbsfähigkeit von etwa 70 % der Arbeitsplätze in der Umweltbiotechnologie in hohem Maße von Methoden und Verfahren der modernen Biotechnologie abhängig sein. Dies gilt insbesondere für den Bereich der Abwasserreinigung.

2.2.4 Methodik zur Bestimmung der Szenarienannahmen für die Anwenderbranchen

Wie eingangs beschrieben, entstehen die größten Beschäftigungseffekte der Biotechnologie in den Anwenderbranchen (Menrad et al. 2003). Zur quantitativen Ermittlung der Beschäftigungseffekte der Anwendung bzw. Nutzung biotechnologischer Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen in den wichtigsten Anwenderbranchen wurde daher im Zuge der Qualitätssicherung ein aufwendiges **„Top-down/Bottom-up"-Verfahren** angewendet, um so zu belastbaren Aussagen zur aktuellen und zukünftigen Biotechnologie-Marktdurchdrin-

11 Bezüglich entsprechender Anwendungen in der chemischen Industrie sei auf die obigen Ausführungen zum Chemiesektor verwiesen.

gung zu gelangen. Beim **Bottom-up-Verfahren** 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 **Biotechnologie-basierten Produktgruppen** bestimmt, die aktuell und zukünftig bei den einzelnen Wirtschaftszweigen von biotechnischen Methoden, Prozessen und Produkten bereits 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).

Dann wurden in einer schriftlichen Befragung (inkl. Pretest-Phase) die Akteure der verschiedenen Anwenderbranchen befragt, wie hoch der Biotechnologie-Umsatzanteil am Gesamtumsatz für diese Biotechnologie-basierten Produktgruppen in 2004/05 und 2020 ist. Anschließend wurde der Produktionswert der Biotechnologie-basierten Produktgruppen auf Basis der Produktionsstatistiken des Statistischen Bundesamtes für Deutschland für das Jahr 2004 ermittelt. Hierzu wurden die Produktionswerte der Biotechnologie-basierten Produktgruppen mit dem jeweiligen produktgruppenspezifischen Biotechnologie-Umsatzanteilen 2004 multipliziert.

Hinsichtlich der Produktionswerte für das Jahr 2020 wurde für die Anwenderbranche gesamt sowie deren Produktgruppen folgendes Verfahren angewendet. Ausgehend von den anwenderbranchenspezifischen Produktionswerten des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2004 wurden die Produktionswerte mit jährlichen Wachstumsraten fortgeschrieben, die auf einer Prognos-Studie beruhen (Prognos 2002). Die unterstellten jährlichen realen Wachstumsraten von 2004 bis 2020 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 umfassende Beschreibung der wesentlichen Annahmen der Prognos-Studie erfolgt in Anhang A.2.

Da diese jährlichen Wachstumsraten das Ergebnis 2020 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 einzelnen Biotechnologie-basierten Produktionsgruppen die jährlichen Wachstumsraten berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Entwicklungen der Produktionswerte seit 1995 weitestgehend kompatibel zu den angenommenen zukünftigen Branchenentwick-

lungen bei Prognos sind.[12] Daher wurden die branchenspezifischen Prognos-Wachstumsraten verwendet. In diesem Zusammenhang sei auch darauf verwiesen, dass andere Prognos-Zukunftswerte (u. a. EWI/Prognos 2005) bereits in einer Reihe von anderen anerkannten 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.

Zusätzlich zum Bottom-up-Ansatz wurde ein Vorgehen gewählt, das einer **Top-Sicht** entspricht. Hierbei wurden die Akteure der Anwenderbranchen in der schriftlichen Befragung nach dem aktuellen und zukünftigen **Biotechnologie-Umsatzanteil für die Gesamtbranche** gefragt (d. h. **ohne Bezug zu einzelnen Produktgruppen**). Hier war ebenfalls auffällig, dass diese Werte grundsätzlich optimistischer hinsichtlich der Biotechnologie-Marktdurchdringung ausfallen als die Bottom-up-Werte (Tabelle 2.5). Mit anderen Worten: Es ergab sich ein ähnliches Antwortverhalten wie bei der Frage nach der Wettbewerbsfähigkeit im vorigen Abschnitt („Biotechnologie-Optimismus" bei aggregierter Sicht im Vergleich zur Produktgruppen-Sicht).

Die über das Bottom-up/Top-down-Verfahren ermittelten Biotechnologie-Umsatzanteile wurden dann überführt in Unter- und Obergrenzen für die Szenarien 2004 und 2020. Sowohl beim Bottom-up- als auch beim Top-down-Verfahren wurden jeweils die „Ausreißer" nach oben und unten bei der Festlegung der Ober- und Untergrenzen nicht berücksichtigt. Zudem wurde bei der Überführung der Bottom-up/Top-down-Werte zu den Unter- und Obergrenzen für die Szenarien auf Basis aktueller Patentrecherchen des Fraunhofer ISI (derzeit noch nicht veröffentlicht) eine weitere Plausibilitätsprüfung durchgeführt. Für die Bereiche industrielle, weiße

12 Zwar zeigte sich, dass bei einigen Biotechnologie-basierten Produktgruppen die Wachstumsraten 1995-2004 oberhalb des Branchendurchschnittes lagen. Bei anderen Biotechnologie-basierten Produktgruppen hingegen lagen die Werte unterhalb des Branchendurchschnittes. Bei einer produktgruppenspezifischen Fortschreibung der Produktionswerte bis 2020 und anschließender Aufsummierung über alle Biotechnologie-basierten Produktgruppen ergaben sich ähnliche „aggregierte" Wachstumsraten wie die Gesamtbranchen-Wachstumsraten von Prognos. Mit anderen Worten: Die Biotechnologie-basierten Produktgruppen verhalten sich hinsichtlich ihrer Wachstumsentwicklung **in Summe** ähnlich wie der Gesamtbranchendurchschnitt.

Biotechnologie sowie die rote und grüne Biotechnologie wurde der Biotechnologie-Patentanteil an den gesamten Patenaufkommen des jeweiligen Bereiches ermittelt. Hier zeigte sich, dass die Biotechnologie-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 Biotechnologie-basierte Produkte in der Regel teurer sind als bisherige „durchschnittliche" Branchenprodukte. Mit anderen Worten: Ein Patentanteil nahe der Untergrenze kann kompatibel sein mit einem Biotechnologie-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 Biotechnologie-Marktdiffusion für die Szenarien auf eine möglichst fundierte Basis gestellt. Die so ermittelten Szenariowerte mit Unter- und Obergrenzen für die jeweiligen Anwenderbranchen (Tabelle 2.5) sind Basis für die Input-Output-Modellberechnungen.

Zu betonen wäre an dieser Stelle, dass derzeit noch erhebliche Unsicherheiten der Akteure bezüglich der zukünftigen Marktdiffusion biotechnologischer Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen bestehen, die durch die höheren Bandbreiten in 2020 sichtbar werden. Für junge Technologien ist 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 Biotechnologie noch nicht in vollem Umfang getroffen worden sind und zur Zeit öfter noch unklar ist, wie viele potenzielle Biotechnologie-Prozesse/Produkte/Dienstleistungen existieren bzw. noch nicht existieren, aber bis 2020 auf den Markt kommen könnten. Die Unter- und Obergrenze der Biotechnologie-Umsatzanteile 2020 können daher interpretiert werden als langsame und schnelle Biotechnologie-Diffusion. Zu betonen wäre an dieser Stelle noch einmal, dass es sich **bei diesen Szenarienwerten um konsistente zukünftige Szenarienbilder, nicht aber um Prognosen handelt** (vgl. hierzu Abschnitt 1.2).

Tabelle 2-5: Anwenderbranchen: Szenarienannahmen Biotechnologie-Umsatzanteile 2004 und 2020 (in Prozent bezogen auf den Produktionswert der Gesamtbranche)

Anwenderbranchen	Biotechnologie-Umsatzanteil 2004/05	Biotechnologie-Umsatzanteil 2020
Chemie (Top-down)	5-7 %	12-23 %
Chemie (Bottom-up)	3-5 %	7-11 %
Szenariowerte Chemie	**4-6 %**	**9-18 %**
Pharma (Top-down)	12-18 %	25-46 %
Pharma (Bottom-up)	8-19 %	13-31 %
Szenariowerte Pharma	**11-18 %**	**18-40 %**
Lebensmittel (Top-down)	11-27 %	25-40 %
Lebensmittel (Bottom-up)	7-21 %	11-24 %
Szenariowerte Lebensmittel	**9-23 %**	**17-32 %**
Landwirtschaft (Top-down)	16-25 %	35-55 %
Landwirtschaft (Bottom-up)	7-17 %	18-31 %
Szenariowerte Landwirtschaft	**11-20 %**	**26-42 %**

Quelle: Fraunhofer ISI 2006. Basis: Schriftliche Befragung (n = 72 Teilnehmer, zur Struktur vgl. Abschnitt 1.3; S. 23) sowie Experteninterviews

Methodik Umweltbiotechnik

Da die Unternehmen der Umweltbiotechnik keinen eigenständigen Wirtschaftszweig in der Wirtschaftszweigklassifikation und die Produktgruppen nicht wissenschaftlich belastbar dem systematischen Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken des Statistischen Bundesamtes zugeordnet werden konnten, wurde bei der Ermittlung der Zahl der induzierten Arbeitsplätze wie folgt vorgegangen: Anhand der Fachserie 19 Reihe 3.3 des Statistischen Bundesamtes zum Umsatz mit Waren, Bau- und Dienstleistungen, die ausschließlich dem Umweltschutz dienen, wurden diejenigen Warengruppen ausgewählt, die für die Ausstattung und Anwendung der Umweltbiotechnik von Bedeutung sind (z. B. Maschinenbauerzeugnisse für biologische Abfallbehandlungsanlagen). Anschließend wurden diese einzelnen Umweltbiotechnik-Warengruppen aggregiert und deren Gesamt-Produktionswert ermittelt. Anhand von Expertengesprächen und Studien (u. a. OECD 1993, Reiss et al. 1995) wurde für diese Gruppen in Summe der entsprechende „Biotechnologie-Anteil" bestimmt (2004: 13 %-18 %; 2020: 30 %-45 %) und mit dem Gesamt-Produktionswert multipliziert („Umweltbiotechnik-Produktionswert").

Die direkte Beschäftigung der Umweltbiotechnik wurde auf Basis der durchschnittlichen Arbeitskoeffizienten der Wirtschaftszweige, denen diese Umweltbiotechnik-Warengruppen jeweils zuzuordnen sind, berechnet. Hierzu wurde der „Umweltbiotechnik-Produktionswert" mit dem durchschnittlichen „Umweltbiotechnik-Arbeitskoeffizienten" multipliziert. Die vorgelagerten Effekte wurden analog zu den anderen Biotechnologie-Branchen mit dem Fraunhofer ISIS Input-Output-Modell bestimmt (s. nachfolgender Abschnitt 2.3). Die Vorleistungsstrukturen konnten aus einem Durchschnitt der Lieferbezüge der verschiedenen Umweltbiotechnik-Warengruppen berechnet werden. Hinsichtlich der Produktionswerte für das Jahr 2020 in der Umweltbiotechnik wurde analog zu den anderen Branchen Werte mit jährlichen realen Wachstumsraten fortgeschrieben, die auf der Prognos-Studie beruhen (Prognos 2002). Auch hier wurde für die jährliche Wachstumsrate ein Durchschnitt aus den verschiedenen Wirtschaftszweigen, denen die Umweltbiotechnik-Warengruppen zugeordnet sind, berechnet. Das unterstelle reale Wachstum ist 2,3 % p.a.

2.2.5 Direkte Brutto-Beschäftigungseffekte in den Anwenderbranchen

Zur Ermittlung der von der Biotechnologie induzierten Erwerbstätigen in den jeweiligen Anwenderbranchen für das Jahr 2004 wurde die Gesamtbeschäftigtenzahl dieser Wirtschaftszweige mit dem „Biotechnologieanteil" (Anteil Biotechnologie-basierter Produktgruppen multipliziert mit dem Biotechnologie-Umsatzanteil) gewichtet. Beim Biotechnologieanteil wird damit implizit über den Biotechnologie-Umsatzanteil berücksichtigt, in welchem Umfang bei den Biotechnologie-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 2020 sind in Tabelle 2.6 zusammengefasst. Bei den direkt Beschäftigten in den Anwenderbranchen handelt es sich um Vollzeitäquivalente (FTE). Die Werte für 2004 und 2020 berücksichtigen u. a. anwenderbranchenspezifische Arbeitsintensitäten. Die Werte für 2020 bilden u. a. Produktivitätsfortschritte und die abnehmende inländische Wertschöpfungsintensität ab (vgl. Anhang A.1 für eine ausführlichere Fraunhofer ISIS-Modellbeschreibung).

Tabelle 2-6: Direkte Brutto-Beschäftigungseffekte 2004 und 2020 in den Anwenderbranchen (in Tausend)

Anwenderbranchen	Brutto-Erwerbs-tätige 2004/05 (in Tausend)	Brutto-Erwerbs-tätige 2020 (in Tausend)
Szenariowerte Chemie	9,8-14,7	18,0-35,9
Szenariowerte Pharma	12,4-20,4	17,8-39,6
Szenariowerte Lebensmittel	69,6-177,7	108,0-203,2
Szenariowerte Landwirtschaft	68,8-125,1	107,4-173,5
Szenariowerte Umweltbiotechnik	8,5-11,8	20,4-30,6

Quelle: Fraunhofer ISI 2006. Basis: Eigene Input-Output-Modellberechnungen, Biotechnologie-Umsatzanteile, Produktionswerte Statistisches Bundesamt 2006 Fachserien 4/Fachliche Betriebsteile, Prognos 2002 bzgl. Marktwachstumsraten bis 2020 in den Anwenderbranchen

2.2.6 Einflussfaktoren für die Diffusion der Biotechnologie

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 Biotechnologie-Umsatzanteile für das Jahr 2020 als langsame und schnelle Biotechnologie-Diffusion bzw. -Marktdurchdringung interpretiert werden können. Grund hierfür ist, dass viele konkrete biotechnologische Methoden, Prozesse, Produkte, Dienstleistungen noch nicht existieren bzw. sich noch in der Forschung und Entwicklung befinden, aber bis 2020 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 Vorraussetzung, 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 sind die wichtigsten diffusionsfördernden und diffusionshemmenden Faktoren dargestellt (u. a. Hüsing 2005, Flaschel und Sell 2005, Hüsing et al. 2003 und 1998, Gaisser et al. 2002). Eine positive Ausprägung des jeweiligen Faktors wirkt fördernd für eine breite Anwendung und schnelle Diffusion bzw. Marktdurchdringung der Biotechnologie, eine negative Ausprägung diffusionshemmend:

- **Technologische Machbarkeit:** Biotechnologische Prozesse in der industriellen Produktion sehen sich derzeit noch einer Reihe von technologischen Proble-

men gegenüber, die eine Anwendung und Diffusion der Biotechnologie behindern. Obwohl in den letzten Jahren zahlreiche wissenschaftlich-technologische Durchbrüche erzielt und Methoden entwickelt wurden, die die Voraussetzungen für den Einsatz biotechnischer Verfahren für viele Anwendungen entscheidend verbessert haben, müssen diese Methoden und Verfahren konsequent weiterentwickelt und insbesondere für eine breite Anwendung in der industriellen Praxis und für eine schnelle Diffusion angepasst werden. Exemplarisch seien an dieser Stelle bislang nur zum Teil gelöste Herausforderungen im Bereich der industriellen, weißen Biotechnologie genannt: Rasche Bereitstellung der erforderlichen Enzyme, Optimierung von Stoffwechselwegen durch „metabolic engineering", Erhöhung der Raum-Zeit-Ausbeuten, Erschließung kostengünstiger Substrate (z. B. lignocellulosehaltige Biomasse), Effizienz der Aufarbeitungs- und Aufreinigungsverfahren („downstream processing") insbesondere für Bulkchemikalien, optimale Integration von chemischen und biotechnischen Verfahren bzw. Verfahrensschritten.

- **Ökonomische Vorteilhaftigkeit biotechnologischer Methoden, Prozesse und Produkte:** Selbst wenn biotechnologische Methoden, Prozesse und Produkte als technologisch und ökologisch attraktiv einzustufen sind, ist dies für die Wirtschaftlichkeit häufig noch nicht gegeben. Um auch wirtschaftlich konkurrenzfähig zu sein, müssen Methoden und Technologien konsequent weiterentwickelt und für die industrielle Anwendung adaptiert werden und eine ausreichende Kosteneffizienz aufweisen.
- **Know-how, Forschungsintensität in den Anwenderbranchen und Vernetzung bei den industriellen Anwendern:** Um biotechnische Verfahren z. B. in industriellen Produktionsprozessen einzusetzen, ist unter anderem umfassendes Know-how in den Bereichen Bio- und Enzymtechnik, in der Bioprozesstechnik sowie bezüglich Marktstrukturen, Markterfordernissen und Kundenbedürfnissen erforderlich. Das erforderliche biotechnologische 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. Dies führt zu einem mangelnden Bewusstsein für biotechnologische Alternativen und zu Berührungsängsten. Ein umfassendes Know-how liegt zwar in Unternehmen der pharmazeutischen und chemischen Industrie vor, in anderen Branchen ist dies aber noch nicht die Regel.

Da die Biotechnologie sehr forschungsintensiv ist, ist es für die Branchen wie z. B. die Lebensmittel-, Papier-, Zellstoff-, Leder- und Textilindustrie als Branchen mit nur geringen Forschungsintensitäten grundsätzlich schwierig, biotechnisches Know-how aufzubauen. In kleinen und mittelständischen Anwenderunternehmen existiert zudem häufig eine konservative Grundhaltung gegenüber der Einführung biotechnologischer Verfahren. 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 in Anwenderbranchen, geringe Forschungsintensitäten, eine teilweise schwierige wirtschaftliche Lage (u. a. Preiswettbewerb und Kostendruck) und eine konservativ-traditionelle Ausrichtung (z. B. geringe Kooperationsbereitschaft von KMU-„Unternehmenspatriarchen") sind strukturelle und wirtschaftliche Rahmenbedingungen, die die Anwendung und Diffusion der Biotechnologie erschweren.

- **Technologische Pfadabhängigkeiten:** 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 sind beispielsweise, dass der biotechnische Prozess eine andere Produktionsanlagenkonzeption als der bestehende Prozess erfordert, die Anlage bereits existiert, oder dass der konventionelle Prozess in ein Netzwerk anderer Prozesse eingebunden ist (z. B. durch Nutzung von Nebenprodukten anderer Prozesse), in das sich der biotechnische Prozess nicht ohne weiteres einfügen lässt. Oftmals existiert eine fehlende Bereitschaft, etablierte und erprobte - und in den Augen von Betriebstechnikern auch gut laufende - Verfahren zu ersetzen. Mit anderen Worten: Für eine breite Anwendung und schnelle Diffusion müssen biotechnologische Verfahren gegenüber konventionellen Verfahren nicht nur ökonomisch, sondern möglichst auch technologisch und ökologisch überlegen sein.
- **Höhe der Innovations-/ Anpassungskosten und Anpassungsdauer:** Da biotechnologische Lösungen detailliertes Wissen (z. B. in Enzymtechnik und Biologie, in integrierter Prozesstechnik, Marktanforderungen und spezifischen Kundenwünschen) erfordern, gehen sie u. U. mit erheblichen Veränderungen in den Unternehmen bezüglich Struktur, Arbeitsabläufen und infrastrukturellen Anforderungen und damit indirekten Innovations- bzw. Anpassungskosten einher, sowohl in der Biotechnologie-Branche („BT-Bereitstellung und BT-Anwendung") als auch bei deren nachgelagerten (Industrie-)Kunden. Dieser Innovations- bzw. Anpassungsaufwand bedeutet aber auch, dass die „Biotech-

nologie-Innovationen“ sich erst nach einer längeren Zeitspanne bezahlt machen. D. h., die teilweise enormen FuE-Aufwendungen amortisieren sich häufig auf Grund der erforderlichen Neuinvestitionen und unternehmensinternen Umstrukturierungen erst mittel- bis langfristig. Somit sind ausreichende finanzielle Ressourcen eine wichtige Bedingung für die Diffusion der Biotechnologie. Dies übersteigt jedoch den teilweise sehr kurzen Planungshorizont einiger Unternehmen. Innovationen, die z. B. lediglich eine Umweltentlastung ermöglichen, stellen daher in der Regel keinen ausreichenden Anreiz für ein Engagement der Unternehmen dar. Allerdings sind biotechnische Innovationen dann interessant, wenn die Biotechnologie neue, konkurrenzlose Produkte oder deutlich erhöhte Produktqualitäten ermöglichen. Die damit erwarteten hohen Umsatzzuwächse „entschädigen dann für die hohen Innovationskosten und das damit verbundene wirtschaftliche Risiko“.

- **Opportunitätskosten bei Biomassenutzung:** Mittelfristig werden Lebensmittel-, Chemikalien- und „Biofuel“-Produktion miteinander in der Land- und Biomassenutzung miteinander konkurrieren. Hierbei ist durch die Setzung der Rahmenbedingungen darauf zu achten, dass die jeweilige Nutzung im Einklang mit gesellschaftlichen Zielsetzungen steht.
- **Regulierung und Standards:** Ein Wechsel des Produktionsverfahrens, z. B. 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. Produktanforderungen des Kunden nicht mehr genügt bzw. eine Verfahrensumstellungen auf Kundenseite erforderlich werden.
- **Konkurrierende Technologien und technologische Neuentwicklungen:** Zur Lösung chemisch-synthetischer Probleme stellen biotechnologische Methoden und Prozesse meist nur eine Option unter mehreren wissenschaftlich-technischen Alternativen dar. Durch Weiterentwicklungen chemischer Verfahren kann beispielsweise 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 Pharmazeutika reicht selbst eine mögliche technologische Vorteilhaftigkeit biotechnischer Prozesse häufig nicht aus. Sowohl bei Pharmazeutika als auch bei Feinchemikalien handelt es sich um Produkte mit hoher Wertschöpfung, die eine relativ große Toleranz gegenüber hohen Produktionskosten erlauben, und bei denen die Funk-

tion 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 in umkämpften Teilsegmenten mit intensivem Preiswettbewerb die Herstellungs-/Produktionskosten signifikant zum Tragen kommen (im Pharmabereich z. B. bei Generika), wird kosteneffizienten biotechnischen oder biokatalytischen Produktionsverfahren ein höherer Stellenwert eingeräumt.

- **Unternehmerische Innovationsstrategien:** Unternehmen mit einer innovationsorientierten Gesamtstrategie haben meist Mechanismen implementiert, die es ihnen ermöglichen, u. a. zukünftige Trends sowie Bedürfnisse und Anforderungen verschiedener Märkte, Technologien, Umweltregulierungen sowie Kundenwünsche zu antizipieren. Erforderliche unternehmensinterne Kompetenzen werden strategisch ausgebaut, um die Flexibilität auf Veränderungen im Unternehmensumfeld zu erhalten. Eine innovationsfreundliche Gesamtstrategie sollte verknüpft sein mit einer unvoreingenommenen und offenen Belegschaft. In einem solchen unternehmensinternen Umfeld ist es leichter, biotechnologische Methoden, Prozesse und Produkte einzuführen, selbst wenn das Personal keine Vorbildung für die spezifischen Anforderungen der Biotechnologie hat. Informationslücken können durch den Aufbau von Informationskanälen, externe Berater und die Etablierung von Kooperationen und Netzwerken sowie eine adäquate Personalpolitik und -entwicklung geschlossen werden.
- **Verbraucheraufklärung, Verbraucherakzeptanz und „innovationsorientierte" Kunden bzw. Endkonsumenten:** Eine zu geringe Verbraucheraufklärung, z. B. über die industrielle Produktion von Lebensmitteln (hohe Qualitätsanforderungen und niedrige Preisen sind meist nur durch industrielle Massenproduktion zu gewährleisten), führt zu einer eher skeptischen Grundhaltung gegenüber neuen biotechnologischen Produkten oder Prozessinnovationen. Somit kann eine ungünstige Nachfragesituation die Einführung biotechnischer Prozesse und Produkte hemmen. Eine fehlende Akzeptanz der Verbraucher, z. B. für gentechnisch hergestellte Enzyme und gentechnisch veränderte Organismen und darauf aufbauenden biotechnischen Prozessen, wirkt sich negativ auf die Neigung von Unternehmen aus, entsprechende Produkt- und Prozessinnovationen einzuführen.

- **Unerwünschte Veränderungen der Produktqualität:** Diese können beispielsweise im Bereich der industriellen, weißen Biotechnologie beim Einsatz industrieller Enzyme gegenüber der bisherigen Herstellungsweise auftreten (z. B. Geschmacksveränderung bei Lebensmitteln). Unerwünschte Veränderungen können die Akzeptanz beim Endverbraucher deutlich reduzieren.
- **Intensität des Preiswettbewerbs und Preissensitivität der Kunden/Konsumenten:** Eine schwierige wirtschaftliche Lage (sichtbar an niedrigen Umsatzrenditen), eine hohe Preissensitivität der Endkonsumenten („Kaufentscheidend ist der Preis"), eine stark begrenzte Nachfrage nach entsprechenden Produkten (z. B. „ökologischen" Textilien) und ein wachsender Konkurrenzdruck (z. B. aus Südostasien) verengen den finanziellen Spielraum für Investitionen in neue Technologien. Häufig ist zudem der Nutzen aus biotechnologischen Prozessen im Vergleich zu den herkömmlichen Verfahren nur gering. Dies trifft beispielsweise vor allem für einige potentielle nachgelagerte Biotechnologie-Anwenderbranchen der „zweiten Ebene" (z. B. Papier-, Zellstoff-, Leder- und Textilindustrie) zu, aber auch für direkt nachgelagerte Anwenderbranchen der ersten Ebene bzw. einige Teilsegmente dieser Branchen (z. B. Lebensmittel, Chemie).

Bei diesen Diffusionsfaktoren ist zu beachten, dass sie nicht für alle Anwenderindustrien von gleicher Relevanz und gleicher Ausprägung sind. Hinzu kommen branchenspezifische Hemmnisse, z. B. spezielle technologische Probleme. Die Diffusionsintensität und -geschwindigkeit kann deshalb sektoral recht unterschiedlich sein (u. a. Gaisser et al. 2002, Hüsing et al. 2002).

2.3 BESCHÄFTIGUNGSWIRKUNGEN IN DEN VORGELAGERTEN SEKTOREN („BT-VORLEISTUNG")

Die gesamtwirtschaftliche Beschäftigungsbedeutung einer Technologie wird mit dem üblichen Indikator der direkt Beschäftigten nur unzureichend abgebildet. Über die direkten Beschäftigungswirkungen bei der Bereitstellung von Biotechnologie-Know-how („BT-Bereitstellung") sowie Beschäftigungseffekte in den direkten Anwenderindustrien („BT-Anwendung") hinaus gibt es weitere Beschäftigungsimpulse durch die Biotechnologie in vorgelagerten Zulieferersektoren (siehe Abbildung 1.1, S. 12 und die dortigen Ausführungen). Das Absatzpotenzial und der Arbeitskräftebedarf dieser vorgelagerten Zulieferersektoren steigen mit der wachsenden Bedeutung der Biotechnologie-Teilsegmente ebenfalls an (Vorleistungseffekte).

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 abbildet (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 Zulieferersektoren 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**ustainabil**i**ty Assessment **S**ystem) eingesetzt.[13]

Für die Anwendung des Input-Output-Modells auf den Bereich der Biotechnologie waren verschiedene Anpassungen vorzunehmen. Vor allem waren die Vorleistungsstrukturen der untersuchten Teilbereiche BT-Bereitstellung und BT-Anwendung zu ermitteln, da diese in der Sektorgliederung des verwendeten ISIS-Modells nicht vorkommen. Primärstatistische Datenquellen für die Ermittlung der Vorleistungsstrukturen der Biotechnologie-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 Biotechnologie-Teilsegment an (Teilsegmente BT-Bereitstellung und BT-Anwendung). In den Anwenderbranchen wurden diese über die Biotechnologie-Umsatzanteile multipliziert mit den ent-

13 Im Anhang A.1 findet sich eine ausführliche Beschreibung des ISIS-Modells sowie der spezifischen Modellanpassungen.

sprechenden Produktionswerten des Statistischen Bundesamtes bestimmt (s. Abschnitt 2.2.4 und Tabelle 2.5). Ausgehend von diesen Informationen und der für die Teilsegmente ermittelten Vorleistungsstrukturen lässt sich mit dem ISIS-Modell die resultierende Beschäftigung in den vorgelagerten Zulieferersektoren ermitteln. In einem Fall, nämlich für die Universitäten und FuE-Einrichtungen lagen die benötigten Umsatzdaten bzw. Budgetkostendaten nicht vor, sondern es waren nur die Beschäftigungszahlen verfügbar. Für dieses Teilsegment der BT-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 Biotechnologie-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 Biotechnologie-basierten Produktgruppen aus der Produktionsstatistik 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 Biotechnologie-Teilsegmenten wurden dann Anpassungen an diesem Grundgerüst vorgenommen, um die spezifischen Charakteristika der Biotechnologie-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 BT-Bereitstellung und BT-Anwendung mit Bezug zu den 71 Wirtschaftssektoren (s. Tabelle Anhang A.1) oder zumindest zu Sektorgruppen (z. B. Transportausgaben, An-

teil Kosten für Rohstoffe oder Handelsleistungen, Anteil Investitionsvolumen am Umsatz) abgefragt werden.

In Tabelle 2.7 ist zusammengefasst, wie die Vorleistungsstrukturen der einzelnen Biotechnologie-Teilsegmente ermittelt wurden. In der Regel konnten in einem ersten Schritt Sektoren des ISIS-Modells als Basis (im Sinne von „Prozesse Biotechnologie-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 Folgenden 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 Biotechnologie-Segment Landwirtschaft wird sich der Einsatz biotechnologischer Verfahren in 2004 – gemessen am produktgruppenspezifischen Produktionsvolumen – zunächst vor allem auf den Pflanzenbau (2/3 des Produktionsvolumens), aber auch auf die Tierhaltung (zu 1/3 des Produktionsvolumens) beschränken. 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 Biotechnologie-Segments Landwirtschaft notwendig, die Vorleistungsstruktur des Landwirtschaft-Teilsektors „Pflanzenbau und Tierhaltung (entsprechend der Bedeutung gewichtet)„ 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. Das Segment „Pflanzenzüchtung" lässt sich ebenfalls dem Pflanzenbau zuordnen. Für die Abschätzung der vorgelagerten Beschäftigungseffekte wurde daher die für den Pflanzenbau geschätzte Vorleistungsstruktur übernommen. Zusätzlich wurden zur Qualitätssicherung Experteninterviews durchgeführt und Entwicklungen seit den 90er-Jahren wurden auf Basis des ISIS-Modellsektors Landwirtschaft nachgezeichnet (z. B. Verflechtungsintensität mit Dienstleistungssektoren).

Tabelle 2-7: Vorgehensweise bei der Ermittlung der Vorleistungsstrukturen für die einzelnen Biotechnologie-Teilsegmente

Teilsegment	ISIS-Modellsektoren mit angepassten Vorleistungsstrukturen
Universitäre und außeruniversitäre FuE-Einrichtungen	Angepasster Sektor „Forschungs- und Entwicklungsleistungen“
Kleine und mittlere Biotechnologieunternehmen	Angepasster Sektor „Forschungs- und Entwicklungsleistungen“
BT-Ausstatter	Sektor „Medizin-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik“
Pflanzenzüchtung	Angepasster Sektor „Landwirtschaft“ auf Basis Vorleistungsstruktur für Pflanzenbau auf Basis von Daten der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
Chemie	Angepasster Sektor „Chemie“
Pharma/Medizin	Leicht angepasster Sektor „Pharmazeutische Erzeugnisse“
Lebensmittelverarbeitung	Sektoren „Herstellung von Nahrungsmitteln und Getränken“
Landwirtschaft	Angepasster Sektor „Landwirtschaft“ auf Basis Vorleistungsstruktur für Pflanzenbau und Tierhaltung (FAL)
Umweltbiotechnik	Durchschnittswert der Sektoren mit Bezug zu Umweltbiotechnik-Warengruppen (z. B. Sektor „Medizin-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik“)

Quelle: Fraunhofer ISI 2006

In der vorliegenden Untersuchung werden Beschäftigungseffekte für die Jahre 2004 und 2020 ermittelt. Statistisch gesicherte sektorspezifische Beschäftigungskoeffizienten liegen vor allem für 2020 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 Biotechnologie-Segmente im Bereich BT-Bereitstellung (z. B. Biotech-KMU und FuE-Einrichtungen) wurde auf Basis der Produktivität des ISIS-Modellsektors „Forschung und Entwicklung“ Anpassungen vorgenommen.

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 biotechnologiespezifischen 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 Biotechnologie-Teilsegment berücksichtigt wurde, welche Investitionsvolumina für einen gezielten Aufbau von Biotechnologie-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 Biotechnologie-Teilsegmente Submodule gebildet und ins ISIS-Modell integriert.

Die hieraus resultierenden Beschäftigungseffekte „BT-Vorleistung" (indirekt und investitionsinduziert) in den vorgelagerten Zulieferersektoren für die neun Biotechnologie-Teilsegmente (BT-Bereitstellung und BT-Anwendung) werden in Abschnitt 2.5 zusammen mit den direkten Beschäftigungseffekten, an die die vorgelagerten Effekte gekoppelt sind, zusammenfassend dargestellt.

2.5 HAUPTREIBER FÜR DIE BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE

Im nachfolgenden Abschnitt 2.5 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 2.5 besser zu verstehen und einordnen zu können.

Die Beschäftigungseffekte der Biotechnologie hängen neben den absoluten Größe von Nachfrageimpulsen (z. B. Biotechnologie-Umsatzanteile in den Anwenderbranchen, s. Tabelle 2.5, S. 64) von den konkreten Prozessstrukturen ab. Insbesondere

- der Produktionsmultiplikator (i. S. d. Verflechtungsintensität der Produktion mit vorgelagerten Zulieferersektoren),
- die Importintensität für die wertschöpfende Biotechnologie-Produktion (Biotechnologie-Segmente sowie deren Vorleistungen) und
- die Arbeits- bzw. Beschäftigungsintensität der Wertschöpfungsprozesse

haben Einfluss darauf, wie stark sich die Güterströme mit Bezug zur Biotechnologie auf die inländische Beschäftigung auswirken.

Der **Produktionsmultiplikator** gibt an, in welchem Umfang ein ausgelöster Impuls, d. h. also die in den Biotechnologie-Teilsegmenten der BT-Bereitstellung und

BT-Anwendung direkt stattfindende „Biotechnologieproduktion" (d. h. die Herstellung und Anwendung/Nutzung biotechnologischer Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen) durch den Bezug notwendiger Vorleistungsgüter (s. Abschnitt 2.3) 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 Mio. € an direkter Biotechnologieproduktion eine weitere Mio. € an vorgelagerten Inputs benötigt wird.

Die Analysen der Produktionsmultiplikatoren zeigen deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Biotechnologie-Teilsegmenten. In den forschungsintensiven Bereichen der Universitäten/Forschungseinrichtungen bzw. der Biotechnologie 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 Biotechnologie-Teilsegmenten fallen die vorgelagerten Beschäftigungseffekten daher in der Regel[14] 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 Biotechnologie-Teilsegmenten fallen die vorgelagerten Beschäftigungseffekten daher in der Regel im Vergleich zu den direkten Beschäftigungseffekten „höher" aus.

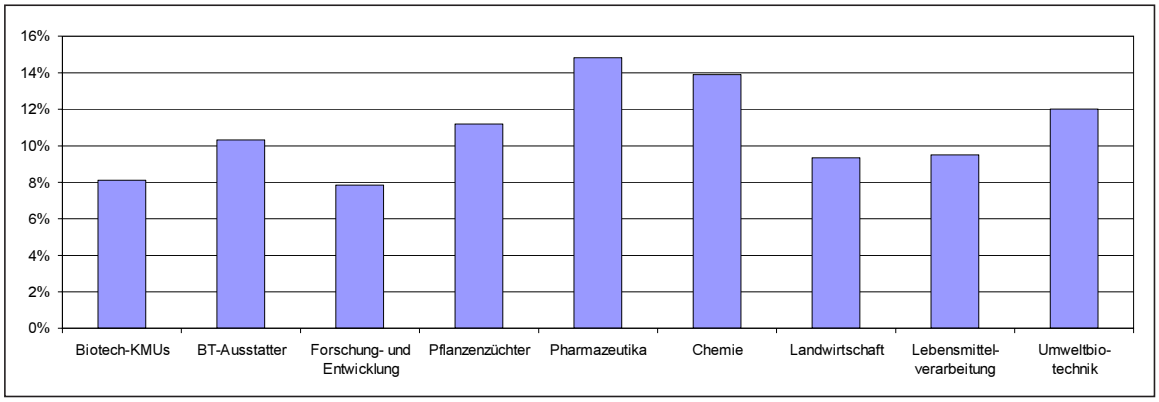
Importanteil: Der Importanteil gibt an, welcher Anteil der inländischen Gesamtproduktion (Summe des direkten und vorgelagerten Bruttoproduktionswertes) auf Importe entfällt. Die im Folgenden ausgewiesenen Importanteile gehen von der in-

14 „In der Regel" deshalb, weil neben dem Umfang der Produktionsverflechtungen die vorgelagerten Beschäftigungswirkungen (BT Vorleistung) auch von den Import- und Beschäftigungsintensitäten in den „angestoßenen" vorgelagerten Zulieferersektoren abhängig sind, wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen.

ländischen Produktion des Endproduktes als Bezugsgröße und nicht von der inländischen Güternachfrage[15] 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 Biotechnologie-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 „Biotechnologie-Teilsegmente" sind in Abbildung 2.5 dargestellt und zeichnen folgendes Bild. Die sehr forschungsintensiven Teilsegmente zur Bereitstellung von Biotechnologie-Wissen („BT-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 Biotechnologie-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 BT-Bereitstellung.

Abbildung 2-5: Biotechnologie-Teilsegmente: Importanteile 2004 (bezogen auf die inländische Produktion)



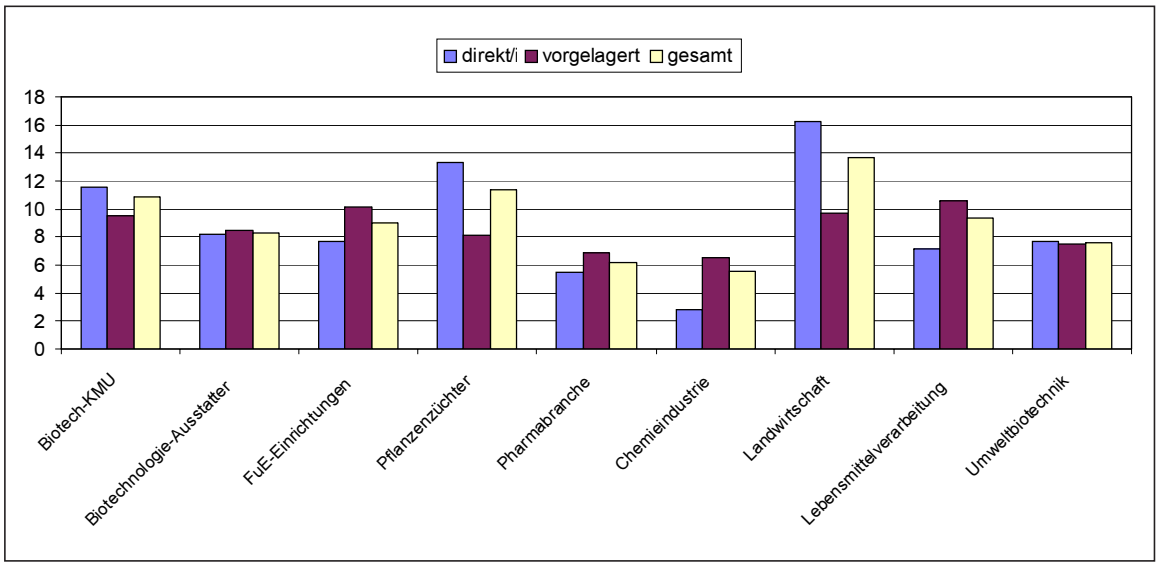
Quelle: Berechnungen von Fraunhofer ISI 2006 (Basis: Aktuelle Input-Output-Tabellen des Statischen Bundesamtes für das Jahr 2002)

15 Hier sind die Importwerte höher, weil nicht nur Vorleistungsgüter, sondern z. T. auch das gesamte Endprodukt importiert wird.

Arbeits- bzw. Beschäftigungsintensität: Die durchschnittliche Beschäftigungsintensität gibt an, wie viele Personen pro Million € inländischer Biotechnologie-Gesamtproduktion beschäftigt werden. Sie setzt sich aus dem gewogenen Durchschnitt der Arbeitsintensitäten in den direkten Biotechnologie-Teilsegmenten und deren vorgelagerten Zulieferersektoren zusammen. Deutliche Unterschiede lassen sich auch hinsichtlich der Arbeitsintensitäten ausmachen (Abbildung 2.6). Betrachtet man die Teilsegmente BT-Bereitstellung, so sind die Arbeits- bzw. Beschäftigungsintensitäten besonders hoch bei forschungsintensiven Universitäten und außeruniversitären FuE-Einrichtungen sowie den Biotechnologie-KMU. Bei den Teilsegmenten BT-Anwendung zeichnen sich die Lebensmittelindustrie sowie die Umweltbiotechnik 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 BT-Anwendung ist zudem kennzeichnend, dass die Arbeitsintensitäten der vorgelagerten Sektoren (in der Regel deutlich) über den Arbeitsintensitäten der Biotechnologie-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 ausgelöste Produktion in vorgelagerten Zulieferersektoren zu relativ (im Vergleich zu den direkten Effekten) hohen Beschäftigungswirkungen führt.

Die den Universitäten/FuE-Einrichtungen sowie Biotech-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 2-6: Biotechnologie-Teilsegmente: Arbeits- bzw. Beschäftigungsintensitäten in 2004 (in Erwerbstätige pro Million € inländischer Produktionswert)

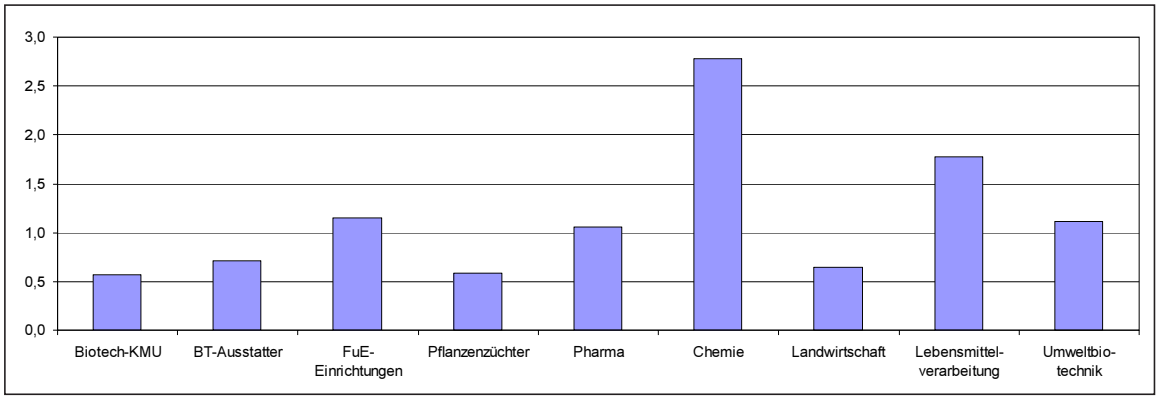


Quelle: Berechnungen von Fraunhofer ISI 2006 (Basis: Aktuelle Input-Output-Tabellen des Statischen Bundesamtes für das Jahr 2002)

Die vorgelagerten Beschäftigungseffekte (BT-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 Biotechnologie erheblich beeinflussen, wurden für alle Biotechnologie-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 BT-Bereitstellung und BT-Anwendung. Ein indirekter Beschäftigungsmultiplikator von 1 besagt demnach, dass an jedem direkten Arbeitsplatz in den Segmenten BT-Bereitstellung oder BT-Anwendung ein weiterer Arbeitsplatz in vorgelagerten Zuliefersektoren (z. B. im Maschinen- und Anlagenbau, Baugewerbe) induziert wird. D. h., je höher der Multiplikator ist, desto mehr werden die Gesamtbeschäftigungseffekte des Biotechnologie-Teilsegments durch die vorgelagerten Effekte bestimmt. Mit anderen Worten: Bei den Biotechnologie-Teilsegmenten mit hohen indirekten Beschäftigungswerten 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 somit die tatsächlichen Beschäftigungspotenziale der

Biotechnologie in erheblichem Maße. Die Untersuchungsergebnisse zu den indirekten Beschäftigungsmultiplikatoren der Biotechnologie-Teilsegmente sind in Abbildung 2-7 zusammenfassend dargestellt.

Abbildung 2-7: Biotechnologie-Teilsegmente: Indirekte Beschäftigungsmultiplikatoren in 2004 zur Bewertung vorgelagerter Beschäftigungseffekte in Zulieferersektoren



Quelle: Berechnungen von Fraunhofer ISI 2006 (Basis: Aktuelle Input-Output-Tabellen des Statischen Bundesamtes für das Jahr 2002)

Am Beispiel der Lebensmittelindustrie sollen einige Zusammenhänge kurz skizziert werden. Andere Sektoren werden im nachfolgenden Abschnitt 2.5.1 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.

Im 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 Biotech-KMU sind z. T. die direkt Beschäftigten der Biotechnologie-Ausstatter. Teile der vorgelagerten Beschäftigungseffekte in der Pharma- und Chemieindustrie sind z. B. die direkt Beschäftigten in den Biotech-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 2.5.1 z. B. nur Summenwerte (über alle Biotechnologie-Segmente sowie BT-Bereitstellung und BT-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 Biotechnologie-Teilsegmente (z. B. Summe BT-Bereitstellung direkt plus vorgelagert oder Summe BT-Anwendung direkt plus vorgelagert) ausgewiesen. Auch wird kein Summenwert insgesamt (d. h. Summe BT-Bereitstellung und BT-Anwendung direkt plus vorgelagert) ausgewiesen in dem Sinne „die Biotechnologie schafft insgesamt über alle Biotechnologie-Segmente X Arbeitsplätze", da hier Doppelzählungen wissenschaftlich nicht sauber herausgerechnet werden können.

- **Problem der „Abhängigkeitsintensität" zur Biotechnologie:** 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 BT-Bereitstellung und BT-Anwendung um stark oder weniger stark durch die Biotechnologie beeinflusste Felder handelt. Wie jedoch die Ausführungen in Abschnitt 2.2.3.3, S. 47 ff. gezeigt haben, hat die Biotechnologie in den unterschiedlichen Biotechnologie-basierten Produktgruppen einen unterschiedlichen Einfluss auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Biotechnologie-Teilsegmente und innerhalb dieser Segmente auf die verschiedenen Produktgruppen. Vor diesem Hintergrund sind die im nachfolgenden Abschnitt 2.5.1 ausgewiesenen Beschäftigungszahlen zum Biotechnologieeinsatz zu interpretieren. Mit anderen Worten: Jeder direkte und indirekte Arbeitsplatz wird dort gleich bewertet (i. S. v. „alle Biotechnologie-Jobs sind gleich"), unabhängig davon, ob der Einfluss der Biotechnologie auf die Wettbewerbsfähigkeit sehr gering oder sehr hoch ist. Ein direkter bzw. indirekter vorgelagerter Ar-

beitsplatz in der Landwirtschaft in 2004 wird demnach gleich bewertet wie ein Arbeitsplatz in der Pharmaindustrie, obgleich die Ausführungen in Abschnitt 2.2.3.3 gezeigt haben, dass der Arbeitsplatz in der Pharmaindustrie bereits in 2004 stärker durch die Biotechnologie beeinflusst wird. Ein detaillierter differenzierter Ausweis in diesem Kontext, z. B. in „X Arbeitsplätze mit geringem und Y Arbeitsplätze mit starkem Biotechnologie-Bezug" ist auf Grund der derzeitigen statistischen Datenbasis nicht möglich. Auch hier wären umfangreichere Primärerhebungen erforderlich. Trendaussagen wurden dort wo es möglich war bereits in Abschnitt 2.2.3.3 (u. a. beim produktgruppenspezifischen Antwortverhalten) abgeleitet.

2.5 GESAMTÜBERSICHT ALLER BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE 2004 UND 2020 (BT-ANWENDUNG, BT-BEREITSTELLUNG, BT-VORLEISTUNG)

2.5.1 Brutto-Beschäftigungseffekte 2004 und 2020

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 Biotechnologie in Deutschland abgleitet. Mit Hilfe des Fraunhofer Input-Output-Modells ISIS wurden dann auf Basis der durch die Biotechnologie induzierten ökonomischen Nachfrageimpulse makroökonomische Wirkungsanalysen für die Jahre 2004 und 2020 durchgeführt. Hierbei standen vor allem die absoluten Beschäftigungseffekte der Biotechnologie im Fokus der Untersuchungen. Die Input-Output-Modellberechnungen

- **umfassen positive direkte Brutto-Beschäftigungseffekte der Biotechnologie-Teilsegmente (BT-Bereitstellung und BT-Anwendung)**, d. h. die in Deutschland mit der Bereitstellung von Biotechnologie-Know-how in Universitäten/FuE-Einrichtungen, kleinen und mittelständischen Biotechnologieunternehmen, Biotechnologie-Ausstattern und Pflanzenzüchtungsunternehmen sowie der Nutzung von Biotechnologie-Know-how in den Anwenderindustrien der Pharmabranche, Chemieindustrie (inkl. Bioethanol), Lebensmittelindustrie sowie Landwirtschaft und Umweltbiotechnik (jeweils inkl. Biogasanlagen) verbundenen direkten Beschäftigungseffekte.

- **umfassen positive Brutto-Vorleistungseffekte der „Biotechnologie-Teilsegmente" (BT-Vorleistung):** Durch ihre Investitionstätigkeiten und Ausgaben für Vorleistungskäufe sind die Biotechnologie-Teilsegmente BT-Bereitstellung und BT-Anwendung an der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung beteiligt. Diese Lieferverflechtungen mit anderen Wirtschaftssektoren bewirken zusätzliche indirekte vorgelagerte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte in Zulieferersektoren.
- **umfassen nur positive Beschäftigungseffekte:** Neben den positiven Brutto-Beschäftigungseffekten aus dem Zuwachs bei der Bereitstellung und Nutzung von Biotechnologie-Know-how entstehen aber auch negative Beschäftigungseffekte. Diese negativen Effekte bzw. negativen Impulse entstehen u. a. auf Grund einer geringeren Verwendung (im Sinne einer absoluten und/oder relativen Schrumpfung) bei „konventionellen" Produkten (z. B. chemiebasierte Pharmaprodukte, 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 Biotechnologie-Prozessen, Produkten und Dienstleistungen gegenüber traditionellen Prozessen, Produkten und Dienstleistungen mit sich bringt (z. B. Biotechnologie-Forschungsförderung, Subventionen und -Steuerbefreiungen für biogene Kraftstoffe) gesamtwirtschaftlich durch Minderausgaben an anderer Stelle (u. a. sinkende private Konsumausgaben auf Grund von Steuererhöhungen) kompensiert werden müssen. Diese Vorgehensweise bei den Berechnungen von negativen Beschäftigungseffekten würde eine in sich geschlossene Bilanzierung der gesamtwirtschaftlichen Effekte eines zusätzlichen Einsatzes von Biotechnologie-Prozessen, -Produkten und -Dienstleistungen gewährleisten. Die Berechnung derartiger negativer 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 Anwenderbranchen berücksichtigt werden: Wenn Deutschland im FuE- und Produktionsbereich nicht auf international wettbewerbsfähige Biotechnologie-Prozesse, -Produkte und -Dienstleistungen setzt, die in Deutschland erforscht, entwickelt und möglichst lange (industriell) produziert werden, 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 Biotechnologie-Teilsegmente detailliert beschrieben, bevor in Abschnitt 2.5.2 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 2.1 und 2.2 beschrieben, gibt es im Bereich der Biotechnologie (ebenso wie bei anderen neuen Technologien) 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 angegeben. 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 („wahrscheinlicher Korridor"). Die Grenzen sind dabei zu verstehen als „pessimistische und optimistische Marktanteilsabschätzung". Die Unter- und Obergrenzen der Beschäftigungseffekte für das Jahr 2020 können als langsame und schnelle Diffusion bzw. Marktdurchdringung interpretiert werden. Die Einflussfaktoren auf die Diffusionsgeschwindigkeit wurden ausführlich in Abschnitt 2.2.6 beschrieben.

Die direkten Beschäftigungseffekte der Biotechnologie-Teilbereiche BT-Bereitstellung und BT-Anwendung sowie deren vorgelagerten (indirekten und investitionsinduzierten) Beschäftigungseffekte sind in Tabelle 2.8 zusammenfassend dargestellt. Bei den ausgewiesenen Erwerbstätigen handelt es sich um Angaben in Vollzeitäquivalenten (FTE). Die Ergebnisse zeichnen folgendes Bild:

- **BT-Bereitstellung:** Die größte Beschäftigungswirkung (Summe aus direkten und vorgelagerten Effekten) geht in 2004 mit rund 108.900-118.200 Erwerbstätigen von den Universitäten und außeruniversitären FuE-Einrichtungen aus, gefolgt von den Biotechnologie-Ausstattern mit ca. 40.500 Beschäftigten. Dem-

gegenüber ist die Beschäftigungswirkung von kleinen und mittelständischen Biotechnologieunternehmen – auch unter Berücksichtigung der Vorleistungseffekte – mit etwa 18.800 Beschäftigten vergleichsweise gering. Die Pflanzenzüchtungsunternehmen vereinen rund 3.600-4.300 Beschäftigte auf sich. Für das Jahr 2020 ergibt sich folgendes Bild: Etwa 122.500-132.900 Erwerbstätige können den Universitäten und außeruniversitären FuE-Einrichtungen, ca. 43.800-56.100 Beschäftigte den Biotechnologie-Ausstattern, etwa 19.900-25.400 Beschäftigte den kleinen und mittelständischen Biotechnologieunternehmen und rund 3.900-4.600 Beschäftigte den Pflanzenzüchtungsunternehmen zugerechnet werden.

- **BT-Anwendung:** Die höchste Zahl an induzierten 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 mit ca. 113.100-205.600 Beschäftigten die Landwirtschaft. Demgegenüber ist die Beschäftigungswirkung in den anderen Teilsegmenten vergleichsweise gering. Auf Grund hoher Vorleistungseffekte folgt die Chemie mit etwa 37.000-55.500 Erwerbstätigen, vor der Pharmaindustrie (rund 25.600-41.800 Beschäftigte) und der Umweltbiotechnik (ca. 17.900-24.800 Beschäftigte). Für das Jahr 2020 ergibt sich folgendes Bild: Rund 293.6700-552.700 Erwerbstätige können der Lebensmittelindustrie und etwa 181.600-293.400 Beschäftigte der Landwirtschaft zugerechnet werden, gefolgt von der Chemiebranche mit etwa 82.100-164.300 Erwerbstätigen, vor der Pharmaindustrie (rund 40.500-90.000 Beschäftigte) und der Umweltbiotechnik (ca. 43.100-64.600 Beschäftigte).

Tabelle 2-8: Zusammenfassung direkte, indirekte/induzierte Brutto-Beschäftigungswirkungen in den Szenarien 2004 und 2020

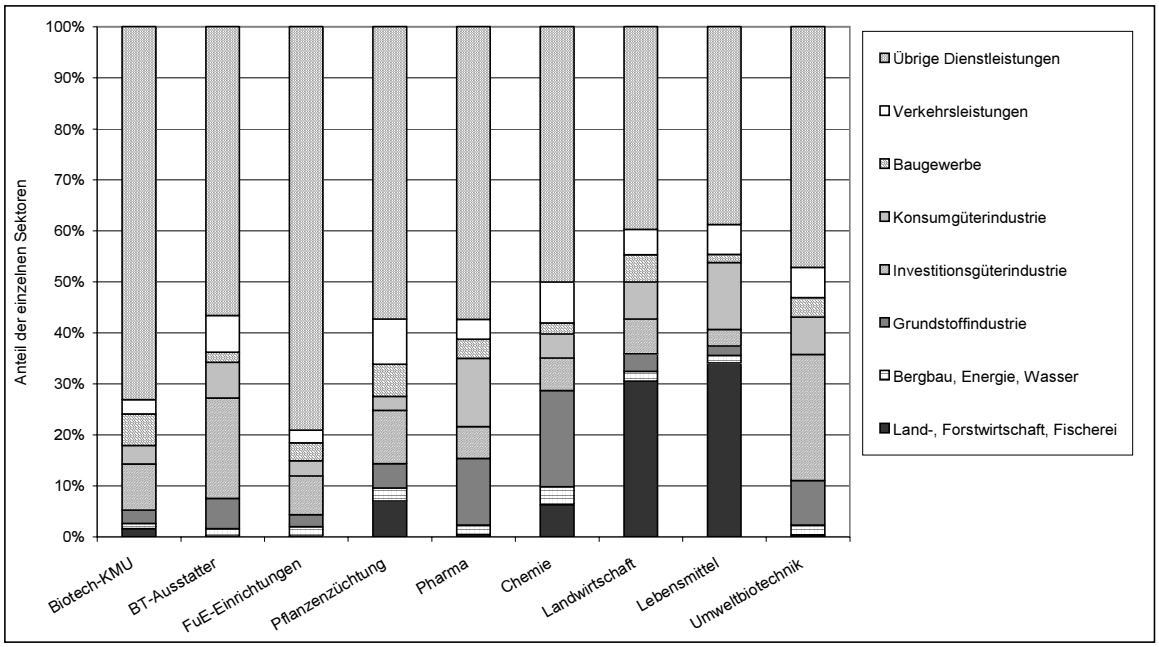
	Direkte Brutto-Erwerbstätige (in Tsd. FTE)		**BT-Vorleistung**: Indirekte/ induzierte Brutto-Erwerbstätige (in Tsd. FTE)		Brutto-Erwerbstätige **gesamt** (in Tsd. FTE)	
	2004	2020	2004	2020	2004	2020
Szenarien (Summe 1+2)	**257,7- 443,0**	**368,7- 595,9**	**n.v. ***	**n.v. ***	**n.v. ***	**n.v. ***
1. BT-Bereitstellung	**88,6 - 93,4**	**97,1 - 113,0**	**83,2 - 88,4**	**93,0 - 106,1**	**n.v. ***	**n.v. ***
- Universitäten/FuE-Einrichtungen	50,5 - 55,0	56,6 - 61,4	58,2 - 63,2	65,9 - 71,5	108,9 - 118,2	122,5 - 132,9
- Biotechnologie-KMU	12,0	12,2 - 15,6	6,8	7,7 - 9,9	18,8	19,9 - 25,4
- Biotechnologieausstatter	23,7	25,8 - 33,0	16,9	18,0 - 23,1	40,5	43,8 - 56,1
- Pflanzenzüchtung	2,3 - 2,7	2,6 - 3,0	1,3 - 1,6	1,4 - 1,6	3,6 - 4,3	3,9 - 4,6
2. BT-Anwendung	**169,1-349,6**	**271,6 - 482,9**	**217,4 - 471,2**	**369,4 - 682,1**	**n.v. ***	**n.v. ***
- Pharmaindustrie	12,4 - 20,4	17,8 - 39,6	13,1 - 21,5	22,7 - 50,5	25,6 - 41,8	40,5 - 90,0
- Chemiebranche	9,8 - 14,7	18,0 - 35,9	27,2 - 40,8	64,2 - 128,3	37,0 - 55,5	82,1 - 164,3
- Lebensmittel	69,6 - 177,7	108,0 - 203,2	123,4 - 315,2	185,7 - 349,5	192,9 - 493,0	293,7 - 552,7
- Landwirtschaft	68,8 - 125,1	107,4 - 173,5	44,3 - 80,6	74,2 - 119,8	113,1 - 205,6	181,6 - 293,4
- Umweltbiotechnik	8,5 - 11,8	20,4 - 30,6	9,4 - 13,1	22,7 - 34,0	17,9 - 24,8	43,1 - 64,6

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006 (Rundungsfehler möglich).
FTE = Vollzeitäquivalente. n.v. * = nicht verfügbar (Problem der Doppelzählung)
Zum Problem der Doppelzählungen: Beim Ausweis von Summenwerten entstehen zum Teil erhebliche Doppelzählungen, weshalb bestimmte Summenwerte nicht ausgewiesen werden können. Am **Gesamt-Summenwert BT-Vorleistung** (BT-Bereitstellung plus BT-Anwendung) soll dies illustriert werden: Die Anwenderbranchen (z. B. Pharma- und Chemiebranche) beziehen Biotechnologie-basierte Vorleistungsgüter von Biotech-KMU (z. B. industrielle Enzyme) oder Biotechnologieausstattern (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 Biotech-KMU sind somit zu bestimmten (schwer bzw. nicht quantifizierbaren) Anteilen auch in den Vorleistungen der Pharma- und Chemiebranche berücksichtigt. Eine Aufsummierung über BT-Bereitstellung und BT-Anwendung ist daher nicht möglich. 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 noch hinzu, dass auf Grund der oben beschriebenen Vorleistungsverflechtungen viele indirekt Beschäftigte im Bereich BT-Anwendung direkt Beschäftigte im Bereich BT-Bereitstellung sind. Zudem beziehen Pharmaunternehmen Vorleistungen von der Chemieindustrie oder Biotech-KMU Vorleistungen von den Ausstattern. Daher können Brutto-Erwerbstätige gesamt für die BT-Bereitstellung, BT-Anwendung und BT-Anwendung plus BT-Bereitstellung nicht ausgewiesen werden.

- **BT-Vorleistung:** Die Bedeutung der vorgelagerten Beschäftigungseffekte sind in Summe sowohl in 2004 als auch in 2020 größer als die direkten Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie. Die Effekte sind für die einzelnen Biotechnologie-Teilsegmente sehr unterschiedlich. Bei den Biotech-KMU, den Biotechnologie-Ausstattern und den Pflanzenzüchtungsunternehmen 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 das Doppelte bis Dreifache der direkten Beschäftigungswirkung. In den übrigen Biotechnologie-Teilsegmenten sind die direkten und vorgelagerten Beschäftigungswirkungen in etwa gleich hoch.

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 2.8):

Abbildung 2-8: Sektorale Aufteilung der vorgelagerten indirekten Beschäftigungseffekte (BT-Vorleistung) der Biotechnologie-Segmente BT-Bereitstellung und BT-Anwendung



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

Es ist eine relativ hohe Bedeutung des Dienstleistungsbereichs zu erkennen, der in den meisten Fällen zwischen 40 und 60 % der vorgelagerten Beschäftigten ausmacht. Bei FuE-Einrichtungen sowie den kleinen und mittleren Biotechnologieunternehmen sind die Dienstleistungen sogar für rund 75-80 % der in den vorgelagerten Sektoren induzierten Beschäftigten verantwortlich. Für die

Lebensmittelverarbeitung und 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 Biotechnologie-Teilbereiche 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 Biotechnologieausstatter und die Umweltbiotechnik 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 Landwirtschaft (aber auch die Fischerei) mit ihrer hohen Arbeitsintensität maßgeblich zur vorgelagerten Beschäftigungswirkung beiträgt. Die absoluten Beschäftigungseffekte der in Abbildung 2.8 dargestellten sektoralen Aufteilung der indirekten vorgelagerten Beschäftigungseffekte sind in Tabelle 2.9 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 2-9: Sektorale Aufteilung vorgelagerte Beschäftigungseffekte BT-Bereitstellung und BT-Anwendung im Jahr 2004 (in Tsd. Erwerbstätige FTE)

Jahr 2004	**BT-Vorleistung von BT-Bereitstellung**				**BT-Vorleistung von BT-Anwendung**				
Beschäftigung (in Tsd. Erwerbstätige FTE)	Biotech-KMU	BT-Ausstatter	FuE-Einrichtungen	Pflanzenzüchter	Pharma	Chemie	Landwirtschaft	Lebensmittel	Umweltbiotechnik
Land-, Forstwirtschaft, Fischerei	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	1,7-2,6	13,5-24,6	42,1-107,4	0,0
Bergbau, Energie, Wasser	0,1	0,2	1,1-1,2	0,0	0,2-0,4	0,9-1,4	0,9-1,6	1,8-4,6	0,2
Grundstoffindustrie	0,2	1,0	1,4-1,5	0,1	1,7-2,8	5,1-7,7	1,5-2,8	2,3-5,9	0,8-1,2
Investitionsgüterindustrie	0,6	3,3	4,4-4,8	0,1-0,2	0,8-1,3	1,7-2,6	3,0-5,5	4,0-10,1	2,3-3,2
Konsumgüterindustrie	0,2	1,2	1,7-1,9	0,0	1,8-2,9	1,3-1,9	3,2-5,9	16,2-41,5	0,7-1,0
Baugewerbe	0,4	0,3	2,1-2,2	0,1	0,5-0,8	0,6-0,9	2,4-4,3	2,0-5,0	0,4-0,5
Verkehrsleistungen	0,2	1,2	1,4-1,6	0,1	0,5-0,8	2,2-3,3	2,2-4,0	7,2-18,4	0,6-0,8
Übrige Dienstleistungen	5,0	9,6	46,0-50,0	0,7-0,9	7,5-12,3	13,6-20,4	17,6-32,0	47,8-122,2	4,4-6,2
Summe	**6,8**	**16,9**	**58,2-63,2**	**1,3-1,6**	**13,1-21,5**	**27,2-40,8**	**44,3-80,6**	**123,4-315,2**	**9,4-13,1**

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006 (FTE = Vollzeitäquivalente)

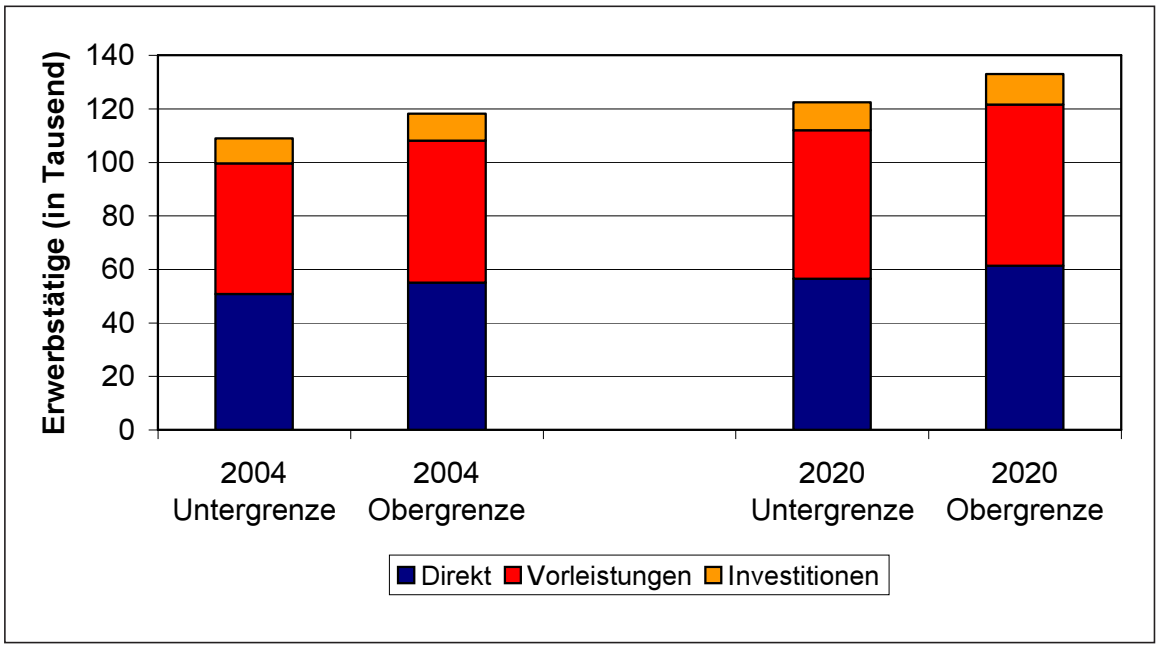
Im Folgenden werden für alle neun Biotechnologie-Teilsegmente die detaillierten Beschäftigungseffekte dargestellt, differenziert nach direkten, indirekten (durch den Kauf von Vorleistungsgütern) und investitionsinduzierten Effekten.

BT-Bereitstellung: Universitäten und außeruniversitäre FuE-Einrichtungen

Für das Teilsegment Universitäten und außeruniversitäre FuE-Einrichtungen ergeben sich die in Abbildung 2.9 dargestellten Brutto-Beschäftigungseffekte: Die Zahl der Erwerbstätigen steigt von 108.900-118.200 in 2004 auf rund 122.500-132.900 in 2020.

Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte: In 2004 induziert jeder der 50.500-55.000 direkten Biotechnologie-Arbeitsplätze weitere ca. 1,15, d. h. insgesamt 58.400-63.200 Arbeitsplätze in vorgelagerten Sektoren (davon entfallen 9.400-10.200 auf Investitionen). Der Multiplikatorenwert der indirekten und (investitions-) induzierten Beschäftigungseffekte liegt in 2020 bei etwa 1,17. Dieser gleich bleibende Multiplikatorwert stellt sich deshalb ein, weil sich die Produktivität in den direkten Bereichen ähnlich entwickelt wie in den Bereichen BT-Vorleistung (z. B. Verflechtung mit anderen öffentlichen FuE-Einrichtungen und unternehmensbezogenen Dienstleistungen) in Summe.

Abbildung 2-9: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Universitäten und außeruniversitäre FuE-Einrichtungen



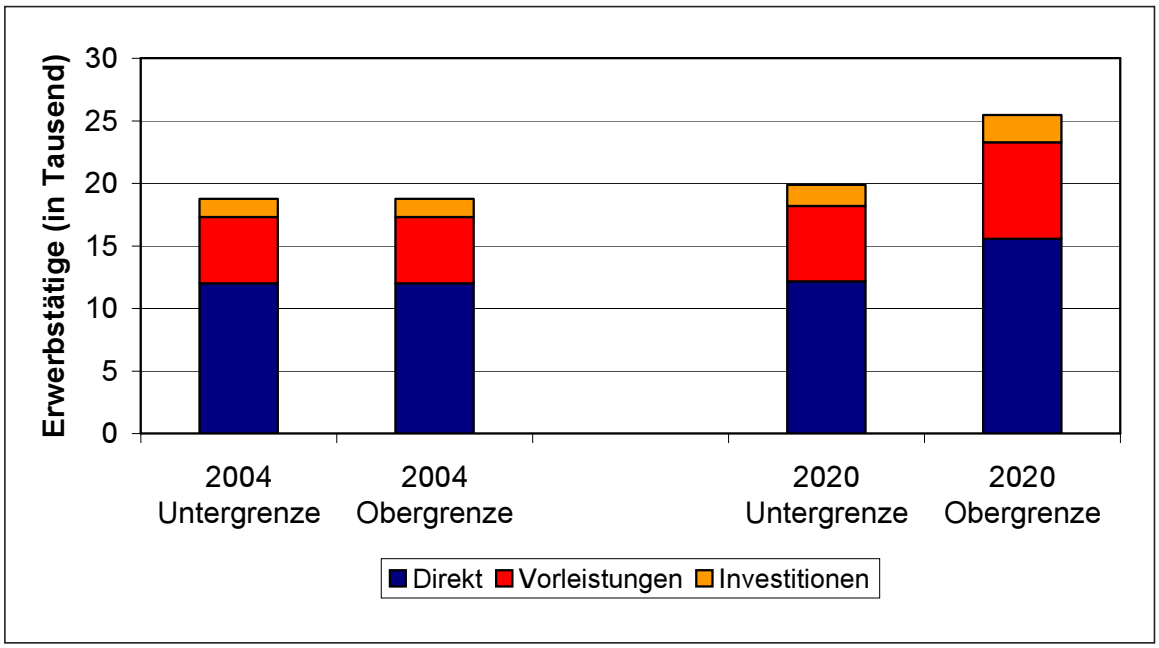
Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

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 %.

BT-Bereitstellung: Biotech-KMU

Für das Teilsegment kleine und mittelständische Biotechnologieunternehmen ergeben sich die in Abbildung 2.10 dargestellten Brutto-Beschäftigungseffekte: Die Zahl der Erwerbstätigen steigt von 18.800 in 2004[16] auf rund 19.900-25.400 in 2020.

Abbildung 2-10: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Biotech-KMU



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte: In 2004 induziert jeder der 12.000 direkten Biotechnologie-Arbeitsplätze weitere ca. 0,56, d. h. insgesamt ca. 6.800 Arbeitsplätze in vorgelagerten Sektoren (davon entfallen 1.500 auf Investitionen). Der Multiplikatorenwert der indirekten und (investitions-) induzierten Beschäftigungseffekte ist in 2020 mit 0,63 etwas höher.

Im gesamten Betrachtungszeitraum sind rund 64 % (2004) bis 61 % (2020) der Gesamtbeschäftigten mit den direkt Beschäftigten verknüpft, ca. 8 % entfallen auf investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte. Der Anteil der indirekten Beschäftig-

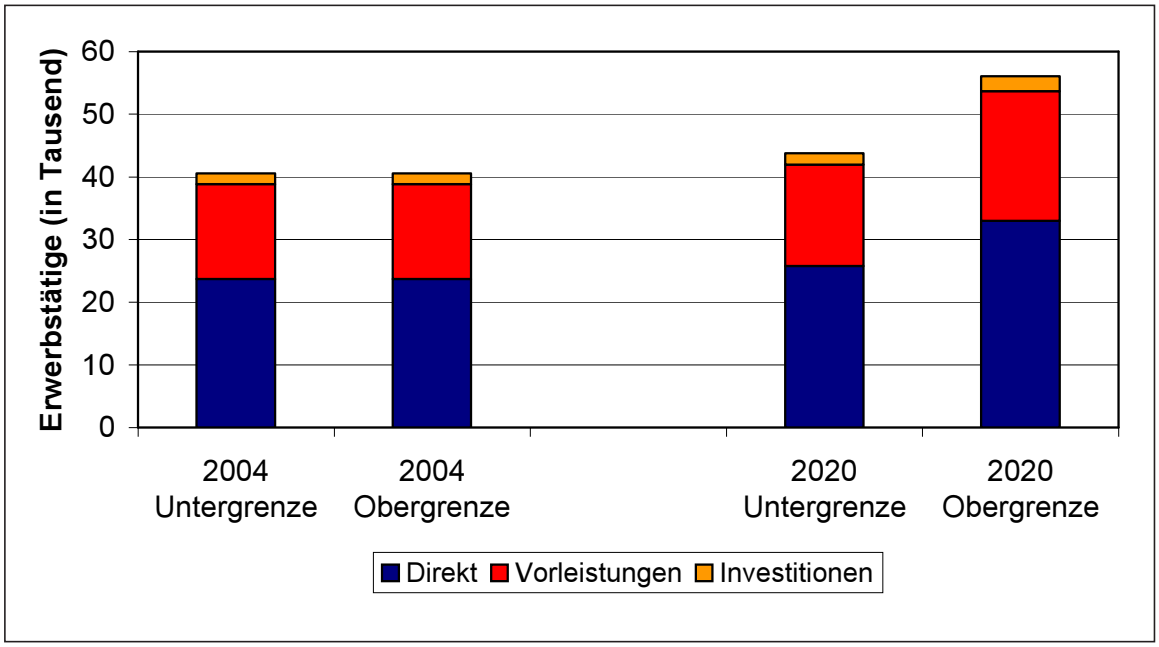
16 Die direkten 2004-Werte konnten mit „Sicherheit" bestimmt werden (s. Abschnitt 2.1.2.1). Daher sind die Unter- und Obergrenze in diesem Teilsegment für das Jahr 2004 identisch.

ten in vorgelagerten Sektoren steigt leicht von ca. 28 % in 2004 auf 30 % in 2020. 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.

BT-Bereitstellung: Biotechnologie-Ausstatter

Für das Teilsegment Biotechnologie-Ausstatter ergeben sich die in Abbildung 2.11 dargestellten Brutto-Beschäftigungseffekte: Die Zahl der Erwerbstätigen steigt von 40.500 in 2004[17] auf rund 43.800-56.100 in 2020.

Abbildung 2-11: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Biotechnologie-Ausstatter



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte: In 2004 induziert jeder der 23.700 direkten Biotechnologie-Arbeitsplätze weitere ca. 0,71, d. h. insgesamt 16.900 Arbeitsplätze in vorgelagerten Sektoren (davon entfallen 1.700-10.200 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

17 Die direkten 2004-Werte konnten mit „Sicherheit" bestimmt werden (s. Abschnitt 2.1.2.2). Daher sind die Unter- und Obergrenze in diesem Teilsegment für das Jahr 2004 identisch.

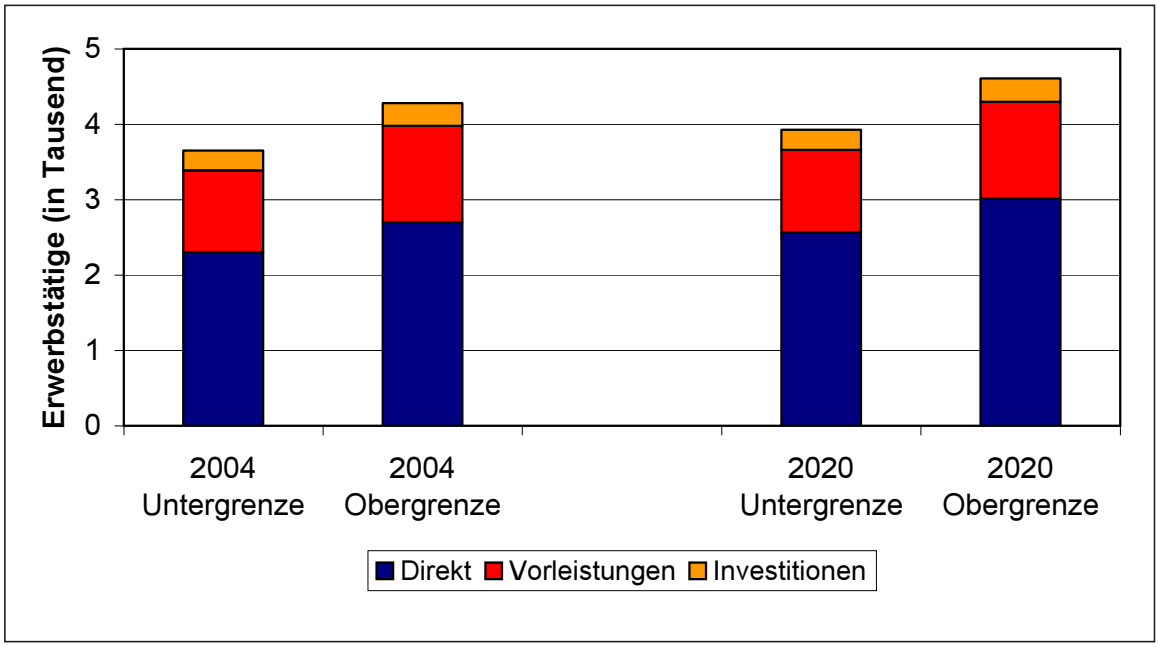
ähnlich entwickelt wie in den Bereichen BT-Vorleistung in Summe, weshalb sich der Multiplikatorwert nur wenig ändert.

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 %.

BT-Bereitstellung: Pflanzenzüchtung

Für das Teilsegment Pflanzenzüchtung ergeben sich die in Abbildung 2.12 dargestellten Brutto-Beschäftigungseffekte: Die Zahl der Erwerbstätigen steigt von 3.600-4.300 in 2004 auf rund 3.900-4.600 in 2020.

Abbildung 2-12: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Pflanzenzüchtung



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

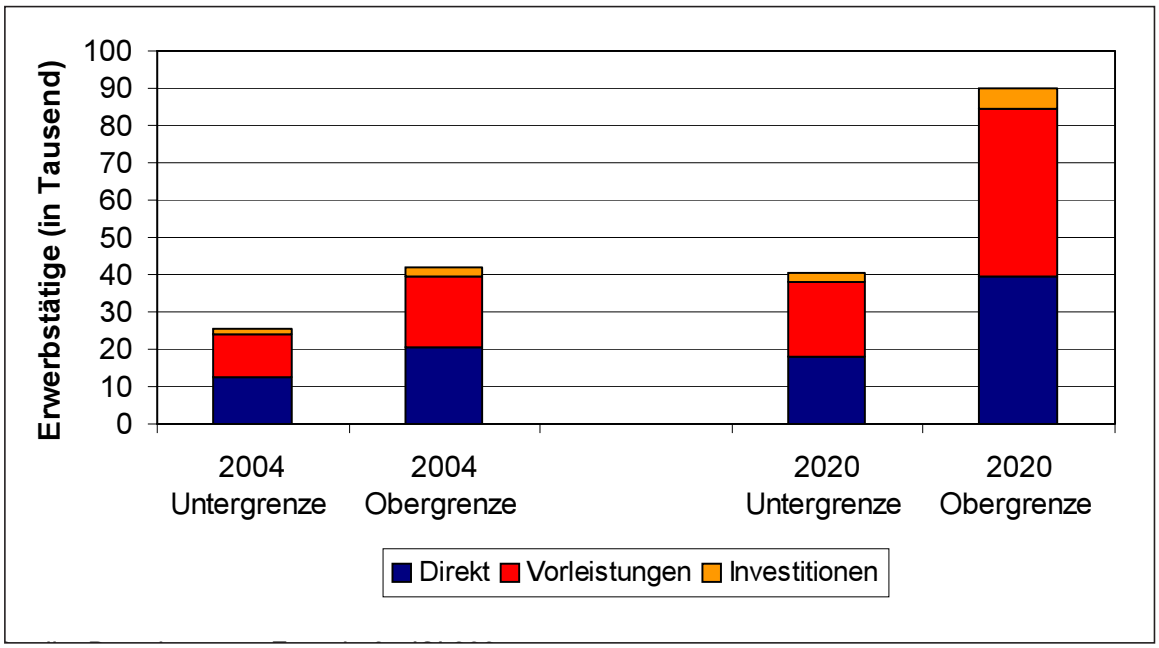
Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte: In 2004 induziert jeder der 2.300-2.700 direkten Biotechnologie-Arbeitsplätze weitere ca. 0,59, d. h. insgesamt 1.300-1.600 Arbeitsplätze in vorgelagerten Sektoren (davon entfallen rund 300 auf Investitionen). Der Multiplikatorenwert der indirekten und (investitions-) induzierten Beschäftigungseffekte sinkt bis 2020 leicht auf 0,53. Ein wichtiger Grund hierfür ist: Die Produktivitätsentwicklungen in den direkten Bereichen sind etwas geringer als die in den vorgelagerten Zulieferersektoren, weshalb die direkt Beschäftigten etwas an Bedeutung gewinnen und der vorgelagerte Beschäftigungsbereich leicht an Bedeutung verliert.

Im gesamten Betrachtungszeitraum sind rund 63 % (2004) bis 65 % (2020) der Gesamtbeschäftigten mit den direkt Beschäftigten verknüpft, ca. 7 % entfallen auf investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte. Der Anteil der der indirekten Beschäftigten in vorgelagerten Sektoren fällt leicht von 30 % in 2004 auf 28 % in 2020.

BT-Anwendung: Pharmabranche

Für das Teilsegment Pharmabranche ergeben sich folgende Brutto-Beschäftigungseffekte (Abbildung 2.13): Die Zahl der Erwerbstätigen steigt von 25.600-41.800 in 2004 auf rund 40.500-90.000 in 2020.

Abbildung 2-13: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Pharmabranche



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte: In 2004 induziert jeder der 12.400-20.400 direkten Biotechnologie-Arbeitsplätze weitere ca. 1,05, d. h. insgesamt 13.100-21.500 Arbeitsplätze in vorgelagerten Sektoren (davon entfallen rund 1.400-2.200 auf Investitionen). Der Multiplikatorenwert der indirekten und (investitions-) induzierten Beschäftigungseffekte steigt bis 2020 auf 1,2. 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 arbeitsintensiven Zulieferersektoren (z. B. FuE-Dienstleistungen, unternehmensbezogene Dienstleistungen).

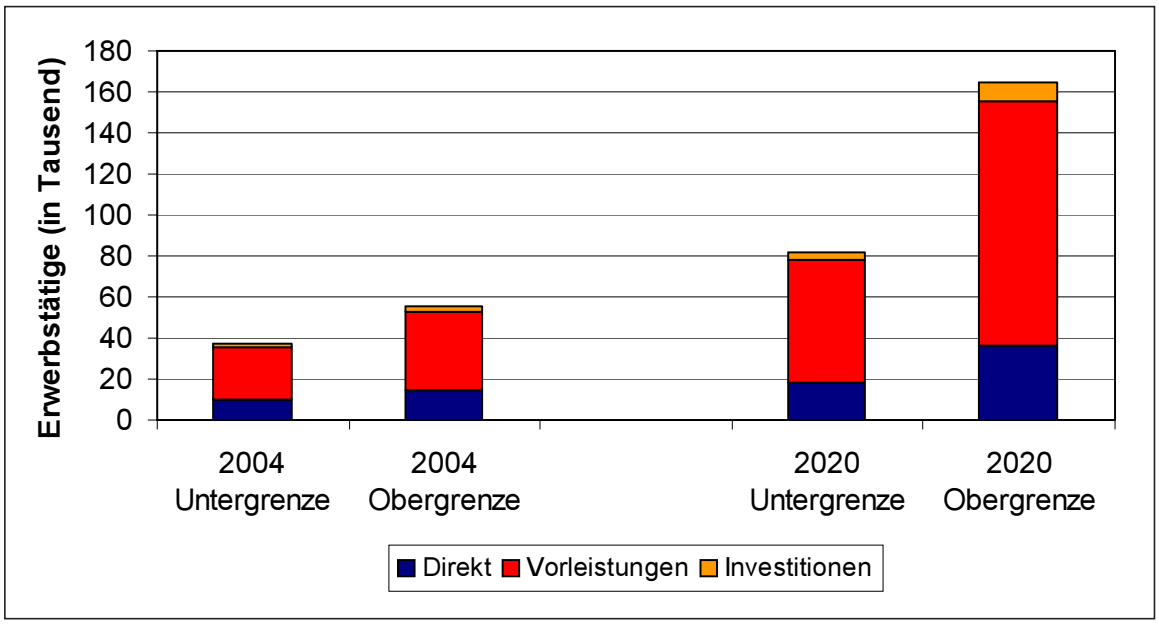
Im gesamten Betrachtungszeitraum sind rund 49 % (2004) bis 44 % (2020) der Gesamtbeschäftigten mit den direkt Beschäftigten verknüpft, ca. 5 % (2004) bis 6 %

(2020) entfallen auf investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte. Der Anteil der indirekten Beschäftigten in vorgelagerten Sektoren steigt von ca. 46 % in 2004 auf 50 % in 2020 an. Ein Grund hierfür sind wie oben beschrieben die hohen Produktivitätsfortschritte in der Pharmabranche im Vergleich zu den Zulieferersektoren.

BT-Anwendung: Chemieindustrie

Für das Teilsegment Chemieindustrie ergeben sich die in Abbildung 2.14 dargestellten Brutto-Beschäftigungseffekte: Die Zahl der Erwerbstätigen steigt von 37.000-55.500 in 2004 auf rund 82.100-164.300 in 2020.

Abbildung 2-14: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Chemieindustrie



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte: In 2004 induziert jeder der 9.800-14.700 direkten Biotechnologie-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 2020 auf 3,6. Dies ist der höchste Multiplikatorwert von allen Biotechnologie-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 arbeitsintensiven dienstleistungsorientierten Zulieferersektoren. Zudem gewinnt Bioethanol bis 2020 an Be-

deutung. 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 somit aus dem Chemiesektor selbst kommt.

Im gesamten Betrachtungszeitraum sind rund 26 % (2004) bis 22 % (2020) 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 73 % in 2020 an. Ein Grund hierfür sind wie oben beschrieben die hohen Produktivitätsfortschritte in der Chemiebranche im Vergleich zu den Zulieferersektoren.

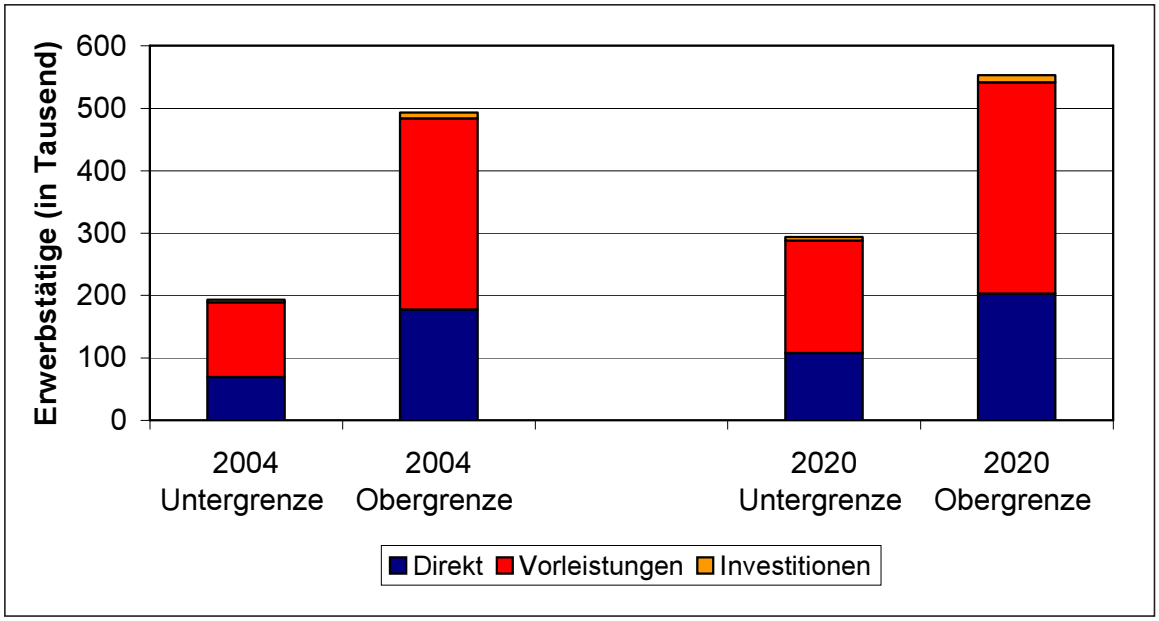
BT-Anwendung: Lebensmittelindustrie

Für das Teilsegment Lebensmittelindustrie ergeben sich die in Abbildung 2.15 dargestellten Brutto-Beschäftigungseffekte: Die Zahl der Erwerbstätigen steigt von 192.900-493.000 in 2004 auf rund 293.600-552.700 in 2020.

Gründe für die hohe Bandbreiten in diesem Segment dürften sein, dass die Akteure bei der angenommenen Definition der modernen Biotechnologie (s. Abschnitt 1.3) die Anwendungsfelder unterschiedlich abgrenzen. Zudem dürfte hier ein gewisser Bias auftreten: Obgleich die Akteure gebeten wurden, die Fragen aus Branchensicht und nicht aus der eigenen Unternehmenssicht zu beantworten, zeigt sich, dass meist die Unternehmen, die bereits heute sehr aktiv in der Biotechnologie sind, deutlich höhere Marktdurchdringungsraten angaben als diejenigen, die in geringerem Umfang im Biotechnologie-Bereich aktiv sind. Mit anderen Worten: Die Varianz der Antworten hinsichtlich der Biotechnologie-Umsatzanteile war größer als in vielen anderen Biotechnologie-Segmenten (ähnlich groß war die Varianz in der Landwirtschaft). Die hohen Werte sowie die Zuwachsraten spiegeln folgenden Sacherhalt wider: Viele für die Lebensmittelindustrie relevante biotechnologische Methoden, Prozesse und Produkte sind bereits erforscht und am Markt eingeführt (s. Abschnitt 2.2.2und 2.2.3.3). 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 höhere Zuwachsraten erwarten. Diejenigen, die die Marktdurchdringung bereits heute als hoch ansehen (meist Unternehmen, die bereits heute sehr aktiv in Biotechnologie-Nischenmärkten sind), erwarten zwar noch Zuwächse bis 2020, diese fallen aber geringer aus, weil bereits für 2004 hohe Werte angegeben wurden. Daher steigt die Obergrenze weniger stark als die Untergrenze.

Abbildung 2-15: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Lebensmittelindustrie



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte: In 2004 induziert jeder der 69.600-177.700 direkten Biotechnologie-Arbeitsplätze weitere ca. 1,77, d. h. insgesamt 123.300-315.300 Arbeitsplätze in vorgelagerten Sektoren (davon entfallen rund 3.600-9.200 auf Investitionen). Der Multiplikatorenwert der indirekten und (investitions-) induzierten Beschäftigungseffekte sinkt bis 2020 leicht auf 1,72. 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 indirekten Multiplikator ist die starke Verflechtung mit der arbeitsintensiven deutschen Landwirtschaft und Fischerei.

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 %.

BT-Anwendung: Landwirtschaft

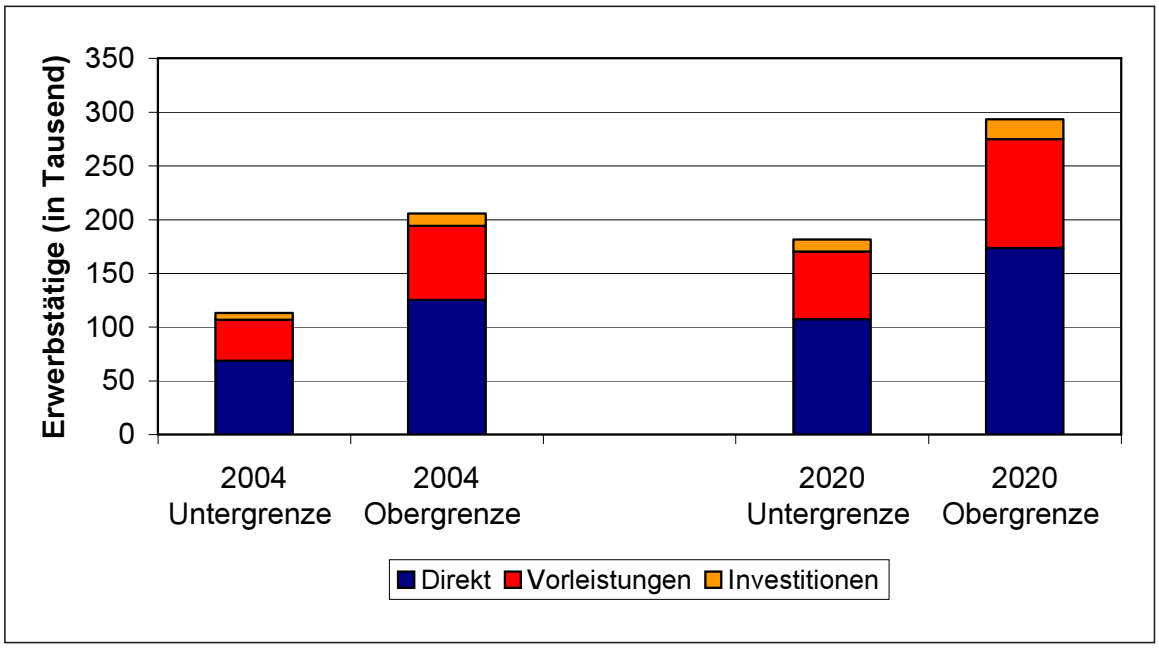
Für das Teilsegment Landwirtschaft ergeben sich die in Abbildung 2.16 dargestellten Brutto-Beschäftigungseffekte:[18] Die Zahl der Erwerbstätigen steigt von 113.100-205.600 in 2004 auf rund 181.600-293.400 in 2020. Die Gründe für die hohen Bandbreiten, die hohen Beschäftigungswerte und Zuwachsraten sind ähnliche wie im vorigen Segment „Lebensmittelindustrie". Daher wird an dieser Stelle auf eine ausführliche Erklärung verzichtet.

Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte: In 2004 induziert jeder der 68.800-125.100 direkten Biotechnologie-Arbeitsplätze weitere ca. 0,64, d. h. insgesamt 44.300-80.600 Arbeitsplätze in vorgelagerten Sektoren (davon entfallen rund 6.400-11.600 auf Investitionen). Der Multiplikatorenwert der indirekten und (investitions-) induzierten Beschäftigungseffekte steigt bis 2020 leicht an auf 0,69. Die Ursache für den leichten Anstieg liegt in den unterstellten höheren Produktivitätsfortschritten im Landwirtschaftssektor im Vergleich zu den Sektoren in den vorgelagerten Sektoren (z. B. unternehmensbezogene Dienstleistungen und Baugewerbe).

Im gesamten Betrachtungszeitraum sind rund 60 % der Gesamtbeschäftigten mit den direkt Beschäftigten verknüpft, ca. 6 % entfallen auf investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte. Der Anteil der indirekten Beschäftigten in vorgelagerten Sektoren beträgt rund 34 %.

18 Die Effekte beruhen in 2004 vollständig auf der Anwendung biotechnologischer Methoden, Prozesse und Produkte. Gentechnisch veränderte Mechanismen spielen laut schriftlicher Befragung und Expertenmeinung in 2004 keine Bedeutung, gewinnen aber bis 2020 stark an Bedeutung hinzu (s. Abschnitt 2.2.3.3).

Abbildung 2-16: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Landwirtschaft



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

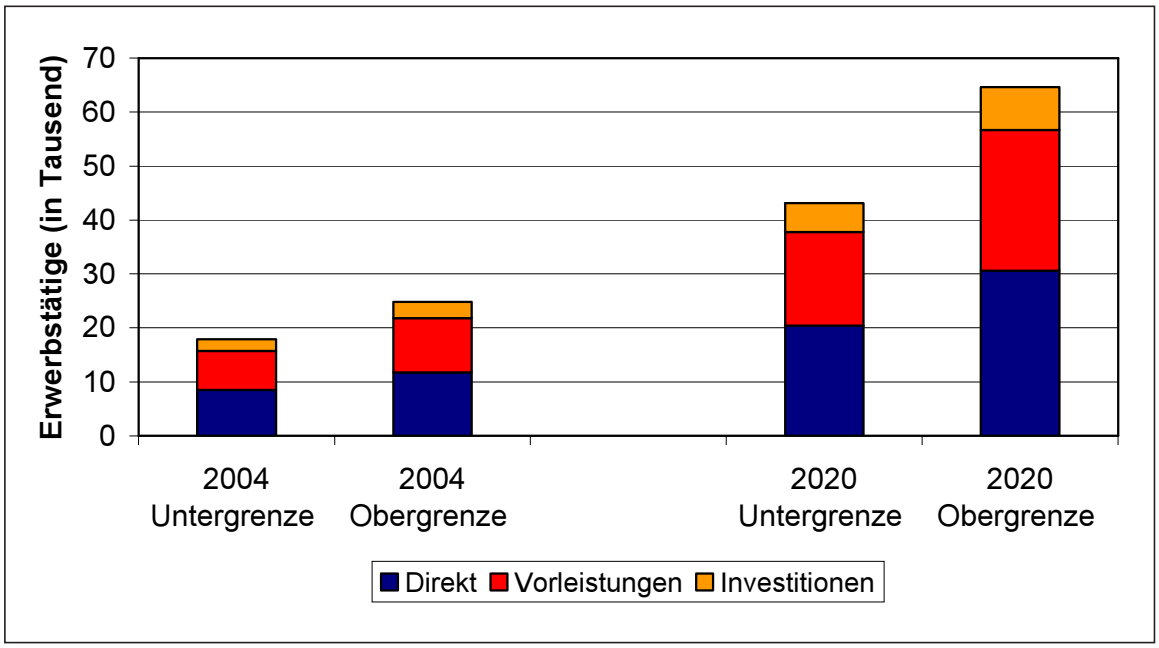
BT-Anwendung: Umweltbiotechnik

Für das Teilsegment Umweltbiotechnik ergeben sich die in Abbildung 2.17 dargestellten Brutto-Beschäftigungseffekte: Die Zahl der Erwerbstätigen steigt von 17.900-24.800 in 2004 auf rund 43.100-64.600 in 2020.

Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte: In 2004 induziert jeder der 8.500-11.800 direkten Biotechnologie-Arbeitsplätze weitere ca. 1,11, d. h. insgesamt 9.400-13.100 Arbeitsplätze in vorgelagerten Sektoren (davon entfallen 2.200-3.000 auf Investitionen). Der Multiplikatorenwert der indirekten und (investitions-) induzierten Beschäftigungseffekte liegt in 2020 unverändert bei 1,11. Ein wichtiger Grund hierfür ist, dass sich die Produktivität in den direkten Bereichen gleich entwickelt wie in den vorgelagerten Zulieferersektoren in Summe.

Im gesamten Betrachtungszeitraum sind rund 48 % der Gesamtbeschäftigten mit den direkt Beschäftigten verknüpft, ca. 12 % entfallen auf investitionsinduzierte Beschäftigungseffekte. Der Anteil der indirekten Beschäftigten in vorgelagerten Sektoren beträgt rund 40 %.

Abbildung 2-17: Direkte, indirekte und investitionsinduzierte Brutto-Beschäftigung 2004 und 2020 für das Teilsegment Umweltbiotechnik



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006

2.5.2 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 Prozesse, Produkte und Dienstleistungen 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 Nachfrage für die Teilsegmente der Biotechnologie, die im vorigen Abschnitt dargestellten quantitativen Beschäftigungseffekte für das Jahr 2004 nach Qualifikationsgruppen diffe-

renziert untersucht. Darauf aufbauend wird abschließend erörtert, inwieweit aktuell und zukünftig Engpässe und besondere Bedürfnisse auf den Biotechnologie-relevanten (Teil-)Arbeitsmärkten zu erwarten sind.

Zunächst folgt eine Darstellung der Qualifikationsstruktur in der Biotechnologie für das Jahr 2004, zu deren Berechnung Daten des Mikrozensus verwendet wurden.[19] Anhand der Wirtschaftszweigsystematik WZ 93 konnten die Ergebnisse auf Sektoren aggregiert, und den verschiedenen Teilsegmenten der Biotechnologie zugeordnet werden. Bei den Biotechnologie-KMU wird auf spezifische Ergebnisse einer aktuellen Studie des IAI (Institut für Angewandte Innovationsforschung) zurückgegriffen. Für die Ermittlung der Qualifikationsprofile in den Vorleistungsindustrien wurden die sektoralen Qualifikationsprofile auf Basis des Mikrozensus in das Fraunhofer-ISIS Input-Output-Modell 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 Biotechnologie-Teilsegmente und den Vorleistungsindustrien sind in Tabelle 2.10 zusammenfassend dargestellt.

19 Der Vorteil dieser Datenquelle liegt in der Berücksichtigung der Selbständigen, andere Datenqullen (z. B. des IAB) erfassen nur die abhängig Beschäftigten.

Tabelle 2-10: Berufliche Qualifikationsprofile in den „Biotechnologie-Teilsegmenten" im Jahr 2004

Qualifikationsprofile der direkt Beschäftigten in den Biotechnologie-Teilsegmenten BT-Bereitstellung und BT-Anwendung												
	BT-Bereitstellung					BT-Anwendung						
	Biotech-KMU *	BT-Ausstatter	FuE-Einrichtungen	Pflanzen-züchter	Summe	Pharma	Chemie	Landwirtschaft	Lebensmittel	Umweltbiotechnik	Summe	**Gesamtwirtschaft**
Erwerbstätige (FTE)	12.000	23.700	50.500-55.000	2.300-2.700	88.600-93.400	12.400-20.400	9.800-14.700	68.800-125.100	69.600-177.700	8.500-11.800	169.100-349.600	
Keinen (formellen) Abschluss	2 %	15 %	8 %	18 %	9 %	12 %	16 %	18 %	21 %	15 %	19 %	16 %
Berufliche Ausbildung	33 %	51 %	26 %	62 %	34 %	53 %	55 %	62 %	64 %	63 %	62 %	57 %
Meister/Techniker	2 %	12 %	8 %	15 %	8 %	10 %	12 %	15 %	10 %	12 %	12 %	11 %
Akademiker	63 %	22 %	58 %	6 %	48 %	25 %	17 %	6 %	6 %	9 %	7 %	16 %
Qualifikationsprofile der indirekt und investitionsinduzierten Beschäftigten in den vorgelagerten Zulieferersektoren (BT-Vorleistung)												
Erwerbstätige (FTE)	6.800	16.900	58.200-63.200	1.300-1.600	83.200-88.400	13.100-21.500	27.200-40.800	44.300-80.600	123.400-315.200	9.400-13.100	217.400-471.200	
Keinen (formellen) Abschluss	14 %	18 %	13 %	16 %	14 %	16 %	17 %	17 %	18 %	17 %	18 %	16 %
Berufliche Ausbildung	47 %	58 %	44 %	58 %	47 %	55 %	57 %	60 %	60 %	59 %	59 %	57 %
Meister/Techniker	10 %	9 %	10 %	10 %	10 %	9 %	9 %	11 %	11 %	9 %	11 %	11 %
Akademiker	29 %	16 %	33 %	16 %	29 %	20 %	16 %	12 %	12 %	14 %	13 %	16 %
Qualifikationsprofile der direkt, indirekt und investitionsinduzierten Beschäftigten (BT-Bereitstellung + BT-Anwendung + BT-Vorleistung)												
Erwerbstätige (FTE)	18.800	40.500	109.000-118.200	3.600-4.300	n.v.	25.600-41.800	37.000-55.500	113.100-205.600	192.900 - 493.000	17.900-24.800	n.v.	
Keinen (formellen) Abschluss	6 %	16 %	11 %	17 %	n.v.	14 %	17 %	17 %	19 %	16 %	n.v.	16 %
Berufliche Ausbildung	38 %	54 %	36 %	60 %	n.v.	54 %	57 %	61 %	61 %	61 %	n.v.	57 %
Meister/Techniker	5 %	11 %	9 %	13 %	n.v.	10 %	10 %	13 %	10 %	11 %	n.v.	11 %
Akademiker	51 %	19 %	45 %	10 %	n.v.	22 %	17 %	8 %	10 %	12 %	n.v.	16 %

Quellen: Berechnungen Fraunhofer ISI 2006 (Datenbasis: Mikrozensus 2004, Input-Output-Tabellen 2002); * Kriegesmann et al. (2005). n.v. = nicht verfügbar (Doppelzählungen)

Bei den direkt in den „Biotechnologie-Teilsegmenten" beschäftigten Personen zeigen sich deutliche sektorale Unterschiede bei der qualifikationsspezifischen Arbeitsnachfrage. Die forschungsintensiven Teilsegmente für die Bereitstellung von Biotechnologie-Wissen (BT-Bereitstellung) haben einen höheren Akademikeranteil als die Teilsegmente der Anwendung (BT-Anwendung). Unter den ca. 88.500-93.400 Erwerbstätigen der BT-Bereitstellung befindet sich ein hoher Anteil an Akademiker mit 48 %, 8 % haben ein Abschluss als Techniker/Meister, 34 % verfügen über einen dualen Berufsbildungsabschluss, 9 % haben keinen beruflichen Abschluss. 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 Biotech-KMU unterstellt. Bei der BT-Anwendung ist das Qualifikationsprofil mit ca. 7 % Akademikern hingegen niedriger. 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 Biotechnologie lassen sich durch die hohe Forschungsintensität bei der Erforschung und Entwicklung neuer/verbesserter biotechnologischer Methoden, Produkte und Verfahren in der Biotechnologie-Bereitstellung begründen.

Die Betrachtung der Qualifikationsprofile bei den Biotechnologie-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 Biotechnologie-Teilsegmente. Die Begründung hierfür liegt darin, dass die benötigten Vorleistungen für die BT-Bereitstellung (z. B. Laborausstattung) und BT-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 2.8). Insgesamt ist der Akademikerbedarf bei den 83.200-88.400 indirekt und investitionsinduzierten Erwerbstätigen der BT-Bereitstellung mit 29 % höher als in der Gesamtwirtschaft, in der BT-Anwendung mit 13 % dagegen niedriger. Insbesondere die forschungsintensiven Teilsegmente der Biotechnologie-KMU und FuE-Einrichtungen haben einen besonders hohen Bedarf an Akademikern, da sie sich forschungs- und wissensintensive Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen bereitstellen.

In Summe ergibt sich für die gesamte Beschäftigung in den einzelnen Biotechnologie-Teilsegmenten ein differenziertes Bild. Insgesamt zeigt sich eine ausgewo-

gene Nachfrage nach allen Ausbildungsgruppen. Einige Teilsegmente (Biotechnologie-KMU, Biotechnologie-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 Biotechnologie

Die Entwicklung der Biotechnologie-Branche und deren Nachfrage nach qualifiziertem Personal benötigt auf der Arbeitsangebotsseite eine entsprechende Ausbildung. Wie die Ausführungen im einleitenden Abschnitt 2.5.1 gezeigt haben, steigen die Biotechnologie-Beschäftigtenzahlen in Summe über die Teilsegmente deutlich an. Damit steigt aber auch entsprechend die Nachfrage nach qualifizierter Beschäftigung mit Biotechnologie-Bezug von 2004 auf 2020 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 biotechnologischer Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen 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 Biotechnologie, sowie die zu erwartende kurz- und langfristige Entwicklung auf den entsprechenden Arbeits(teil)märkten dargestellt.

Besondere Qualifikationsanforderungen in der Biotechnologie

Die Bereitstellung, Anwendung und Diffusion bzw. Marktdurchdringung biotechnologischer Methoden, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen stellen besondere Anforderungen an die Arbeitskräfte, die bisher nur teilweise in die Ausbildung integriert wurden. So wird häufig eine fehlende Interdisziplinarität (z. B. zwischen Biotechnologie und Chemie) in der Ausbildung bemängelt sowie ein unzureichender industrierelevanter Bezug der Ausbildungsinhalte (Flaschel und Sell 2005, Dechema 2005). Bei den kleinen und mittelständischen Biotechnologieunternehmen wird, neben einem hohen Bedarf an Forschungspersonal, zunehmend Personal mit Tätigkeitsübergreifenden Kenntnissen gesucht. Mit zunehmender Marktreife von Biotechnologie-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 erfahrenem 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 Biotechnologie stellt sich die Frage, ob der quantitative Bedarf am benötigten (qualifizierten) Personal am Standort Deutschland kurzfristig gedeckt werden kann. Engpässe können sowohl in den Anwenderbranchen als auch in anderen Teilsegmenten der BT-Bereitstellung auftreten, so z. B. in den Biotech-KMU. Für Letztere ermittelt das IAI (Institut für Angewandte Innovationsforschung) 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.

Für die Anwenderbranchen wirkt das qualifizierte Arbeitsangebot bei den entsprechenden Berufsgruppen gemäß dieser Studie nicht limitierend. Bei diesem Ergebnis muss beachtet werden, dass die „Biotechnologie-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 Biotechnologie 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.[20]

20 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.

Längerfristige Entwicklung bei Angebot und Nachfrage

Eine exakte Zukunftsprojektion für das qualifizierte Arbeitsangebot ist für einen längerfristigen Zeitraum im Bereich der Biotechnologie im Rahmen dieses Projektes nicht möglich.[21] Dennoch können durch die Kombination einer kurzfristigen detaillierten Betrachtung 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 untersuchten 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 Biotechnologie-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 2020 einen deutlichen Einfluss auf das Arbeitsangebot haben.[22] Mit der zukünftig abnehmenden 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).[23] Eine Besonderheit auf dem deutschen Arbeitsmarkt ist das relativ hohe Qualifikationsprofil der älteren Arbeitnehmer zwischen

21 Selbst wenn man die für die Anwendung und Diffusion der Biotechnologie benötigen Akademiker aus den verschiedensten Studienrichtungen (u. a. Chemie, Medizin, Ingenieurswissenschaften, 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 Biotechnologie-Modellsektor wäre mit einer Vielzahl von Annahmen für den Zeitraum von 2005 bis 2020 verbunden und würde den Rahmen dieses Projektes sprengen.

22 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.

23 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).

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.

Das Fachkräfteangebot in den Biotechnologie-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 Biotechnologie-relevanten Studiengänge nur Prognosen bis 2010 verfügbar (Tabelle 2.11).

Tabelle 2-11: 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
Maschbau	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 Ingenieurswissenschaften bis 2010. Allerdings liegen die prognostizieren 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).[24] 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. Insbesondere für die „Biotechnologie-Teilsegmente" wird es zukünftig voraussichtlich noch schwieriger werden, ausreichend qualifiziertes Personal für ihre Arbeitsnachfrage im Jahr 2020 am Standort Deutschland zu bekommen.

24 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).

3 ZUKÜNFTIGE POTENZIALE DER BIOTECHNOLOGIE DURCH KONVERGENZPROZESSE VON SPITZENTECHNOLOGIEN

(Bernd Beckert, Michael Friedewald, Michael Nusser)

Positive Effekte, die sich möglicherweise aus Verbindungen der Biotechnologie zu anderen Zukunftstechnologien (u. a. Nano- und IuK-Technologien) ergeben, werden im Folgenden ausführlicher beschrieben. Im Fokus der nachfolgenden qualitativen Untersuchung steht die aktuell in den USA und Europa geführte Debatte zur Konvergenz von Spitzentechnologien und mögliche sich hieraus ergebende zukünftige Potenziale.

Bei der Konvergenz der Spitzentechnologien („Converging Technologies CT") geht es um das Zusammenwachsen der vier Forschungsfelder Nano-, Bio- und Informationstechnologie sowie der Kognitionswissenschaften[25] (NBIC). Diese Bereiche weisen zunehmend Überschneidungen auf und es wird davon ausgegangen, dass sie in Zukunft zu einem gemeinsamen Forschungsfeld verschmelzen werden. Die Integration und Synergien der vier Spitzentechnologien bilden den Kern der Konvergenzüberlegungen, die im Folgenden in ihren Grundzügen ausgeführt werden. Basis dieser Ausführungen sind Auswertungen zentraler Dokumente der Konvergenzdebatte sowie Internet-Recherchen, Fachartikel und Experteninterviews.

Ausgangspunkt der Konvergenzdebatte bilden nicht wissenschaftliche oder technologische Durchbrüche, sondern konzeptionelle Weiterentwicklungen der Beobachtung, dass die vier beteiligten Disziplinen insbesondere in ihren Überschneidungsbereichen kreative Forschungsfelder entwickelt haben, die als besonders viel versprechend anzusehen sind. Zuerst wurde dies auf der Konferenz „Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology,

25 Die Kognitionswissenschaften umfassen die Teilbereiche der Hirnforschung bzw. der Neurowissenschaften, Informatik/Artificial Intelligence, Linguistik, Ethnologie/Anthropologie, Psychologie und Philosophie.

Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science" im Jahr 2001 in Washington, D.C. thematisiert. Die wichtigsten Impulsgeber der Konvergenz-Debatte in den Vereinigten Staaten, Mihail Roco und William Bainbridge, sind dabei keine aktiven Forscher, sondern Wissenschaftsmanager, die bei der National Nanotechnology Initiative (NNI) bzw. bei der National Science Foundation (NSF) herausragende Positionen innehaben. Seit der Konferenz im Jahr 2001 hat es drei Folgekonferenzen gegeben, die jeweils ausführlich dokumentiert wurden und zur wichtigsten Quelle für Konvergenzbeschreibungen wurden (Roco und Bainbridge 2002; Roco und Montemagno 2004; Bainbridge und Roco 2006; eine Dokumentation der vierten Konferenz liegt noch nicht vor).

Seit 2002 bemüht sich die Europäische Kommission um eine europäische Antwort auf das Phänomen der Konvergenz und hat dazu eine High Level Expert Group eingesetzt, die in verschiedenen Berichten das Konzept der Konvergenz für die Entwicklung der europäischen Wissensgesellschaft fruchtbar zu machen versucht. Dabei hat sie den Begriff „CTECS Converging Technologies for the European Knowledge Society" geprägt (HLEG 2004; Key Technologies Expert Group 2005).[26]

Der Begriff der „Converging Technologies" beschreibt ein neues Forschungsgebiet, das – zumindest unter diesem Oberbegriff – bisher erst wenig wissenschaftliche Ergebnisse produziert hat und als kaum institutionalisiert gelten kann (Beckert und Roloff 2005). In Deutschland wurde das Konvergenz-Thema bisher noch nicht als eigenständiges Thema bearbeitet, d. h. es gibt kein eigenes Forschungsprogramm, das sich explizit auf das Konvergenzprinzip beruft und dieses fördert.[27] Allerdings spielt das Konvergenzthema in den langfristigen Überlegungen des BMBF bereits eine Rolle. Darauf weist ein Papier der Bundesregierung hin („Technologien. Die von morgen. – Komplexität beherrschen", Bonn, Februar 2004), das die Verschmelzung von Bio, Nano, Info und Kognitionswissenschaft als Phänomen kennzeichnet, das tief greifende Auswirkungen auf alle Lebensbereiche haben wird. Tatsächlich ist aber in Deutschland die Zahl der Aktivitäten (Workshops, Konferenzen etc.) bisher gering. Es werden bereits Befürchtungen geäußert, dass Deutsch-

26 Auswertungen der europäischen Debatte und ihrer Differenzen zur amerikanischen finden sich z. B. bei Coenen, Rader, Fleischer 2004; VDI Technologiezentrum 2004; Lopez 2004; Rader 2005; Cameron 2005; Fleischer und Decker 2005.

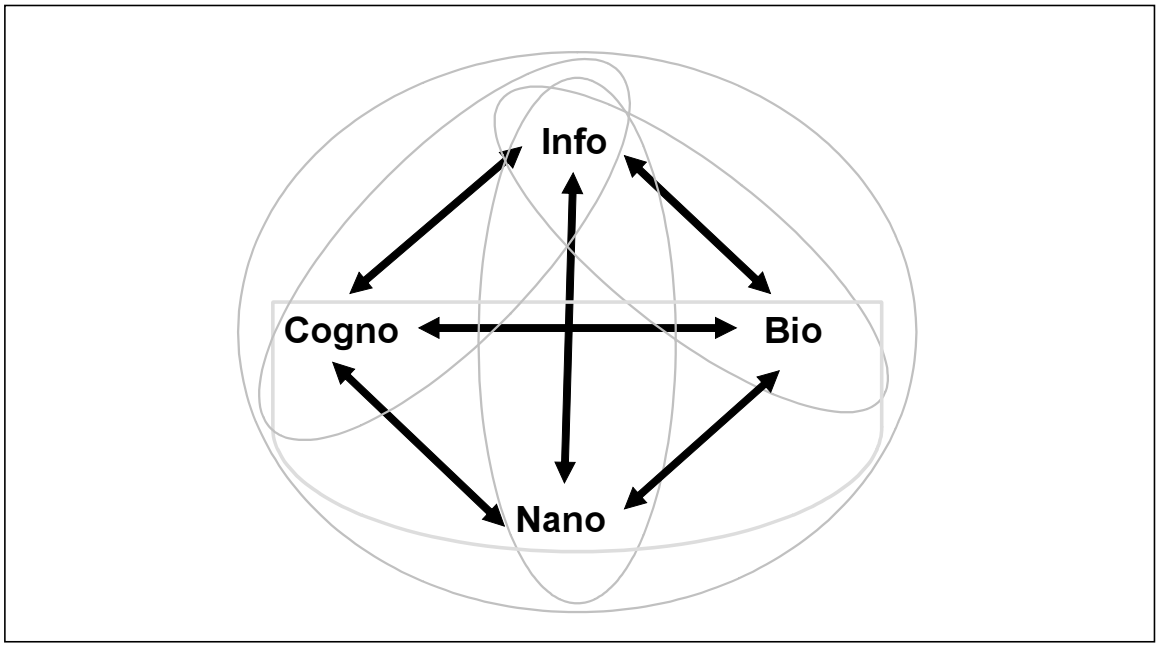
27 Dagegen hat die Beschäftigung mit dem Konvergenzkonzept auf europäischer Ebene bereits immerhin dazu geführt, dass das Referat G.4 bei der Europäischen Kommission künftig „Nanowissenschaften und -technologien-Konvergente Technologien" heißen wird.

land eine bedeutende Entwicklung verpassen könnte. Zudem wird die Vermutung geäußert, dass das deutsche Innovationssystem nicht „passfähig" für die Konvergenz der Spitzentechnologien sei, da die stark disziplinär ausgerichtete Forschung sowie die komplexen föderalen Strukturen sich im internationalen Vergleich hier besonders negativ auswirken würden (Giesecke 2004).

Ausgehend von der amerikanischen Debatte wird Konvergenz als „synergetische Kombination" (Roco und Bainbridge 2002) gesehen, die sehr verschiedenartige neue Forschungs- und Anwendungsfelder hervorbringen kann. Diese reichen von neuen Verfahren zur bildhaften Visualisierung von Denkprozessen über die Entwicklung unterschiedlichster Mensch-Computer-Schnittstellen bis hin zu Neuropharmaka, mit denen sich z. B. die Konzentrations- und Lernfähigkeit steigern lassen. Dabei können entweder alle vier Disziplinen vorhanden sein oder die neuen Anwendungen entstehen im Schnittfeld von nur zwei oder drei Bereichen (Abbildung 3.1).

Wie Verschränkungen zwischen den Disziplinen und Technologien entstehen sollen und welche spezifischen Beiträge erwartet werden, beschreiben Roco und Bainbridge (2002) am Beispiel der Nano-, Bio und Informationstechnik: Von der Nanotechnologie wird erwartet, dass sie neue, effektivere Materialien für elektronische Bauelemente zur Verfügung stellt und von der Biotechnologie, dass sie DNA-basierte Architekturen entwickelt, um die Rechenleistung und Speicherkapazität von Computern drastisch zu erhöhen. Die Fortschritte in der Nano- und Biotechnologie hängen wiederum von computergenerierten Modellen und von Visualisierungen ab, die erst durch besseres Wissen über molekulare Prozesse möglich wurden (Lopez 2004). Von den Kognitionswissenschaften wird erwartet, dass sie die materiellen Grundlagen des menschliche Denkens und Verhaltens erforschen, verstehen und letztlich beherrschen. Dies soll möglich werden durch die Kombination von Forschungsmethoden und -erkenntnissen in der Bio-, Nano- und Computertechnologie. Forschungsergebnisse der Kognitionswissenschaft – nämlich neue Möglichkeiten zur verbesserten Erkenntnis und Kommunikation – sollen dazu führen, dass neue wissenschaftliche und technologische Entdeckungen auf allen anderen Gebieten möglich werden (u. a. Williams und Kuekes 2003).

Abbildung 3-1: Konvergenz von Nano-Bio-Info-Kogno (NBIC)



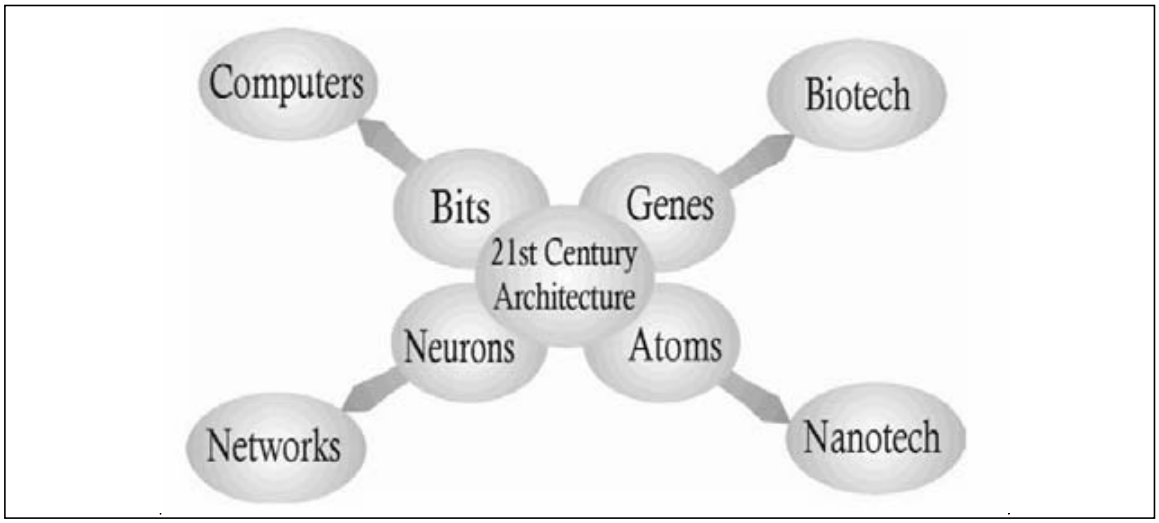
Quelle: Roco und Bainbridge 2002

Lopez (2004) stellt fest, dass wichtige NBIC-Beiträge eine Gemeinsamkeit aufweisen: Sie haben als gemeinsamen Fokus das menschliche Gehirn, das sie als informations- und kommunikationsverarbeitendes System verstehen, dessen Arbeitsweise sich technisch abbilden lässt. Und zwar in einem noch weitergehenden Maße als dies Neurowissenschaftler selbst tun. Die mechanistische Betrachtungsweise findet sich zwar in fast allen neurowissenschaftlichen Arbeiten, hier aber wird die Vorstellung auf Nanostrukturen, DNA-Strukturen und letztlich auf alle Lebensstrukturen erweitert.[28]

Das einigende Strukturprinzip der „Converging-Technologies"-Debatte ist die Betrachtung von kleinen Dingen. Das Leitprinzip für die postulierte Verknüpfung der Disziplinen Nano, Bio, Info und Kogno ist die Betrachtung „kleinster Teile" als Bausteine von Materie und Information. In allen vier Bereichen geht man davon aus, dass künftige wissenschaftlich-technische Durchbrüche durch die Erforschung dieser elementaren Ebene entstehen. Als Bausteine betrachtet man a) die Atome und Moleküle in der Nanotechnologie, b) die Gene in der Biotechnologie, c) die Bits in der Informationstechnik und d) die Neuronen in der Hirnforschung (Abbildung 3.2).

28 Die mechanistische Sichtweise ist gleichzeitig auch einer der größten Kritikpunkte bei der Konvergenzdebatte: Die von ähnlichen Prämissen ausgehende starke Künstliche Intelligenz (KI) ist damit bereits in den 60er- und 70er-Jahren gestartet und gescheitert. U. a. aus diesem Grund ist der Fokus des europäischen CT-Programms auch „engineering for the mind" statt eines „engineering of the mind", das mit dem amerikanischen Forschungsprogramm assoziiert wird (Nordmann 2005).

Abbildung 3-2: Die Wissenschaftsarchitektur des 21 Jahrhunderts



Quelle: Roco und Bainbridge 2003

Vor allem neue US-amerikanische Wissenschaftsprogramme scheinen sich zunehmend an dem Thema Converging Technologies zu orientieren und Forschungen, die im Schnittfeld der NBIC-Disziplinen stattfinden, sollen besonders gefördert werden (vgl. Rader et al. 2006). In Europa wird derzeit eine intensive Debatte darüber geführt, wie die europäische Forschungsförderung auf die Herausforderung der Konvergenz reagieren soll. Aktuell stehen als Anwendungsfelder der Pharmabereich (Behandlung psychosomatischer Krankheiten), die Bio- und Medizintechnik, Mensch-Maschine-Schnittstellen und die Verbesserung von Neuroimaging-Verfahren im Vordergrund. Fleischer und Decker (2005) stellen u. a. fest, dass die medizinische Forschung und Medizintechnik immer tiefer in biochemische und biophysikalische Prozesse eindringen und damit physiologische Vorgänge immer besser verstanden werden. Die grundlegenden Lebensprozesse spielen sich dabei im Nano-Maßstab ab, die wesentlichen Bausteine haben diese Größenordnung. Dabei „ermöglichen Fortschritte bei den Nanotechniken einen verbesserten analytischen Zugang zur Nanowelt, so dass – unterstützt durch die Nanotechnologie – biologische Prozesse und Systeme zunehmend detaillierter analysierbar und in Folge besser verstanden und möglicherweise auch imitierbar, kontrollierbar oder gar manipulierbar werden" (Fleischer und Decker 2005, S. 127).

Auffällig ist, dass in der amerikanischen Debatte potenzielle militärische Anwendungen einen prominenten Platz einnehmen. Dies wird insbesondere im ersten NBIC-Report deutlich, dessen Teil E sich ausführlich mit der „National Security" beschäftigt (Roco und Bainbridge 2001). Converging Technologies werden im Zusammenhang mit der Terrorbekämpfung und der militärischen Schulung betrach-

tet. Die fünf visionären Projekte beschäftigen sich u. a. mit dem „High-Performance Warfighter", mit nicht-invasiven Techniken zur Verbesserung der menschlichen Leistungsfähigkeit, mit unbemannten Militärfahrzeugen sowie mit neuartigen Software-Systemen für die Geheimdienste, mit Möglichkeiten zur Verstärkung von Muskelkraft, mit der Entwicklung eines „Cybersoldiers", der mit fortgeschrittener Umwelt- und Körper-Sensorik zur Unterstützung von Entscheidungen im Kampfeinsatz ausgestattet werden soll, oder mit geeigneten Mensch-Maschine-Schnittstellen, die Soldaten künftig in die Lage versetzen sollen, Kampfflugzeuge, Panzer und andere Geräte nur mit ihren Gedanken zu kontrollieren, d. h. ohne Zwischenschaltung von motorischen Handlungen und letztlich der bewussten Willensentscheidung vorgelagert („prior to thoughts"). Ausgangspunkt ist die neurowissenschaftliche Erkenntnis, dass das Gehirn schneller auf visuell markante Informationen reagieren kann, als der Körper dies z. B. in Form von Bewegung tun kann.

Amerikanische Studien nennen bereits heute auch eine ganze Reihe von Erfolg versprechenden kommerziellen Produkten, vor allem:

- **Produkte/Anwendungen zur Steigerung der physischen und mentalen/psychologischen Fähigkeiten des Menschen:** z. B. künstliche (Sinnes)Organe und Neuroprothesen; Neuro-Pharmakologie; Hirnimplantate für Parkinson- und Epilepsie-Patienten; physiologische selbstregelnde Geräte; Therapieansätze auf Ebene einzelner Zellen; direkte Mensch-Maschine-Kopplung (Gehirn-Computer-Schnittstelle), u. a. zur Steuerung von Gliedmaßen oder Geräten; Verbesserung menschlicher Sehleistungen; neue, nicht-invasive bildgebende Verfahren; Systeme zur Verbesserung der Lebensqualität behinderter Menschen; Echtzeit-Diagnostik von emotionalen Zuständen,
- **Produkte, die außerhalb des menschlichen Körpers eingesetzt werden:** z. B. adaptive technische Systeme; Bio-Informatik-Anwendungen; multimodale Computer-Schnittstellen; „neuromorphic engineering devices and systems",
- **„Hybride" Fertigungsprozesse und Produkte:** z. B. Nano-Bio-Prozesse und Nano-Bio-Engineering, nanoelektronische Elemente nach dem Vorbild biologischer Systeme, Sensoren und Aktoren nach dem Vorbild biologischer Systeme, Biochips mit komplexen Funktionen, molekulare Architekturen.

Ebenfalls aus amerikanischen Studien ist bekannt, dass sich große internationale Technologiekonzerne wie DuPont, IBM, Hewlett Packard, Rockwell Scientific, Intel und Siemens bereits mit der Nutzung der Technologiekonvergenz befassen. Das Forschungsgebiet „NBIC" ist vor allem für forschungs- und wissensintensive Branchen (u. a. die Pharmaindustrie, Biotechnologie-, IuK- und Chemiebranche) von besonderer Bedeutung.

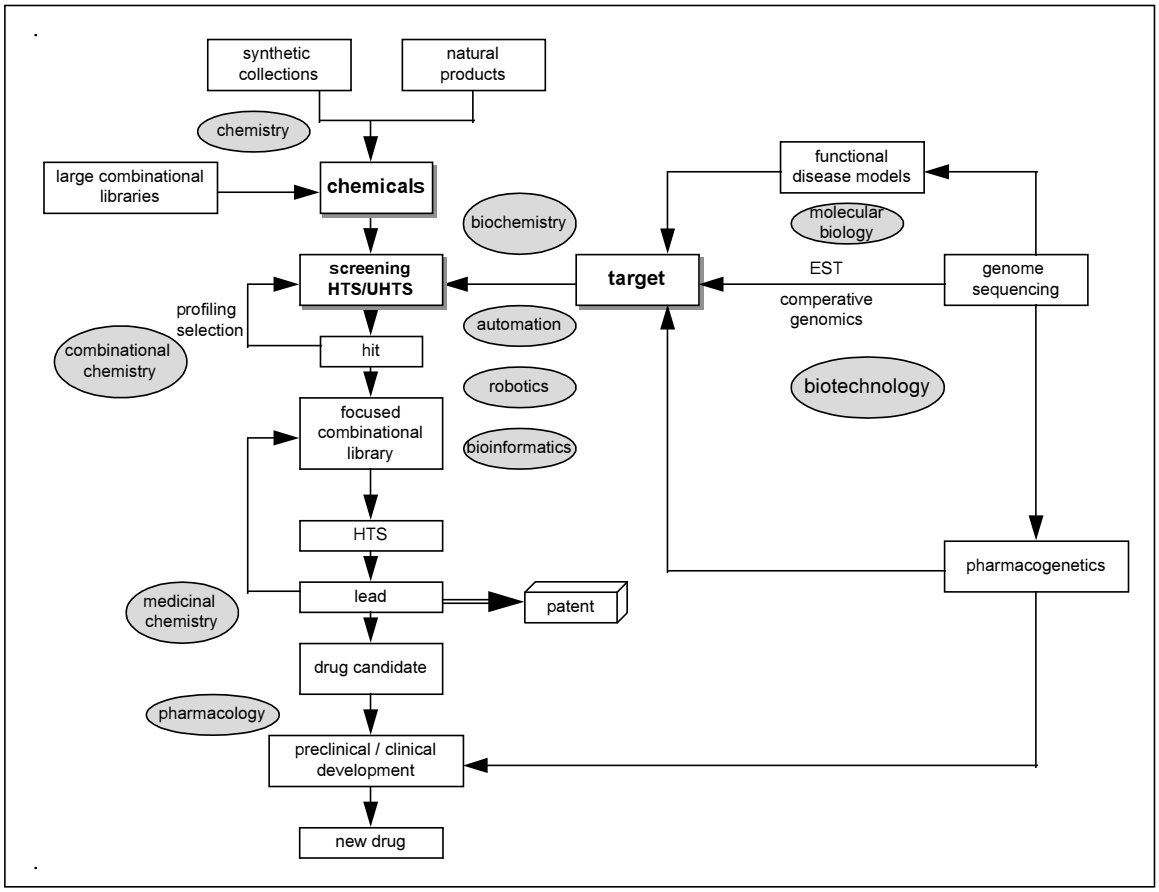
Im Folgenden sollen Konvergenz-Aktivitäten anhand konkreter Beispiele u. a. aus dem Pharmasektor und ausgewählter deutscher Institutionen aufgezeigt werden. Die Beispiele illustrieren, wie das Konzept der Konvergenz bereits in den Forschungs- und Entwicklungsprozess diffundiert ist – oftmals, ohne dass es den jeweils Forschenden bewusst ist, dass sie Teil der Konvergenzentwicklung von Nano-, Bio-, Info- und Cogno sind.

Innovationsprozesse in der Pharmaindustrie

Innerhalb des Pharma-Innovationsprozesses gewinnen seit Anfang der 90er-Jahre biotechnologische Strategien der Wirkstoffentwicklung zunehmend an Bedeutung (Reiss et al. 2000; Hinze et al. 2001; BPI 2003). Die Biotechnologie dient dabei einerseits als FuE-Werkzeug zur Identifikation neuer Wirkorte und Wirkstoffe und andererseits zur Entwicklung und Herstellung von pharmazeutischen Produkten („Biopharmazeutika") in den Bereichen Diagnostika, Therapeutika, Impfstoffe. Zukünftig wird kaum ein neues Medikament auf den Markt kommen, das nicht in einer oder mehreren Phasen seines Entwicklungsprozesses mit biotechnologischen Methoden bearbeitet wird oder von biotechnologischem Know-how profitiert. Aus diesem Grund ergeben sich neue Strategien der Wirkstoffentwicklung, die durch hohe Komplexität, Interdisziplinarität sowie den Einsatz mehrerer Technologien gekennzeichnet sind (Abbildung 3.3).

Durch weltweite Genomsequenzierungsaktivitäten werden viele neue potenzielle Wirkorte für Medikamente identifiziert. Diese Wirkorte dienen als Grundlage für den Suchprozess (Screening) nach der Wirksamkeit neuer chemischer oder biologischer Substanzen. Mit Hilfe neuer, IuK-basierter hocheffizienter Screening-Systeme – insbesondere „High-Throughput- und Ultra-High-Throughput-Systeme (HTS, UHTS)" – wird geprüft, wie gut die Bindungseigenschaften zwischen einzelnen Molekülen sind. Ein Charakteristikum dieser neuen pharmazeutischen Forschungsprozesse ist, dass eine sehr große Menge an Daten und Informationen gesammelt, analysiert und ausgewertet werden müssen. Dies erfordert den Einsatz und die Anwendung neuester Methoden und (IuK-)Technologien (kombinatorische Chemie, Genomsequenzierung, High-Throughput-Screening). Die Automatisierung von Forschungsprozessen (u. a. Einsatz von Robotern) sowie die Bioinformatik gewinnen hierbei zunehmend an Bedeutung.

Abbildung 3-3: Neue Strategien zur Wirkstoffentwicklung



Quelle: Reiß und Hinze 2000

Konvergenzaspekte in der Hirnforschung am Beispiel des Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS)

Im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Arbeit des FIAS steht die Erforschung komplexer Systeme in der belebten und unbelebten Natur, darunter der Struktur und Dynamik von elementarer Materie, von neuronalen Netzwerken, Biomolekülen, atomaren Clustern und Nanostrukturen. Prof. Dr. Wolf Singer vom Frankfurter Max-Planck-Institut für Hirnforschung, einem der Gründungsdirektoren des FIAS sieht in der Neurobiologie ein Modell für die künftige Wissenschaftsorganisation und betont die Notwendigkeit, interdisziplinäre Projekte in flexiblen Institutsstrukturen durchführen zu können: „In vielen Bereichen der Biologie geht es heute darum aufzuklären, nach welchen Prinzipien sich Vielkomponentensysteme selbst organisieren, welcher Art die dynamischen Wechselwirkungen sind, wie in den Relationen der verteilten Aktivitäten Informationen gespeichert, verarbeitet und ausgewertet werden. In all diesen Fällen muss die Aktivität der Komponenten erfasst und mit eigens dafür entwickelten mathematischen Verfahren analysiert werden. Dies erfor-

dert ein hohes Maß an interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Experimentatoren und Theoretikern, eine Kooperation, die neue, flexible Institutsstrukturen erfordert“ (Singer 2004, S. 13f).

Das FIAS, das im Rahmen eines Public Private Partnerships zwischen der Universität und privaten Stiftern gegründet und seit Dezember 2004 als gemeinnützige Stiftung registriert ist, führt international renommierte Wissenschaftler aus den Bereichen der Theoretischen Biologie, Theoretischen Chemie, Theoretischen Neurowissenschaften und Theoretischen Physik zusammen. Dem wissenschaftlichen Beirat des FIAS gehören 13 Mitglieder an; allen voran die drei Nobelpreisträger Prof. Günter Blobel (New York), Prof. Hartmut Michel (Frankfurt) und Prof. Horst Störmer (New York). Wissenschaftlich arbeitet das FIAS mit benachbarten Forschungsinstitutionen aus dem Rhein-Main-Gebiet zusammen, darunter der Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt, den Frankfurter Max-Planck-Instituten für Hirnforschung und für Biophysik sowie dem Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz. Ebenso bestehen enge Verbindungen zu den naturwissenschaftlichen Fachbereichen und Forschungszentren an der Universität Frankfurt, darunter dem Center for Membrane Proteomics, Center for Biomolecular Resonance, Stern-Gerlach-Zentrum und Center for Scientific Computing. Die am FIAS tätigen Wissenschaftler engagieren sich auch in der Lehre. Sie halten Vorlesungen und betreuen Doktoranden an der Frankfurt International Graduate School for Science (FIGSS), die im Jahr 2004 ihren Betrieb aufnahm.

Neuroelektronik als Anwendungsfeld der Konvergenz

Der Durchbruch in der Neuroelektronik wird Prof. Fromherz, einem Direktor am Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried bei München zugeschrieben. Ihm ist es als erstem gelungen, eine Verbindung zwischen Nervenzellen und Computern herzustellen. Inzwischen wird in Zusammenarbeit mit Infineon die industrielle Fertigung des Neuro-Chips vorangetrieben (Trepte 2003). Sowohl das Nervensystem als auch Computer verwenden elektrische Signale. Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Biochemie arbeiten deshalb seit Jahren an der Frage, wie man beide Systeme direkt miteinander vernetzen könnte. Dabei werden Zellen über einen Chip mit elektrischen Impulsen gereizt und antworten darauf mit Aktionspotenzialen, die als Signale gemessen werden. Um in ihren Experimenten die Signale von lebenden Nervenzellen und Zellverbänden messen und an ein Computersystem weiterleiten zu können, bauten die Wissenschaftler Computerchips zunächst selbst. Im Februar 2003 wurde auf der Fachkonferenz „International Solid-State Circuits Conference“ in San Francisco ein Biosensor-Chip mit rund 16.400 Sen-

soren vorgestellt, der eine Erweiterung des in Martinsried gefertigten Chips darstellte. Dieser wurde von Infineon Technologies in enger Kooperation mit den Max-Planck-Forschern um Prof. Peter Fromherz entwickelt. Dieser Neuro-Chip eröffnet neue Einblicke in die biologische Funktion von Nervenzellen, neuronalen Netzen und Hirngewebe. Der neue Chip der CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)-Technologie eröffnet insbesondere in den Neurowissenschaften viel versprechende Möglichkeiten, da elektrische Signale von Nervenzellen, den so genannten Neuronen, und ganzen Neuronenverbänden im intakten Gewebe auf dem Neuro-Chip über Sensoren in bislang unerreichter Genauigkeit aufgenommen und verarbeitet werden können.

Im Gegensatz zu klassischen Methoden der Neurophysiologie werden die Zellen auf dem Neuro-Chip durch die Messungen nicht gestört oder verletzt. Doch statt wie bislang einzelne Zellen sequentiell zu untersuchen, kann der jetzt entwickelte Neuro-Chip auf seinem Sensorfeld mehrere Zellen parallel vermessen. Jede aufgebrachte Nervenzelle liegt dabei auf mindestens einem Sensor. Dieser verstärkt und verarbeitet die extrem schwachen elektrischen Signale (maximal 5 mV) der Zelle. Das wird möglich, weil der Abstand zwischen den Sensoren (acht Tausendstel Millimetern) kleiner ist als der Durchmesser eines Neurons (zehn bis 50 Tausendstel Millimeter). Jeder Sensor kann mindestens 2.000 Werte pro Sekunde aufzeichnen, die in ihrem zeitlichen Verlauf als farbiges Gesamtbild dargestellt werden. Die Forscher können damit erkennen, wie ganze Zellverbände über einen festgelegten Zeitraum auf elektrische Stimulation oder bestimmte Substanzen reagieren.

Von der Innovation versprechen sich die Wissenschaftler vor allem neue Erkenntnisse über das Miteinander der mehr als 100 Milliarden Nervenzellen im menschlichen Gehirn. Deshalb arbeitet die Arbeitsgruppe um Prof. Fromherz seit einiger Zeit mit Prof. Tobias Bonhoeffer und seinen Mitarbeitern im benachbarten Max-Planck-Institut für Neurobiologie zusammen. Die jetzt mögliche störungsfreie Beobachtung von intaktem Nervengewebe über einen längeren Zeitraum bietet den Neurobiologen kontinuierlichen Einblick in die Abläufe von Lern- und Gedächtnisvorgängen. Durch den Neuro-Chip können aber auch neue Erkenntnisse zum Verständnis der Wahrnehmung sowie der Verarbeitung und Speicherung von Informationen im Gehirn gewonnen werden. Um beispielsweise die Wechselwirkungen zwischen Zellen verschiedener Hirnareale zu untersuchen, kann man einzelne Nervenzellen oder intakte Gehirnschnitte auf den neuen Chip aufbringen und auf der Sensorfläche miteinander zu neuronalen Netzen verwachsen lassen. Das Zellgewebe bleibt dabei unverletzt und kann über mehrere Wochen am Leben gehalten werden. Die Erforschung des Zusammenwirkens der Nervenzellen im ge-

samten Gehirn sind wiederum wichtige Schritte, um eines Tages den heute noch unheilbaren Krankheiten des Gehirns besser begegnen zu können.

Die gemeinsame Entwicklung des Neuro-Chips ist ein Beispiel für eine geglückte Zusammenarbeit zwischen Grundlagenforschung und industrieller Entwicklung. Diese Entwicklung auf Basis modernster Mikroelektronik eröffnet Möglichkeiten für Anwendungen in der Biomedizin, Biotechnologie und Hirnforschung. Vor allem in der Diagnostik könnte der Chip eingesetzt werden. Dass allerdings ein ins Gehirn eingesetzter Neurochip die menschliche Intelligenz oder die Gedächtnisleistung verbessern könnte oder gar eine Steuerung des Gehirns durch den Computer ermöglichen könnte, davon hält Fromherz überhaupt nichts: „Dies ist schlichtweg Science-Fiction", sagte er in einem Interview.

Das Konzept des verbesserten Menschen

Im Mittelpunkt der neurobiologischen Forschung steht die Bekämpfung von degenerativen Hirnerkrankungen, von Behinderungen und Alterungsprozessen. Allerdings ist es oft ein kurzer Weg von einer medizinischen Anwendung zur Lifestyle-Droge. Denn mit der Entwicklung von Medikamenten gegen das Vergessen zur Behandlung von Alzheimer-Patienten ist prinzipiell auch die Möglichkeit gegeben, die Merkfähigkeit von gesunden Menschen zu verbessern. Hier finden sich Anwendungen aus der NBIC-Vision vom verbesserten Menschen, von der Aufhebung menschlicher Begrenzungen mittels Technik bzw. von der Erweiterung menschlicher Fähigkeiten über natürliche Grenzen hinaus.

In der aktuellen neuropharmakologischen Forschung geht es um „eher alltägliche" Verbesserungen von Hirnleistungen, wie z. B. der Konzentrationsfähigkeit oder der Verlängerung von Wachphasen. Ziel ist dabei die pharmakologische Optimierung des Gehirns zur Verbesserung von Lernleistungen, Stimmung, oder Wahrnehmung und von vegetativen Funktionen wie Schlaf, Appetit oder Sexualität. Den Stand der Forschung der pharmakologischen Optimierung des Lernens hat Welan 2005 zusammengetragen. Bereits heute auf dem Markt sind folgende „Hirnpillen": Das Medikament Ritalin, das räumliches Vorstellungsvermögen verbessern soll, Prozac, das nicht nur gegen Depressionen hilft, sondern auch das Selbstvertrauen heben und Lebensfreude erhöhen kann. Das Medikament Modafinil hilft, wach zu bleiben und erleichtert es, sich Zahlenreihen zu merken und Regeln zu lernen.

In Entwicklung bzw. bereits in Tests befinden sich folgende Medikamente (Welan 2005):

- Das US-Unternehmen Cortex Pharmaceuticals forscht an der Verbesserung des Denkens. Der bisher größte Erfolg ist die Entwicklung sog. Ampakine, einer Wirk-

stoffgruppe, die die Funktionen des Ionenkanals an der Nervenzelle verändern, so dass mehr Kalzium-Ionen hineinströmen können und damit das Signal zur Gedächtnisbildung verstärkt wird. Erste Patiententests sind offenbar erfolgreich verlaufen.

- Auch bei Memory Pharmaceuticals sind die ersten Tests mit Patienten angelaufen. Das Unternehmen arbeitet unter Federführung des Nobelpreisträgers Prof. Eric Kandel an der Entwicklung eines PDE-4-Hemmers. Der neue Wirkstoff soll den Abbau eines Signalmoleküls (cAMP), das ein Schalter für die Langzeiterinnerung darstellt durch das Enzym Phosphodiesterase (PDE) blocken und so einen positiven Einfluss auf die degenerativen Hirnveränderungen ausüben. Im Tierversuch verschwanden altersbedingte Gedächtniseinschränkungen fast vollständig. Mit beteiligt an der Entwicklung ist der Großkonzern Roche.
- Die Firma Memory Pharmaceuticals ist eine Lizenzvereinbarung mit Bayer eingegangen, so dass Bayer im Falle des Erfolgs die Vermarktungsrechte am Wirkstoff MEM 1003 besitzen wird. Auch dieser soll Veränderungen am Ionenkanal der Nervenzellen bewirken – die erste klinische Testphase ist inzwischen abgeschlossen.
- Forschergruppen bei den Pharma-Konzernen GlaxoSmithKline, Johnson&Johnson, Merck sowie zahlreiche jungen Pharma-Unternehmen wie Helicon, Axonyx oder NeuroLogic arbeiten an der Erforschung weiterer Neuro-Pillen.

An die aktuellen Forschungsergebnisse schließen sich eine Reihe von Spekulationen, Visionen und optimistischen Prognosen an (begründet oder nicht, das muss sich zeigen): Hirnpillen und Brain-Tunings werden z. B. nach Zack Lynch, dem Direktor des Neurosociety Instituts in San Francisco, der große Markt der Zukunft. Den Forschern wird es nach seiner Überzeugung bald gelingen, Medikamente für schnelleres Lernen zu entwickeln. Damit soll es dann z. B. möglich werden, chinesisch in nur acht Wochen zu lernen. Alzheimer soll schließlich ganz getilgt werden, das Altern sich insgesamt verlangsamen und letztlich sogar rückgängig gemacht werden. Darüber hinaus sollen Gefühlspillen („emoticeuticals“) Stresserscheinungen bekämpfen und Erfahrungspillen („sensoceuticals“) das Vergnügen an der eigenen sensorischen Erfahrung steigern (Lynch 2004).

Darüber hinaus wird erwartet, dass die Entwicklung von neuartigen Biochips die neurologischen Analyseverfahren so verändern werden wie der Microchip die Verwendung von digitalen Daten veränderte. Denn durch die in Zukunft massenhaft verfügbaren Biochips werden Unmengen von Daten erhoben - insbesondere Daten über die Vorgänge auf der neuro-molekularen Ebene - die dann durch die Kombination mit neuen Neuroimaging-Techniken zu neuen Erkenntnissen über die

Funktionsweise des Gehirns führen werden. Dies bedeutet gleichzeitig, dass Biochips bis zum Jahr 2020 den Entwicklungsprozess von Medikamenten von heute 13-15 Jahren auf 2 Jahre verkürzen werden und die Kosten von 800 Mio. Dollar auf 10 Mio. Dollar reduziert haben werden. Die Möglichkeit, Krankheiten auf einer molekularen Ebene zu bekämpfen, wird dazu führen, dass die Lebenserwartung bis 2020 signifikant steigt und dass die geistige Gesundheit und Fitness bis ins hohe Alter erhalten bleibt (Lynch 2004).[29]

Interdisziplinarität als Leitthema der Konvergenz-Debatte

Bei den „Converging Technologies" handelt es sich per se um multi- oder interdisziplinäre sowie heterogen strukturierte Gebiete. Die Forderung nach interdisziplinärer Forschung, nach disziplinenübergreifendem Methodentransfer und nach Modell- und Theorieübertragungen über Wissenschaftsgrenzen hinweg ist daher in der Konvergenz-Diskussion eine zentrale Forderung. Interdisziplinarität ist ein konstitutives Merkmal für das Konzept der Konvergenz der Spitzentechnologien. Bahnbrechende Erkenntnisse und Innovationen werden von der intelligenten Kombination von Methoden und Technologien aus verschiedenen Disziplinen erwartet.

Grund für die Forderung nach mehr Zusammenarbeit von Forschern unterschiedlicher Fachrichtungen ist nicht nur die drastisch gestiegene Spezialisierung innerhalb der einzelnen Disziplinen und damit die zunehmende Verteilung des vorhandenen Wissens auf verschiedene „Köpfe". Denn die Erkenntnis, dass z. B. die Erforschung von Krankheiten Wissen aus mehreren Disziplinen erfordert, ist nicht neu. Aber die Menge des vorhandenen Wissens in einzelnen relevanten Fachdisziplinen hat in den letzten Jahren so stark zugenommen, dass einzelne Wissenschaftler nur noch einen Bruchteil des Gesamtwissens innerhalb ihrer Disziplin beherrschen können (u. a. van Raan 2005).

Der Untersuchungsgegenstand der Hirnforschung – das menschliche Gehirn z. B. gilt als das komplexeste bekannte bzw. unbekannte System, das aus entsprechend unterschiedlichen Perspektiven und mit Hilfe unterschiedlicher Methoden und Technologien betrachtet werden muss. Will man z. B. die Signalverarbeitung in

29 Diese optimistische Denkweise, die die technologische Machbarkeit in den Vordergrund stellt und Technologie gewissermaßen zum Heilsversprechen einer besseren Zukunft macht, in der sich Menschen und Maschinen weitgehend annähern, wird als Transhumanismus bezeichnet (siehe dazu z. B. http://de.wikipedia.org/wiki/Transhumanisten oder Coenen 2006).

Neuronen untersuchen, reicht es nicht aus, Biologen zu fragen, die sich mit molekularbiologischen Phänomenen auskennen, sondern man muss auch z. B. Physiker einbeziehen, die sich mit elektrischen Phänomenen auskennen und die in der Lage sind, diese adäquat zu messen und zu interpretieren. Auch Ingenieure, Radiochemiker oder Medizintechniker sind an vielen Stellen gefragt. So stellen Neuroimaging-Apparate mit ihren Strahlenquellen und Magnetfeldern bereits „interdisziplinäre Maschinen" dar, die nicht ohne das Know-how aus den verschiedenen (Technologie-)Gebieten betrieben werden könnten. Und bei der Datenaufbereitung, die über Versuche mit solchen Apparaten gewonnen werden, werden oft Informatiker und Mathematiker eingesetzt, die in der Lage sind, komplexe Datenbanken und -modelle zur Verfügung zu stellen (Hüsing et al. 2005).

Insofern könnte die Hirnforschung nicht nur konzeptionell als Vorbild für Ansatz und Methode bei der Konvergenz der Spitzentechnologien fungieren (Clutter 2004) – sie ist auch inhaltlich, d. h. auf der Ebene der Forschungspraxis weit fortgeschritten. Ein Beispiel für Interdisziplinarität in der Hirnforschung sind die im Jahr 2004 neu eingerichteten Bernstein Zentren, in denen Kliniker und Theoretiker, Ingenieure und Informatiker, Softwarespezialisten und Mediziner gemeinsam an neurowissenschaftlichen Fragestellungen arbeiten.

Hinsichtlich der Konvergenz-Debatte und den Anforderungen an interdisziplinär ausgerichtete Forschung gibt es aber auch kritische Stimmen. Hauptsächlich wird eingewendet, dass die existierenden Vorstellungen von Interdisziplinarität wenig durchdacht sind und dass hier davon ausgegangen wird, dass sich interdisziplinäre Forschung automatisch einstellen wird, wenn man sich erst einmal auf eine gemeinsame Vision und einen gemeinsamen Forschungsgegenstand (wie z. B. die Erforschung der kleinsten Elemente) geeinigt hat (Schummer 2004). Nach Schummers Einschätzung kann sich heute aber weder die Nanotechnologie noch die Konvergenz der Spitzentechnologien auf konkrete interdisziplinäre Projekte berufen. Im besten Falle könne man von einer multidisziplinären Bewegung sprechen, in die unterschiedliche Wissenschaftsbereiche eher lose involviert sind, in der es aber bislang keine starken Verbindungen, Überlappungen oder integrativen Tendenzen gibt.

Konvergenz der Spitzentechnologien: Tragfähiges Konzept oder vorübergehende Modeerscheinung?

Der visionäre Charakter der amerikanischen NBIC-Reports, ein hoher Anteil von Foresight-Spezialisten in der europäischen Debatte und der (derzeit noch) augenfällige Abstand zwischen möglichen Anwendungen und aktuellem Stand der For-

schung geben Anlass zu der Frage, inwieweit es sich bei der Konvergenz der Spitzentechnologien lediglich um ein „Gedankenexperiment" handelt, das zur Zeit zwar in aller Munde ist, das aber wenig Substanz und Aussicht auf längerfristige Effekte hat.

Die Analyse zentraler Dokumente der „Converging-Technologies"-Debatte zeigt: Erstens wird dort aus der prinzipiell nicht neuen Forderung nach Interdisziplinarität ein futuristisches Nano-Bio-Info-Cogno-Programm abgeleitet, das zu einem neuen Paradigma verdichtet wird. Zweitens werden aus „kleinen" Forschungserfolgen in speziellen Bereichen Zukunftsbilder entworfen, die von radikalen Veränderungen ausgehen. Dies spricht dafür, dass es sich bei den Converging Technologies derzeit eher um eine Modeerscheinung, denn um ein tragfähiges Forschungskonzept oder eine Erfolg versprechende Zukunftsrichtung handelt. Allerdings setzen sich durchaus renommierte Forscher und anerkannte Wissenschaftler mit der Idee der Konvergenz auseinander und erarbeiten hierfür Vorschläge. Zudem zeigen die in diesem Abschnitt dargestellten Beispiele, dass bereits vereinzelt mehr oder weniger etablierte Konvergenzprozesse stattfinden. Dies deutet auf eine gewisse Relevanz hin (Beckert, Roloff und Friedewald 2006).

Entsprechend der Gesetzmäßigkeiten wissenschaftlicher Themenzyklen kann man auch bei den Converging Technologies-Debatte, die noch ganz an Anfang steht, erwarten, dass auf die Phase der großen Hoffnungen und Visionen dann eine zweite Phase, die der Enttäuschung folgt, auf die wiederum eine Phase der Stabilisierung und Neuendeckung des Themas unter veränderten Vorzeichen folgt. So wies z. B. auch Drexlers Konzept der Nanowissenschaft und Nanotechnologie anfangs eine ähnlich geringe wissenschaftliche Bodenhaftung auf wie heute das Konzept der Converging Technologies. Dennoch haben seine Visionen wesentlich dazu beigetragen, dass die Nanotechnologie heute mit erheblichen staatlichen Forschungsfördergeldern ausgestattet ist. Der Hinweis auf die Nanotechnologie als Vorreiter der Converging Technologies (CT) in den USA hat möglicherweise auch einen anderen einfachen Hintergrund (Schummer 2004): Das Aufkommen der CT-Debatte entwickelte sich parallel zu einer Reihe auslaufender Nano-Förderprojekten und Nano-Programmen in den USA. Es bedurfte eines neuen Themas, um zu verhindern, dass Forschungsgelder abgezogen wurden.

In Zukunft wird stärker die Frage ins Blickfeld rücken, welchen inhaltlichen Verlauf die Diskussion der Konvergenz von Technologien nimmt, welche prinzipielle Richtung eingeschlagen wird und welche Forschungsbereiche besonders betroffen oder engagiert sein werden. Hier muss in Zukunft nachgezeichnet werden, in welchen Bereichen sich die betroffenen Forschungsbereiche tatsächlich aufeinan-

der zu bewegen, wo die Disziplinen tatsächlich zusammenwachsen und welche neuen Fragestellungen sich im Verbund der Disziplinen, Methoden und Technologien am besten bearbeiten lassen.

4. ZUSAMMENFASSUNG ERGEBNISSE TEIL 1

Bereits existierende Studien zu den Beschäftigungseffekten der Biotechnologie (BT) „beschränken" sich in der Regel auf die *direkt Beschäftigten* in den kleinen und mittelständischen Biotechnologieunternehmen und/oder auf die Biotechnologie-Ausstatter, d. h. auf die Beschäftigungseffekte, die bei der Bereitstellung von biotechnologischen Methoden, Prozessen, Produkten oder Dienstleistungen entstehen *(BT-Bereitstellung)*. Hierbei werden allerdings meist die Beschäftigten in den öffentlichen FuE-Einrichtungen nicht berücksichtigt. Vor allem werden aber die direkten Beschäftigungseffekte in den verschiedenen *nachgelagerten Anwenderindustrien (BT-Anwendung)* oder die *indirekten Beschäftigungswirkungen* in den vorgelagerten Zulieferersektoren *(BT-Vorleistung)* nicht bzw. unvollständig erfasst. Ebenso fehlen bislang zukunftsbezogene quantitative Extrapolationen der Beschäftigungseffekte auf Basis konsistenter Szenarien. An diesem Forschungsbedarf setzt die vorliegende Studie an.

Da – wie in neuen Technikfeldern üblich (z. B. auf Grund begrenzter Datenverfügbarkeit) - die tatsächliche Marktdurchdringung der Biotechnologie in 2004 und 2020 mit Unsicherheiten behaftet ist, werden die Beschäftigungseffekte mit Unter- und Obergrenze angegeben („wahrscheinlicher Korridor"). Die Grenzen in 2004 sind dabei zu verstehen als „pessimistische und optimistische Marktanteilsabschätzung". Die Unter- und Obergrenzen der Beschäftigungseffekte für das Jahr 2020 können als „langsame und schnelle Diffusion" bzw. Marktdurchdringung interpretiert werden. Die Untersuchungsergebnisse zeichnen für 2004 und 2020 folgendes Bild:

BT-Bereitstellung: Die größte Beschäftigungswirkung (Summe aus direkten und indirekten vorgelagerten Effekten) geht von den Universitäten und außeruniversitären FuE-Einrichtungen aus (in 2004 109.000-118.200 und in 2020 122.500-132.900 Erwerbstätige), gefolgt von den Biotechnologie-Ausstattern (in 2004 40.500 und in 2020 43.800-56.100 Beschäftigte). Die Beschäftigungswirkung von kleinen und mittelständischen Biotechnologieunternehmen – auch unter Berücksichtigung der Vorleistungseffekte – ist vergleichsweise gering (etwa 18.800 Beschäftigte in 2004 und etwa 19.900-25.400 in 2020). Die Pflanzenzüchtungsunternehmen vereinen in 2004 lediglich 3.600-4.300 und in 2020 3.900-4.600 Beschäftigte auf sich.

BT-Anwendung: Die höchste Zahl an Arbeitsplätzen (d. h. direkt plus vorgelagert), die mit der Nutzung biotechnischer Methoden, Prozesse oder Produkte

in Verbindung gebracht werden können, ist in der Lebensmittelindustrie, die eine erhebliche Vorleistungswirkung aufweist, festzustellen (in 2004 192.900-493.000 und in 2020 293.600-552.700 Erwerbstätige). Danach folgt die Landwirtschaft mit ca. 113.100-205.600 Beschäftigten in 2004 und 181.600-293.400 in 2020. Die Beschäftigungswirkung in den anderen Teilsegmenten ist geringer. Auf Grund hoher Vorleistungseffekte folgt die Chemie (37.000-55.500 Erwerbstätige in 2004 und 82.100-164.300 in 2020), vor der Pharmaindustrie (rund 25.600-41.800 Beschäftigte in 2004 und 37.800-90.000 in 2020) und der Umweltbiotechnik (ca. 17.900-24.800 Beschäftigte in 2004 und 43.100-64.600 in 2020).

BT-Vorleistung: Die indirekten vorgelagerten Beschäftigungseffekte in den Zulieferersektoren sind in Summe in 2004 und in 2020 größer als die direkten Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie. Bei den Biotech-KMU, Biotechnologie-Ausstattern und Pflanzenzüchtungsunternehmen sowie in der Landwirtschaft dominieren die direkten Beschäftigungseffekte, d. h. die vorgelagerten Effekte weisen eine geringere Bedeutung auf. Umgekehrt belaufen sich in der Lebensmittel- und Chemieindustrie die vorgelagerten Beschäftigungseffekte auf das Doppelte bis Dreifache der direkten Beschäftigungswirkung. In den übrigen Biotechnologie-Teilsegmenten (öffentliche FuE-Einrichtungen, Pharmabranche, Umweltbiotechnik) sind die direkten und vorgelagerten Beschäftigungswirkungen in etwa gleich hoch. Bei der sektoralen Aufteilung der indirekten vorgelagerten Beschäftigungseffekte ist eine relativ hohe Bedeutung der Dienstleistungssektoren zu erkennen, die in den meisten Biotechnologie-Teilsegmenten zwischen 40 und 60 % der vorgelagerten Beschäftigten ausmacht, bei den FuE-Einrichtungen und Biotech-KMU sogar 75 bis 80 %. Damit trägt die Biotechnologie in erheblichem Maße zur Stärkung von zukunftsfähigen Dienstleistungssektoren bei.

Die Anteile verschiedener **Qualifikationsgruppen** in den Biotechnolgie-Teilsegmenten zeichnen folgendes Bild: Die forschungsintensiven Teilsegmente für die Bereitstellung von Biotechnologie-Wissen (BT-Bereitstellung) haben einen höheren Akademikeranteil (48 %) als die Teilsegmente der Anwendung (BT-Anwendung) mit ca. 7 %. Besonders die Lebensmittelverarbeitung und die Landwirtschaft weisen niedrige Akademikerquoten auf, 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. Die Qualifikationsprofile bei den vorgelagerten Biotechnologie-Zulieferersektoren weisen geringere sektorale Unterschiede auf und zeigen Ähnlichkeiten zu den Werten für die Gesamtwirtschaft. Insgesamt ist der Akademikerbedarf bei den vorgelagerten indirekt und investitionsinduzierten Erwerbstätigen der BT-Bereitstellung mit 29 %

höher als in der Gesamtwirtschaft (16 %), in der BT-Anwendung mit 13 % dagegen niedriger.

Die Beschäftigungseffekte sind letztendlich das Ergebnis einer Vielzahl von Wirkungsmechanismen der Biotechnologie auf die Gesamtwirtschaft. Ein wichtiger Wirkungszusammenhang ist der der Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit durch den Einsatz der Biotechnologie. Auf Grund Biotechnologie-basierter neuer Prozesse und Produkte kann die preisliche und technologische Wettbewerbsfähigkeit der Anwenderindustrien ebenso wie die der Hersteller dieser Biotechnologie-basierten Prozesse und Produkte steigen. Dadurch kann es u. a. zu erhöhten Exporten und/ oder geringeren Importen sowie einer Standorterhaltung im Produktionsbereich kommen. Die dadurch erhöhte inländische Produktion hat eine positive Wirkung auf die inländische Beschäftigung. In welchem Umfang die (vor allem zukünftigen) Beschäftigungspotenziale in Deutschland realisiert werden, hängt daher entscheidend von den Standortbedingungen für die Biotechnologie in Deutschland sowie der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der Akteure in den Biotechnologie-Teilsegmenten ab. In Teil 2 wird daher untersucht, ob der Biotechnologie-Standort Deutschland zur Realisierung der in Teil 1 berechneten Beschäftigungspotenziale ausreichend attraktiv ist bzw. die Unternehmen in den Biotechnologie-Teilsegmenten international wettbewerbsfähig sind.

Teil 2: Wie wettbewerbsfähig ist die Biotechnologieindustrie und Biotechnologieforschung in Deutschland?

Autoren:
Birgit Soete
unter Mitarbeit von
Martin Gornig, Axel Werwatz und
Zhentang Zhang
(DIW Berlin)

1 AUSGANGSLAGE UND ZIELSTELLUNG

Mit der Gründung des ersten Biotechnologieunternehmens Genentech 1976 in den USA hat die Kommerzialisierung der Biotechnologie inklusive der Gentechnik, Zellkulturtechnik und die Technik zur Herstellung von Antikörpern begonnen. Weltweit gab es im Jahr 2005 4.203 sogenannte Core-Biotechnologieunternehmen (E&Y 2006a). Das Hauptanwendungsgebiet der Biotechnologie bei den Core-Biotechnologieunternehmen ist weltweit nach wie vor die Pharmazeutische Industrie sowie Medizin und damit die rote Biotechnologie (E&Y 2006a). Vermutlich ist in diesem Anwendungsgebiet die Nachfrage und die Akzeptanz am größten, weil sich weltweit die Menschen vom medizinischen Fortschritt eine bessere Gesundheitsversorgung und Heilung bei Krankheiten versprechen.

Der Gesamtmarkt für 120 zugelassene rekombinante Therapeutika wurde im Jahr 2004 auf 33,06 Mrd. € geschätzt. Von den 82 weltweiten Blockbuster-Medikamenten sind 11 biotechnologisch hergestellte Medikamente, die zusammen bereits 10 % des Umsatzes im globalen Pharmamarkt ausmachen, der im Jahr 2004 ein Gesamtvolumen von 443,55 Mrd. € hatte (InformationsSekretariat Biotechnologie 2004, 2005). Im Jahr 2005 wurde der weltweite Pharmaumsatz auf 460 Mrd. € geschätzt und der Umsatz mit biotechnologisch hergestellten Medikamenten auf 41,4 Mrd. €. (DIB 2006). Das entspricht einem Umsatzwachstum von 25 % für biotechnologisch hergestellte Medikamente. Bei vielen dieser gentechnisch hergestellten Arzneimittel handelt es sich nicht um neue Wirkstoffe, sondern um gentechnisch hergestellte rekombinate Proteine wie Humaninsulin, Blutgerinnungsfaktoren und hämatopoetische Wachstumsfaktoren. Zwischen 1998 und 2003 sind die Umsätze in der roten Biotechnologie sowohl in Europa als auch in den USA gewachsen, wobei die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate in Europa über der in den USA lag. 1998 wurde in Europa 3.338 Mio. € Umsatz in der roten Biotechnologie erzielt und im Jahr 2003 10.500 Mio. €. Dies entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 25,8 %. In den USA lag der Umsatz in der roten Biotechnologie 1998 bereits bei 14.565 Mio. € und verdoppelte sich im Jahr 2003 auf 31.300 Mio. €, mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 16,5 % (DB Research 2004, S. 4). In Europa wurde im Jahr 2004 mit Gentests ein Umsatz von 38,7 Mio. € erzielt. Das entspricht einem Anteil von 0,5 % am europäischen Gesamtumsatz im In-vitro-Diagnostic-Markt (Soete 2006, S. 151).

Seit 10 Jahren werden gentechnisch veränderte Nutzpflanzen zur kommerziellen Nutzung angebaut. Im Jahr 2004 betrug weltweit die Anbaufläche für gentechnisch veränderte Nutzpflanzen ungefähr 81 Mio. Hektar und im Jahr 2005 90 Mio. Hektar. Dies entspricht einer Wachstumsrate von 11 % (E&Y 2005b; ISAAA 2005). Damit werden auf ca. 5 % der Weltackerfläche gentechnisch veränderte Nutzpflanzen angebaut (Heldt 2006). Die Umsätze für Saatgut der wichtigsten gentechnisch veränderten Nutzpflanzen wie Soja, Mais, Baumwolle und Raps wurden für das Jahr 2004 auf 3,8 Mrd. US-$ und für das Jahr 2005 auf 5,25 Mrd. US-$ geschätzt. Damit ist der Weltumsatz um 38,2 % gestiegen und 2005 hatte das Saatgut gentechnisch veränderter Nutzpflanzen einen Anteil von 18 % am weltweiten Umsatz mit Saatgut (DIB 2006; E&Y 2005b; ISAAA 2005). Inzwischen werden in 21 Ländern gentechnisch veränderte Nutzpflanzen angebaut, wobei die Hauptanbauländer die USA, Argentinien, Brasilien, Kanada, und China sind (ISAAA 2005). In der Europäischen Union wurden im Jahr 2005 60.000 Hektar kommerziell in Spanien, Frankreich, Portugal, der Tschechischen Republik und Deutschland angebaut (FAZ 25.04.2006; ISAAA 2005).

Der Weltmarkt für industrielle Enzyme lag im Jahr 2000 bei 1,6 Mrd. US-$ und ist um 25 % auf 2 Mrd. US-$ im Jahr 2004 gewachsen (InformationsSekretariat Biotechnologie 2006).

Im Rahmen des Projektes „Die sozio-ökonomische Bedeutung der Biotechnologie in Deutschland“ analysiert das DIW Berlin Indikatoren, die Einschätzungen der Wettbewerbsfähigkeit der Biotechnologie bzw. der sich entwickelnden Biotechnologieindustrie in Deutschland erlauben. Unter Biotechnologie wird in dieser Studie die Anwendung von Wissenschaft und Technologien auf lebende Organismen sowie auf deren Bestandteile, Produkte und Modelle mit dem Ziel, lebende oder nicht lebende Materialien für die Produktion von Wissen, Waren oder Serviceleistungen zu verändern, verstanden (OECD 2001a). Dazu zählt auch die Gentechnik, Zellkulturtechnik und die Technik zur Herstellung von Antikörpern.

Unter der Biotechnologieindustrie werden in der Literatur üblicherweise die kleinen und mittleren Biotechnologieunternehmen (KMU) gefasst, die vorrangig mit modernen biotechnischen Verfahren forschen, produzieren oder arbeiten (Arundel 2003). In dieser Studie wird der Versuch unternommen, diesen engen Rahmen zu erweitern und Unternehmen zu berücksichtigen, deren Hauptgeschäftszweck nicht in der Biotechnologie liegt, die aber auch zu biotechnischen Verfahren forschen und mit ihnen produzieren bzw. Produkte anbieten. Zusätzlich werden ausgewählte Anwenderindustrien betrachtet, die biotechnologische Zwischenprodukte in ihren Produktionsprozessen einsetzen. Somit werden auch die Branchen unter-

sucht, in denen die Biotechnologie eingesetzt wird, wie die Chemische und Pharmazeutische Industrie, das Ernährungsgewerbe oder die Landwirtschaft. Mit dieser Herangehensweise wird versucht, der Biotechnologie in ihrer Eigenschaft als Querschnittstechnologie gerecht zu werden und die Analyse der Beschäftigungseffekte in Teil I zu ergänzen. In Teil I wird der „Kern" der Biotechnologie in der „BT-Bereitstellung" gesehen, d. h. Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen, kleine und mittlere Biotechnologieunternehmen sowie Unternehmen der Pflanzenzüchtung. Unter den Bereich „BT-Anwendung" werden sowohl Wirtschaftszweige gefasst, in denen die Biotechnologie zur Anwendung kommt als auch Unternehmen, die zur Biotechnologie forschen, produzieren oder arbeiten, deren Hauptgeschäftszweck aber nicht in der Biotechnologie liegt, z. B. Chemische und Pharmazeutische Industrie (vgl. Teil I, Kapitel 1).

Im Folgenden wird anhand eines breiten Portfolios verschiedener Indikatoren untersucht, wie sich die Biotechnologie in Deutschland im internationalen Vergleich positioniert. Die ausgewählten Indikatoren dienen der Ist-Analyse. Diese Analyse wird differenziert nach drei Bereichen durchgeführt. Unterschieden wird zwischen den Bereichen Wissensbasis, den kleinen und mittleren Unternehmen, die nahezu ausschließlich in der Biotechnologie tätig sind (Core-Biotechnologieindustrie) sowie der Biotechnologie in großen Unternehmen, deren Hauptgeschäftszweck nicht die Biotechnologie ist. Zunächst wird die Entwicklung der Biotechnologie in Deutschland anhand verschiedener relevanter Indikatoren untersucht. Dann wird ein internationaler Vergleich für die Wissensbasis und die KMU (Core-Biotechnologieindustrie) durchgeführt. Weitgehend ausgespart bleiben muss dabei allerdings der Bereich der Biotechnologie in großen Unternehmen, weil international vergleichbar keine Daten für diese Aktivitäten in großen Unternehmen vorliegen. Anschließend erfolgt eine Untersuchung der Bedeutung der Anwenderindustrien Chemie, Pharma und Ernährung, die selbst häufig in der Entwicklung der Biotechnologie tätig sind. Zunächst wird hier die internationale Wettbewerbsposition dieser Branchen anhand ausgewählter Indikatoren dargestellt. Dann werden die Auswirkungen der Biotechnologie auf die Wettbewerbsfähigkeit der genannten Anwenderindustrien diskutiert. Für diese Untersuchung werden Ergebnisse aus Teil I, aufgegriffen.

Die Indikator-basierte Analyse zur Wettbewerbsfähigkeit der Biotechnologie und Biotechnologieindustrie in Deutschland wird anhand der vorliegenden Literatur, veröffentlichter Studien sowie der Auswertung von Sekundärstatistiken durchgeführt. Ergänzt wird die Analyse durch Telefoninterviews mit Expertinnen und Experten aus Unternehmen, Verbänden und Forschungseinrichtungen (siehe

Verzeichnis der Interviewpartner). Da die Biotechnologie als Querschnittstechnologie kaum angemessen statistisch erfasst wird und vor allem international nicht einheitlich, ergeben sich erhebliche Datenprobleme (Allansdottir et al. 2002; Arundel 2003; Arundel et al. 2006; van Beuzekom, Arundel 2006; ETEPS Net 2006). Abgesehen von Datenlücken zu verschiedenen wünschenswerten Indikatoren besteht auch das Problem, dass die Daten sich aus verschiedenen Studien widersprechen. Durch diese bestehenden Einschränkungen der Analyse kann keine umfassende und abschließende Bewertung der Wettbewerbsposition erfolgen. Wohl aber lassen sich Stärken und Schwächen des Biotechnologiebereichs in Deutschland herauszuarbeiten.

Im folgenden zweiten Kapitel werden die verwendeten Indikatoren erläutert und die angewandte Methodik sowie die verwendeten Daten dargelegt. Anschließend erfolgt in Kapitel 3 eine Darstellung der Entwicklung der Biotechnologiebereiche in Deutschland. In Kapitel 4 wird der Biotechnologiebereich in Deutschland anhand ausgewählter Indikatoren für die das Jahr 2003 mit europäischen Ländern, den USA, Kanada und Australien verglichen. Gleichzeitig erfolgt auch eine Analyse der Entwicklung zwischen 2001 und 2003. In Kapitel 5 wird die Bedeutung ausgewählten Anwenderindustrien in Deutschland untersucht. Zum einen wird die internationale Wettbewerbsposition ausgewählter Anwenderindustrien generell dargestellt und zum anderen werden die speziellen Auswirkungen der Biotechnologie auf die Wettbewerbsfähigkeit ausgewählter Anwenderindustrien diskutiert. Abschließend werden im Fazit die wichtigsten Ergebnisse zusammengeführt. In einem Exkurs wird die Entwicklung der Biotechnologie in den asiatischen Ländern Südkorea, Japan, China und Indien dargestellt und auf mögliche Konkurrenzen zu deutschen Standorten eingegangen.

2 MESSKONZEPT ZUR ERFASSUNG DER WETTBEWERBSFÄHIGKEIT

2.1 VORGEHENSWEISE

Wettbewerb ist in einer Marktwirtschaft das dominierende Verfahren der Allokationsentscheidung. Unternehmen sind dabei die Akteure, die die Produktionsentscheidungen treffen und sich im Wettbewerb, d. h. in der Konkurrenz zu anderen Unternehmen durchsetzen müssen. Der Begriff der Wettbewerbsfähigkeit ist dagegen in der ökonomischen Literatur nicht eindeutig definiert. Aus industrieökonomischer Sicht handelt es sich um die Fähigkeit von Unternehmen sich durch geeignete Strategien im Wettbewerb durchzusetzen bzw. ihre Marktposition zu sichern und auszubauen. Aus makroökonomischer Perspektive geht die Bewertung der Wettbewerbsfähigkeit allerdings darüber hinaus. Der Gedanke dabei ist, dass international nicht nur einzelne Unternehmen in Konkurrenz zueinander stehen, sondern nationale Industrie- sowie Wirtschaftsstrukturen und damit Rahmenbedingungen von Unternehmensstandorten. Durch die Internationalisierung der Unternehmen und Märkte sowie die zunehmenden internationalen Standortverflechtungen können diese Bewertungen der Wettbewerbsfähigkeit einer Volkswirtschaft bzw. der Branche einer Volkswirtschaft von den einzelwirtschaftlichen Ergebnissen abweichen (Salmi 2005; Trabold 1995).

Obwohl die Wettbewerbsfähigkeit von Volkswirtschaften oder Industrien theoretisch nicht eindeutig geklärt ist, gibt es Ansätze die Wettbewerbsfähigkeit zu messen. Zur Messung der Wettbewerbsfähigkeit werden in der Regel Vergleichsuntersuchungen durchgeführt. Bei einem Vergleich von Volkswirtschaften werden als Indikatoren unter anderem das Leistungsbilanzsaldo, der Weltmarktanteil, ausländische Direktinvestitionen, Produktivitätsentwicklungen oder Standortfaktoren verwendet (Sachverständigenrat 2004; Salmi 2005; Trabold 1995). Auch die Wettbewerbsfähigkeit einer Branche oder Industrie wird häufig anhand des Produktivitätswachstums gemessen. Die internationale Wettbewerbsposition einer Branche wird mit den komparativen Vorteilen im Außenhandel untersucht (Trabold 1995; Schumacher 1995).

Die Biotechnologie ist eine Querschnittstechnologie, die in verschiedenen Industrien angewendet werden kann. Obwohl die Biotechnologie[30] und Gentechnologie seit 20 Jahren kommerziell genutzt wird, ist sie bislang stärker forschungs- als marktgetrieben. Außerdem sind die existierenden Märkte für verschiedene biotechnologische Produkte noch vergleichsweise klein und entziehen sich der üblichen statistischen Messung. Man geht davon aus, dass die Biotechnologie nach wie vor am Anfang ihrer Diffusions- und Wachstumsphase steht (European Commission 2005c, OECD 2004b).

Seit Ende der 1980er-Jahre und insbesondere in den letzten Jahren werden regelmäßig international vergleichende Studien zur Wettbewerbsfähigkeit der Biotechnologieunternehmen (in erster Linie KMU), der Biotechnologieindustrie (in der Regel über KMU definiert) und der nationalen Innovationssysteme der Biotechnologie durchgeführt (vgl. u. a. Allansdottir et al. 2002; van Beuzekom, B., Arundel A. 2006; DTI 2004, 2005; E&Y 2006a; European Commission 2003; EuropaBio 2005a; OECD 2006; Reiss et al. 2005; Senker et al. 2001). Der entscheidende Unterschied dieser international vergleichenden Studien ist, dass die unternehmens- und sektororientierten Studien sich auf Unternehmens- und Marktindikatoren stützen und die Studien zu nationalen Innovationssystemen entsprechend des systemischen Analyseansatzes mehr Indikatoren, beispielsweise der Forschung, der Wissenschaft oder der Technologieförderung berücksichtigen (Arundel 2003; Brink et al. 2004; Hucho et al. 2005). Für alle internationalen Studien ist in der Regel der Benchmark die USA, weil sie sowohl in der Forschung als auch in der Kommerzialisierung der Biotechnologie am weitesten scheint. Außerdem sind die USA für viele bereits entwickelte biotechnologische Produkte der größte Markt.

Auf Grund des Querschnittscharakters der Biotechnologie und ihres noch nicht vollständigen Durchdringungsgrades in den verschiedenen Anwenderindustrien lassen sich klassische Wettbewerbsindikatoren kaum identifizieren. Deshalb wird die Untersuchung der Wettbewerbsfähigkeit der Biotechnologie in Deutschland anhand von Innovationsindikatoren, Branchenstrukturindikatoren der kleinen und mittleren Biotechnologieunternehmen sowie Branchenindikatoren der Anwenderindustrien untersucht. Aus dieser Analyse wird abgeleitet, wie sich die Biotechnologie in Deutschland im internationalen Vergleich positioniert, und aus der Position werden Rückschlüsse auf die Wettbewerbsfähigkeit gezogen. Mit diesem Ansatz sollen Stärken und Schwächen oder Hemmnisse der Biotechnologie in Deutschland

30 siehe Definition in Kapitel II-1.

herausgearbeitet werden. Die Bewertung dieser Stärken und Schwächen erfolgt dann in Teil III.

Für einen internationalen Vergleich besteht ein Datenproblem, weil bislang die Biotechnologie oder die Biotechnologieindustrie wenig und schon gar nicht einheitlich statistisch erfasst wird (Arundel 2003; OECD 2005b; van Beuzekom, Arundel 2006). Dieses Problem schränkt den Untersuchungsgegenstand, die Auswahl geeigneter Indikatoren und Vergleichsländer erheblich ein. Da die Untersuchung zur Positionierung des Kernbereichs der Biotechnologie[31] in Deutschland im internationalen Vergleich auf der Basis der Studien von DTI 2004, 2005, den Studien von Ernst & Young 2003a, 2004a, 2005a sowie Reiss et al. 2005 durchgeführt wird, sind die ausgewählten Vergleichsländer: USA, Kanada, Australien, Großbritannien, Frankreich, Schweden, Dänemark, die Niederlande und die Schweiz.

Bedingt durch die gegebene Datenlage liegt der Fokus des internationalen Vergleichs zunächst auf dem Kernbereich der Biotechnologie. Herkömmlicherweise wird in der Literatur unter der Biotechnologieindustrie die kleinen und mittleren Biotechnologieunternehmen (KMU) gefasst, die vorrangig mit modernen biotechnischen Verfahren forschen, produzieren oder arbeiten (Arundel 2003). In dieser Studie wird der Versuch unternommen, diesen engen Rahmen zu erweitern und Unternehmen zu berücksichtigen, deren Hauptgeschäftszweck nicht in der Biotechnologie liegt, die aber auch zu biotechnischen Verfahren forschen und mit ihnen produzieren bzw. Produkte anbieten. Diese beiden Unternehmenstypen plus die Wissensbasis der Biotechnologie und die Märkte für biotechnologische Produkte werden in dieser Studie als Kernbereich der Biotechnologie definiert. Zusätzlich werden ausgewählte Anwenderindustrien betrachtet, in denen Unternehmen mit modernen biotechnischen Verfahren forschen, produzieren oder arbeiten, deren Hauptgeschäftszweck aber nicht in der Biotechnologie liegt oder die biotechnologische Zwischenprodukte in ihren Produktionsprozessen einsetzen (vgl. BT-Anwender in Teil I). Für die ausgewählten Anwenderindustrien Chemische und Pharmazeutische Industrie sowie Ernährungsgewerbe in Deutschland wird einmal deren internationale Wettbewerbsposition untersucht und zum anderen diskutiert, ob der

31 Unter den Kernbereich der Biotechnologie werden in dieser Studie die Wissensbasis, die kleinen und mittleren Biotechnologieunternehmen, die Biotechnologie in Unternehmen, deren Hauptgeschäftszweck nicht die Biotechnologie ist und Märkte gefasst. Allerdings besteht das Problem, dass international die Biotechnologie in Unternehmen, deren Hauptgeschäftszweck nicht die Biotechnologie ist, kaum erfasst werden (vgl. Arundel et al. 2006; van Beuzekom, Arundel 2006). Folglich kann für diesen Teil des Kernbereiches der Biotechnologie kein internationaler Vergleich durchgeführt werden.

Einsatz der Bio- und Gentechnologie die internationale Wettbewerbsfähigkeit dieser Industrien beeinflusst. Es wird in dieser Studie aber keine vergleichende Analyse der nationalen Innovationssysteme durchgeführt. Es wurde wie auch bei anderen Studien[32] ein Indikator-basierter Ansatz zur Analyse der Wettbewerbsfähigkeit der Biotechnologie und Biotechnologieindustrie in Deutschland gewählt. Die Untersuchung wird anhand der aktuellen Literatur, veröffentlichter Studien sowie der Auswertung von Sekundärstatistiken durchgeführt. Ergänzend werden insbesondere zur Bewertung der Ergebnisse Experteninterviews herangezogen.

2.2 INDIKATORENAUSWAHL

Die Wissensbasis in der Biotechnologie lässt sich unterteilen in Input- und Outputindikatoren. Als Inputindikatoren wird die Zahl der Absolventen in den Natur- und Ingenieurwissenschaften, die öffentlichen FuE-Ausgaben und die öffentlichen FuE-Ausgaben in Gesundheit verwendet. Leider werden die öffentlichen FuE-Ausgaben für die Biotechnologie selbst nicht statistisch erfasst. Deshalb werden als Hilfsgrößen die allgemeinen öffentlichen FuE-Ausgaben sowie die öffentlichen FuE-Ausgaben in Gesundheit verwendet. Outputindikatoren sind die Zahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen in den Life Sciences und Patentanmeldungen in der Biotechnologie. Die Indikatoren der Wissensbasis werden mit der jeweiligen Landesgröße gewichtet, d. h. sie werden pro Kopf, je 1 Mio. Einwohner oder als Anteil am Bruttoinlandsprodukt ermittelt. Dieses Gewichtung ist notwendig, um die unterschiedliche Größe bzw. Wirtschaftskraft der Länder zu berücksichtigen, denn sonst verzerrt man die Aussagen zu Gunsten großer Länder.

Als Indikatoren zur Untersuchung der Struktur oder des Outputs des Kernbereichs der Biotechnologie werden die folgenden Indikatoren verwendet: Zahl der Unternehmen, Zahl der börsennotierten Unternehmen, Zahl der Unternehmensgründungen, Alter der Unternehmen, Größe der Unternehmen, Zahl der Beschäftigten, Umsatz/Einnahmen der Unternehmen, Zahl der Produkte im Markt, Anteil der Unternehmen in den verschiedenen Anwendungsgebieten (rot, grün, grau/weiß). Als Inputindikatoren (Forschung und Finanzierung) des Kernbereichs der Biotechnologie werden die folgenden Indikatoren verwendet: FuE-Ausgaben der Unternehmen, FuE-Ausgaben je Beschäftigten, Zahl der Produkte in der Pipeline, Höhe

32 Vgl. Allansdottir et al. 2002; Arundel et al. 2006; van Beuzekom, B., Arundel A. 2006; ETEPS Net 2006.

des Beteiligungskapitals, Beteiligungskapital je Unternehmen, Zahl der internationalen kommerziellen Kooperationen.

Für die Analyse der ausgewählten Anwenderindustrien werden die Indikatoren Produktivitätsentwicklung, FuE-Ausgaben und Patentanmeldungen im internationalen Vergleich herangezogen. Außerdem wird die wirtschaftliche Entwicklung (2000-2004) der ausgewählten Anwenderindustrien in Deutschland betrachtet.

Die Datenbasis für die Indikatoren sind die Studien zur Biotechnologie von Reiss et al. 2005, DTI 2004, 2005, Ernst & Young 2003a, 2004a, 2005a, 2006a, die Datenbanken sowohl zur Industriestatistik als auch zu FuE-Indikatoren der OECD, Eurostat und das Statistische Bundesamt, das European Innovation Scoreboard 2005, Eurobarometer 2003, 2005a, 2005b, 2006, National Science Foundation 2006.[33] Ergänzt wird die Datenanalyse durch Aussagen von Expertinnen und Experten (Unternehmen, Verbänden, Forschungseinrichtungen, vgl. Literaturverzeichnis), die in telefonischen Befragungen nach einem einheitlichen Leitfaden erhoben worden sind. Das Problem dieser unterschiedlichen Datenquellen ist, dass sich die Daten teilweise widersprechen. Beispielsweise sind die Daten der DTI-Studien, die von Critical I durchgeführt worden sind, nicht kompatibel mit den Daten von Ernst & Young. Diese Datendifferenzen erklären sich aus den unterschiedlichen Erhebungsmethoden und Abgrenzungen der Untersuchungsgegenstände (vgl. Fußnote 33). Hinzu kommt, dass trotz der Verwendung unterschiedlicher Datenquellen eine Untersuchung längerer Zeitreihen nicht möglich ist, weil international dafür zu punktuell und – wie bereits erwähnt – Daten nicht einheitlich erfasst werden (vgl. Arundel et al. 2006; van Beuzekom, Arundel 2006).

33 In den Studien von DTI werden nur Unternehmen betrachtet, „whose primary commercial activity depends on the application of biological organisms, systems or processes, or on the provision of specialist services to facilitate the understanding thereof. Big pharma companies, other major corporates, and companies for whom biotechnology is an important but, nonetheless, minor part of their business are not included" (2005, S. 59). Allerdings gibt es eine Ausnahme, weil für Dänemark auch ein großes Pharmaunternehmen berücksichtigt wird, das überwiegend in der Biotechnologie tätig ist. Dadurch werden die Beschäftigungs- und Umsatzzahlen für Dänemark positiv beeinflusst. Die Studien von Ernst & Young betrachten nur Core-Unternehmen, „deren Hauptgeschäftszweck die Kommerzialisierung der modernen, insbesondere molekularen Biotechnologie ist. Die Kommerzialisierung umfasst die Erforschung, Entwicklung und Vermarktung von Produkten, Technologien und Dienstleistungen auf Basis der modernen Biotechnologie. Es werden keine Unternehmen mit klassischen Methoden der Biotechnologie und große Unternehmen, deren Hauptgeschäftzweck nicht die moderne Biotechnologie ist, erfasst" (2005b, S. 132).

Für eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Indikatoren der internationalen Untersuchung des Kernbereichs der Biotechnologie werden die Indikatoren standardisiert (Belitz, Werwatz 2005; Europäische Kommission 2005b; Nardo et al. 2005). Die Einzelindikatoren werden auf eine einheitliche Skala mit einem Punktwert von 1 bis 7 gebracht. Dies geschieht durch folgende Transformation:

$$Y_{1 \text{ bis } 7} = 6 \times [(Y-Y_{min})/(Y_{max} -Y_{min})]+1$$

Diese Transformation gibt den Abstand des Originalwertes Y eines Landes vom „Spitzenreiter" (Y_{max}) und vom „Schlusslicht" (Y_{min}) wieder. Dabei gilt, dass höhere Werte besser sind als niedrigere Werte. Die skalierten Einzelindikatoren werden aufsummiert und die Summe wird dann wieder skaliert. Damit wird die Annahme getroffen, dass die einzelnen Indikatoren gleichgewichtig sind. Die skalierte Summe ergibt die Position jedes Vergleichslandes, wobei das beste Land den Punkwert 7 hat und das schlechteste Land den Punktwert 1. Mit dieser Methode lassen sich Stärken und Schwächen für einzelne Indikatoren ermitteln, die die Gesamtposition erklären.

Zusätzlich werden Befragungsergebnisse zu den Einstellungen der Bevölkerung zur Biotechnologie im europäischen Vergleich aufbereitet (Eurobarometer 2003). Die Einstellungen der Bevölkerung zur Biotechnologie können einerseits gesetzliche Regelungen zur Risikominimierung beeinflussen. Andererseits dürften sie die Endnachfrage nach Produkten bestimmen, die bio- oder gentechnisch erzeugt worden sind und damit bedeutend für die Marktentwicklung sein.

3 ENTWICKLUNGSTENDENZEN DES BIOTECHNOLOGIE-BEREICHS IN DEUTSCHLAND

3.1 DIE WISSENSBASIS DER BIOTECHNOLOGIE

In einer Studie haben Reiss et al. (2003) festgestellt, dass es einen engen Zusammenhang zwischen der wissenschaftlichen Leistungsfähigkeit eines Landes in der Biotechnologie und dem Niveau der Kommerzialisierung der Technologie gibt (ebenda, S. 31). So ist auch erkennbar, dass Länder, die einen förderpolitischen Fokus auf die Grundlagenforschung in der Biotechnologie legen, sowohl in der wissenschaftlichen Leistungsfähigkeit gut sind als auch im Niveau der Kommerzialisierung (ebenda, S. 46). Diese Untersuchungsergebnisse erklären sich daraus, dass die Biotechnologie nach wie vor von der Grundlagenforschung getrieben wird und im Vergleich zu anderen Technologien sehr wissensbasiert ist. Außerdem besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Forschungsproduktivität von Forschungseinrichtungen und der Zahl der Ausgründungen aus Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Die Ausgründungen und Start-up-Unternehmen spielen eine wichtige Rolle im Wissens- und Technologietransfer zur Entwicklung einer Biotechnologieindustrie sowie Nutzung der Biotechnologie in verschiedenen Anwenderindustrien (Allansdottir et al. 2002).

Folglich erfordert die Biotechnologie hochqualifizierte Arbeitskräfte sowohl in den Ausbildungsberufen für Tätigkeiten im Labor und der Produktion als auch in der Forschung mit einem hohen Anteil an Akademikern. Für das Arbeitskräftepotenzial sind somit die Absolventen in Ausbildungsberufen, die Zahl der Studenten, die Zahl der Akademiker sowie die Zahl der Promovierten wichtige Indikatoren. Für die Beurteilung der Forschungsintensität und der Bedeutung der Biotechnologie in der Forschung sind die Zahl der beschäftigten Wissenschaftler, die öffentlichen FuE-Ausgaben sowie förderpolitischen Ziele, die Zahl der Veröffentlichungen und der Technologietransfer – gemessen in der Zahl der Patente sowie Ausgründungen – wichtige Indikatoren.

In Deutschland erfolgt die berufliche Ausbildung im Dualen System, d. h. durch Unternehmen und Berufsschulen oder Fachschulen. Die primäre akademische Ausbildung wird durch Universitäten und Fachhochschulen, die in der Länderkompe-

tenz liegen, gewährleistet. Die akademische Weiterqualifizierung (Promotion, Habilitation, wissenschaftliche Reputation) kann sowohl in Universitäten als auch in außeruniversitären Forschungseinrichtungen durchgeführt werden. In Deutschland gibt es vier große Forschungsgesellschaften (Helmholtz-Gemeinschaft (HGF), Max-Planck-Gesellschaft (MPG), Fraunhofer-Gesellschaft (FhG), Wissensgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz (WGL)) mit mehreren außeruniversitären Forschungseinrichtungen, in denen sowohl Grundlagenforschung als auch angewandte Forschung durchgeführt wird. Darüber hinaus gibt es noch Bundes- und Landeseinrichtungen, in denen man sich wissenschaftlich qualifizieren kann.

Tabelle II-3-1: Zahl der Absolventen in technischen Berufen und Chemieberufen

Jahr	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**
Chemieberufe	2.430	2.496	2.648	2.607	2.455	2.442
Techniker/in	1.381	1.471	1.366	1.280	1.055	1.034
technische Sonderfachkräfte	2.622	2.679	2.973	3.041	2.841	2.910

Quelle: Statistisches Bundesamt 2001, 2002b, 2003b, 2004, 2005b, 2006

Zwischen 1999 und 2004 sind die Absolventenzahlen bei den technischen Sonderfachkräften gestiegen, in den Chemieberufen mehr oder weniger stagniert und bei den Techniker/innen gesunken (vgl. Tabelle II-3-1).

Nach Mietzsch (2003) gibt es in Deutschland 60 Universitäten und 24 Fachhochschulen, die in der Forschung und Lehre im Bereich der Biotechnologie aktiv sind. Hinzu kommen 5 Universitätskliniken und 3 medizinische Universitäten bzw. Hochschulen. Auf der Homepage des InformationsSekretariat Biotechnologie (www.i-s-b.org/studium, August 2005) werden 32 Studienorte mit Universitäten angegeben, die einen Studiengang Biotechnologie anbieten oder eine überwiegend molekularbiologische Ausrichtung haben. Außerdem gibt es die Ausbildung in der Biotechnologie an 25 Fachhochschulen. Reiss und Hinze (2004) geben 92 Hochschulen an, die einen Ausbildungsschwerpunkt in der Biotechnologie haben (S. 25).

In den 1990er-Jahren ist in Deutschland die Zahl der Studienanfänger zurückgegangen, insbesondere in den ingenieurwissenschaftlichen Fächern. Für das Jahr 2002 zeigt ein internationaler Vergleich, dass in Deutschland das Interesse an einer akademischen Ausbildung eher gering ist, weil nur 35 % der alterstypischen Bevölkerung ein Studium begonnen hatte. Der Durchschnitt in den OECD-Ländern lag bei 47 % (BMBF 2004b, S. 114). Die Tabelle II-3.2 zeigt, dass seit 1999

die Zahl der Studenten insgesamt wieder gestiegen ist, aber die Studentenanteile in den Fächern, die für die Biotechnologie relevant sind – bis auf Medizin – eher konstant geblieben sind.

Tabelle II-3-2: Studenten und Absolventen

Jahr	1999		2000		2001		2002		2003	
	Anzahl	**in %**	**Anzahl**	**in %**	**Anzahl**	**in %**	**Anzahl**	**in %**	**Anzahl**	**in %**
Studenten	1.774.000	100	1.798.863	100	1.868.000	100	1.939.000	100	2.019.465	100
Chemie	29.372	1,7	29.430	1,6	31.394	1,7	33.821	1,7	37.135	1,8
Pharmazie	13.108	0,7	13.201	0,7	13.002	0,7	12.984	0,7	12.954	0,6
Biologie	44.926	2,5	45.905	2,6	48.077	2,6	49.789	2,6	51.473	2,5
Medizin	88.493	5,0	88.038	5,0	87.782	4,7	87.926	4,1	88.679	4,4
Maschinenbau/ Verfahrenstechnik	97.220	5,5	97.813	5,4	101.824	5,5	108.770	5,5	121.889	6,0
Absolventen	**Dipl.* (Anzahl)**	**Prom. (Anzahl)**	**Dipl.* (Anzahl)**	**Prom. (Anzahl)**	**Dipl.* (Anzahl)**	**Prom. (Anzahl)**	**Dipl.* (Anzahl)**	**Prom. (Anzahl)**	**Dipl.* (Anzahl)**	**Prom. (Anzahl)**
Chemie	1.955	2.545	1.728	2.498	1.708	2.110	1.584	1.964	1.629	1.744
Pharmazie	1.827	231	1.842	221	1.743	251	1.900	279	1.986	301
Biologie	3.096	1.677	2.737	1.774	2.691	1.803	3.266	1.667	3.273	1.669
Medizin	10.214	7.573	10.055	7.868	9.835	7.560	9.717	7.558	9.905	6.765
Maschinenbau/ Verfahrenstechnik	4.420	1.228	3.596	1.231	2.994	1.253	2.796	1.204	3.044	1.123

* Universitätsabschluss

Quelle: Statistisches Bundesamt 2001, 2002b, 2003b, 2004, 2005b, Berechnungen DIW Berlin 2006

Die Zahl der Absolventen mit einem Universitätsdiplom ist dagegen in den betrachteten Jahren in den Fächern Chemie, Medizin und Maschinenbau/Verfahrenstechnik rückläufig. Dieser Trend ist in dem Fach Chemie auch bei der Zahl der Absolventen mit einer Promotion beobachtbar (vgl. Tabelle II-3-2). Nach den Einschätzungen der befragten Experten gibt es derzeit bundesweit genügend qualifizierte Arbeitskräfte für die relevanten Tätigkeiten in der Biotechnologie. Allerdings können bei der derzeitigen Entwicklung der Studenten- und Absolventenzahlen zukünftig Engpässe bei qualifizierten Arbeitskräften auftreten, wenn die Biotechnologie in verschiedenen Industrien und anderen Technikfeldern zur Anwendung kommt sowie weiter diffundiert (vgl. Teil I).

Deutschland verfügt insgesamt über eine differenzierte, öffentlich finanzierte Forschungslandschaft für die Grundlagen- und angewandte Forschung in der Biotechnologie mit Universitäten, Fachhochschulen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie Landes- und Bundesanstalten. Neben der genannten Zahl an Universitäten und Fachhochschulen die zur Biotechnologie forschen, kommen noch 26 Institute und 3 Arbeitsgruppen der MPG, 11 Institute der FhG, 8 Institute der HGF und 21 Institute der WGL hinzu. Dabei sind die Institute der MPG ausschließlich in der Grundlagenforschung tätig und die Institute der anderen Forschungsgesellschaften stärker in der angewandten Forschung.

Statistisch ist es aber schwer, die genaue Zahl der Arbeitskräfte in den Forschungseinrichtungen zu bestimmen, die sich mit Biotechnologie befassen (vgl. Teil I). Deshalb sind die nachfolgenden Zahlen nur als grobe Indikatoren zu verstehen. In den letzten fünf Jahren hat sich die Zahl der wissenschaftlichen Beschäftigten in den Universitäten und Forschungsgesellschaften unterschiedlich entwickelt. An den Universitäten ist im Bereich Chemie ähnlich wie bei den Absolventen ein Rückgang des wissenschaftlichen Personals bei Assistenten und wissenschaftlichen Mitarbeitern zu beobachten (vgl. Tabelle II-3-3). In der Pharmazie ist dieser Trend nur bei den Assistenzstellen zu beobachten. In der Biologie ist in dem Zeitraum von 1999 bis 2004 die Zahl der Professoren und die Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter gestiegen. Im Bereich Maschinenbau/Verfahrenstechnik wurden in dem betrachteten Zeitraum Stellen abgebaut.

Tabelle II-3-3: Wissenschaftliches Personal in Hochschulen

Jahr	**1999**			**2000**			**2001**			**2002**		
	Prof.	**Ass.**	**WiMi**	**Prof.**	**Ass.**	**WiMi**	**Prof.**	**Ass.**	**WiMi**	**Prof.**	**Ass.**	**WiMi**
Chemie	1.058	383	6.216	1.040	356	5.869	1.014	381	5.874	995	340	6.028
Pharmazie	174	108	1.097	174	98	1.133	186	96	1.133	181	83	1.184
Biologie	1.017	594	4.292	993	588	4.179	1.001	603	4.451	1.018	582	4.729
Medizin	3.209	5.015	30.124	3.229	5.033	30.386	3.122	5.135	31.673	3.129	4.463	23.016
Maschinenbau/ Verfahrenstechnik	3.527	654	7.242	3.464	612	7.154	3.358	603	6.967	3.294	611	7.050
Jahr	**2003**			**2004**								
	Prof.	**Ass.**	**WiMi**	**Prof.**	**Ass.**	**WiMi**						
Chemie	1.097	307	6.189	1.091	304	6.076						
Pharmazie	175	64	1.094	183	63	1.082						
Biologie	1.041	562	4.922	1.031	510	4.829						
Medizin	3.383	4.647	35.862	3.568	5.104	33.888						
Maschinenbau/ Verfahrenstechnik	3.060	587	6.880	2.979	445	6.722						

Quelle: Statistisches Bundesamt 2001, 2002b, 2003b, 2004, 2005b, 2006

Diese Entwicklung zeigt, dass an den Universitäten das Fach Biologie zwischen 1999 und 2004 an Bedeutung gewonnen hat.

In den Forschungsgesellschaften wurde zwischen 1999 und 2004 die Zahl der wissenschaftlichen Beschäftigten in den Naturwissenschaften und Ingenieurwissenschaften ausgebaut, dagegen in der Medizin eher reduziert (vgl. Tabelle II-3-4). Allerdings ist unklar, inwieweit innerhalb der Naturwissenschaften der Anteil der Lebenswissenschaften erhöht worden ist. Somit sind keine Aussagen über die Bedeutung der Biotechnologieforschung in den außeruniversitären Forschungseinrichtungen möglich.

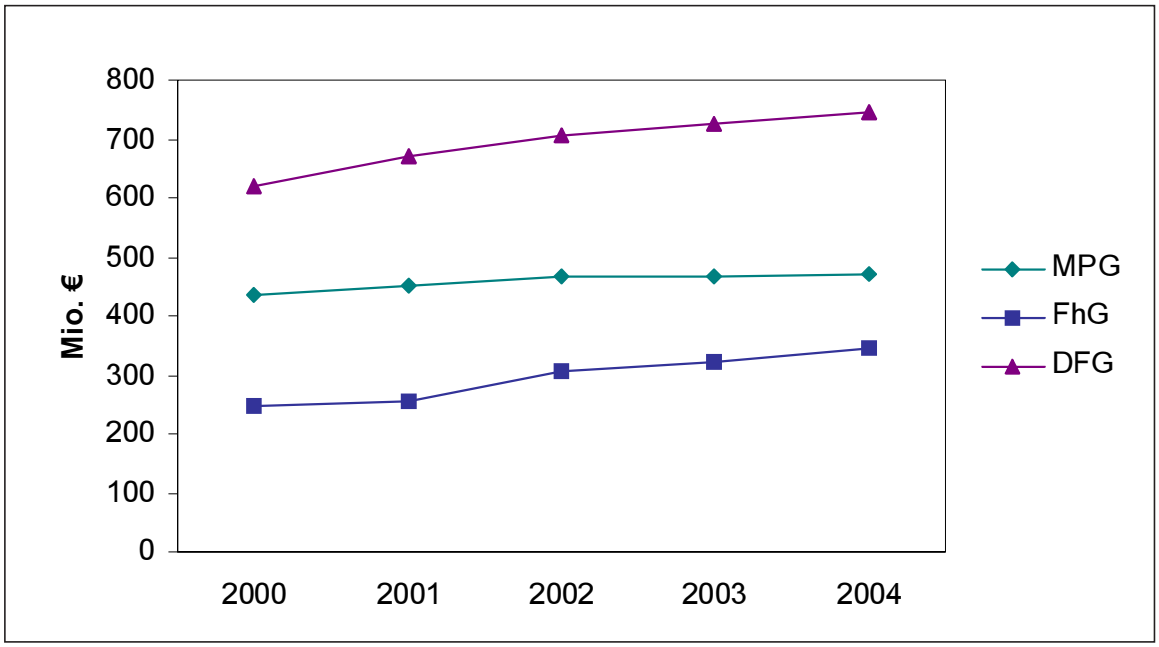
Tabelle II-3-4: FuE-Personal in Forschungsinstituten und nach Wissenschaftszweig

Jahr	1999		2000		2001		2002		2003		2004	
	insg.	davon Wissen-schaftl.	insg.	davon Wissen-schaftl.	insg.	davon Wissen-schaftl.	insg.	davon Wissen-schaftl.	insg.	davon Wissen-schaftl.	insg.	davon Wissen-schaftl.
HGF	21.468	10.999	21.624	10.850	20.657	10.341	21.163	10.463	21.785	10.790	22.238	11.597
MPG	9.225	4.020	9.279	4.081	9.428	4.253	9.825	4.584	10.822	5.504	11.850	6.305
FhG	6.968	4.491	7.262	4.705	8.867	5.768	8.785	5.615	8.539	5.134	8.971	6.519
WGL	9.152	5.025	8.975	4.892	8.902	4.876	8.855	4.936	8.210	4.262	8.365	4.398
Naturwiss.	31.459	16.489	31.784	16.430	31.782	16.836	32.936	17.477	32.719	16.754	35.004	19.150
Medizin	5.693	2.564	5.540	2.423	5.498	2.470	5.347	2.418	5.459	2.562	5.206	2.535
Ingenieurwiss.	18.664	10.811	18.640	10.933	19.177	11.435	19.142	11.241	20.107	11.252	20.341	12.573

Quelle: Statistisches Bundesamt 2003b, 2004, 2005b, 2006

In Deutschland ist die Förderung der Wissenschaft und Forschung föderal aufgebaut. Der Bund finanziert die Grundlagenforschung anteilsmäßig durch die institutionelle Förderung der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der außeruniversitären Forschungsgemeinschaften sowie über die Projektförderung. Die Länder finanzieren die Grundlagenforschung an den Universitäten und anteilsmäßig die Deutsche Forschungsgemeinschaft sowie außeruniversitären Forschungsgemeinschaften. Im Rahmen der Projektförderung hat die Bundesregierung 2001 das Rahmenprogramm Biotechnologie (2001-2006) verabschiedet. Forschungspolitische Ziele dieses Programms sind: Die Erhaltung und Verbesserung der Gesundheit des Menschen, ein schonender Umgang mit der Umwelt, gute technologische Rahmenbedingungen für die Nutzung biotechnologischer Verfahren sowie die Sicherung und Schaffung von Arbeitsplätzen (BMBF 2006a). Zur Erreichung dieser Ziele bedurfte es aus Sicht des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) der Sicherung einer leistungsfähigen Grundlagenforschung, der Gewährleistung eines effizienten Technologietransfers und der Setzung innovationsförderlicher rechtlicher Rahmenbedingungen. Insgesamt hat das BMBF zwischen 2000 und 2005 1.532,6 Mio. € für die Förderung der Biotechnologie ausgeben (BMBF 2006a, 624ff). In der Abbildung II-3-1 und den Tabellen II-3-5 und II-3-6 sind die FuE-Ausgaben des BMBF zwischen 2000 und 2004 dargestellt.

Abbildung II-3-1: Institutionelle Förderung des BMBF (in Mio. €)



Quelle: BMBF 2005a; DIW Berlin 2006

Tabelle II-3-5: BMBF-Förderung im Bereich Biotechnologie (in Mio. €)

Jahr	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Biotechnologie insgesamt:	200,78	275,95	263,58	273,61	257,34	261,2
Projektförderung	126,75	198,90	194,49	196,50	176,85	193,5
institutionelle Förderung	59,72	60,21	53,26	60,19	63,19	
internationale Beiträge	14,31	16,84	15,83	16,92	17,30	

Quelle: BMBF 2005a, 2006.

Insgesamt sind die Förderausgaben des BMBF zwischen 2000 und 2005 gestiegen, wobei der Anteil der Biotechnologie an den Gesamtausgaben von 3,5 % auf 4,3 % zugenommen hat (BMBF 2006a, S. 624ff). Damit hat die Biotechnologie insgesamt an Bedeutung gewonnen. Gleichzeitig hat bei der Förderung der Biotechnologie der Förderanteil der Hochschulen deutlich zugenommen und der Anteil der Wirtschaft im gleichen Zeitraum abgenommen (vgl. Tabelle II-3.6). Dies ist ein Indiz dafür, dass die Grundlagenforschung gestärkt worden ist.

Tabelle II-3-6: BMBF-Förderung nach Empfängergruppen (in %)

Jahr	2000	2001	2002	2003	2004
Biotechnologie	100	100	100	100	100
Wirtschaft	24	15	13	11	9
Hochschulen	11	19	25	24	25
hochschulfreie Forschung	65	66	62	65	66

Quelle: BMBF 2005b

Die Projektförderung des BMBF im Bereich Biotechnologie unterstützt die Kommerzialisierung der Biotechnologie in Deutschland. Immerhin werden gut die Hälfte der Projekte von Unternehmen durchgeführt. Mitte 2005 waren in der Förderdatenbank des BMBF im Bereich Biotechnologie 506 Projekte erfasst, die ab 1999 bis Mitte 2005 bewilligt worden waren, von denen 56 % von Unternehmen durchgeführt wurden. Nach Angaben des BMBF sind in den Programmen BioChance und BioChancePlus seit 1999 46 Biotechnologieunternehmen gefördert worden (Bundesregierung 2005, S. 287). Aktuelle Förderprogramme sind BioFuture zur Förderung von Nachwuchswissenschaftlern, Nanobiotechnologie zur Verknüpfung von Bio- und Nanotechnologie, BioIndustrie 2021 zur Anwendung der Biotechnologie

in umweltschonenden Industrieprozessen, der High-Tech Gründerfonds und GO-Bio zur Kommerzialisierung wissenschaftlicher Ideen (BMBF 2006).

Laut BMBF hat die biotechnologische Forschung in Deutschland traditionelle Stärken in der Zellbiologie, den Neurowissenschaften, der Entwicklungsbiologie, der Strukturbiologie, der Bioverfahrenstechnik und der Enzymtechnik (Bundesregierung 2005, S. 86). Nach Patel (2003a) hat Deutschland – nach den Veröffentlichungen zu urteilen – Forschungsschwerpunkte in der Biochemie, Biophysik, Zell- und Entwicklungsbiologie.

In den letzten zehn Jahren konnten deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ihren Anteil am weltweiten Publikationsaufkommen steigern, so dass Deutschland auf Platz 3 hinter den USA und Japan liegt (Bundesregierung 2005, S. 1). Auch in der Biotechnologie und Biopharmazie konnten deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ihre internationalen Publikationen erhöhen (Patel 2003a, S. 9). 1995 hatte Deutschland insgesamt 6.324 wissenschaftliche Veröffentlichungen in der Biotechnologie und im Jahr 2000 7.201 Veröffentlichungen (Reiss et al 2005, S. 161). Das entspricht einem Wachstum von 13,7 %. 1996 hatte Deutschland in der Biomedizin und Biologie zusammen 7.981 wissenschaftliche Veröffentlichungen und im Jahr 2003 8.418 wissenschaftliche Veröffentlichungen (NSF 2006). Das ist eine Steigerung um 5,5 %. Außerdem ist auch ein relativer Bedeutungszuwachs der Biotechnologie an allen Publikationen seit Mitte der 1990er-Jahre erkennbar (Nusser, Hinze 2005, S. 35; Patel 2003a). Wenn man aber den sogenannten Impactfaktor von Publikationen heranzieht, d. h. die Zahl der Zitierungen von Publikationen, haben andere Länder im Vergleich zu Deutschland immer noch einen größeren wissenschaftlichen Ausstrahlungseffekt in der Biotechnologie (Nusser, Hinze 2005, S. 36; Reiss et al. 2005, S. 162). Für den Bereich Biopharmazie haben Nusser und Hinze (2005) auch die Akteursstruktur der Veröffentlichungen untersucht. Hier ist erkennbar, dass die Universitäten im Vergleich zu den außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Pharmaunternehmen zunehmend mehr veröffentlicht haben. Im Jahr 1999 kamen 77 % der Publikationen von Universitäten, 11 % von öffentlichen Forschungseinrichtungen und knapp 7 % der Publikationen stammten aus Krankenhäusern. Zwischen 1994 und 1999 haben die Universitäten ihren Anteil um 5 Prozentpunkte erhöht, wohingegen die öffentlichen Forschungseinrichtungen von einem Anteil von knapp 14 % im Jahr 1994 auf 11 % in 1999 zurückgefallen sind. Interessant ist auch, dass der Anteil der Pharmaunternehmen an den biopharmazeutischen Publikationen zwischen 1994 und 1999 gesunken ist und sich der Anteil der Biotechnologieunternehmen im gleichen Zeitraum leicht von 1 % auf 1,3 % erhöht hat (Nusser, Hinze 2005, S. 40).

Ein ähnliches Bild lässt sich auch beim Patentaufkommen zeichnen. Zwischen 2001 und 2003 hat sich insgesamt die Zahl der Patentanmeldungen aus Hochschulen von 249 auf 572 verdoppelt (Bundesregierung 2005, S. 54). Gleichzeitig lag der Anteil der Patentanmeldungen aus der Wissenschaft an den gesamten deutschen Patentanmeldungen zwischen 1990 und 2001 ungefähr bei 5 %. Davon lag im betrachteten Zeitraum der Anteil der Patentanmeldungen aus der Biotechnologie am höchsten. Mitte der 1990er-Jahre lag der Anteil bei 46 %, ist aber 2001 auf 35 % gefallen. Die Patentanmeldungen erfolgten in erster Linie aus Hochschulen, gefolgt von der Helmholtz-Gesellschaft (HGF) und der Fraunhofer-Gesellschaft (FhG). Die Patentanmeldungen aus wissenschaftlichen Einrichtungen können als Gradmesser für das Verwertungspotenzial angesehen werden. Demnach zeigt sich auch in der Biotechnologie, dass der Reifegrad zugenommen hat und der Anteil patentgeschützter Erfindungen aus der Wissenschaft zu Gunsten industrieller Aktivitäten zurückgeht (BMBF 2004c, S. 168).

Der vergleichsweise hohe Anteil der Patentanmeldungen aus der Wissenschaft Mitte der 1990er-Jahre in der Biotechnologie fällt zusammen mit der Gründungswelle der Biotechnologieunternehmen in Deutschland (vgl. Kapitel 3). Zwischen 1999 und 2003 gab es generell aus der HGF 109 Ausgründungen. Im gleichen Zeitraum sind aus der FhG 164 Ausgründungen hervorgegangen, der MPG 33 und der WGL 48 Ausgründungen (Bundersregierung 2005, S. 52). Nach der Studie von Häussler (2004) sind gut 42 % der Biotechnologieunternehmen Ausgründungen aus Universitäten und nur 9 % Ausgründungen aus anderen Forschungseinrichtungen (ebenda, S. 3).

Tabelle II-3-7: Patentanmeldungen

Jahre	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**
Patentanmeldungen in der Biotechnologie EPO (priority day)	498	644	783	762	797
Jahre	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**
Patentanmeldungen in Deutschland zu gentechnischen Arzneimitteln	208	209	247	172	157

Quelle: OECD Patentdatenbank 2006; VfA 2004a, S. 59, 2005b, S. 60, 2006, S. 57

Die Tabelle II-3-7 zeigt, dass Deutschland die Zahl der Patentanmeldungen in der Biotechnologie zwischen 1998 und 2002 um 60 % steigern konnte. Auch ist die Zahl der Patentanmeldungen in der Biopharmazie zwischen Mitte und Ende der 1990er-

Jahre von 274 auf 620 deutlich gestiegen (Reiss, Hinze 2004, S. 38). Allerdings sind die Patentanmeldungen zu gentechnischen Arzneimitteln in Deutschland zwischen 2001 und 2005 um knapp 25 % gesunken. Hauptakteure bei der Patentanmeldung in der Biopharmazie sind Pharmaunternehmen mit knapp 34 % im Jahr 1999. Aber deren Anteil ist zwischen 1994 und 1999 um sieben Prozentpunkte gefallen. Dagegen haben die kleinen und mittleren Biotechnologieunternehmen im gleichen Zeitraum ihren Anteil deutlich von 18,7 % auf 27 % gesteigert (Reiss, Hinze 2004, S. 40). Die Patentzahlen zeigen, dass in Deutschland in der Biotechnologie ein Verwertungsinteresse sowie Interesse an der Kommerzialisierung der Erfindungen besteht.

Insgesamt hat sich die Wissensbasis der Biotechnologie in Deutschland in den letzten Jahren positiv entwickelt. Die Biotechnologie hat sowohl in den Universitäten als auch in der Förderung an Bedeutung gewonnen. Allerdings wird in der Studie von Ernst & Young (2005b) darauf hingewiesen, dass der Wissens- und Technologietransfer in den Lebenswissenschaften in Deutschland nach wie vor nicht reibungslos funktioniert. Es wird zwar mehr patentiert, aber die neu aufgebauten Verwertungsstrukturen arbeiten noch nicht effizient. Außerdem besteht eine Finanzierungslücke für die Entwicklungsphase von Erfindungen. Dieser Part wird selten in den Hochschulen oder außeruniversitären Forschungseinrichtungen finanziert. Gleichzeitig sind die Erfindungen noch nicht so weit entwickelt, dass sie für die Industrie schon interessant genug für die Einlizenzierung wären. Diese Hemmnisse werden auch in Gaisser et al. (2005) für die Biopharmazie bestätigt.

3.2 KLEINE UND MITTLERE BIOTECHNOLOGIEUNTERNEHMEN

Deutschland ist im Vergleich zu den USA und Großbritannien später in die Kommerzialisierung der Biotechnologie eingestiegen. So haben sich erst ab Mitte der 1990er-Jahre mit dem BioRegio-Wettbewerb des damaligen Bundesministeriums für Forschung und Technologie verstärkt Biotechnologieunternehmen gegründet, die in der Literatur als der Kern der Biotechnologieindustrie angesehen werden (Allansdottir et al. 2002; Arundel et al. 2006). Denn die kleinen und mittleren Biotechnologieunternehmen (KMU) übernehmen eine wichtige Funktion im Wissens- und Technologietransfer zur weiteren Entwicklung und Anwendung der wissensintensiven Biotechnologie, da es in vielen Fällen Ausgründungen aus Universitäten oder Forschungseinrichtungen sind. Durch den Markteintritt der kleinen und mittleren Biotechnologieunternehmen hat sich eine Arbeitsteilung zwischen den KMU und

großen Unternehmen in den Anwenderindustrien herausgebildet, insbesondere in der Pharmazeutischen Industrie (vgl. Reiss, Hinze 2004; Soete 2006). Für viele kleine Biotechnologieunternehmen sind Unternehmen der Anwenderindustrien Nachfrager ihrer Ideen, Produkte und Dienstleistungen (vgl. Teil I).

Bereits Ende der 1970er-Jahre wurden die ersten Biotechnologieunternehmen in Deutschland gegründet bzw. veränderten einige kleine und mittlere Unternehmen der Pharmazeutischen Industrie sowie Saatgutzucht ihre Unternehmensausrichtung auf die Biotechnologie inklusive der Gentechnik, Zellkulturtechnik und Technik zur Herstellung von Antikörpern (E&Y 2000; Mietzsch 2003; Statistisches Bundesamt 2003a). Diese Unternehmen hatten einen Schwerpunkt in der Technologieentwicklung, Auftragsforschung, biotechnologischen Dienstleistungen, Diagnostik und Herstellung von Vorleistungsprodukten für die Pharmazeutische und Chemische Industrie. In den 1980er-Jahren und Anfang der 1990er-Jahre wurden auf niedrigem Niveau weitere Biotechnologieunternehmen gegründet (Mietzsch 2003; Statistisches Bundesamt 2003a). Auch diese Unternehmen hatten einen Schwerpunkt in der Plattformtechnologieentwicklung. Einen regelrechten Gründungssprung gab es erstmalig 1992, da zu dem Zeitpunkt Biotechnologieunternehmen in den neuen Bundesländern gegründet wurden und dann ab 1996 (Gaisser et al. 2005, S. 130; Mietzsch 2003).

Im Jahr der Auslobung des BioRegio-Wettbewerbs (1995) existierten 75 Core-Biotechnologieunternehmen,[34] die sich zwei Jahre später bereits auf 173 Core-Biotechnologieunternehmen erhöht und damit mehr als verdoppelt hatten (E&Y 2003b, S. 10; vgl. Tabelle II-3.8). Innerhalb von vier Jahren (1997-2001) ist die Zahl der Mitarbeiter in den Core-Biotechnologieunternehmen von 4.013 auf 14.408 gestiegen und hat sich mehr als verdreifacht. Im gleichen Zeitraum stieg auch die durchschnittliche Beschäftigung in den Unternehmen von 23 Mitarbeitern im Jahr 1997 auf 39 Mitarbeiter im Jahr 2001 (E&Y 2003b, S. 11; vgl. Tabelle II-3.8). 1997 ging das erste Biotechnologieunternehmen in Deutschland am Neuen Markt an die Börse und erzielte ein Emissionsvolumen von 1,428 Mio. € (E&Y 2002b, S. 86).

34 Ernst & Young betrachten nur Core-Unternehmen, „deren Hauptgeschäftszweck die Kommerzialisierung der modernen, insbesondere molekularen Biotechnologie ist. Die Kommerzialisierung umfasst die Erforschung, Entwicklung und Vermarktung von Produkten, Technologien und Dienstleistungen auf Basis der modernen Biotechnologie. Es werden keine Unternehmen mit klassischen Methoden der Biotechnologie und große Unternehmen, deren Hauptgeschäftzweck nicht die moderne Biotechnologie ist, erfasst“ (2005b, S. 132).

Heute ist die moderne Biotechnologie ein etablierter Bestandteil der FuE- und Produktionsprozesse in den großen Unternehmen der Pharmazeutischen, Chemischen und Lebensmittelindustrie. Gleichzeitig hat sich in Deutschland eine Biotechnologieindustrie herausgebildet, die zu einer neuen Arbeitsteilung in Forschung und Entwicklung (FuE) – insbesondere im Bereich der Pharmazeutische Industrie und Medizin (roten Biotechnologie) – zwischen kleinen Biotechnologieunternehmen und großen Pharmaunternehmen beiträgt. Die Biotechnologieindustrie in Deutschland hat ihren Schwerpunkt im Anwendungsbereich Pharmazeutische Industrie und Medizin, da über 80 % der kleinen und mittleren Biotechnologieunternehmen in diesem Bereich tätig sind sowie der überwiegende Teil der großen Unternehmen (vgl. Kapitel II-3). 10 % der Core-Biotechnologieunternehmen und 28 % der Unternehmen der Kategorie I[35] sind im Anwendungsbereich Agrar- und Lebensmittelindustrie (grüne) und 9 % der Core-Biotechnologieunternehmen bzw. 7 % der Unternehmen der Kategorie I sind im Bereich der industriellen Prozesse oder weißen Biotechnologie tätig (Mietzsch 2004b; E&Y 2005b, S. 23). Nach den Angaben des Statistischen Bundesamtes arbeiten 67 % der Biotechnologieunternehmen im Bereich der roten Biotechnologie, 20 % im Bereich der grünen Biotechnologie und 14 % im Bereich der grauen/weißen Biotechnologie (ebenda 2005a).

In den Tabellen II-3-8 und II-3-9 sind die Entwicklungen der Biotechnologieindustrie anhand ausgewählter Indikatoren in den letzten Jahren dargestellt. In der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre gab es ein dynamisches Wachstum bei der Zahl der Unternehmen (111 %) und der Zahl der Beschäftigten (259 %) mit einem Höhepunkt im Jahr 2001. In dem Jahr 2001 kam es zum Einbruch der internationalen Finanzmärkte, der in Deutschland zur Schließung des Neuen Marktes 2003 führte und zu einem starken Rückgang an Venture Capital, insbesondere für Unternehmensgründungen und die Frühphase (vgl. Tabelle II-3-10). Infolgedessen ist nicht nur die Zahl der Neugründungen zurückgegangen, sondern auch die Gesamtzahl der Unternehmen, weil die Zahl der Marktaustritte gestiegen ist. Mit dem Rückgang der Core-Unternehmen geht auch ein Rückgang der Beschäftigung einher. Im Jahr 2004 lag die durchschnittliche Beschäftigung in den Core-Biotechnologieunternehmen

35 Für Deutschland werden auch die Daten der BIOCOM AG verwendet. Die BIOCOM AG definiert zwei Kategorien von Unternehmen für ihre Erhebungen: Kategorie I: Unternehmen, die vorrangig mit modernen biotechnischen Verfahren forschen, produzieren oder arbeiten, inklusive Großunternehmen; Kategorie II: Unternehmen, die in nennenswertem Umfang technische Produkte oder biotechnologisch-spezifische Dienstleistungen anbieten (Mietzsch 2004b, S. 12).

bei 29 Beschäftigten, und 80 % der Unternehmen hatten maximal 30 Beschäftigte (E&Y 2005b, S. 13).

Da Ernst & Young im Jahr 2006 seine Datenbasis geändert hat, sind die Angaben des Jahres 2005 nicht mehr direkt vergleichbar mit den alten Studien. Der Bericht für das Jahr 2005 zeigt, dass der Trend des Rückgangs angehalten hat. Allerdings ist der Umsatz der Core-Biotechnologieunternehmen leicht gestiegen (E&Y 2006b, S. 7).

Tabelle II-3-8: Entwicklung der Core-Unternehmen in der Biotechnologie

Jahr	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**
Anzahl der Unternehmen (börsennotiert)	173 (1)	222 (1)	279 (5)	332 (11)	365 (12)	360 (13)	350 (11)	346 (12)
Zahl der Neugründungen	69	49	57	59	44	25	23	26
Zahl der Beschäftigten	4.013	5.650	8.124	10.673	14.408	13.400	11.535	10.089
Zahl der FuE-Beschäftigten	2.076	2.957	4.346	5.736	7.858	7.308	6.120	5.380
Umsatz (Mio. €)	289	384	517	786	1.045	1.014	960	1.030
FuE-Aufwand (Mio. €)	141	212	326	719	1.228	1.090	966	869
Verlust (Mio. €)	35	42	53	247	551	661	549	486
Produkte in der Pipeline (börsennotierte Unternehmen)	k.A.	k.A.	95	k.A.	180 (28)	177 (15)	202 (15)	240 (12)
Finanzierung								
Beteiligungskapital (Mio. €)	k.A.	k.A.	k.A.	1.373	548	208	219	424
davon Venture Capital (Mio. €)	61	145	175	565	525	207	216	236
davon Erstemission (IPO) (Mio. €)	1.428,2	k.A.	185	655	23	0	0	42

Quelle: E&Y 2000, 2002, 2003b, 2004b, 2005b

Die BIOCOM AG erfasst auf Grund ihrer Abgrenzung mehr Biotechnologieunternehmen und mehr Beschäftigte, aber auch anhand der Zahlen ist erkennbar, dass in den letzten drei Jahren die Zahl der Gründungen, der Unternehmen und die Beschäftigung rückläufig sind. Dieser Trend wird vom Statistischen Bundesamt (2005a) bestätigt (vgl. auch Teil I).

Tabelle II-3-9: Die Biotechnologieindustrie

Jahr	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**
Anzahl der Unternehmen*	538	604	597	561	541	539
Zahl der Neugründungen	92	55	37	17	9	15
Anteil der Unternehmen jünger als 5 Jahre (in %)	53	57	51,1	45,8	37,7	35,6
Zahl der Beschäftigten[1]	16.500	19.800	18.890	16.120	14.500	23.829[2]
Umsatz (Mio. €)	1.500	1.500				1.538[1]

* Kategorie I: Unternehmen, die überwiegend mit modernen biotechnologischen Verfahren forschen, arbeiten und produzieren, inklusive Großunternehmen.

1 nur KMU.

2 Unternehmen der Kategorie I.

Quelle: BIOCOM 2000, 2001; Mietzsch 2003, 2004a,b; biotechnologie.de 2006

Tabelle II-3-10: Der Beteiligungskapitalmarkt in Deutschland

Jahr	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**
Portfolio (Mio. €)	7.896	11.478	15.844	16.218	17.879	20.163	21.495
eingeworbenes Kapital (Mio. €)	4.310	5.803	3.713	1.644	1.191	1.983	7.185
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
Exit							
Trade Sales (Mio. €)	192,8	492,4	379,1	651,61	146,07	371,8	383,04
Anteil Trade Sales (in %)	25,1	39,0	20,4	30,6	17,8	25,1	20,6
IPO Deutschland (Mio. €)	63,4	113,0	2,1	0	0	0	116,55
Anteil IPO (in %)	12,6	9,2	0,4	0	1,1	4,1	6,3

Quelle: BVK verschiedene Jahrgänge

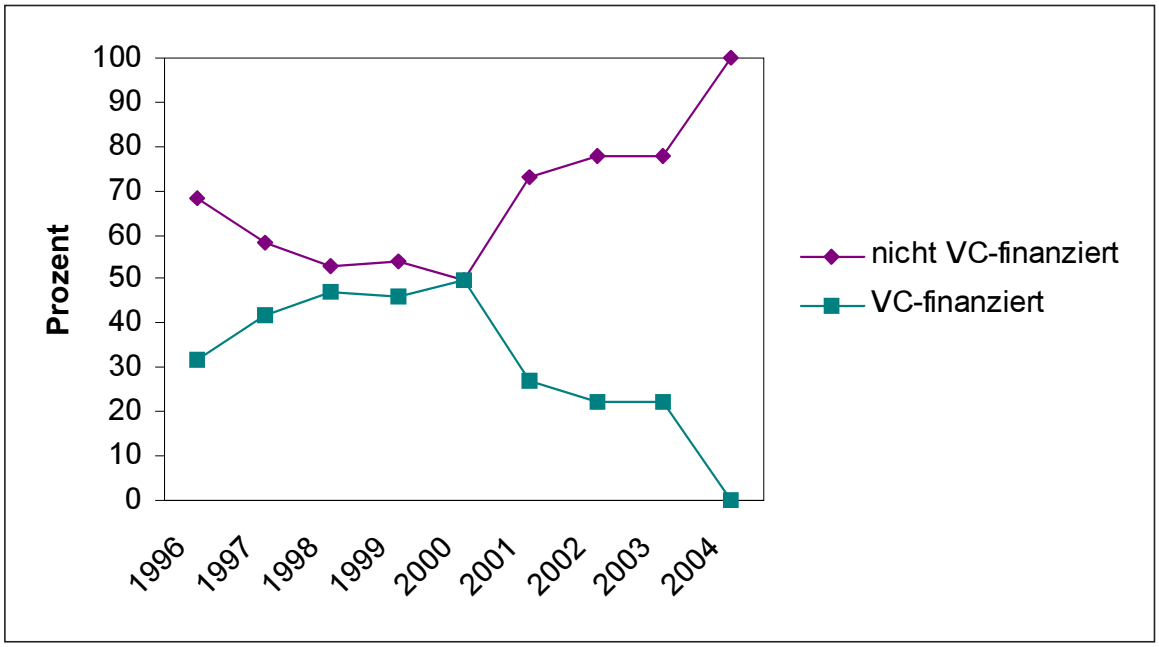
Bei der Finanzierung der Biotechnologieunternehmen sind zwei Aspekte auffällig. Zum einen sind dies die Spitzen in den beiden Boomjahren 2000 und 2001 sowohl für die Beteiligungsfinanzierung generell als auch speziell für die Venture Capital Finanzierung. In den Folgejahren pendeln sich beide auf deutlich niedrigerem Niveau – allerdings höher als vor dem Boom – ein (vgl. Tabelle II-3-8, II-3-10). Der zweite Aspekt ist die Schließung des Börsenfensters bis zum Jahr 2004, das die Beteili-

gungsfinanzierung fast ausschließlich auf die Venture Capital Finanzierung einschränkt (vgl. Tabelle II-3-8, II-3-10).

Gleichzeitig machen die Untersuchungen von Ernst & Young auch deutlich, dass in Deutschland die Venture Capital Finanzierung der Biotechnologieunternehmen eine untergeordnete Rolle spielt. Im Jahr 2004 waren nur ein Drittel der Core-Biotechnologieunternehmen Venture Capital (VC) finanziert, ein Drittel finanzierte sich über Umsätze oder Privatvermögen (E&Y 2005b). Die geringere Bedeutung von Venture Capital wird bereits bei der Unternehmensgründung deutlich. Die 26 neugegründeten Unternehmen im Jahr 2004 sind ohne Venture Capital Finanzierung gegründet worden (E&Y 2005b, S. 12). Dagegen waren nach Angaben von biotechnologie.de (2006) im Jahr 2005 44 % der kleinen und mittleren Biotechnologieunternehmen (Kategorie I) Venture Capital finanziert. Nach den Studien von Ernst & Young sind in Deutschland staatliche Förderprogramme eine wichtige Finanzierungsquelle für kleine und mittlere Biotechnologieunternehmen. Im Jahr 2005 haben 35 % der kleinen und mittleren Biotechnologieunternehmen Fördermittel von Bund, Ländern oder Kommunen erhalten (biotechnologie.de 2006, S. 12). Bei dieser Finanzierungsquelle besteht das Problem, dass die Projektlaufzeit im Durchschnitt drei Jahre beträgt und die Entwicklungszeiten für viele Biotechnologieprodukte weit darüber hinaus gehen.

In Abbildung II-3-2 werden zwei Entwicklungen erkennbar. Zum einen die zunehmende Bedeutung der Venture Capital Finanzierung zwischen 1997 und 2000 für Unternehmensgründungen, praktisch parallel zu der Entwicklung eines Venture Capital Marktes in Deutschland. Zum anderen die Finanzierungsverschiebung nach dem Boomjahr 2000 von der Gründungs- und Frühphasenfinanzierung hin zur Finanzierung späterer Entwicklungsphasen (later stage) (vgl. Tabelle II-3-10). Da Venture Capital in den meisten Ländern eine wichtige Finanzierungsquelle für Unternehmensgründungen in der Biotechnologie ist, könnte dieser Rückgang in Deutschland erklären, warum die Zahl der Unternehmensgründungen wieder deutlich gesunken ist. Ohne oder mit einem geringen VC-Angebot werden erheblich weniger Unternehmen gegründet und weitere Finanzierungsrunden sind nicht gesichert.

Abbildung II-3-2: Unternehmensgründungen nach Finanzierungsbasis (in %)



Quelle: E&Y 2005b, S. 12, **DIW** Berlin 2006

Seit dem Jahr 2000 sind die Marktaustritte der Core-Biotechnologieunternehmen kontinuierlich gestiegen und lagen im Jahr 2002 erstmals über der Zahl der Unternehmensgründungen. Zwischen 2000 und 2004 haben insgesamt 115 Core-Biotechnologieunternehmen den Markt wieder verlassen (E&Y 2005b, S. 11, 18). Ein Großteil der Marktaustritte ist auf Insolvenzen bzw. Unternehmensschließungen zurückzuführen. Der kleinere Teil geht auf Aufkäufe oder Fusionen zurück. Von den 115 Unternehmen sind 49 % insolvente Unternehmen, die Venture Capital finanziert waren, von denen ein Großteil nach der ersten Finanzierungsrunde Insolvenz anmelden musste. 17 % der Unternehmen sind aufgekauft worden und nur 7 % sind fusioniert (E&Y 2005b, S. 18). Mehr als zwei Drittel aller insolventen Unternehmen waren in den Jahren 2002 und 2003 jünger als 5 Jahre. 2004 ist dieses Verhältnis gekippt, und der Anteil der insolventen Unternehmen, die älter als 5 Jahre waren, lag bei 61 %.

Obwohl seit 2002 die Zahl der Unternehmen und Beschäftigten sinkt, steigt trotzdem der Reifegrad der verbliebenen Unternehmen, wie an der Zahl der internationalen kommerziellen Kooperationen[36] erkennbar wird. Kommerzielle Kooperationen sind eine weitere Finanzierungsquelle für kleine und mittlere Biotechnologieunternehmen. Im Jahr 1998 hatten deutsche Biotechnologieunternehmen

36 Zu kommerziellen Kooperationen zählen die Auftragsforschung, die Auftragsproduktion, die Auslizenzierung, Marketing- und Vertriebs-Kooperationen.

insgesamt 16 internationale kommerzielle Kooperationen mit anderen Biotechnologieunternehmen, Pharma- oder Industrieunternehmen, davon über die Hälfte mit ausländischen Unternehmen. Deutsche Pharmaunternehmen hatten im gleichen Jahr 24 kommerzielle Kooperationen mit ausländischen Biotechnologieunternehmen (E&Y 2000, S. 85). Im Jahr 2004 hatten die Core-Biotechnologieunternehmen 147 internationale kommerzielle Kooperationen, davon aber nur 24 % im Inland. Die Hauptpartner sind andere Biotechnologieunternehmen, in erster Linie aus Nordamerika. Der Anteil der internationalen kommerziellen Kooperationen mit Pharmaunternehmen lag bei 38 % und die meisten Kooperationen wurden mit europäischen Pharmaunternehmen abgeschlossen (E&Y 2005b, S. 87). Im Jahr 2005 sind die internationalen kommerziellen Kooperationen auf 83 gefallen, wobei sich bei der Verteilung der Partner und Regionen keine nennenswerten Verschiebungen ergeben haben (E&Y 2006b, S. 64).

Anhand der Nutzung der genehmigten gentechnischen Anlagen[37] in Deutschland ist erkennbar, dass insgesamt die Biotechnologie noch sehr forschungsintensiv ist. Im April 2005 wurden 80 % der gentechnischen Anlagen im Bereich der öffentlichen Forschung genutzt und fast 18 % in der privaten Forschung. Im privaten Gewerbe werden bisher nur 2 % der genehmigten gentechnischen Anlagen genutzt (BAVL 2005). Allerdings ist zwischen 2001 und 2005 der genehmigte Anlagenbestand um ein knappes Drittel gewachsen und dabei in erster Linie im privaten Bereich. In der privaten Forschung ist der Bestand an gentechnischen Anlagen in dem betrachteten Zeitraum um 34 % gewachsen und im privaten Gewerbe um 38 % (RKI 2004; BAVL 2005). Dabei sagt die Zahl der gentechnischen Anlagen nichts über ihre jeweilige Größe aus. Es ist zu vermuten, dass es sich bei den gentechnischen Anlagen im privaten Gewerbe in erster Linie um Produktionsanlagen handelt. Gleichzeitig spiegelt sich die Forschungsorientierung auch in den zugelassenen gentechnischen Arbeiten wider. Im Frühjahr 2001 fanden gut vier Fünftel der zugelassenen gentechnischen Arbeiten in der öffentlichen Forschung statt. Nur 15 % der zugelassenen gentechnischen Arbeiten wurden in der privaten Forschung durchgeführt und 4 % im privaten Gewerbe (BAVL 2005).

Zwischen 1999 und Anfang 2006 sind 83 Anträge für Freisetzungsvorhaben von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen gestellt worden, von denen 69 Anträge genehmigt worden sind. Insgesamt sind in dem Zeitraum von 35 Unternehmen An-

37 Gentechnische Anlagen sind Laboratorien, Produktionsanlagen (z. B. zur Herstellung von Arzneimitteln durch gentechnisch veränderte Organismen), Tierställe oder Gewächshäuser.

träge gestellt worden bzw. haben sie einen Anteil von 42 % an allen gestellten Anträgen. Allerdings hatten in erster Linie große Unternehmen aus der Chemischen Industrie Freisetzungsanträge gestellt (BVL 2006a).

Die Geschäftsausrichtung der Core-Biotechnologieunternehmen hat sich im Zeitablauf verändert. In den 1990er-Jahren hatten die Core-Biotechnologieunternehmen einen Schwerpunkt in der Plattformtechnologieentwicklung, erstens, weil damit schneller Umsätze erzielt werden konnten und zweitens, weil viele Venture Capital Investoren anfänglich diese Unternehmen bevorzugten, auf Grund der kürzeren Entwicklungszeiten und der vergleichsweise risikoärmeren Investition (E&Y 2000, S. 13, 19; Platz 2003, S. 7-8). Mit Beginn des 21. Jahrhunderts wurden von Seiten der Venture Capital Investoren Biotechnologieunternehmen bevorzugt, die Produktentwicklungen betrieben, insbesondere neue Medikamente und Therapien, weil trotz längerer Forschungs- und Entwicklungszeiten ein höherer *return on investment* erwartet wurde. Im Jahr 2001 gaben 46 % der Core-Biotechnologieunternehmen als Geschäftsausrichtung Produktentwicklung an, 41 % Dienstleistung und Produktentwicklung und 13 % ausschließlich Dienstleistung. Im Jahr 2004 hatten sich angesichts der Finanzierungsproblematik die Geschäftsstrategien wieder geändert. Die Hälfte der Unternehmen war im Bereich Dienstleistung und Produktentwicklung tätig, 31 % in der reinen Produktentwicklung und 19 % im reinen Dienstleistungsbereich (E&Y 2005b). Diese sich verändernden Geschäftsstrategien sind eine Erklärung für die Umsatzentwicklung der Core-Biotechnologieunternehmen (vgl. Tabelle II-3-8).

Diese Geschäftsstrategien könnten auch erklären, warum kleine und mittlere deutsche Biotechnologieunternehmen erst in den letzten Jahren eine gestiegene Anzahl an Produkten in der Pipeline haben. Im Jahr 2001 gab es sowohl in der Entwicklung als auch im Markt 238 Molekulardiagnostica, von denen 57 % auch schon vermarktet wurde, 183 Therapeutika in der Entwicklung, 62 Drug-Delivery Systeme und 29 Tissue-Engineering Produkte, von denen ein gutes Drittel vermarktet wurden. Außerdem gab es 181 Produktauslizenzierungen (E&Y 2002b, S. 29, 45, 55, 58). Nach BIOCOM (2001) hielten im Jahr 2001 die Hälfte der Biotechnologieunternehmen[38] Patente oder Lizenzen. Im Jahr 2005 waren insgesamt 285 Produkte in der Pipeline, von denen sich noch 173 Produkte in der präklinischen Phase befanden und nur 12 in der III. klinischen Phase (E&Y 2006b, S. 20). Im Jahr 2004 hat das erste deutsche Biotechnologieunternehmen ein einlizenziertes Medikament auf den Markt gebracht. Dies wird als Durchbruch und Stärkung der roten Biotech-

38 Unternehmen der Kategorie I.

nologie in Deutschland angesehen. Die meisten Core-Biotechnologieunternehmen streben offensichtlich die Produktentwicklung bis zur zweiten klinischen Phase an und wollen dann auslizenzieren oder ihre Entwicklung verkaufen, weil sie in der Regel nicht die finanziellen Ressourcen für die III. klinische Phase, den Zulassungsprozess und die Markteinführung, haben (E&Y 2004b, 2005b).

3.3 BIOTECHNOLOGIE IN GROSSEN UNTERNEHMEN

Neben der Neuausrichtung kleiner und mittlerer Unternehmen der Chemischen sowie Pharmazeutischen Industrie und Pflanzenzüchtung in den 1980er-Jahren haben auch große Unternehmen der Chemischen sowie Pharmazeutischen Industrie die Biotechnologie adaptiert. Einige Unternehmen haben bereits in den 1980er-Jahren mit modernen biotechnischen Verfahren geforscht, produziert oder gearbeitet (Lembke 2006; Mietzsch 2003; Statistisches Bundesamt 2003a). So besitzen beispielsweise sechs deutsche Unternehmen der Chemischen und Pharmazeutischen Industrie Biotechnologiepatente in den USA, die vor 1990 und während der 1990er-Jahre von der US-amerikanischen Patentzulassungsbehörde erteilt worden sind (NSF 2006, Tabelle 6-17).

Auf Grund von drei großen Produktionsstandorten der Pharmazeutischen Industrie in Frankfurt a.M., Biberach und Penzberg ist Deutschland weltweit der zweitgrößte Standort nach den USA für gentechnische Produktion (E&Y 2006b; VfA 2005a, S. 25). Nach den aktuellen Geschäftsberichten großer chemischer und pharmazeutischer Unternehmen zu urteilen, haben die international agierenden Unternehmen alle strategische Allianzen in der Biotechnologie mit Universitäten und Forschungseinrichtungen sowie mit kleinen und mittleren Biotechnologieunternehmen. In der Pharmazeutischen Industrie findet weltweit zurzeit eine Aufkaufwelle kleiner und mittlerer Biotechnologieunternehmen durch große Pharmaunternehmen statt (Hofmann 2006b, 2006c). Da viele Pharmaunternehmen mit auslaufenden Patenten und vergleichsweise leeren Pipelines konfrontiert sind, hoffen sie über Zukäufe von Biotechnologieunternehmen diese Lücken zu schließen. Bei dem Schweizer Pharmaunternehmen Roche liegt der Umsatzanteil der Biotechnologie inzwischen bei 43 % und bei dem neuen deutschen Unternehmen Merck-Serono liegt der Umsatzanteil der Biotechnologie bei 28 % (Hofmann 2006c). Auch bei agrochemischen Unternehmen wie Monsanto (USA) oder DuPont liegt der Umsatzanteil der Biotechnologie inzwischen bei 38 % bzw. 54 % (Bohne 2005).

Für eine Indikator-basierte Analyse besteht aber das Problem, dass die Tätigkeiten der chemischen und pharmazeutischen Unternehmen oder der Pflanzenzüchterunternehmen in der Biotechnologie nicht statistisch erfasst werden, denn die übliche Wirtschaftsstatistik orientiert sich an Wirtschaftszweigen und nicht an Technologien. Deshalb stehen kaum Daten oder Informationen zur Verfügung.

Das Statistische Bundesamt hat in seinen Pilotumfragen (2000, 2002, 2004) auch Großunternehmen außerhalb der Core-Biotechnologieindustrie erfasst, die zur Bio- und Gentechnologie forschen, sie in der Produktion einsetzen und Produkte anbieten (vgl. Tabelle II-3-11). Insgesamt waren im Jahr 2002 38 Unternehmen erfasst (Statistisches Bundesamt 2003a, S. 9). Fünf Unternehmen gaben an, in dem Anwendungsbereich Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie (grüne Biotechnologie) tätig zu sein, neun Unternehmen gaben an, in dem Bereich Pharmazeutische Industrie und Medizin (rote Biotechnologie) tätig zu sein und drei Unternehmen waren in dem Anwendungsbereich Umwelt und industrielle Prozesse (graue/weiße Biotechnologie) tätig (ebenda, S. 27). Auch bei den großen Unternehmen liegt der Schwerpunkt in der roten Biotechnologie. Im Jahr 2004 waren 14 Unternehmen in der grünen Biotechnologie tätig, 20 Unternehmen in der roten und sieben Unternehmen in der grauen/weißen Biotechnologie (Statistisches Bundesamt 2005a, S. 28). Zwischen den Jahren 2000 und 2005 ist die Zahl der Unternehmen in den Anwenderindustrien gestiegen, die zur Biotechnologie forschen und sie in der Produktion einsetzen (vgl. Tabelle II-3-11 und auch Teil I). Damit ist auch die Zahl der Beschäftigten gestiegen, obwohl die Zahl der FuE-Beschäftigten eher abgenommen hat. Die ökonomische Bedeutung der Unternehmen aus den genannten Anwenderindustrien ist gemessen am Umsatz und den Beschäftigten größer als die der Core-Biotechnologieunternehmen (vgl. Tabelle II-3.8). Allerdings scheinen die Core-Biotechnologieunternehmen gemessen an den absoluten FuE-Ausgaben, den FuE-Beschäftigten sowie den Forschungsintensitäten[39] forschungsintensiver zu sein (vgl. Tabellen II-3-8).

39 FuE-Ausgaben/Umsatz; FuE-Beschäftigten/Beschäftigten.

Tabelle II-3-11: Große Unternehmen der Anwenderindustrien mit Biotechnologie

Jahr	**2000**	**2002**	**2004**	**2005**
Zahl der Unternehmen	24	38	31	59
Zahl der Beschäftigten	8.933	5.089[1]	10.995	10.856
Zahl der FuE-Beschäftigten	2.401	1.169[1]	2.389	
Umsatz (Mio. €)	3.500	1.203,8[1]	2.462,2	
FuE-Ausgaben Biotechnologie (Mio. €)	368	266,9[1]	501,1	

1 Angaben basieren auf den Antworten von 15 Unternehmen
Quelle: Statistisches Bundesamt 2002a, 2003a, 2005a; biotechnologie.de 2006

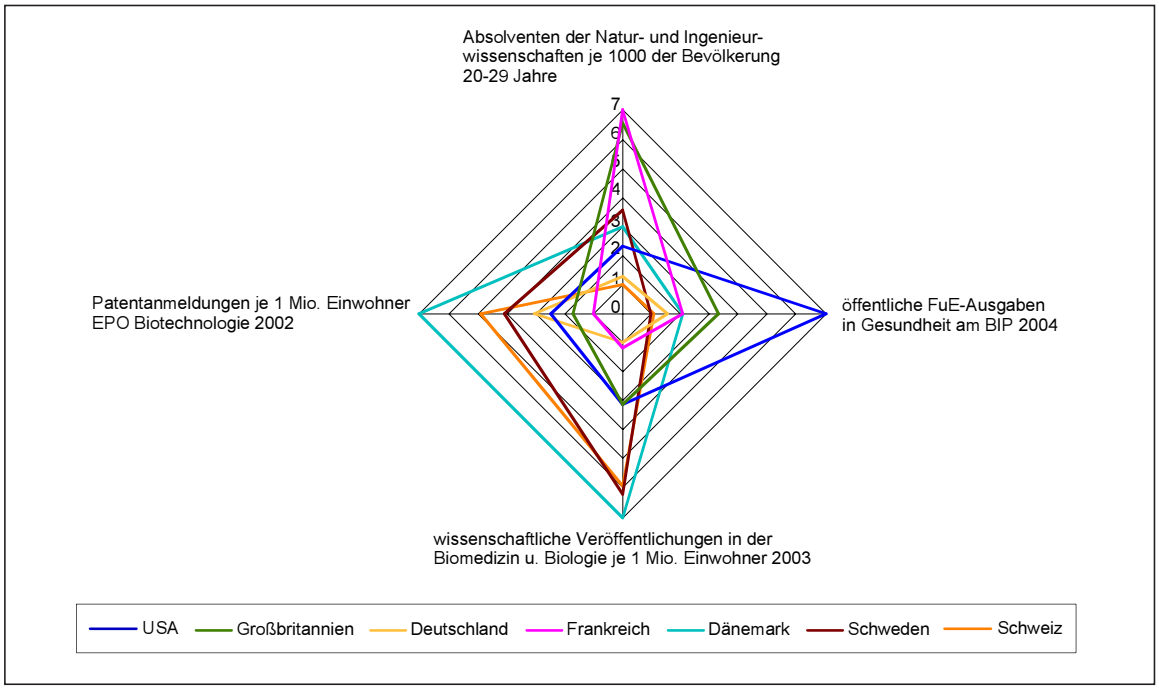
4 INTERNATIONALER VERGLEICH FÜR AUSGEWÄHLTE LÄNDER

4.1 WISSENSBASIS

Im internationalen Vergleich werden hier Input- und Outputindikatoren der Wissensbasis, wie Absolventenzahlen der Natur- und Ingenieurwissenschaften, Anteile der öffentlichen FuE-Ausgaben für Gesundheit am BIP, wissenschaftliche Veröffentlichungen in der Biomedizin und Biologie je 1 Mio. Einwohner oder die Patentanmeldungen je 1 Mio. Einwohner in der Biotechnologie beim europäischen Patentamt, herangezogen. Auf Grund der verwendeten Daten auf der Basis der DTI-Studien 2004, 2005 wird Deutschland mit den USA, Großbritannien, Dänemark, Schweden, Frankreich und der Schweiz verglichen. Im Folgenden werden diese Länder als DTI-Länder bezeichnet. Die Auswertungen sind im Anhang dokumentiert. Bei den relativen Indikatoren der Wissensbasis[40] schneidet Deutschland im internationalen Vergleich insgesamt schlecht ab (vgl. Abbildung II-4-1). In Deutschland ist die Studienneigung nach wie vor gering und die Zahl der Absolventen in den relevanten Fächern der Biotechnologie ist eher rückläufig. Beides erklärt, warum Deutschland bei dem Indikator Absolventen der Natur- und Ingenieurwissenschaften so schlecht abschneidet (vgl. Tabelle A-II-3). Auf diese Problemfelder ist in Kapitel II-3.1 bereits hingewiesen worden.

40 Indikatoren gewichtet mit der Landesgröße.

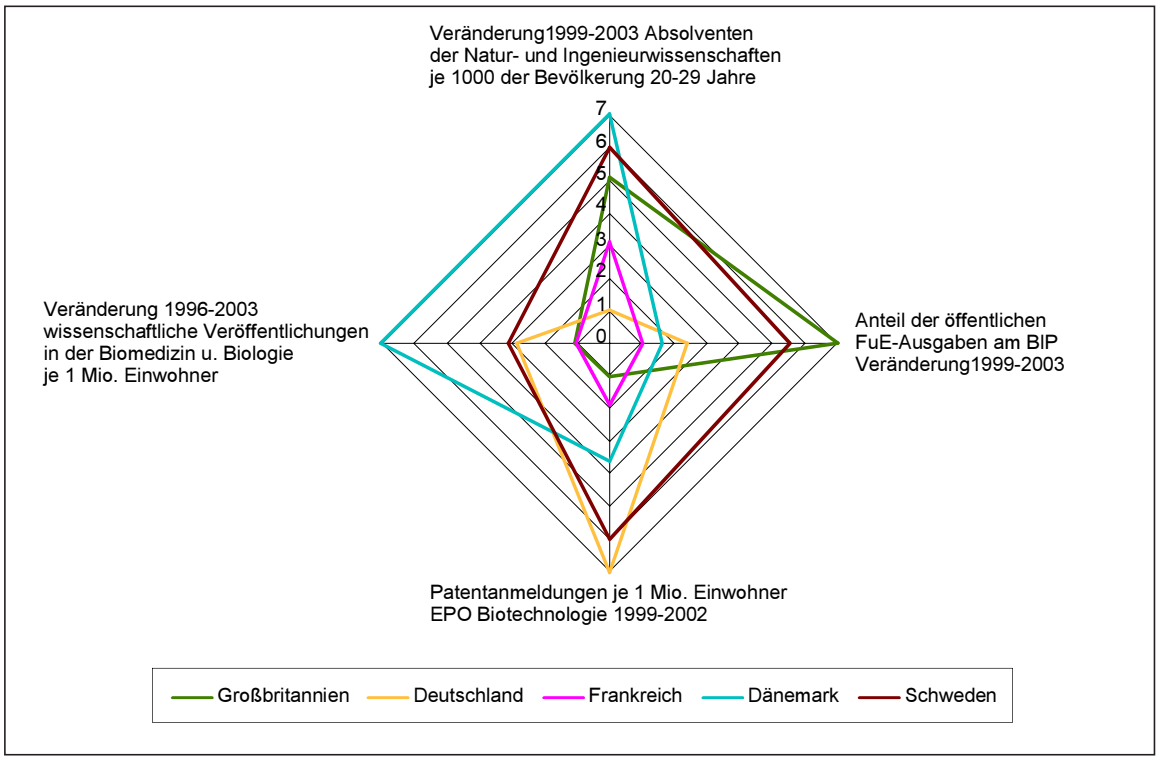
Abbildung II-4-1: Vergleich der Wissensbasis in den DTI-Ländern 2003



Quelle: **DIW** Berlin 2006

Deutschland hat zwar bei der Zahl der Veröffentlichungen zugenommen (vgl. Abbildung II-4-2, Kapitel II-3.1), aber der Schwerpunkt der Veröffentlichungen liegt in Deutschland nach wie vor nicht in den Life Sciences, sondern auf Grund des Profils der technologischen Leistungsfähigkeit in den Bereichen Physik, Maschinenbau und Elektrotechnik (BMBF 2006). Dies erklärt, warum Deutschland auch bei den wissenschaftlichen Veröffentlichungen weit hinter den anderen Ländern liegt. Die öffentlichen FuE-Ausgaben im Bereich Gesundheit sind in Deutschland deutlich geringer als in den Vergleichsländern, insbesondere im Vergleich zu den USA, Großbritannien und Dänemark, die alle einen stärkeren Fokus auf die rote Biotechnologie haben als Deutschland (vgl. Tabelle A-II-3, Abbildung II-4-3). Von diesen öffentlichen Ausgaben kann die rote Biotechnologie profitieren. Die beiden kleinen Länder Dänemark und Schweden sind sehr stark bei den Veröffentlichungen und Patentanmeldungen je 1 Mio. Einwohner. Frankreich und Großbritannien haben die meisten Absolventen in den Natur- und Ingenieurwissenschaften.

Abbildung II-4-2: Entwicklung der Wissensbasis in den DTI-Ländern zwischen 1999 und 2003



Quelle: **DIW** Berlin 2006

Die Entwicklung der hinzugefügten Indikatoren der Wissensbasis zwischen 1999 und 2003 zeigt, dass Deutschland bei den Biotechnologiepatentanmeldungen die höchste Wachstumsrate hatte (vgl. Abbildung II-4-2, Tabelle A-II-4). Hier zeigt sich, dass Deutschland aufholt, aber relativ noch keinen Wissensvorsprung gegenüber Dänemark, Schweden und der Schweiz aufgebaut hat (vgl. Tabelle A-II-1). Deutschland ist von den fünf betrachteten Ländern das einzige, bei dem die Zahl der Absolventen der Natur- und Ingenieurwissenschaften je 1.000 der Bevölkerung von 20-29 Jahren zwischen 1999 und 2003 abnimmt.

Der Anteil der öffentlichen FuE-Ausgaben am BIP ist zwischen 1999 und 2003 in Großbritannien und Schweden fast dreimal bzw. gut doppelt so stark gestiegen wie in Deutschland (vgl. Tabelle A-II-4). Bei diesen Ausgaben ist zwar unklar, wie viel davon in die Förderung der Biotechnologie geflossen ist, aber es ist davon auszugehen, dass die jeweiligen Regierungen auch die Biotechnologie gefördert haben. In Großbritannien hat in dem betrachteten Zeitraum die Zahl der Patentanmeldungen und die Zahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen abgenommen. Hier scheint ein Teil der Wissensbasis zu erodieren. Insgesamt schneidet Frankreich bei der Entwicklung der Wissensbasis am schlechtesten ab.

4.2 KLEINE UND MITTLERE BIOTECHNOLOGIEUNTERNEHMEN

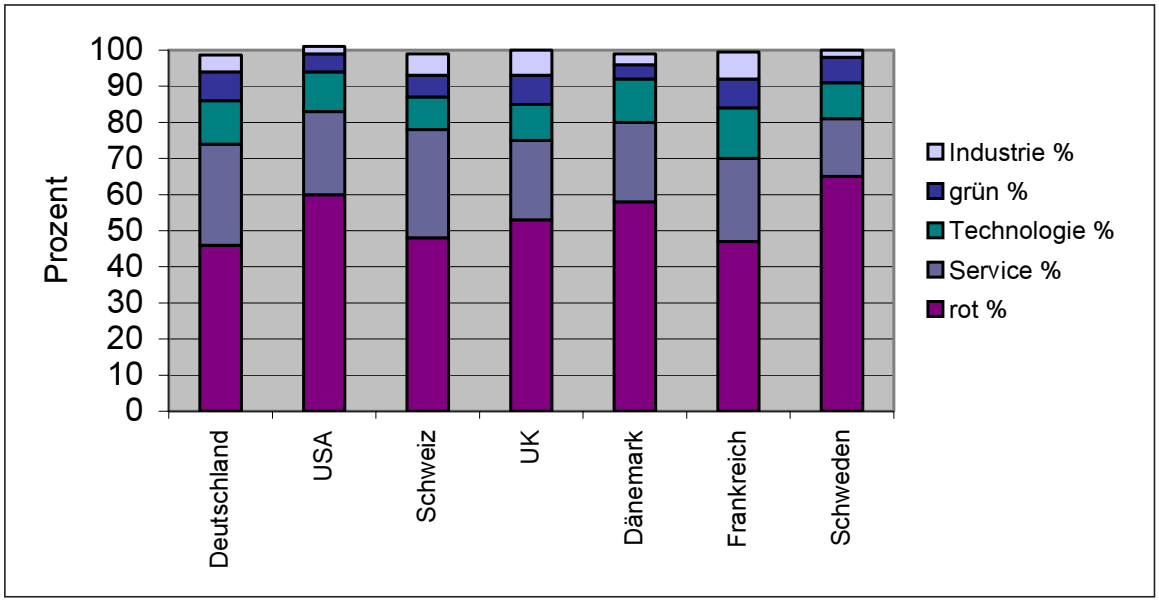
Der Kernbereich der Biotechnologieunternehmen[41] in Deutschland wird anhand ausgewählter Input- und Outputindikatoren abgebildet. Als Datenbasis für die differenzierten Analysen auch bei den Biotechnologieunternehmen werden die DTI-Studien 2004, 2005 verwendet. Deutschland wird daher wiederum mit den USA, Großbritannien, Dänemark, Schweden, Frankreich und der Schweiz verglichen. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Unternehmensangaben der DTI-Studien und Ernst & Young Studien, insbesondere zu Deutschland, voneinander abweichen. Dies ergibt sich aus der unterschiedlichen Methode der Datenerhebung (vgl. Kapitel II-2). Da die Daten der DTI-Studien für die drei betrachteten Jahre in sich konsistent sind und nach einer einheitlichen Methode für alle betrachteten Länder erhoben worden sind, werden sie für die Analyse als sinnvoll erachtet und verwendet. Da nicht für alle hier betrachteten Länder die Daten für weitere relevante Indikatoren vorliegen, werden einige Aspekte ergänzend diskutiert. Alle Auswertungen finden sich auch tabellarisch im Anhang.

Die USA, die Schweiz, Großbritannien, Dänemark, Frankreich, Schweden und Deutschland haben alle eine Biotechnologieindustrie entwickelt, die einen Schwerpunkt im Anwendungsbereich Pharmazie und Medizin hat (vgl. Abbildung II-4-3). Auffällig ist, dass in den USA, Großbritannien, Schweden und Dänemark über die Hälfte der Biotechnologieunternehmen in der roten Biotechnologie tätig sind. Dagegen liegt der Anteil der Biotechnologieunternehmen, die in der roten Biotechnologie tätig sind, in der Schweiz, Frankreich und Deutschland zwischen 46 % und 48 %. Damit haben diese drei Länder nicht so ein eindeutiges Profil in der roten Biotechnologie wie die anderen vier Länder. Allerdings haben im Jahr 2003 die Biotechnologieunternehmen aller sieben betrachteten Länder außer Deutschland über 80 % ihrer FuE-Ausgaben im dem Bereich Pharmazie und Medizin getätigt. In Deutschland sind nur 77 % der FuE-Ausgaben in diesen Bereich geflossen (DTI 2005). Der zweitwichtigste Bereich innerhalb des Biotechnologiesektors des jeweiligen Landes ist der Servicebereich. Hier fallen die Schweiz und Deutschland gegenüber den verbleibenden Ländern auf, weil der Anteil der Unternehmen, die in diesem Bereich tätig sind, für die Schweiz bei 30 % aller Biotechnologieunternehmen liegt und für Deutschland bei 28 %. In den anderen Länder liegt der Anteil im Durchschnitt

41 Es werden in erster Linie kleine und mittlere Unternehmen betrachtet, deren Hauptgeschäftszweck die Forschung, Anwendung und Produktion der Biotechnologie ist (vgl. Kapitel II-2).

bei 22 %. Der drittwichtigste Bereich in den betrachteten Ländern ist das Gebiet Technologie- bzw. Plattformtechnologieentwicklung. Die Schweiz, Großbritannien, Frankreich und Schweden haben noch einen größeren Anteil an Biotechnologieunternehmen in dem Anwendungsgebiet Agrarindustrie/Ernährungsgewerbe (im Durchschnitt 7 %). Dagegen haben die Schweiz, Großbritannien, Frankreich und Deutschland einen größeren Anteil an Biotechnologieunternehmen im Anwendungsgebiet industrielle Prozesse/Umwelt (im Durchschnitt 8 %).

Abbildung II-4-3: Struktur der Biotechnologieindustrie in den DTI-Ländern 2003



Quelle: DTI 2005, **DIW** Berlin 2006

Es zeigt sich, dass die betrachteten sieben Länder sich leicht in der Struktur ihrer Biotechnologieindustrie unterscheiden. Die USA, Großbritannien, Dänemark und Schweden scheinen stärker als die verbliebenen drei Länder auf das Anwendungsgebiet Phamarzeutische Industrie und Medizin zu setzen. Möglicherweise haben die vier Länder in diesem Bereich einen komparativen Vorteil, weil ihre Pharmazeutische Industrie die Biotechnologie früher adaptiert hat als Pharmaunternehmen in der Schweiz, Frankreich und Deutschland. Außerdem ist auffällig, dass in den USA der Anteil der Biotechnologieunternehmen, die in der grünen Biotechnologie tätig sind, vergleichsweise gering ist, obwohl die USA in der kommerziellen Nutzung der grünen Biotechnologie eher führend sind (vgl. Kapitel II-1). Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass in den USA weniger kleine und mittlere Biotechnologieunternehmen in diesem Anwendungsgebiet tätig sind, sondern eher große Unternehmen aus der Chemischen Industrie und der Saatgutindustrie.

Tabelle II-4-1 verdeutlicht nochmals, dass die USA und Großbritannien früher als die anderen Länder die Biotechnologie kommerzialisiert haben, denn der Anteil der jungen Biotechnologieunternehmen ist im Vergleich geringer und der Anteil der älteren Biotechnologieunternehmen liegt höher. Die beiden Länder Schweiz und Schweden haben auch schon einen höheren Anteil älterer Biotechnologieunternehmen im Vergleich zu den anderen Ländern. Dänemark hat den höchsten Anteil an jungen Unternehmen und einen unterdurchschnittlichen Anteil an älteren Unternehmen. Allerdings hat Deutschland den geringsten Anteil älterer Biotechnologieunternehmen von allen betrachteten Ländern.

Tabelle II-4-1: Altersstruktur der Biotechnologieunternehmen

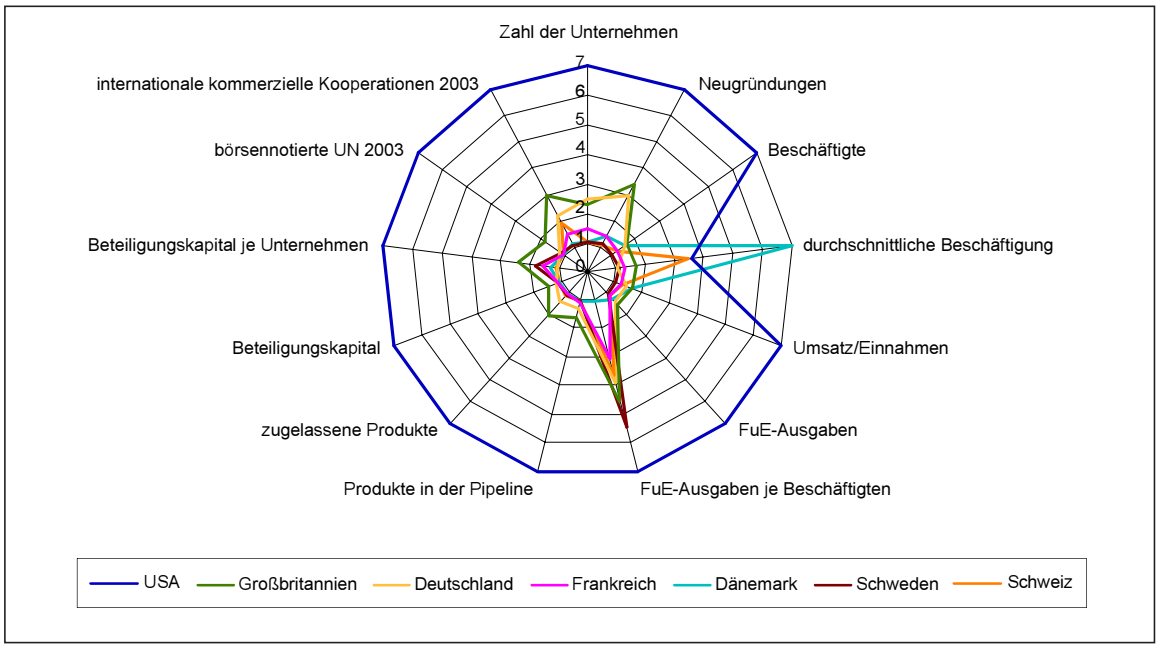
Länder	**Anteil der Unternehmen jünger als 5 Jahre (in %)**	**Anteil der Unternehmen älter als 15 Jahre (in %)**
USA	44	18
Schweiz	60	21
Großbritannien	54	14
Dänemark	74	9
Frankreich	62	9
Deutschland	63	7
Schweden	65	11

Quelle: DTI 2005; **DIW** Berlin 2006

Die Länder, in denen der Anteil der älteren Biotechnologieunternehmen höher ist, haben einen Vorteil, weil ihre Biotechnologieindustrie ausgereifter ist. Die Unternehmen werden bereits Produkte entwickelt haben und sicher sind diese Produkte auch bereits in den Markt eingeführt, wenn man von durchschnittlichen Entwicklungszeiten von 5-12 Jahren ausgeht.

Wenn man zunächst nur die Biotechnologieunternehmen für das Jahr 2003 anhand von Outputindikatoren wie Zahl der Unternehmen, Zahl der Unternehmensgründungen, Zahl der Beschäftigten, Umsatz/Einnahmen und zugelassene Produkte sowie anhand von Inputindikatoren wie FuE-Ausgaben, Produkte in der Pipeline, internationale kommerzielle Kooperationen und Beteiligungskapital betrachtet, dann dominieren eindeutig die USA gefolgt von Großbritannien (vgl. Abbildung II-4-4). Deutschland positioniert sich hinter diesen beiden Ländern auf Platz 3. Frankreich, die Schweiz und die skandinavischen Länder folgen teils mit beträchtlichem Abstand (Tabelle A-II.3).

Abbildung II-4-4: Vergleich der Biotechnologieunternehmen in den DTI-Ländern im Jahr 2003



Quelle: **DIW** Berlin 2006

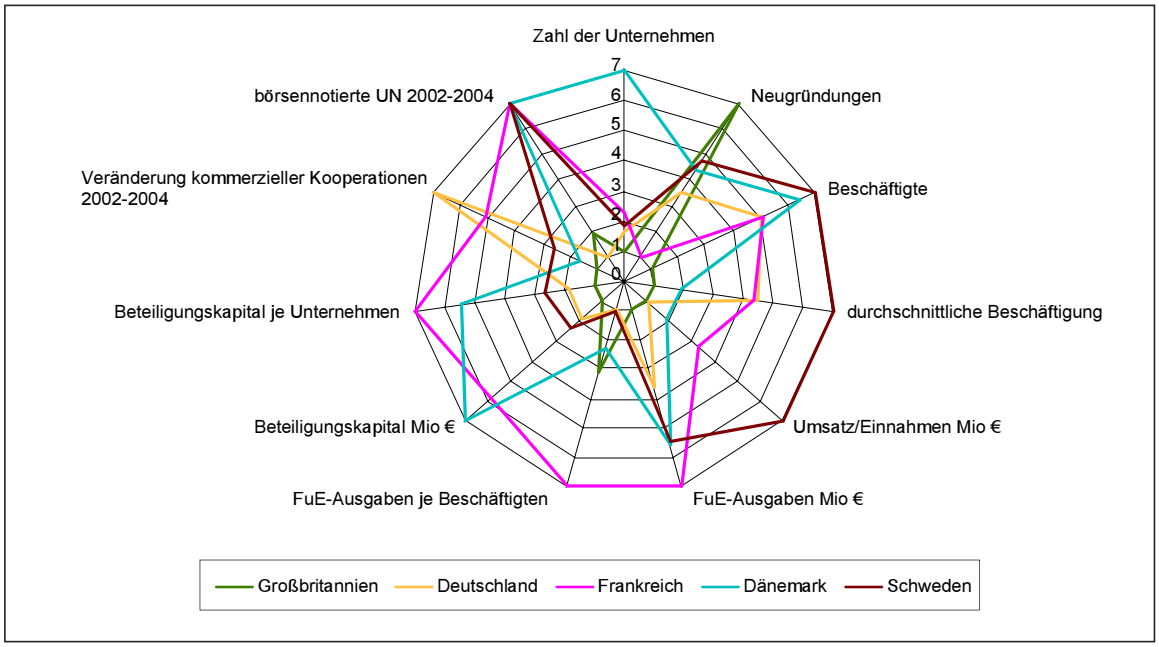
Die Betrachtung der einzelnen Indikatoren (vgl. Abbildung II-4-4, Tabelle A-II-3) zeigt, dass Deutschland ganz besonders schlecht abschneidet bei der durchschnittlichen Beschäftigung der Unternehmen und dem durchschnittlichen Beteiligungskapital je Unternehmen. Deutschland hat im Durchschnitt die kleinsten Unternehmen, obwohl Deutschland nach den USA die meisten Unternehmen hat. Allerdings sagt die absolute Zahl der Unternehmen noch nichts über die Wettbewerbsfähigkeit an sich aus. Im Gegenteil wird mit der Zahl der Unternehmen der Wettbewerb untereinander um Kapital, Ideen, kommerzielle Kooperationspartner und qualifiziertes Personal intensiviert. Das andere Problem ist, dass deutsche Biotechnologieunternehmen im Durchschnitt das geringste Beteiligungskapital je Unternehmen haben. Damit sind deutsche Unternehmen im Vergleich zu Unternehmen aus anderen Ländern schlechter finanziert. Sie sind folglich im internationalen Wettbewerb benachteiligt, weil sie kleiner und schlechter mit Venture Capital ausgestattet sind als Biotechnologieunternehmen in anderen Ländern. Beide Problembereiche wurden bereits in Kapitel II-3.2 thematisiert. Dieses Ergebnis bestätigt auch der Indikator Umsatz/Einnahmen, bei dem Deutschland auf Platz vier liegt, hinter den USA, Großbritannien und Dänemark.[42] Gleichzeitig liegt Deutschland bei dem In-

42 Allerdings ist zu berücksichtigen, dass in Dänemark ein großes Pharmaunternehmen, das seinen Schwerpunkt in der Biotechnologie hat, bei der Datenerhebung berücksichtigt worden ist.

dikator FuE-Ausgaben je Beschäftigten auch nur auf Platz vier hinter den USA, Großbritannien und Schweden. Die Biotechnologieunternehmen der anderen drei Länder sind forschungsintensiver als deutsche Unternehmen. Möglicherweise sind die Biotechnologieunternehmen in den USA, Großbritannien und Schweden forschungsintensiver, weil sie noch stärker als Deutschland auf die forschungsintensive rote Biotechnologie fokussiert sind (vgl. Abbildung II-4-3).

Eine Analyse des Marktes für Beteiligungskapital im Jahr 2003 (vgl. Tabelle A-II-8) zeigt, dass Deutschland im Vergleich zu Frankreich, Großbritannien, Schweden, der Schweiz, den USA und den Niederlanden das geringste Portfolio pro Kopf und die geringsten Investitionen pro Kopf hatte. Auch lag Deutschland in dem Jahr im Vergleich zu den anderen Ländern an vorletzter Position bei den Investitionen in die Biotechnologie pro Kopf. Wenn man sich den Anteil der Investitionen in die Biotechnologie an allen Investitionen für das Jahr 2003 ansieht, hatte die Biotechnologie eine hohe Priorität in den USA, der Schweiz und Dänemark. Deutschland positioniert sich mit großem Abstand im Mittelfeld auf Platz vier mit Schweden. Diese Ergebnisse bestätigen das Finanzierungsproblem der kleinen und mittleren Biotechnologieunternehmen in Deutschland, das in Kapitel II-3.2 bereits angesprochen wurde. Der internationale Vergleich zeigt, dass das Angebot an Risikokapital für die Biotechnologie insbesondere in Deutschland gering ist und die Unternehmen dadurch tendenziell benachteiligt sind.

Abbildung II-4-5: Vergleich der Entwicklung der Biotechnologieindustrie in den DTI-Ländern 2001-2003



Quelle: **DIW** Berlin 2006

Wenn man die Entwicklung zwischen 2001 und 2003 der ausgewählten Indikatoren für die Biotechnologieunternehmen betrachtet (vgl. Abbildung II-4-5), ist auffällig, dass Deutschland und Großbritannien sich schwächer entwickelt haben als Schweden, Dänemark und Frankreich. Für die Analyse im Zeitvergleich zwischen den Jahren 2001 und 2003 liegen keine Daten für die Länder USA und Schweiz vor, so dass sich die Untersuchung auf die Länder Dänemark, Schweden, Frankreich, Deutschland und Großbritannien einschränkt.

In Frankreich sind die FuE-Ausgaben in dem betrachteten Zeitraum gestiegen und das Beteiligungskapital je Unternehmen ist am geringsten geschrumpft. Gleichzeitig ist aber die Zahl der Unternehmensgründungen am stärksten in Frankreich zurückgegangen. Bei diesem Indikator hatte Großbritannien den geringsten Einbruch. In Dänemark hat die Zahl der Unternehmen zugenommen und das Beteiligungskapital weist die geringste Schrumpfungsrate auf. In Schweden hat die Zahl der Beschäftigten und damit auch die durchschnittliche Beschäftigung zugenommen sowie der Umsatz bzw. die Einnahmen. In Deutschland sind zwar die Zahl der Unternehmen, die Zahl der Beschäftigten, die durchschnittliche Beschäftigung, der Umsatz und auch die FuE-Ausgaben gestiegen, aber deutlich schwächer als in den Vergleichsländern (vgl. Tabelle A-II.4). Deutschland hat ein starkes Wachstum bei den internationalen kommerziellen Kooperationen zwischen 2002 und 2004, was ein Hinweis auf die gestiegene Wettbewerbsfähigkeit und den Reifegrad der Biotechnologieunternehmen ist. Gleichzeitig ist es aber auch ein Hinweis darauf, dass Biotechnologieunternehmen in Deutschland stärker international agieren und kommerzielle Kooperationspartner im Ausland suchen müssen, da vermutlich zahlungs- oder investitionsbereite Kooperationspartner im Inland fehlen. In Großbritannien sind in dem betrachteten Zeitraum die Zahl der Unternehmen, die Zahl der Beschäftigten, die FuE-Ausgaben und das Beteiligungskapital gesunken (vgl. Tabelle A-II.4). Nur der Umsatz ist leicht gestiegen, aber deutlich schwächer als in den anderen Ländern. Insgesamt deutet diese skizzierte Entwicklung drauf hin, dass die ökonomischen und politischen Rahmenbedingungen in den betrachteten Ländern unterschiedlich ausgestaltet waren.

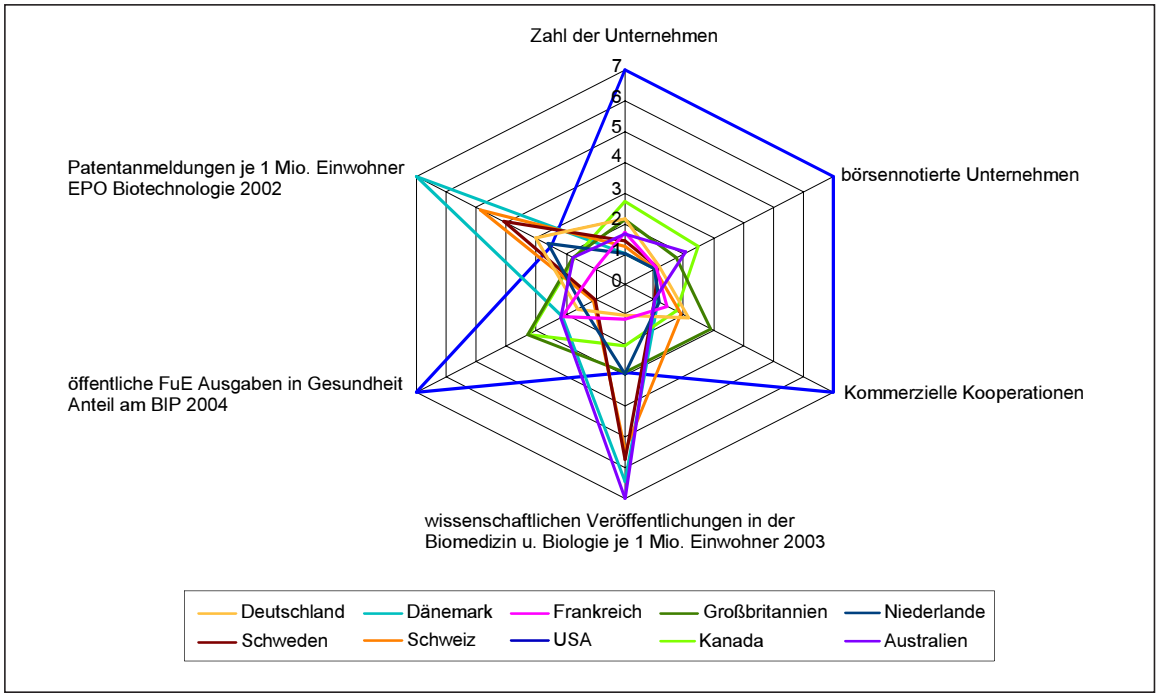
4.3 EINSCHÄTZUNGEN ZUR GESAMTPOSITIONIERUNG

Für eine umfassendere Positionierung Deutschlands wird der Kreis der Vergleichsländer hier um die Niederlande, Kanada und Australien erweitert. Die dann betrachteten zehn Länder werden als E&Y-Länder bezeichnet. Für diese Länder steht aller-

dings nicht mehr die ausführliche Datenbasis der DTI-Studien für die Biotechnologieindustrie zur Verfügung. Deshalb wird die Biotechnologieindustrie nun durch einige wenige Indikatoren wie die Zahl der Unternehmen, die Zahl der börsennotierten Unternehmen, die Zahl der internationalen kommerziellen Kooperationen – basierend auf den Studien von Ernst & Young – abgebildet. Für die Wissensbasis stehen jetzt auch nur noch drei Indikatoren zur Verfügung: Der Anteil öffentlicher FuE-Ausgaben in Gesundheit am BIP, der wissenschaftlichen Veröffentlichungen in der Biomedizin und Biologie je 1 Mio. Einwohner und die Patentanmeldungen je 1 Mio. Einwohner in der Biotechnologie beim Europäischen Patentamt. Die betrachteten Indikatoren beziehen sich in erster Linie auf das Jahr 2003.

Abbildung II-4-6 bzw. Tabelle A-II-7 zeigen, dass die USA auch bei der Analyse der E&Y-Länder dominieren. Bei den Indikatoren zur Biotechnologieindustrie liegt Deutschland zweimal auf Platz drei und zwar bei der Zahl der Unternehmen und internationalen kommerziellen Kooperationen sowie einmal auf Platz fünf bei der Zahl der börsennotierten Unternehmen. Bei den Patentanmeldungen ist es der 4. Rang. Hinsichtlich der anderen Indikatoren zur Wissensbasis fällt Deutschland dagegen stark zurück.

Abbildung II-4-6: Vergleich der E&Y-Länder 2003



Quelle: **DIW** Berlin 2006

Die befragten Experten waren ebenfalls einheitlich der Meinung, dass die USA führend in der Forschung und Kommerzialisierung der Biotechnologie sind und

auch für alle Produkte und Dienstleistungen der Bio- und Gentechnologie den größten Markt haben. Mit großem Abstand folgen andere Länder. Bei diesen Einschätzungen zu anderen Ländern werden unterschiedliche Positionierungen der Länder genannt. Deutschland schneidet dabei in der Expertenmeinung häufig besser ab als in der indikatorgestützten Analyse. So wird in der Forschung Deutschland häufig an dritter oder vierter Stelle positioniert. Bei der Kommerzialisierung wird je nach Anwendungsgebiet Deutschland an dritter Stelle nach Großbritannien in der roten Biotechnologie, an zweiter Stelle in der weißen Biotechnologie und eher abgeschlagen weiter hinten in der grünen Biotechnologie positioniert.

Die deutsche Forschung in der Bio- und Gentechnologie wird insbesondere in der Grundlagenforschung als gut und international wettbewerbsfähig eingeschätzt. Es werden in dem Anwendungsbereich Pharmazeutische Industrie und Medizin Probleme bei der angewandten Forschung gesehen, insbesondere in der klinischen Forschung und der Förderung der angewandten Forschung. Die Forschung im Anwendungsbereich Agrarindustrie wird nach wie vor als sehr gut eingeschätzt, aber in diesem Bereich droht angesichts des Gentechnikgesetzes (2005) ein Motivationsproblem der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie Abwanderungstendenzen guter WissenschaftlerInnen.

Für die Kommerzialisierung der Biotechnologie und einen effizienten Technologie- sowie Wissenstransfer fehlt in Deutschland Wagniskapital. Insgesamt ist das Wagniskapitalangebot in Deutschland zu gering und die Investoren bevorzugen „later stage"-Investitionen in der roten Biotechnologie. Dadurch werden Unternehmensgründungen kaum finanziert, insbesondere Unternehmensgründungen in anderen Anwendungsgebieten als der Pharmazeutischen Industrie und Medizin. Außerdem besteht in Deutschland ein Finanzierungsproblem der Entwicklungsphase von Produkten, weil hierfür weder privates noch öffentliches Kapital zur Verfügung steht. Trotz des Kapitalmangels und der Tatsache, dass Biotechnologieunterunternehmen in Deutschland eher klein bis sehr klein sind und noch keine selbst entwickelten Medikamente auf dem Markt haben, wird von den meisten befragten Experten ihre internationale Wettbewerbsfähigkeit als gut eingeschätzt.

Als Probleme oder Hindernisse der Entwicklung der Biotechnologie in Deutschland werden die gesetzlichen Regulierungen zur grünen Biotechnologie, die Absatzmarktregulierungen und die Erstattungsproblematik im Arzneimittel- und Gesundheitsmarkt, die Unternehmensbesteuerung, die Arbeitsmarktregulierungen, der bürokratische Aufwand für die Unternehmensgründung und Entwicklung sowie Zulassung von Produkten und die Finanzierung genannt. Positiv hervorgehoben werden die gute Qualifikation der Arbeitskräfte und ihr Angebot sowie die breite

Forschungslandschaft mit Universitäten und Forschungseinrichtungen der Max Planck Gesellschaft, Fraunhofer Gesellschaft und Helmholtz Gesellschaft.

5 WETTBEWERBSPOSITION AUSGEWÄHLTER ANWENDERINDUSTRIEN

5.1 GENERELLE WETTBEWERBSSTELLUNG DER ANWENDERINDUSTRIEN

Als Querschnittstechnologie kann die Biotechnologie zur Einführung neuer Produktionsprozesse und neuer Produkte in unterschiedlichen Industrien führen und damit dazu beitragen, die Wettbewerbsfähigkeit dieser Anwenderindustrien zu steigern. Diesen Blickwinkel nimmt Abschnitt 5.2 ein. Zunächst wird aber in diesem Abschnitt die generelle Wettbewerbsstellung der Anwenderindustrien betrachtet. Für die generelle Wettbewerbsposition der drei betrachteten Anwenderindustrien – des Ernährungsgewerbes, der Chemischen Industrie und der Pharmazeutischen Industrie – ist die Biotechnologie zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur eine von vielen Einflussfaktoren. Die generelle Wettbewerbsfähigkeit der Anwenderindustrien ist also zurzeit kein Barometer für die Wettbewerbsfähigkeit der Biotechnologie. Sie spiegelt vielmehr den gegenwärtigen „Gesundheitszustand" dieser Branchen wider, die von der Biotechnologie potenziell stark profitieren können, aber auch umgekehrt starke Zugpferde für die Entwicklung der hiesigen Biotechnologie sein können.

In Tabelle II-5-1 ist die Entwicklung des Ernährungsgewerbes, der Chemischen und der Pharmazeutischen Industrie hinsichtlich wichtiger Grundindikatoren – wie beispielsweise Beschäftigung, Bruttowertschöpfung oder Exporte – im Zeitraum von 2000 bis 2004 dargestellt.

Im Ernährungsgewerbe ist Deutschland traditionell ein Importland. Die Herausforderungen in der Branche liegen in gesättigten Märkten in Deutschland und Europa, dem Konsumverhalten einer alternden Bevölkerung, einem steigenden Konzentrationsgrad und sich verändernden Agrarpolitiken auf WTO- und EU-Ebene (CIAA 2006; Oleaga et al. 2006; Prognos 2002). Dennoch konnte die Branche ihren Umsatz, ihre Bruttowertschöpfung und ihren Export steigern. Der gestiegene Export führt auch zu einem Absinken des negativen Außenhandelssaldos. Gleichzeitig ist die Zahl der Unternehmen und Beschäftigten im Ernährungsgewerbe in den letzten Jahren gesunken. Das „Durchschnittsunternehmen" im Ernährungsge-

werbe konnte also eine höhere Bruttowertschöpfung mit geringerer Beschäftigtenzahl erzielen, d. h. seine Arbeitsproduktivität steigern.

Sowohl in der Chemischen als auch in der Pharmazeutischen Industrie ist kein Trend zum Beschäftigungsaufbau erkennbar (vgl. Tabelle II-5-1). Vielmehr ist die Beschäftigung in der Chemischen Industrie im Beobachtungszeitraum kontinuierlich gesunken.

Tabelle II-5-1: Entwicklung des Ernährungsgewerbes, der Chemischen und Pharmazeutischen Industrie

Jahr	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**
Ernährungsgewerbe					
Zahl der Unternehmen	5.448	5.351	5.308	5.161	
Beschäftigte	599.000	597.000	601.000	590.000	
Umsatz (Mio. €)	120.353	126.159	125.961	129.319	
Bruttowertschöpfung (Mrd. €)	34,61	35,18	35,96	36,31	37,41
Export (Mrd. €)	28,02	30,38	31,10	32,03	33,81
Außenhandelssaldo (Mrd. €)	-13,46	-13,04	-12,70	-12,57	-11,40
Chemische Industrie					
Zahl der Unternehmen	1282	1320	1375	1379	
Beschäftigte	481.000	473.000	468.000	464.000	
Umsatz (Mio. €)	133.993	130.561	129.671	130.719	
Bruttowertschöpfung (Mrd. €)	41,26	42,72	44,08	44,08	45,55
Export (Mrd. €)	76,36	82,43	81,2	86,2	96,35
Außenhandelssaldo (Mrd. €)	23,75	23,90	23,28	27,43	29,89
Pharmazeutische Industrie					
Zahl der Unternehmen			370	373	380
Beschäftigte	113.950	114.267	114.990	118.720	114.200
Umsatz Deutschland (Mrd. €)	21,0	22,4	23,3	23,6	23,7
Export (Mrd. €)	19,30	24,99	23,67	27,69	32,76
Außenhandelssaldo Mrd. €	3,11	3,2	0,96	4,89	6,45

Quelle: Statistisches Bundesamt 2005, 2006; Soete 2006

Gleichzeitig sind in dieser Branche aber die Bruttowertschöpfung, der Export und der Außenhandelssaldo zwischen 2000 und 2004 gestiegen – deutliche Anzeichen für die internationale Konkurrenzfähigkeit der deutschen Chemieindustrie.[43] Auch in der Pharmazeutischen Industrie ist der Export nach einem Einbruch 2002 wieder gestiegen und damit auch der Außenhandelssaldo.

Im Lichte der allgemeinen Entwicklung der Exporte und Importe Deutschlands in diesem Zeitraum zeigt sich aber ein Bedeutungsverlust der beiden Branchen. Dies geht aus der Entwicklung der RCA-Werte in Tabelle II-5-2 hervor. Der RCA (Revealed Comparative Advantage)-Wert einer Branche ist eine Messziffer für die offenbarten relativen Vorteile eines Landes in diesem Sektor sowohl auf der Ausfuhr- als auch auf der Einfuhrseite. Der RCA-Wert zeigt, inwieweit die Ausfuhr-Einfuhr-Relation eines Landes in der Branche von seiner Ausfuhr-Einfuhr-Relation insgesamt abweicht. Der Indikator nimmt einen positiven Wert an, wenn in der betreffenden Branche die Ausfuhr-Einfuhr-Relation überdurchschnittlich hoch ist. Es handelt sich also um ein Spezialisierungsmaß.

Tabelle II-5-2: RCA-Werte für die Chemische und Pharmazeutische Industrie

Jahr	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Chemische Industrie	12	12	5	-2	2	0
Pharmazeutische Industrie	29	15	24	-34	-22	-13

Quelle: DIW-Außenhandelsdaten 2006, Berechnungen des **DIW** Berlin

Die Entwicklung der RCA-Werte zeigt, dass die Spezialisierung Deutschlands in der internationalen Arbeitsteilung auf Produkte der chemischen und pharmazeutischen Industrie zurückgegangen ist. In der Chemischen Industrie verschob sich die weltweite Nachfrage in den letzten Jahren nach Südostasien und Nordamerika. Dadurch hat Deutschland zwischen 1998 und 2003 Welthandelsanteile verloren. Gleichzeitig ist die deutsche Produktion den Märkten gefolgt, so dass deutsche Unternehmen zunehmend mehr im Ausland investieren und produzieren (Crespi, Patel 2006;

43 Nach den jüngsten vorliegenden Zahlen von Verband der Chemischen Industrie e.V., ist die Anzahl der Beschäftigten in der chemischen Industrie im Jahr 2005 um 1 % gesunken, aber der Export und der Außenhandelssaldo sind um 8,5 %, und 2,9 % gestiegen.

ZEW, NIW 2005, S. 37ff). Auch die Pharmazeutische Industrie hat Weltmarktanteile verloren (Gaisser et al. 2005).[44]

Um im internationalen Qualitäts- und Innovationswettbewerb bestehen zu können, müssen die Unternehmen verstärkt in Forschung und Entwicklung investieren. Tabelle II-5-3 zeigt die Entwicklung der FuE-Ausgaben und der FuE-Beschäftigten in den drei Anwenderindustrien in den letzten Jahren. Im Ernährungsgewerbe waren beide Größen rückläufig im Beobachtungszeitraum. In der Chemischen und Pharmazeutischen Industrie hingegen wurden die FuE-Ausgaben deutlich gesteigert, in der Pharmazeutischen Industrie auch das FuE-Personal ausgeweitet.

Tabelle II-5-3: FuE in ausgewählten Anwenderindustrien

Jahr	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**
FuE-Ausgaben Mio.					
Ernährungsgewerbe	326	330	310	310	300
Chemische Industrie	7.046	7.420	8.062	8.090	8.280
darunter Pharmazeutische Industrie	3.138	3.460	4.105	4.360	4.550
FuE-Beschäftigte					
Ernährungsgewerbe	2.776	2.790	2.474		
Chemische Industrie	42.057	41.920	42.036		
darunter Pharmazeutische Industrie	15.516	15.710	16.907		

Quelle: Stifterverband Wissenschaftsstatistik 2005

Dass die Chemische und Pharmazeutische Industrie sehr forschungs- und innovationsorientierte Industrien sind, spiegelt sich auch in der gestiegenen Zahl der Patentanmeldungen wider (vgl. Tabelle II-5-4).

44 Der Einbruch der RCW-Werte der Pharmazeutischen Industrie im Jahr 2002 ist durch eine kräftige Zunahme der Pharmaimporte (knapp 66 % im Jahr 2002) verursacht. Dies ist auf die folgenden Faktoren zurückgeführt. Nämlich eine Reihe von firmeninternen Verlagerungen der Produktionskapazitäten ins Ausland, die Veränderungen bei den firmeninternen Import- und Exportzurechnungen für Übernahmen und Zusammenschlüsse von Pharmakonzernen, und die im Jahr 2001 in Kraft getretene Gesetzänderung im Gesundheitswesen über die Mindestanteile der in Apotheken verkauften Re-Importe. (Schrooten, M., König P.: Exportnation Deutschland – Zukunftsfähigkeit sichern, DIW Wochenbericht Nr. 41/2006)

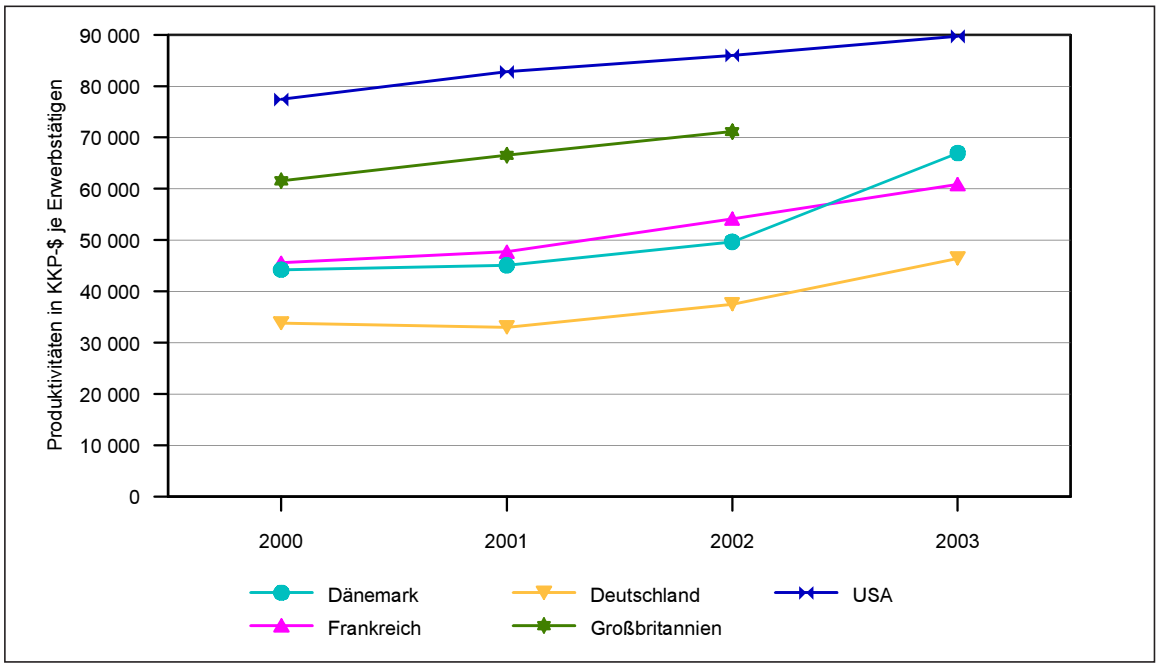
Tabelle II-5-4: Patentanmeldungen in den Anwenderindustrien (EPO, priority year)

Jahr	1998	1999	2000	2001	2002
Ernährungsgewerbe	409	434	455	439	436
Chemische Industrie	4657	5085	5465	5410	5289
Pharmazeutische Industrie	1764	1980	2208	2247	2202

Quelle: Eurostat 2006

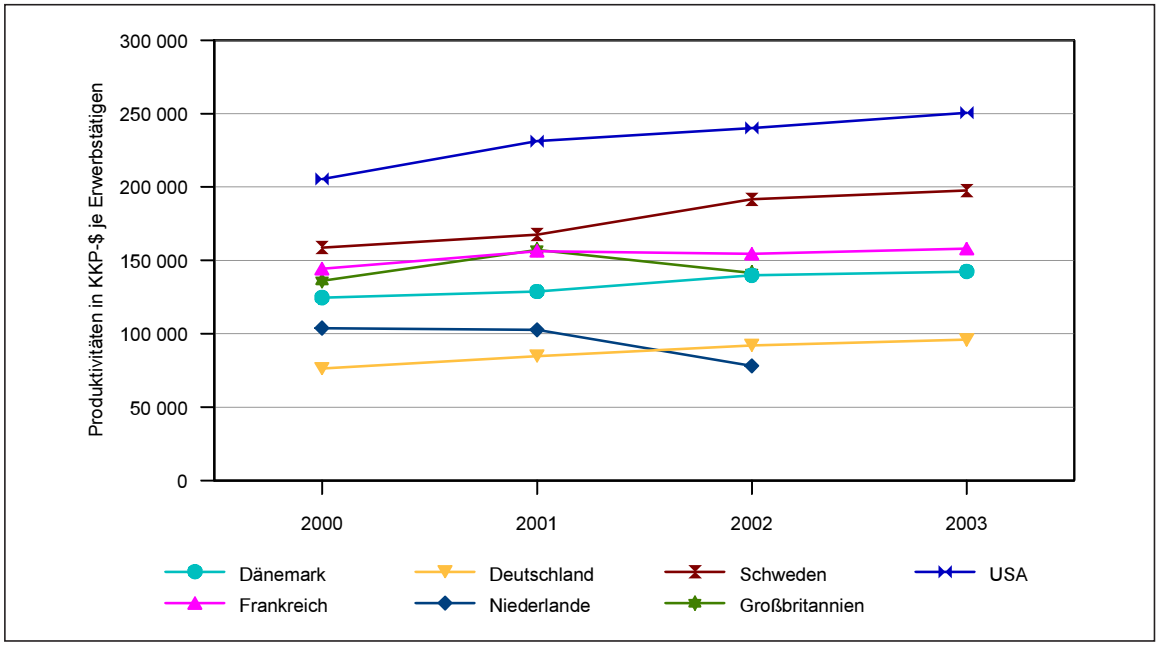
Um die bisher aufgezeigten Entwicklungen der drei Anwenderindustrien besser einschätzen zu können, ist ein Vergleich mit ihren Pendants in anderen wichtigen Industrieländern sinnvoll. In den Abbildungen II-5-1 bis II-5-3 ist deshalb für jede der drei Anwenderindustrien die Produktivitätsentwicklung in Deutschland den entsprechenden Entwicklungen der Produktivität (gemessen in Kaufkraftparitäten $ je Erwerbstätigen) in mehreren hochproduktiven westeuropäischen Ländern und den USA gegenübergestellt. Die in den Bruttowertschöpfungs- und Beschäftigungszahlen von Tabelle II-5-1 impliziten positiven Entwicklungen der Produktivität in den deutschen Anwenderindustrien finden sich auch in den entsprechenden Linien der Abbildungen wieder. Sowohl im Ernährungsgewerbe als auch in der Chemischen und der Pharmazeutische Industrie ist eine steigende Produktivitätsentwicklung in Deutschland zu beobachten. Allerdings ist dieses Produktivitätswachstum nicht stark genug, um die im Niveau vor Deutschland liegenden Länder einzuholen, die ihrerseits in aller Regel einen Anstieg der Produktivität verzeichnen.

Abbildung II-5-1: Entwicklung der Produktivität im Ernährungsgewerbe zwischen 2000 und 2003



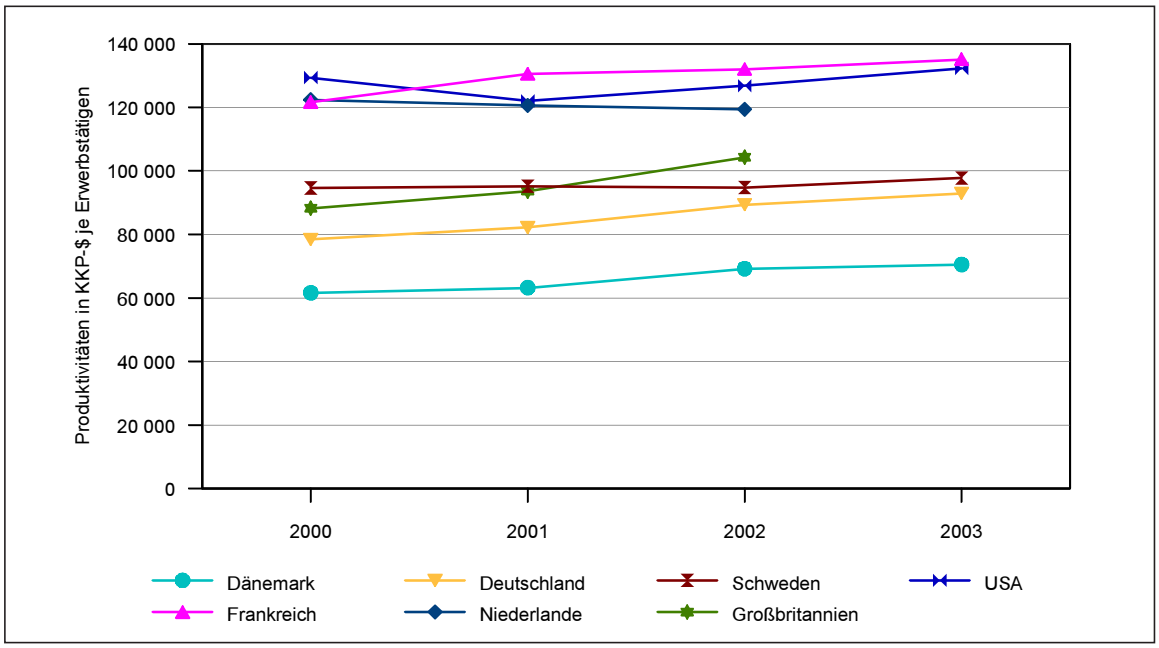
Quelle: OECD Stan, Berechnungen des DIW Berlin

Abbildung II-5-2: Entwicklung der Produktivität bei der Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen zwischen 2000 und 2003



Quelle: OECD Stan, Berechnungen des DIW Berlin

Abbildung II-5-3: Entwicklung der Produktivität in der Chemischen Industrie ohne Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen zwischen 2000 und 2003



Quelle: OECD Stan, Berechnungen des DIW Berlin

Die wichtigste Quelle für Fortschritte in der Produktivität sind Forschung und Entwicklung. Es stellt sich daher die Frage, ob bei den deutschen Anwenderindustrien ein stärkerer Anstieg der FuE-Ausgaben zu beobachten ist als in den Vergleichsländern. Die entsprechenden Zahlen in Tabellen II-5-5 bis II-5-7 zeigen, dass dies für die Pharmazeutische Industrie gilt, die ihre FuE-Ausgaben im Zeitraum von 1999 bis 2003 um rund 55 % erhöht hat und damit an der Spitze aller betrachteten Länder liegt. Während das Ernährungsgewerbe in Tabelle II-5-5 einen mittleren Anstieg der FuE-Ausgaben zeigt, ist in Tabelle II-5-7 für die Chemische Industrie eine negative Entwicklung zu sehen. Dies liegt an der Bereinigung der FuE-Ausgaben der Chemie in dieser Tabelle um den Anteil, der für die Entwicklung pharmazeutischer Erzeugnisse eingesetzt wird. Rechnet man den forschungsintensiven Pharmateil aus der Chemie heraus, dann ist – wie auch in den USA und Großbritannien – ein Abbau der FuE-Ausgaben zu beobachten.

Ein Frühindikator für die aus Forschungs- und Entwicklungstätigkeit erwachsenden Wettbewerbsvorteile sind Patentanmeldungen. Die in den Tabellen II-5-5 bis II-5-7 dargestellten Patentzahlen zeigen, dass Deutschland im internationalen Vergleich zu den patentfreudigsten Ländern gehört, auch wenn man die Zahl der Patentanmeldungen auf die Zahl der Einwohner bezieht. In keiner der drei Anwenderindustrien fand allerdings eine im internationalen Vergleich besonders starke Steigerung der Patenttätigkeit statt. Selbst die Pharmazeutische Industrie, die im

Gegensatz zum Ernährungsgewerbe und der um ihren Pharmaanteil bereinigten Chemischen Industrie einen deutlichen Anstieg der Patentanmeldungen zwischen 1999 und 2003 erzielen konnte, sticht mit dieser positiven Veränderung nicht aus dem Kreis der Vergleichsländer heraus.

Tabelle II-5-5: FuE-Ausgaben und Patentanmeldungen (EPO) im Ernährungsgewerbe

	Forschungs- und Entwicklungsausgaben Mio. KKP-$			**Patentanmeldungen (EPO)**			**Patentanmeldungen je 1 Mio. Einwohner**		
	1999	2003	Veränderung 1999-2003 in %	1999	2003	Veränderung 1999-2003 in %	1999	2003	Veränderung 1999-2003 in %
Dänemark	-	-	-	43,13	60,41	40,06	8,10	11,21	38,37
Frankreich	328,27	489,97	49,26	183,80	187,82	2,19	3,13	3,13	-0,16
Deutschland	188,12	255,50	35,81	438,70	441,86	0,72	5,35	5,36	0,14
Niederlande	264,72	292,26	10,40	95,07	125,93	32,46	6,01	7,76	29,10
Schweden	-	-	-	40,47	41,21	1,83	4,57	4,60	0,69
Großbritannien	-	-	-	193,94	182,73	-5,78	3,30	3,07	-7,16
USA	-	-	-	1051,87	1146,44	8,99	3,77	3,94	4,59

Quelle: OECD; Berechnungen des DIW Berlin.

Tabelle II-5-6: FuE-Ausgaben und Patentanmeldungen (EPO) in der Pharmazeutischen Industrie[45]

	Forschungs- und Entwicklungsausgaben Mio. KKP-$			Patentanmeldungen EP0			Patentanmeldungen je 1 Mio. Einwohner		
	1999	2003	Veränderung 1999-2003 in %	1999	2003	Veränderung 1999-2003 in %	1999	2003	Veränderung 1999-2003 in %
Dänemark	469,99	625,86	33,17	168,83	233,47	38,29	31,72	43,34	36,62
Frankreich	2648,54	3311,25	25,02	915,13	997,93	9,05	15,60	16,62	6,54
Deutschland	2082,40	3223,05	54,78	2003,87	2110,58	5,33	24,43	25,58	4,71
Niederlande	452,41	492,58	8,88	285,19	307,68	7,89	18,04	18,96	5,15
Schweden	1005,54	1510,45	50,21	227,95	224,19	-1,65	25,73	25,03	-2,75
Großbritannien	3935,85	5166,93	31,28	997,05	961,62	-3,55	16,99	16,15	-4,96
USA	12304,51	15961,83	29,72	6435,01	7056,78	9,66	23,06	24,27	5,23

Quelle: OECD; Berechnungen des DIW Berlin.

45 Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen.

Tabelle II-5-7: FuE-Ausgaben und Patentanmeldungen (EPO) in der Chemische Industrie ohne Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen

	Forschungs- und Entwicklungsausgaben Mio. KKP-$			**Patentanmeldungen EP0**			**Patentanmeldungen je 1 Mio. Einwohner**		
	1999	2003	Veränderung 1999-2003 in %	1999	2003	Veränderung 1999-2003 in %	1999	2003	Veränderung 1999-2003 in %
Dänemark	71,11	144,77	103,57	149,29	183,73	23,07	28,5	34,11	21,58
Frankreich	1224,69	1501,03	22,56	1067,17	1085,27	1,70	18,20	18,08	-0,64
Deutschland	3591,68	3466,16	-3,49	3124,69	3102,30	-0,72	38,09	37,60	-1,29
Niederlande	538,72	590,25	9,57	416,62	477,01	14,50	26,35	29,40	11,59
Schweden	100,33	123,49	23,09	289,07	248,61	-14,00	32,63	27,75	-14,96
Großbritannien	1115,01	880,42	-21,04	1008,02	951,93	-5,56	17,18	15,98	-6,94
USA	8067,49	7039,17	-12,75	6102,91	6471,83	6,04	21,87	22,26	1,76

Quelle: OECD; Berechnungen des DIW Berlin.

Aus den in diesem Abschnitt zusammengestellten Befunden zur generellen Wettbewerbsfähigkeit der drei Anwenderbranchen entsteht demnach folgendes Gesamtbild. Chemische Industrie und Pharmazeutische Industrie sind sehr exportorientiert und behaupten sich nach wie vor erfolgreich auf den Weltmärkten. Dennoch haben beide Branchen einen relativen Bedeutungsverlust zu verzeichnen, ausgedrückt durch die zurückgehende Spezialisierung Deutschlands auf Chemie und Pharma in der internationalen Arbeitsteilung. Ein Mittel, dem zu begegnen sind stärkere Anstrengungen in Forschung und Entwicklung. Beide Branchen sind sehr forschungsintensiv und patentfreudig, zeigen aber in diesem Bereich nicht die Dynamik, die eine deutliche zukünftige Verbesserung ihrer Wettbewerbsposition erwarten ließe. Sie sind also zur Sicherung ihrer zukünftigen Wettbewerbsfähigkeit auf Impulse aus der Biotechnologie angewiesen. Dies gilt auch im starken Maße für die Ernährungsindustrie, in der Deutschland ein Importland ist.

5.2 AUSWIRKUNGEN DES BIOTECHNOLOGIEBEREICHS

Wie bereits in Teil I ausgeführt, ist die Biotechnologie eine Querschnittstechnologie, die nicht nur die Wissensbasis in der Grundlagenforschung der Life Sciences erweitert, sondern in der Anwendung zu neuen Produktionsprozessen und Verfahrensabläufen, neuen Produkten und Dienstleistungen in unterschiedlichen Industrien und Branchen beiträgt. Im Sinne der Arbeitsteilung hat sich die Biotechnologieindustrie, abgebildet durch kleine und mittlere Unternehmen, bisher auf Forschung und Entwicklung, Technologieentwicklung sowie Dienstleistungen konzentriert (vgl. Kapital II-3.2). Darüber hinaus wird die Biotechnologie bereits in etablierten Industrien eingesetzt und hat zur Einführung neuer Produkte und neuen Prozessen geführt (vgl. Teil I, Kapitel II-1). In diesem Abschnitt wird nun genauer betrachtet, durch welche Kanäle der Einsatz der Bio- und Gentechnologie zu Produkt- und Prozessinnovationen in den Anwenderindustrien führen kann – und damit zur Stärkung ihrer internationalen Wettbewerbsfähigkeit.

In der **Chemischen Industrie**, in der die ertragreichsten Märkte hauptsächlich durch Innovationen erzielt werden, bietet die Biotechnologie ein enormes Potenzial zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und des nachhaltigen Wachstums. Von Feinchemikalien und Spezialitäten zu Polymeren und Basischemikalien kann die Entwicklung der Biotechnologie nicht nur den Produktionsprozess verkürzen und neue Produkte erzeugen, sondern auch die Abfallerzeugung und den Energieverbrauch begrenzen sowie die Nutzung erneuerbarer Rohmaterialien beför-

dern. Nach Schätzungen von ISI in Teil 1 wird die Biotechnologie die Chemische Industrie in den kommenden Jahren stark durchdringen. Im Jahr 2020 werden von den Einnahmen in der deutschen Chemischen Industrie 9 bis 18 % auf die Biotechnologie zurückzuführen sein und die Einkünfte danach sogar noch stärker ansteigen.

Der Einsatz von Biotechnologie ist bei Feinchemikalien am weitesten entwickelt (Mckinsey 2003). Die Entwicklung wird größtenteils davon abhängen, in welchem Ausmaß neue biotechnologische Erzeugnisse, für die traditionelle chemische Verbindungen nicht zur Verfügung stehen, identifiziert werden und in welchem zeitlichen Rahmen sie auf den Markt gebracht werden. Der Einsatz von Biotechnologie bei der Produktion von Polymeren und Basischemikalien ist dagegen unsicherer (Mckinsey 2003). Eine Lebenszykluseinschätzung des BREW-Projekts kam zu dem Ergebnis, dass die Biotechnologie für die Produktion von Basischemikalien in erster Linie eine wirtschaftliche Herausforderung darstellt und weniger Umweltüberlegungen einfließen, da sie beträchtliche Chancen für die Chemische Industrie zur Einsparung nichterneuerbaren Energien, zur Reduzierung des Treibhausgas-Ausstoßes und ähnlicher umweltrelevanter Wirkungen bietet.[46] Die Zukunft der Biotechnologie in Basischemikalien und Polymeren wird entscheidend von den Preisen für Rohöl und landwirtschaftlichen Rohmaterialien, dem technologischen Fortschritt und der politischen Unterstützung und Akzeptanz dieser neuen Technologie abhängen.

Da einige chemische Prozesse durch biologische Umwandlungsprozesse ersetzt werden und Biokatalysatoren chemische Katalysatoren ablösen – wie beispielsweise in der Herstellung von Vitamin B2, Cephalexin und Amoxicilin –, verringern sich die Stufen des Produktionsprozesses und reduzieren somit wesentlich die Produktkosten. Hinzu kommt, dass verglichen mit dem traditionellen chemischen Prozess biotechnologische Prozesse typischerweise weniger Energie verbrauchen, geringere Mengen an Emission und Abfall erzeugen und daher umweltfreundlicher und sozialverträglicher sind.

Die industrielle Biotechnologie bietet ebenfalls Chancen für die Entwicklung neuer Enzyme und anderer Produkte mit verbesserten Eigenschaften. Das Erbgut der meisten Mikroorganismen oder Zell-Linien, die biologische Umwandlungsprozesse in der Chemischen Industrie auslösen, wurde bereits entschlüsselt. Die aktuelle Forschung konzentriert sich auf die Verbesserung von biologischen Umwandlungsprozessen durch Höhereinstufung von Enzymen, die im Stoffwechsel eine Rolle

46 Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources (The BREW Project 2006).

spielen. Diese auf Genome basierende Forschung führt zu detaillierten Kenntnissen über mikrobielle Aktivitäten lebender Organismen, die in vielen biotechnologischen Produktionsprozessen in der Chemischen Industrie verwendet werden. Auf der Grundlage dieses Wissens und mit Hilfe von Genetik, Eiweiß und den Stoffwechsel herbeiführenden Substanzen wird hoffentlich der Produktionsprozess für neue Enzyme und andere Erzeugnisse entwickelt.

Eine andere Langzeitwirkung der industriellen Biotechnologie liegt im Aufkommen von Biobrennstoffen und biobasierten Polymeren. Im Unterschied zu traditionellen Treibstoffen und Polymeren, die aus begrenzten fossilen Grundstoffen wie Öl oder Naturgas gewonnen werden, basieren Biokraftstoffe und Biopolymere auf erneuerbaren Rohstoffen wie Zuckerrohr, Mais oder andere stärkehaltige Getreidearten. Einige dieser Bioerzeugnisse sind bereits auf dem Markt und in Marktnischen durchaus wettbewerbsfähig. Trotz ihrer den Blick für Umweltbelange öffnenden, positiven Wirkung ist eine Massenproduktion von Biobrennstoffen und Biopolymeren nur dann angemessen, wenn der Preis des biologischen Rohstoffes drastisch sinkt. Biotechnologische Forschung konzentriert sich aktuell auf Durchbrüche zu Schlüsseltechnologien, die mit Hilfe von billigeren Enzymen und neuen Bakterienstämmen kosteneffektiv Biomasse-Abfall in Zucker umwandeln. Daher ist es unwahrscheinlich, dass sich die Biotechnologie in der nahen Zukunft ernsthaft auf die Produktion von Polymeren und die Petrochemie auswirkt. Sie wird jedoch sicherlich mittel- und langfristig neue Chancen mit sich bringen, da insbesondere die Ölpreise weiterhin steigen und die Konflikte hinsichtlich der Energie anschwellen.

Die Auswirkungen der Biotechnologie auf den **pharmazeutischen und medizinischen Sektor** werden schon seit längerem beobachtet. Die Pharmazeutische Industrie hat die Biotechnologie bis heute am weitesten adaptiert, gefolgt von der Pflanzenzüchtung und Lebensmittelindustrie (vgl. Teil I). Die technologische Leistungsfähigkeit der Pharmazeutischen Industrie wird heutzutage wesentlich durch die Nutzung biotechnologischer Ansätze bestimmt (Hinze et al. 2001). Die molekularbiologische und genetische Forschung trägt wesentlich zur Aufklärung der physiologischen und regulatorischen Vorgänge in lebenden Organismen bei und kann so die Identifikation von Krankheiten als Abweichungen vom Normalzustand unterstützen. Dies ist die Grundlage für neue Therapien und Medikamente. Die Genomforschung ermöglicht neue Wirkorte für Medikamente zu identifizieren, und die entwickelten High-Throughput-Screening-Systeme ermöglichen, über 100.000 Substanzen pro Tag vollautomatisch zu überprüfen. Dadurch können Such- und Forschungsprozesse verkürzt werden (Hinze et al. 2001; Jungmittag et al. 2000). Die

Biotechnologie spielt aber auch bei der Produktentwicklung wie Diagnostica, z. B. Immundiagnostik oder DAN-Diagnostik, oder neuen Therapeutika, z. B. biotechnologisch hergestellte Proteine, eine große Rolle (Hinze et al. 2001). Hinzu kommen neue Möglichkeiten des Tissue-Engineerings, der Nachbau oder Züchtung von Körper- und Organteilen, oder des Drug delivery, die gezielte Therapie im Körper. Sowohl kleine Biotechnologieunternehmen als auch forschende Pharmaunternehmen investieren in die Biopharmazie und wie in den Kapiteln II-1 sowie II-2 ausgeführt, existieren bereits Produkte und Märkte. Im Gegensatz zur grünen Biotechnologie besitzt die Anwendung von Biotechnologie in der Pharmazeutischen und Medizinischen Industrie eine breite öffentliche Akzeptanz – mit Ausnahme einiger weniger kontroverser Bereiche wie die Stammzellenforschung, Gentherapie und das Klonen.

Charakteristisch für die deutsche Pharmaindustrie ist eine große Anzahl von KMUs, die sich auf einen Anteil von 84 % belaufen und auf die 20 % der Verkäufe in diesem Sektor entfällt, trotz einer Welle weltweiter Unternehmensfusionen während der vergangenen Jahre. Durch das Hervortreten der Biotechnologie bieten sich neuartige Herangehensweisen für die Entwicklung neuer Arzneimittel, die vielleicht die Dominanz der großen Pharmakonzerne abschwächen. Beispielsweise können Generika und individualisierte Medikamente die Attraktivität von Investitionen für Arzneimittel für kleine Märkte erhöhen und die Abhängigkeit der Industrie von medizinischen Kassenschlagern verringern. Auf diese Weise können sich neue Marktchancen für KMUs ergeben.

Die Forschung an Stammzellen könnte zu auf Zellen basierenden Therapien führen, um Krankheiten wie z. B. Krebs, Parkinson und Diabetes zu behandeln. Derzeit arbeiten Forscher an drei Typen menschlicher Stammzellen: Zellen von Erwachsenen, Föten und Embryonen. Die Forschung an Embryonen ist höchst kontrovers und verursacht eine heiße ethische und gesellschaftliche Debatte. Allerdings befindet sich dieser Forschungszweig nach wie vor auf einer frühen klinischen Entwicklungsstufe. Im Gegensatz dazu hat die Gentherapie die Phase der aktiven klinischen Studien in vielen Medizinbereichen erreicht. Menge und Umfang der genbezogenen Forschung sowie die Entwicklung nehmen weltweit in raschem Maße zu. Biotechnologie ist ebenso wichtig in vielen tiermedizinischen Bereichen wie Infektionskrankheiten, Tierproduktion und Lebensmittelsicherheit. Aus Kostengründen wird sich die Biotechnologie jedoch in der nahen bis mittleren Zukunft hauptsächlich auf die Anwendung am Menschen konzentrieren.

Es gibt mehrere größere Hindernisse für die Durchdringung der Biotechnologie im pharmazeutischen und medizinischen Sektor. Beispielsweise behindert der

fehlende Zugang zu klinischen Daten die Entwicklung neuer Arzneimittel und individueller Medizin. Widersprüchliche Rückerstattungen gesetzlicher Krankenkassen und privater Versicherungsgesellschaften für viele neue biotechnologische Produkte und Therapien verlangsamen ebenfalls die Entwicklung. Eine weitere Barriere liegt im Mangel an Wagniskapital für Unternehmen in der Frühphase und für Start-up-Unternehmen. Diese Start-ups und durch Wagniskapital gestützten Firmen sind für das gesunde Wachstum in der Industrie ausschlaggebend, da ihr Arbeitsschwerpunkt in der Forschung liegt, sie viel versprechende Verbindungen an größere Firmen weitergeben, die dann die letzte Phase klinischer Tests durchführen und das Marketing übernehmen. Es ist ein interessantes Phänomen, dass Start-up-Unternehmen in der Biotechnologie häufig aus Gruppen von Personen bestehen, die sich aus Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen ausgegründet haben und nun wegweisende Pionierarbeit leisten.

Biotechnologie trägt nicht nur zum Verständnis und zur Behandlung zahlreicher komplexer Krankheiten bei, sondern stärkt auch die Marktposition forschungsorientierter Firmen. Charakteristisch in der Pharmazeutischen Industrie ist der nachpatentliche Wettbewerb zwischen originären Arzneimitteln und Generika. In Deutschland entfallen 75 % der Verkäufe am gesamten Markt auf verschreibungspflichtige Arzneimittel und 49 % der Verkäufe auf Generika. Häufig verlieren die originären Arzneimittel innerhalb von einigen Monaten, nachdem die Patentrechte ausgelaufen sind, fast alle Marktanteile an Generika (VfA 2006a).[47] Die Situation kann zu Gunsten der Produzenten der biotechnologischen Originalprodukte verbessert werden, da die technischen Barrieren für Imitationen biotechnologischer Erzeugnisse viel höher sind als bei der Kopie eines herkömmlichen Medikaments. Viele biotechnologische Arzneimittel setzen sich aus komplexen Eiweißbaustoffen zusammen, die nur mit Hilfe lebender Zellen hergestellt werden können. Was dazu führt, dass die Imitation sowohl sehr komplex als auch kostenintensiv ist. Die Kosten für Imitation und Kommerzialisierung eines biotechnologischen Arzneimittels können bis zu 25 Mio. US-Dollar betragen und sind somit zehnmal höher als die Kosten für die Vervielfältigung eines konventionellen Mittels (The Economist, 2003). Aus diesem Grund wird der Wettbewerb zwischen originären biotechnologischen Arzneierzeugnissen und ihren Imitationen geringer, was Innovationen wiederum profitabler macht. Nach Schätzungen werden für Imitationen biologischer Arzneimittel etwa 60 % bis

47 VfA (2006) The pharmaceutical industry in Germany. Statistics. Verband forschender Arzneimittelhersteller e.V.

80 % des Preises der patentierten Originalprodukte erzielt. Herkömmliche, auf chemischer Basis hergestellte Medikamente können dagegen bereits im ersten Jahr sehr leicht zu einem Preis von nur 20 % des Preises der patentierten Originale verkauft werden (The Economist, 2003).[48]

In der **Lebensmittelproduktion** wird die Bio- und Gentechnologie in der Lebensmittelüberwachung und Lebensmittelverarbeitung genutzt, es können aber auch direkt gentechnisch veränderte Pflanzen und Tiere verarbeitet werden. Erkenntnisse aus der Genom- und Proteomforschung werden auch zukünftige Entwicklungen in der Lebensmittelverarbeitung beeinflussen. In der Lebensmittelüberwachung wird die Gendiagnostik und Genanalytik zur Kontrolle der Prozesstechnik, der Hygiene und Qualität von Lebensmitteln oder zum Nachweis von gentechnisch veränderten Lebensmitteln eingesetzt. Viele Hilfs- und Zusatzstoffe werden heute aus gentechnisch veränderten Mikroorganismen und Zellkulturen durch Fermentation gewonnen. Enzyme, Geschmacksverstärker, Süßstoffe, Aromen, Vitamine und Hormone werden dann isoliert. Gentechnisch veränderte Mirkoorganismen können auch als Starter- und Schutzkulturen eingesetzt werden (Menrad et al. 2003). Mit klassischen biologischen Verfahren wurde vorher schon eine Vielzahl von Substanzen für die Lebensmittelverarbeitung hergestellt. Die moderne Biotechnologie ermöglicht in erster Linie Enzyme, die durch dafür gezüchtete Mikroorganismen gewonnen werden, einzusetzen und die Prozesse dadurch sicherer, effektiver und kostengünstiger zu gestalten. Die Anwendung von Enzymen aus gentechnisch veränderten Mikroorganismen differiert allerdings zwischen den Lebensmittelsegmenten. Stark verbreitet ist sie in der Stärkeindustrie, aber in den Segmenten Käse, Brot und Backwaren, Fruchtsäften, Wein und Bier ist sie in Europa weniger verbreitet als in den USA (Menrad et al. 2003, S. 179-180).

Prognos (2002) geht davon aus, dass die Landwirte zur Steigerung ihrer zukünftigen Wettbewerbsfähigkeit die Bio- und Gentechnologie nutzen werden und gentechnisch veränderte Pflanzen anbauen. In der Landwirtschaft hat zwischen 1995 und 2003 die Zahl der Betriebe abgenommen, aber im gleichen Zeitraum ist die landwirtschaftlich genutzte Fläche fast konstant geblieben. Deutschland ist traditionell in der Landwirtschaft ein Einfuhrland, was an dem negativen Außenhandelssaldo erkennbar ist. Der Bruttowertschöpfungsanteil der Landwirtschaft an der Gesamtwertschöpfung lag im Jahr 2005 bei 1 % (Prognos 2002, S. 162; Statistisches

48 The Economist (2003) Biotechnology. Carbon Copy: making generic biotech drugs will be a tough business. 11 October 2003.

Bundesamt 2005b). Im Jahr 2005 haben deutsche Landwirte erstmalig gentechnisch veränderten Mais angebaut (vgl. Kapitel II-3.2). Ob die Landwirte gentechnisch veränderte Nutzpflanzen in Zukunft anbauen werden, wird stark von der Entwicklung der EU Agrarmarktordnung abhängen und der Akzeptanz der Verbraucher (vgl. Exkurs 1, Experteninterviews 2006).

In der Pflanzenzüchtung wird die Biotechnologie heute schon überwiegend eingesetzt. Allerdings ist die Gentechnik weniger stark verbreitet und wird bislang in erster Linie in der Forschung eingesetzt, weil sie sehr kapitalintensiv ist (Experteninterview 2006). Im Jahr 2003 lag die FuE-Quote bei knapp 17 % (Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter, Homepage 2006). Zwischen 2000 und 2004 gab es für Saat- und Pflanzengut einen positiven Außenhandelssaldo, der auch in dem Zeitraum um 106 % gestiegen ist (Statistisches Bundesamt 2004, Fachserie 7). Dies zeigt, dass deutsche Pflanzenzüchter verstärkt auf internationalen Märkten anbieten und international wettbewerbsfähig sind. Auf Grund stagnierender Märkte im Bereich der Pflanzenschutz- und Düngemittelindustrie sowie eines Konsolidierungsprozesses in den 1990er-Jahren investieren die internationalen Konzerne dieser Branche auch in die gentechnische Pflanzenzucht (Dolata 2001; Industrieverband Agrar 2006; FAZ 9.10.2006; Grass 2006; Hofmann 2006a; Peters 2006). Für internationale Märkte, insbesondere die USA und Lateinamerika, ist es notwendig in die Pflanzenzucht gentechnisch veränderter Nutzpflanzen einzusteigen, weil in diesen Ländern gentechnisch veränderte Pflanzen bereits verbreitet sind (vgl. Kapitel II-1; Experteninterview 2006). Innerhalb Europas ist derzeit unklar, ob gentechnisch veränderte Pflanzen die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen steigern, weil die grüne Gentechnik bisher sehr skeptisch gesehen wird (Menrad et al. 2003; Eurobarometer 2006).

In der Pflanzenzüchtung erweitert die Bio- und Gentechnologie das Methodenspektrum der klassischen Pflanzenzüchtung und kann zu einer Verkürzung des Züchtungsprozesses beitragen. In der klassischen Züchtung werden Nutzpflanzen durch Kreuzung mit Wildpflanzen gewonnen. Der züchterische Erfolg durch die Neukombination von Erbmaterial wird anhand der Ausprägung phänotypischer Merkmale geprüft. Durch markergestütze Züchtungsverfahren können Jungpflanzen mit gewünschten Eigenschaften ausselektiert und damit der Züchtungsprozess verkürzt werden, so dass die Forschungskosten reduziert werden können (Hucho et al. 2005; Menrad et al. 2003). Die Gentechnik ermöglicht als vorteilhaft eingeschätzte Gene über Artgrenzen hinweg in Pflanzen einzubringen, so dass Pflanzen mit neuen Eigenschaften entstehen. Ziele des Einsatzes der Gentechnik sind zum einen agronomische Merkmale der Anbaueigenschaften (Input-Traits) zu verändern

wie Resistenzen gegenüber Schadinsekten, Viren, Pilzen oder Toleranzen gegenüber Trockenheit, Kälte, Hitze oder Salz. Zum anderen können die Qualitäts- oder Produkteigenschaften von Pflanzen (Output-Traits) verbessert oder verändert werden wie Protein- und Ölzusammensetzungen, Kohlenhydrate, Fasern, sekundäre oder neue Inhaltsstoffe (Hucho et al. 2005; Menrad et al. 2003). Bislang liegt der Schwerpunkt in der kommerziellen Nutzung von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen in der Herbizidtoleranz und Insektenresistenz. Weltweit konzentrieren sich viele Forschungsprojekte darauf, die Zusammensetzung und den Gehalt an qualitätsbestimmenden Inhaltstoffen von Pflanzen zu verändern, um so die spezifische Nutzung als Lebens- und Futtermittel oder als Rohstoff für die Industrie zu optimieren (Menrad et al. 2003, S. 59).

6 FAZIT

Die Analyse der Entwicklung des Biotechnologiebereichs im internationalen Vergleich zeigt ein differenziertes Bild. Deutschland ist im Vergleich zu anderen Ländern verspätet in die Kommerzialisierung der Biotechnologie eingetreten, hat aber in kurzer Zeit eine leistungsfähige Biotechnologieindustrie entwickelt. Den Schwerpunkt bildet dabei die rote Biotechnologie. Im Ranking der Core-Biotechnologieindustrie nimmt Deutschland nach den USA und Großbritannien den dritten Platz ein. Insgesamt ist allerdings der Anteil an Unternehmen, die älter als 15 Jahre sind, gering. Gleichzeitig bleibt die durchschnittliche Größe der Biotechnologieunternehmen und die Risikokapitalausstattung je Unternehmen im internationalen Vergleich zurück. Es ist aber auch zu berücksichtigen, dass in Deutschland vermutlich stärker als in vielen anderen Ländern der Biotechnologiebereich auch durch die Biotechnologieaktivitäten großer Unternehmen insbesondere aus Chemie- und Pharmaindustrie bestimmt wird. Sich abzeichnende Schwächen in der Core-Biotechnologieindustrie hinsichtlich der Größe und Kapitalausstattung könnten damit zumindest teilweise kompensiert werden.

Die Biotechnologieindustrie in Deutschland konnte in den letzten Jahren sowohl in den kleinen und mittleren Unternehmen als auch innerhalb der Großunternehmen seinen Wachstumskurs fortsetzen. im Bereich der Core-Biotechnologieindustrie entwickelte sich Deutschland zwischen 2001 und 2003 allerdings unterdurchschnittlich. Insbesondere Frankreich, Dänemark und Schweden konnten aufholen. Gegenüber Großbritannien konnte Deutschland dagegen den Rückstand sogar spürbar verringern.

Die Grundlagenforschung und die Qualifikation der Arbeitskräfte in Deutschland wird von den befragten Experten als gut und international wettbewerbsfähig bewertet. Gestützt wird diese Einschätzung durch die im internationalen Vergleich hohen Wachstumsraten bei den wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Patentanmeldungen in der Biotechnologie. Berücksichtigt man allerdings bei der Bewertung der Indikatoren der Wissensbasis die jeweilige Größe des Landes, werden auch relative Schwächen deutlich. Insbesondere im Vergleich zu den kleinen Ländern Dänemark, Schweden und die Schweiz ist in Deutschland die relative Ausrichtung auf den Wissensbereich Biotechnologie geringer. Daraus könnten sich längerfristig beispielsweise bei der Akquisition von Nachwuchskräften Engpässe ergeben.

Die Anwenderindustrien der Biotechnologie in Deutschland, vor allem die chemische und die pharmazeutische Industrie, sind forschungsintensiv und exportorientiert, aber auch einer wachsenden internationalen Konkurrenz ausgesetzt. Trotz der absoluten Exporterfolge, ist die Spezialisierung Deutschlands auf diese Branchen innerhalb der internationalen Arbeitsteilung zurückgegangen – ein Anzeichen dafür, dass die komparativen Vorteile Deutschlands für Chemie und Pharma kleiner geworden sind. Hier bietet die Biotechnologie, die in den Anwenderindustrien in Deutschland schon adaptiert bzw. selbst betrieben wird, auf vielfältige Weise die Möglichkeit mit Produkt- und Prozessinnovationen verlorenes Terrain zurückzugewinnen und zukünftige Wettbewerbsfähigkeit zu sichern.

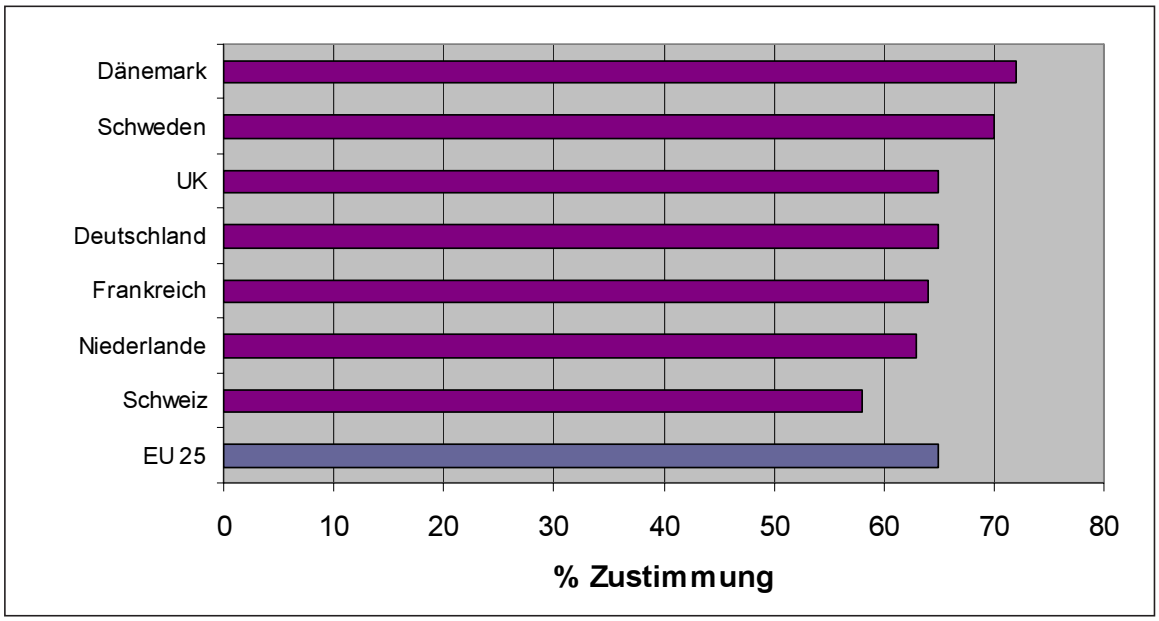
In Teil III des Gutachtens werden die im internationalen Vergleich dargestellten Stärken und Schwächen des Biotechnologiebereichs in Deutschland aufgegriffen und gemeinsam mit den Ergebnissen zum Teil I der Untersuchung bewertet. Aus dieser Bewertung werden mögliche Handlungsfelder abgeleitet und strategische Ansatzpunkte aufgezeigt.

EXKURS 1: EINSTELLUNGEN DER BEVÖLKERUNG ZUR BIOTECHNOLOGIE IN DER EU

Für die Entwicklung der Biotechnologie und insbesondere der Biotechnologieunternehmen spielt das ökonomische und gesellschaftliche Umfeld eine nicht unbedeutende Rolle (vgl. Teil I). Hierzu zählt auch die gesellschaftliche Akzeptanz der Biotechnologie und ihrer Anwendungen, weil damit die Marktnachfrage nach Produkten und Dienstleistungen der Biotechnologie sowie Regulierungen oder Gesetze beeinflusst werden (vgl. Soete 2006).

Die Europäische Kommission erfragt regelmäßig die Einstellungen der Bewohner zu neuen Technologien und zum technischen Fortschritt. Das Eurobarometer 2003, 2005 und 2006 zeigt für ausgewählte Fragestellungen zur Biotechnologie für die in dieser Untersuchung betrachteten europäischen Länder, dass Deutschland eher im Mittelfeld der Einstellungen zur Biotechnologie zählt. Die Befragten in den skandinavischen Ländern Dänemark und Schweden weisen eine höhere Zustimmung zum positiven Einfluss der Bio- und Gentechnologie in den nächsten 20 Jahren auf als der EU-25 Durchschnitt (vgl. Abbildung E1-6-1).

Abbildung E1-6-1: Zustimmung bei der Aussage: Bio- und Gentechnologie werden in den nächsten 20 Jahren unser Leben positiv beeinflussen.

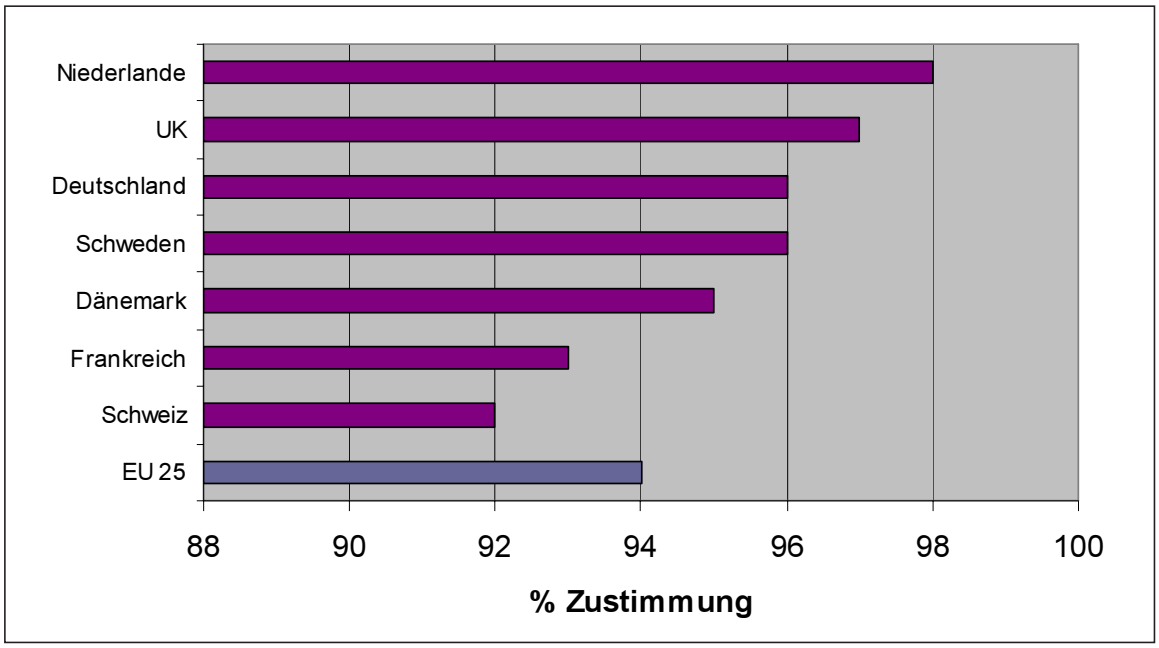


Quelle: Eurobarometer 2005a,b, **DIW** Berlin 2006

Insgesamt zeigt sich zwischen 2002 und 2005 ein positiver Trend in den Einstellungen zur Biotechnologie in den betrachteten Ländern. Dies gilt auch für die letzten zehn Jahre in Dänemark, Schweden, Großbritannien, Deutschland, Frankreich und den Niederlanden. Zwischen 1996 und 2005 ist der Zustimmungsindex zur Biotechnologie gestiegen (Eurobarometer 2006, S. 13).

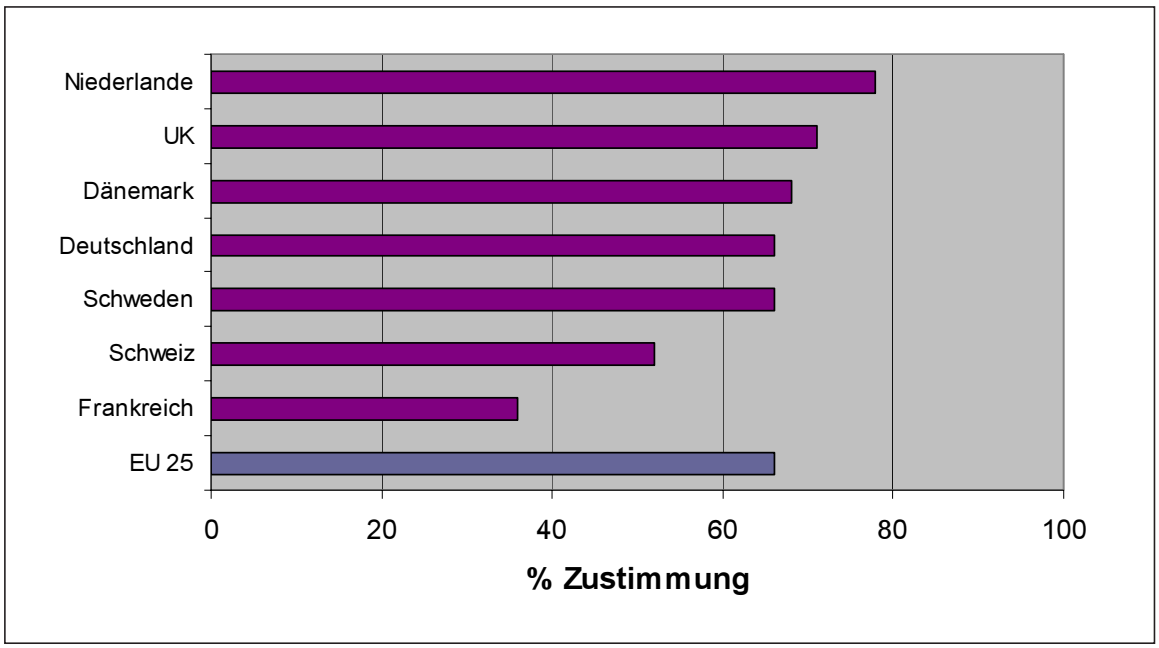
Die Befragten in den Niederlanden und Großbritannien stimmen überdurchschnittlich der Aussage zu, dass neue Arzneimittel und neue medizinische Technologien sowie neue Hightech-Agrartechnologien einen positiven Einfluss auf unser Leben in den nächsten 20 Jahren haben (vgl. Abbildung E1-6-2, E1-6-3). Die Befragten in Frankreich und der Schweiz sind in beiden Fällen skeptischer.

Abbildung E1-6-2: Zustimmung bei der Aussage: Arzneimittel und neue medizinische Technologien werden in den nächsten 20 Jahren unser Leben positiv beeinflussen.



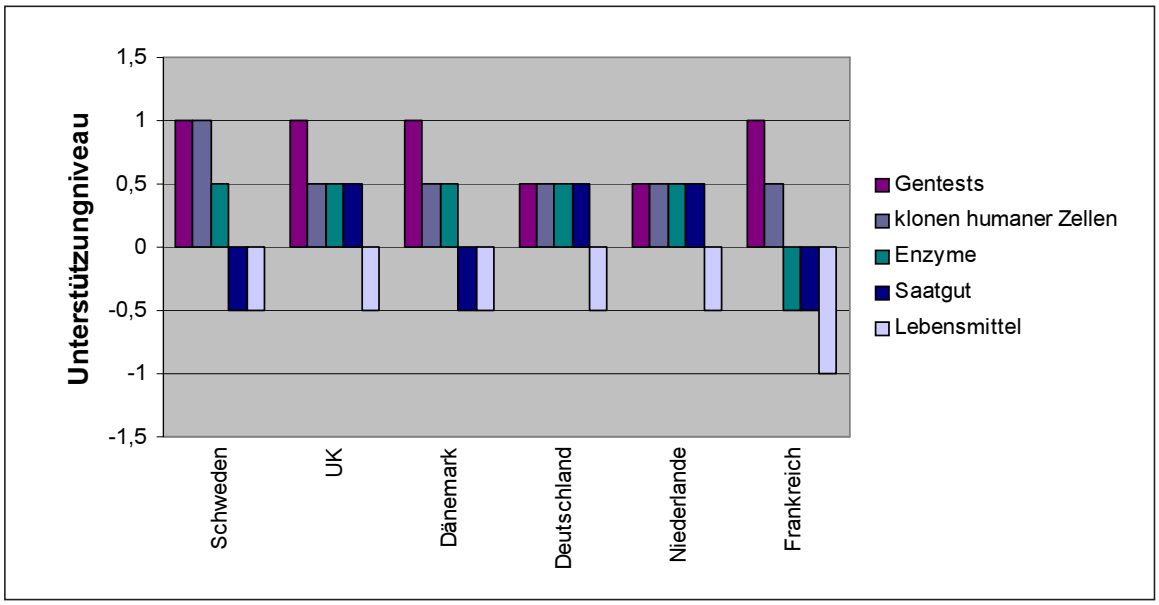
Quelle: Eurobarometer 2005a,b, **DIW** Berlin 2006

Abbildung E1-6-3: Zustimmung bei der Aussage: Hightech-Agrartechnologien werden in den nächsten 20 Jahren unser Leben positiv beeinflussen.



Quelle: Eurobarometer 2005a,b, **DIW** Berlin 2006

Abbildung E1-6-4: Niveau der Unterstützung für verschiedene Anwendungen der Biotechnologie oder biotechnologischer Produkte 2002



Quelle: Eurobarometer 2003, **DIW** Berlin 2006

Die Unterstützung für Gentests ist in Schweden, Großbritannien, Dänemark und Frankreich sehr hoch (vgl. Abbildung E1-6-4). Die Unterstützung für das Klonieren humaner Zellen ist in Schweden sehr groß und in den anderen Ländern gegeben. Bis auf Frankreich werden in Schweden, Großbritannien, Dänemark, Deutschland und den Niederlanden gentechnisch hergestellte Enzyme unterstützt. Gentechnisch verändertes Saatgut wird in Schweden, Dänemark und Frankreich wenig unterstützt und gentechnisch veränderte Lebensmittel werden in allen betrachteten Ländern nur wenig unterstützt.

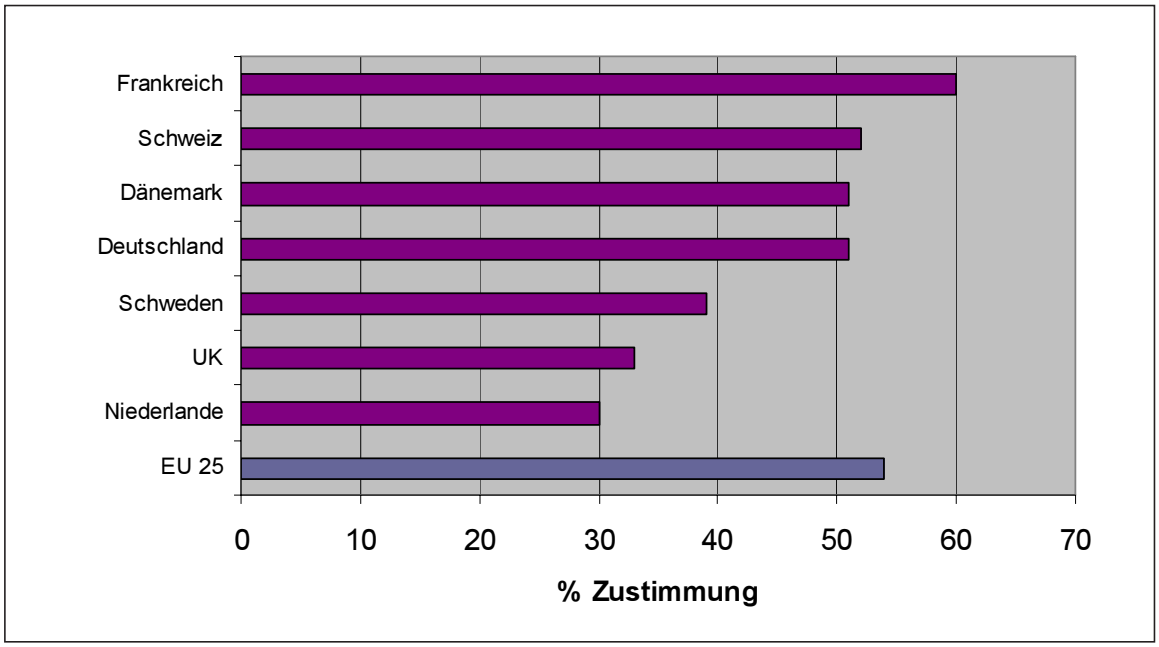
Gentechnisch veränderte Lebensmittel werden von den Befragten in Frankreich mit 60 % Zustimmung als gefährlich angesehen. In den Niederlanden und Großbritannien ist nur ein Drittel der Befragten der Meinung, dass gentechnisch veränderte Lebensmittel gefährlich sind.

Im Eurobarometer 2006 sind die Europäer u. a. nach ihren Gründen gefragt worden, wann sie gentechnisch veränderte Lebensmittel kaufen würden. Es wird deutlich, dass 23 % der Antwortenden gentechnisch veränderte Lebensmittel kaufen würden, wenn sie gesünder wären und 33 % möglicherweise. Der Preis war nur für 12 % der Antwortenden ein Argument, denn dieser Anteil der Antwortenden gab an, dass sie auf Grund eines geringeren Preises gentechnisch veränderte Lebensmittel kaufen würden (Eurobarometer 2006, S. 22).

Obwohl die Befragten in Frankreich gentechnisch verändertem Saatgut und gentechnisch veränderten Lebensmitteln ablehnend gegenüberstehen, sind in den

letzten Jahren innerhalb Europas die meisten Anträge für Feldversuche in Frankreich gestellt worden (vgl. Tabelle E1-6-1). In Deutschland und Großbritannien sind zwischen 1999 und 2004 gleich viele Feldversuche beantragt worden.

Abbildung E1-6-5: Zustimmung bei der Aussage: Gentechnisch veränderte Lebensmittel sind gefährlich



Quelle: Eurobarometer 2003, **DIW** Berlin 2006

Tabelle E1-6-1: Zahl angemeldeter Feldversuche

Länder	**1996-2001**	**1999-2004**
Dänemark	25	6
Niederlande	43	39
Schweden	59	44
Deutschland	102	64
Großbritannien	144	64
Frankreich	397	146
Kanada	902	725
USA	6.745	6.340

Quelle: Canadian Food Inspection Agency 2006;Europäische Kommission 2006; Information Systems for Biotechnology 2006; Reiss et al. 2005

Insgesamt sind zwischen 1996 und 2004 die meisten Feldversuche zu gentechnisch veränderten Pflanzen in Nordamerika beantragt worden, wo auch bereits Märkte existieren (vgl. Kapitel II-1). Innerhalb Europas haben sich die Anträge zwischen den

beiden betrachteten Zeiträumen halbiert, was vermutlich auch auf das Moratorium in Europa zurückzuführen ist. Man kann sowohl an der Zahl der Feldversuche als auch an den Einstellungen sehr gut sehen, dass die Konsumenten in Europa skeptisch gegenüber Produkten der grünen Biotechnologie sind, wobei Deutschland im Mittelfeld der Akzeptanz liegt.

EXKURS 2: BIOTECHNOLOGIE IN AUSGEWÄHLTEN ASIATISCHEN LÄNDERN

Viele asiatische Länder, u. a. auch Japan, Südkorea, China und Indien sind erst in den 1990er-Jahren in die moderne Biotechnologie eingestiegen, insbesondere in die Kommerzialisierung (E&Y 2002a, 2003a). Insgesamt liegen die asiatischen Länder in der Entwicklung der Biotechnologieindustrie noch weit hinter den USA und auch Europa. Trotzdem oder gerade deshalb weist Asien im Vergleich zu den USA und Europa hohe Wachstumsraten bei der Zahl der Unternehmen, der Zahl der Beschäftigten, dem Umsatz und den FuE-Ausgaben auf (vgl. Tabelle E2-6-3).

Tabelle E2-6-2: Entwicklung der Biotechnologieindustrie in Asien

Jahr	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**Veränderung 2001-2005 in %**
Zahl der Unternehmen	532	601	667	685	716	35,0
davon börsennotierte Unternehmen	91	108	120	131	139	52,7
Angaben zu börsennotierten Unternehmen						
Beschäftigte	6.518	9.760	9.810	13.490	12.490	91,6
Umsatz (Mio. US$)	1.001	1.375	1.505	2.052	3.002	200,0
FuE-Ausgaben (Mio. US$)	175	197	217	253	312	78,3

Quelle: E&Y verschiedene Jahrgänge, Berechnungen **DIW** Berlin

Japan, China und Indien waren in der traditionellen Biotechnologie in den Bereichen Fermentation und Enzymherstellung, traditionelle Pharmazeutische Industrie, Lebensmittelindustrie und Landwirtschaft stark. In den 1990er-Jahren haben die je-

weiligen Regierungen beschlossen, in die moderne Biotechnologie zu investieren und haben Förderprogramme zum Aufbau der Forschungskapazitäten sowie Ausbildung aufgelegt (Sasson 2005, 2004; Soete 2006; Wong et al. 2004; Zhenzhen et al. 2004). Sowohl Japan als auch China haben sich an dem weltweiten Humangenomforschungsprojekt (HUGO) beteiligt und an der Entschlüsselung des Reis-Gens (Sasson 2005, 2004; Zhenzhen et al. 2004). Trotzdem ist es den Regierungen nicht gelungen, dass die Forschungsergebnisse kommerziell genutzt wurden. Im Gegensatz zu den USA und Europa haben sich aus den Forschungseinrichtungen zunächst keine Start-up-Biotechnologieunternehmen gegründet. In Tabelle E2-6.3 ist anhand der hohen Wachstumsraten erkennbar, dass China und Südkorea erst in den 1990er-Jahren verstärkt in die Forschung zur Biomedizin und Biologie eingestiegen sind. In allen vier betrachteten Ländern liegt die Wachstumsrate der wissenschaftlichen Veröffentlichungen in der Biomedizin und Biologie deutlich über der Wachstumsrate in Deutschland von 5,5 % (vgl. Kapitel II-3.1).

Tabelle E2-6-3: Wissenschaftliche Veröffentlichungen in der Biomedizin und Biologie

Jahr	**1996**	**2003**	**Veränderung 1996-2003 (in %)**
Japan	10.230	11.773	15
Korea	601	2.241	273
China	846	3.619	327
Indien	2.015	2.529	26

Quelle: National Science Foundation 2006, Berechnungen **DIW** Berlin

Erklärt werden kann die verzögerte Kommerzialisierung der Biotechnologie in den asiatischen Ländern mit ihrem schlecht entwickelten Anreizsystem für Forschung und Entwicklung wie auch Unternehmensgründung (E&Y 2002a, 2004a). Alle vier Länder hatten für die moderne Biotechnologie ein schwach entwickeltes Regime der geistigen Eigentumsrechte, keinen Venture Capital Markt, kein System des Wissens- und Technologietransfers aus den Universitäten und Forschungseinrichtungen in die Wirtschaft. Hinzu kommt, dass China, Indien und Südkorea anfangs auch keine international anerkannten Standards für die klinische Forschung, die Zulassung von Medikamenten, die Zulassung von Saatgut sowie ethische Regulierungen zur Forschung und Anwendung der Biotechnologie entwickelt hatten. Tabelle E2-6.4 zeigt, dass die vier Länder anhand der Patentanmeldungen in der Biotechnologie eine nachholende Entwicklung vollziehen, mit hohen Wachstumsraten in China und Indien.

Tabelle E2-6-4: Patentanmeldungen in der Biotechnologie EPO (priority day)

Jahr	1998	1999	2000	2001	2002	Veränderung 1998-2002 (in %)
Japan	487	598	711	725	816	68
Korea	35	53	59	73	58	66
China	13	13	19	36	49	277
Indien	11	13	21	20	30	173

Quelle: OECD Patentdatenbank 2006, Berechnungen **DIW** Berlin

Im Jahr 2004 gab es in Japan 334 Biotechnologieunternehmen mit einem Umsatz von 801,7 Mio. €, von denen 41 zu den Core-Biotechnologieunternehmen zählen (E&Y 2004a, S. 11, 20; Sasson 2005, S. 14). Zu dem Zeitpunkt waren 6.757 Personen in der Biotechnologie beschäftigt, von denen 2.871 FuE-Beschäftigte waren (Sasson 2005, S. 14). Die Biotechnologieunternehmen sind eher klein mit durchschnittlich 20 Beschäftigten und haben einen Schwerpunkt in der roten Biotechnologie (Motohshi 2004, S. 14). In Japan wurde ein *Biotechnology Strategy Council* gegründet, das *Biotechnology Strategy Guidelines* zur Entwicklung der Biotechnologie formuliert hat. Im April 2000 wurde das Millennium Projekt gestartet, das eine Förderung in der Reis-Genomforschung, der Humangenomforschung und der regenerativen Medizin vorsah (Sasson 2005). Eine weitere Maßnahme war die Umstrukturierung des Universitätssystems, so dass es nun für Hochschulangehörige Anreize gibt, ihre Erfindungen zu patentieren und Unternehmen zu gründen. Im Jahr 2003 sah der Staat ein Fördervolumen von 3,8 Mrd. € für die Biotechnologie vor (Motohshi 2004, S. 5). Es bestehen Hemmnisse für die Entwicklung der Biotechnologie, auf Grund von fehlendem qualifizierten Personal und einem kleinen Venture Capital Markt (Motohshi 2004).

1994 beschlossen sieben Ministerien in Südkorea den *Biotech 2000 Plan*, um das Land zu einem führenden Biotechnologiestandort auszubauen (Wong et al. 2004). Im Jahr 2003 hatte Südkorea 41 Core-Biotechnologieunternehmen (E&Y 2004a, S. 20). Nach den Angaben von van Beuzekom, Arundel (2006) hatte Südkorea im Jahr 2004 640 Biotechnologieunternehmen mit 12.138 Beschäftigten, wovon 6.554 FuE-Beschäftigte waren. Die Mehrheit der Biotechnologieunternehmen ist im Bereich der weißen und grauen Biotechnologie tätig (41 %), gefolgt von der roten Biotechnologie (30 %) und der grünen Biotechnologie (25 %) (ebenda, S. 21ff., 106). Im Jahr 2003 kündigte die Regierung an, die Biotechnologie mit 300 Mio. US-$ durch das HAN-Projekt und die Programme *Biotech 2000* sowie *21st Century Frontier R&D Programme* zu fördern. Schwerpunkte waren die Humangenomforschung, Biome-

dizin, Biomaterialien und Bioenergie (E&Y 2004a, S. 24). Zwischen 2000 und 2007 beabsichtigte die koreanische Regierung 4,4 Mrd. US-$ für die Förderung der Biotechnologie auszugeben (Wong et al. 2004, S. DC43). Insgesamt sind die staatlichen FuE-Ausgaben für die Biotechnologie zwischen 2001 und 2005 jährlich um durchschnittlich 27 % gestiegen (van Beuzekom, Arundel 2006, S. 106). Im Jahr 2006 hat die Regierung angekündigt, 260 Mio. US-$ in den nächsten zehn Jahren in die Biotechnologie zu investieren, insbesondere in den Ausbau der Kommerzialisierung (E&Y 2006a). Die Entwicklung der Biotechnologie in Südkorea wird gehemmt, weil zu wenig Geld in die Grundlagenforschung investiert wird, es zu wenig gut ausgebildete Fachkräfte gibt und der Wissens- sowie Technologietransfer aus der Forschung in die Wirtschaft weiterhin ineffizient organisiert ist (E&Y 2004a). Hinzu kommt, dass Südkorea durch den Fälschungsskandal zum Klonen von embryonalen Stammzellen Ende 2005 einen erheblichen Imageschaden erlitten hat.

Im Jahr 2003 hatte China inklusive Hong Kong 136 Core-Biotechnologieunternehmen (E&Y 2004a, S. 20). China ist bereits in den 1980er-Jahren in die Forschung der Biotechnologie im Anwendungsbereich Landwirtschaft eingestiegen und hat Anfang der 1990er-Jahre den ersten gentechnisch veränderten Tabak angebaut (E&Y 2002a; The Economist 2002; Huang, Wang 2003). In den letzten Jahren hat China vorwiegend Bt-Baumwolle (2005 3,3 Mio. Hektar) angepflanzt und gehört mit zu den führenden Ländern im Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen (vgl. Kapitel II-1; ISAAA 2005). In den letzten Jahren hat China immer wieder Forschungsgelder für die grüne Biotechnologie zur Verfügung gestellt und dies ist auch ein Schwerpunkt bei der staatlichen Förderung (Huang, Wang 2004). Zum Beispiel hat China im Jahr 1999 112 Mio. US-$ in die grüne Biotechnologie investiert oder mit dem Programm *Special Foundation of Transgenic Plants Research and Commercialisation* wurden zwischen 1999 und 2003 60 Mio. US-$ in die grüne Biotechnologie investiert (Huang, Wang 2004, S. 5; InformationsSekretariat Biotechnologie 2006). Zwischen 1996 und 2000 hat die chinesische Regierung die Biotechnologie mit 180 Mio. US-$ gefördert und zwischen 2001 und 2005 mit 1,45 Mrd. US-$ sowie ein Rückhol-Programm für chinesische Wissenschaftler, die im Ausland arbeiteten, gestartet (E&Y 2005a, S. 69; Sasson 2004, S. 112; Zhenzhen et al. 2004). Die Forschungsstärken Chinas liegen in der Chemie, der Physik, Mathematik und in den Ingenieurwissenschaften, aber nicht in der Biologie oder Medizin (Sasson 2004, S. 110). Nach Ernst & Young hatte China im Jahr 2005 139 Produkte in der Pipeline (ebenda 2005a, S. 70). Entwicklungsprobleme für die Biotechnologie in China bestehen in mangelndem Venture Capital, dem Regime der geistigen Eigentumsrechte, einer fehlenden Vernetzung zwischen Universitäten, Forschungseinrichtungen und

Unternehmen und den noch nicht eingeführten internationalen Standards in der klinischen Forschung wie für den Zulassungsprozess von Medikamenten und Saatgut (E&Y 2005a; Sasson 2004; Zhenzhen et al. 2004).

Indien hatte im Jahr 2004 400 Biotechnologieunternehmen mit 11.800 Beschäftigten und einem Umsatz von 863 Mio. € (Soete 2006, S. 43). Der Schwerpunkt der Biotechnologieindustrie liegt in Indien in der roten Biotechnologie, gefolgt von der grünen und weißen Biotechnologie (Soete 2006, S. 48). Das staatliche Fördervolumen für die Biotechnologie ist zwischen 1990 und 2005 um 174 % gestiegen und zwischen 2000 und 2005 um 27 % (Chaturvedi 2005, S. 15). Seit dem Jahr 2005 gibt es eine nationale Entwicklungsstrategie in der Biotechnologie. Ziel ist es die Biotechnologieindustrie in Indien zu einem bedeutenden Sektor auszubauen. Dafür sollen verschiedene koordinierte strategische Aktionen vom Staat, den Bundesländern und der Industrie durchgeführt werden. Das Endprodukt soll eine kohärente Biopolitik sein (DBT 2005). Auf Grund des TRIPs-Abkommens und seiner Umsetzung in Indien zum 01.01.2005 lässt sich in den letzten fünf Jahren eine dynamische Entwicklung im Bereich der Pharmazeutischen Industrie und der roten Biotechnologie beobachten. Mit der Einführung von Produkt- und Stoffpatenten ist die indische Pharmaindustrie gezwungen, in Forschung und Entwicklung zu investieren. Schwerpunkt der FuE-Ausgaben ist die rote Biotechnologie. Insgesamt steckt die Biotechnologieindustrie in Indien noch in den Kinderschuhen, aber sie wächst stetig. Da ein Wettbewerbsvorteil der indischen Biotechnologieunternehmen in ihren niedrigen Arbeitskosten liegt, spezialisieren sie sich auf Auftragsforschung und Auftragsproduktion. Es bestehen noch Entwicklungshemmnisse für die Biotechnologie in den Export-, Import- und Arbeitsmarktregulierungen sowie Zuständigkeitsüberschneidungen in den verschiedenen Ministerien und Behörden, eine fehlende Infrastruktur für die Unternehmensgründung sowie Zusammenarbeit zwischen Universitäten und Forschungseinrichtungen auf der einen Seite und Unternehmen auf der anderen Seite (Soete 2006, S. 131-134).

Alle vier asiatischen Länder investieren erheblich in die Biotechnologie und haben auch nationale Entwicklungsprogramme der Biotechnologie formuliert. Aber bisher steckt sowohl die Forschung zur Biotechnologie als auch die Kommerzialisierung noch am Anfang. Die biotechnologischen Produkte, die in den asiatischen Ländern auf dem Markt sind, sind Imitationen oder Importprodukte. Bisher gibt es noch kein selbstständig entwickeltes neues biotechnologisches Produkt oder Plattformtechnologien auf den asiatischen Märkten. Alle vier betrachteten Länder haben Entwicklungshemmnisse auf Grund kleiner Venture Capital Märkte, fehlendem qualifizierten Personal und vor allem Regulierungsmängel sowohl für geistige Eigen-

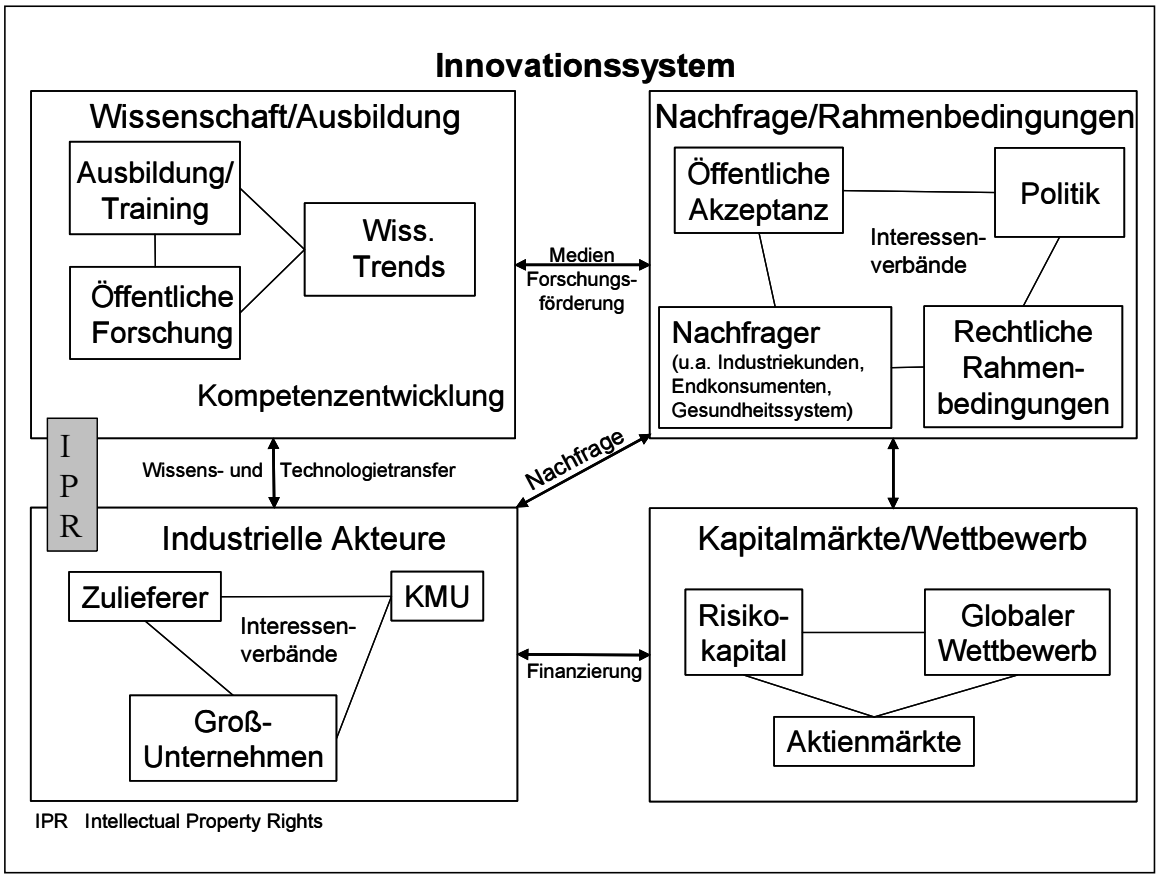
tumsrechte als auch für die Zulassungsprozesse bei Medikamenten und Saatgut. Deutsche Experten sehen derzeit in Japan, Südkorea, China und Indien keine unmittelbaren Konkurrenzstandorte oder Konkurrenzunternehmen, aber alle sind sich bewusst, dass die Länder über ein hohes Entwicklungspotenzial und große Marktpotenziale verfügen.

Teil 3: Bewertung des Biotechnologie-Standortes Deutschland

Autoren:
Michael Nusser, Bärbel Hüsing, Thomas Reiß,
Sven Wydra (Fraunhofer ISI) und
Birgit Soete (DIW Berlin)

Zur Bestimmung der kritischen Erfolgsfaktoren für die Entstehung, Entwicklung, Anwendung und Marktdurchdringung der Biotechnologie in Deutschland wird an dem Innovationssystem-Forschungsansatz angeknüpft. Dieser Forschungsansatz ist für die Analyse der Leistungsfähigkeit von Volkswirtschaften in ausgewählten Technologiefeldern gut geeignet und liefert die Grundlage, um im internationalen Vergleich Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken von Forschungs- und Produktionsstandorten herauszuarbeiten. Es gibt mehrere Studien, die mit diesem Ansatz die Biotechnologie-Innovationssysteme in den USA, Europa und Japan sowie innerhalb Europas miteinander verglichen haben (u. a. Bartholomew 1997; Giesecke 2001; de la Mothe und Niosi 2000; Reiß und Hinze 2004, Reiß et al 2004a, b; Senker et al. 2000, 2001; Soete 2006).

Abbildung III-3-1: Innovationssystem-Perspektive



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

Dieser Systemansatz geht davon, dass Innovationen in einem Innovationssystem entstehen (Abbildung III-3.1), an dem diverse Akteure und Institutionen 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, 1992, Malerba 2002, Salter und Martin 2001). In einem prosperierenden Innovationssystem sind die Teilsysteme und deren Akteure sowie Institutionen untereinander stark vernetzt (u. a. Porter 1990, 1999): Nicht einzelne Teilsysteme und einzelne Akteure bzw. Institutionen, sondern das Zusammenspiel und die (regionale, nationale und internationale) Vernetzung leistungsstarker Teilsysteme und Akteure bzw. Institutionen innerhalb des Innovationssystems entscheiden über die zukünftigen Innovations-, Wachstums- und Beschäftigungspotenziale der Biotechnologie am Standort Deutschland.

Zur Bewertung des Biotechnologie-Standortes Deutschland wurden ausgehend von dem Innovationssystem-Ansatz der Biotechnologie geeignete Outputindikatoren (z. B. Publikationen, Patente) sowie Input- und Prozessindikatoren (z. B. Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal, Risikokapital, Dynamik der FuE-Ausgaben) zur Messung der Leistungsfähigkeit und Bewertung von Hemmnissen abgeleitet. Diese Indikatoren wurden dann zur Bewertung aller Wertschöpfungsstufen des Biotechnologie-Innovationsprozesses, von der Wissensbasis und Wissensgenerierung bis zur Markteinführung und Marktdurchdringung mit neuen biotechnologischen Prozessen, Produkten und Dienstleistungen, verwendet.

Die Datenbasis für diese Output- sowie Input- und Prozessindikatoren zur Identifizierung der kritischen Erfolgsfaktoren sowie der innovationshemmenden und innovationsfördernden Faktoren bilden einerseits die vorhergehenden Teile 1 und 2 sowie Ergebnisse aus durchgeführten Experteninterviews und andererseits die Forschungsergebnisse aus früheren Projekten im nationalen und internationalen Kontext, die das Fraunhofer ISI oder das DIW Berlin durchgeführt haben (u. a. Nusser und Gaisser 2005, Nusser und Hinze 2005, Reiß und Hinze 2004, Reiß et al 2004a, b, Soete 2006, ZEW und DIW Berlin 2004) sowie aktuelle Literaturauswertungen, die im Projektverlauf durchgeführt wurden. Im Rahmen des Projektes selbst wurden keine eigenständigen Innovationssystem-Analysen und kein internationaler Systemvergleich für die Biotechnologie durchgeführt.

Für die Darstellung der Ergebnisse wurde eine SWOT-Matrix[49] für die beiden Wertschöpfungsstufen

49 SWOT: Stärken-Schwächen, Chancen-Risiken. Die Analyse der Stärken und Schwächen der Entwicklung der Biotechnologie in Deutschland bezieht sich auf die Ist-Situation und die Analyse der Chancen und Risiken auf zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten.

- Forschung und Entwicklung (FuE) und
- Umsetzung in Industrieprozesse und international wettbewerbsfähige Produkte und Dienstleistungen.

gewählt. Die Trennung in diese beiden Wertschöpfungsstufen ermöglicht eine differenzierte Darstellung des Stärken-Schwächen-Profils Deutschlands in der Biotechnologie. Bei der ersten Wertschöpfungsstufe Forschung und Entwicklung (FuE) steht die *Produktion von technologischem Wissen* im Vordergrund. Öffentliche Akteure (z. B. öffentliche FuE-Einrichtungen, Förderinstitutionen) nehmen hier eine bedeutende Rolle ein (Reiss et al. 2003). Bei der zweiten Wertschöpfungsstufe „Umsetzung in Industrieprozesse und international wettbewerbsfähige Produkte und Dienstleistungen" steht die *Kommerzialisierung* dieses technologischen Wissens im Fokus. Entscheidende Akteure sind hier vor allem die Unternehmen.

Dadurch werden die indikatorengestützten Erkenntnisse aus früheren Innovationssystem-Untersuchungen sowie die in dieser Studie abgeleiteten Projektergebnisse in eine SWOT-Analyse überführt, um so den Biotechnologie-Standort Deutschland bewerten zu können. Die daraus abgeleiteten Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der Biotechnologie am Standort Deutschland beschreiben die innovationsfördernden und innovationshemmenden Entwicklungsfaktoren, die mögliche Handlungsfelder für unterschiedliche Akteure darstellen. Die Ergebnisse der SWOT-Analyse werden auf den nachfolgenden Seiten zusammenfassend präsentiert. An den entsprechenden Stellen wird entweder auf die Ergebnisse in Teil 1 und 2 dieser Studie verwiesen oder aber auf frühere Innovationssystem-Studien oder sonstige verwendete Literaturquellen.

ERGEBNISSE DER INDIKATORENBASIERTEN SWOT-ANALYSE

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG (FUE)

Die Stärken und Chancen im Bereich Forschung und Entwicklung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Stärken:

- **Qualifiziertes Personal:** Aktuelle Verfügbarkeit an hoch qualifiziertem Personal (u. a. Wissenschaftler, Ingenieure, Techniker), deren Qualität im internationalen Vergleich positiv eingeschätzt wird (vgl. Kapitel II-3.1 und II-4.1, Experteninterviews 2006 sowie Reiss und Hinze 2004).
- **Wissenspool:** Breite Wissensbasis in allen Biotechnologiebereichen, sowohl in der Grundlagenforschung (Basis: Publikationsanalysen) als auch in der angewandten Forschung (Basis: Patentanalysen) (vgl. Kapitel II-4.1, sowie Soete 2006 und Reiss et al. 2005, 2006).
- **Wissensgenerierung:** Hohe Wachstumsdynamik bei wissenschaftlichen Publikationen sowie hohe Qualität und internationale Beachtung in wichtigen Teilsegmenten der Biotechnologie (Basis: Zitierraten von Publikationen) (vgl. Kapitel I-2.1.1 und II-4.1, sowie Nusser und Hinze 2005, Reiss et al. 2003, 2006).
- **FuE-Infrastruktur:** Gute Forschungsinfrastruktur mit ausdifferenzierter Forschungslandschaft (u. a. Universitäten, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, große Unternehmen, Core-Biotechnologieunternehmen) (vgl. Kapitel I-2.1 und II-3.1 sowie Soete 2006, Reiss et al. 2005, Nusser und Gaisser 2005).

Chancen:

- **Angewandte Forschung:** Alle Anwenderindustrien sowie Core-Biotechnologieunternehmen sind vorhanden und forschen in allen Biotechnologiebereichen. Unterstützend wirken steigende FuE-Aufwendungen in wichtigen Anwenderindustrien (z. B. Pharma seit Mitte der 90er-Jahre) (vgl. Kapitel I-2.2.3, II-3.2 und II-3.3, sowie BIOCOM 2006, Legler et al. 2006).

- **Ausbildung:** Die zukünftig an Bedeutung gewinnende interdisziplinäre akademische Ausbildung ist möglich, da alle biotechnologierelevanten Fachgebiete an Universitäten, Fachhochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen vertreten sind (vgl. Kapitel I-2.1.1 und I-2.5.2, sowie Soete 2006, Dechema 2004).
- **Kooperationen/Cluster:** Bestehende Kooperationsbeziehungen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft (z. B. FuE-Allianzen, Stiftungsprofessuren, Graduiertenkollegs, industrienahe Lehrinhalte, gemeinsame Interessenvertretungen von Wissenschaft und Wirtschaft) sind für die zukünftige Entwicklung von Vorteil (vgl. Experteninterviews, Nusser und Gaisser 2005, BCG 2007).
- **Politik:** Es bestehen langjährige dezidierte Erfahrungen in der Biotechnologie-Förderpolitik, die auch für zukünftige ressortübergreifende Politikansätze nutzbar sind (vgl. Kapitel II-4.2, sowie Soete 2006, Reiss et. al 2005).
- **Konvergenz von (Querschnitts-)Technologien:** Potenziale aus einer zunehmenden Konvergenz von Technologien (z. B. Bioinformatik, BioNano) können auf Grund der bestehenden breiten Wissensbasis genutzt werden (vgl. Kapitel I-2.1 und I-3).

Die Schwächen und Risiken im Bereich Forschung und Entwicklung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Schwächen:

- **Angewandte Forschung:** Relativ geringere FuE-Ausgaben deutscher Biotechnologieunternehmen im internationalen Vergleich (vgl. Kapitel II-4.3, Tabelle A-II.1, sowie van Beuzekom und Arundel 2006).
- **Mobilität:** In Deutschland gibt es eine geringe Personalmobilität zwischen Wissenschaft und Industrie, so dass der Wissenstransfer meist nur in eine Richtung, von der Wissenschaft in die Industrie erfolgt, aber selten von der Industrie in die Wissenschaft (vgl. Schmoch et al. 2000, Nusser und Gaisser 2005).
- **KMU als Nutzer:** Kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) in den Anwenderindustrien investieren weniger in FuE und haben deshalb als Innovationsmotor und Nachfrager von biotechnologischen Inventionen oder Wissen eine geringere Bedeutung (vgl. Nusser und Gaisser 2005, Soete 2006).
- **Rechtliche Rahmenbedingungen:** Hohe Komplexität durch Vielzahl an relevanten nationalen, europäischen und internationalen Gesetzen/Vorschriften und deren mangelnde Passfähigkeit zueinander sowie hohe Regelungsdichte

innerhalb einzelner Gesetzesbereiche (vgl. Experteninterviews 2006, sowie Reiss und Hinze 2004, Nusser 2005, Soete 2006).

- **Strategische Ausrichtung:** Bislang gibt es in Deutschland keine nationale Entwicklungsstrategie für die Biotechnologie wie sie z. B. von der Europäischen Kommission oder Großbritannien formuliert worden ist („no vision – no mission") (vgl. Nusser und Gaisser 2005, Soete 2006, Experteninterviews 2006).

Risiken:

- **FuE-Dynamik:** Umfangreiche staatliche und industrielle FuE-Aktivitäten mit klaren (auch politischen) Zielsetzungen in etablierten und aufstrebenden Konkurrenzländern (z. B. USA, UK, skandinavische Länder, Singapur, Indien, China) in Anwenderbranchen und Biotechnologieunternehmen. Verstärkend wirken hier im internationalen Vergleich zu wenige Top-Forschungseinrichtungen sowie die Auslandsorientierung deutscher Wissenschaftler und Unternehmen (vgl. Kapitel II-4.3, sowie Soete 2006, Legler und Krawczyk 2006, OECD 2006, BCG 2007).
- **Qualifiziertes Personal:** Zukünftig Engpässe bei (hoch) qualifiziertem Personal, (u. a. Wissenschaftler, Ingenieure, Techniker), da bereits seit Anfang der 90er-Jahre rückläufige Entwicklung beim FuE-Personal in Deutschland. Zukünftige Engpässe entstehen auf Grund steigender Nachfrage nach Hochqualifizierten, der Studienneigung und Absolventenzahlen sowie einem zunehmenden internationalen Wettbewerb um High Potentials in der Wissenschaft. Unattraktive institutionelle Rahmenbedingungen für FuE-Personal im öffentlichen Bereich (z. B. Tarifverträge, Qualifizierungsmöglichkeiten) verschärfen das Problem (vgl. Kapitel I-2.5.2, II-3.1 und II-4.1, BMBF 2006).
- **Risikoverhalten industrielle Akteure:** Risikoaverses FuE-Verhalten bei Unternehmen in den Anwenderindustrien (z. B. hohe Bedeutung von Einlizenzierungen in späten Phasen in der pharmazeutischen Industrie oder verspätetes Aufgreifen neuer Technologien) (vgl. Nusser und Gaisser 2005, Experteninterviews 2006).
- **Politik:** Oftmals unzureichende Koordination der Förderprogramme verschiedener Politikressorts untereinander. Dadurch häufig mangelnde Bündelung der FuE-Förderung bzw. Fördertöpfe. Zudem ist die Forschungsförderung öfters zu kurzfristig orientiert, insb. im Life-Sciences-Bereich (vgl. Nusser und Gaisser 2005, Gaisser et al. 2002, Soete 2006, ZEW und DIW 2004).

- **Akzeptanz:** Gesellschaftliche Einstellung zur Biotechnologie, da der Fokus häufig mehr auf Risiken als auf Chancen liegt (vgl. Kapitel I-2.2.3 und II-5.2, sowie Eurobarometer 2006 und Hüsing et al. 2002).

UMSETZUNG IN INDUSTRIEPROZESSE UND INTERNATIONAL WETTBEWERBSFÄHIGE PRODUKTE UND DIENSTLEISTUNGEN

Die Stärken und Chancen im Bereich Umsetzung in Industrieprozesse und international wettbewerbsfähige Produkte und Dienstleistungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Stärken:

- **Qualifiziertes Personal:** Aktuelle Verfügbarkeit an hoch qualifiziertem Personal (u. a. Ingenieure, Techniker) als entscheidende Ressource für die Umsetzung von technologischem Wissen (vgl. Kapitel II-3.1 und II-4.1, Experteninterviews 2006, sowie Reiss und Hinze 2004).
- **Industrielle Basis und Marktgröße:** Breite und wettbewerbsfähige industrielle Basis in Deutschland mit allen wichtigen Anwenderindustrien vorhanden (u. a. Chemie und Pharma). Großer inländischer Markt und etablierter Zugang der Unternehmen zu großen Exportmärkten ermöglichen die Nutzung von Lern-, Skalen- und Verbundeffekten. Differenzierte Unternehmensstrukturen mit jungen Technologieunternehmen in allen Biotechnologiebereichen, KMU und multinationale Großunternehmen in wichtigen Anwenderindustrien und Zulieferersektoren (z. B. Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik, Maschinen- und Anlagenbau) (vgl. Kapitel I-2.2.3, II-3.2 und II-3.3, II-4.3 sowie BMBF 2006).
- **Infrastruktur und Rechtssicherheit:** Gute Infrastruktur (u. a. Energie, Verkehr, IT) und hohe Rechtssicherheit gegeben (Schutz von „Intellectual Property Rights") (vgl. Reiss et al. 2005, Experteninterviews 2006).

Chancen:

- **Technologische Wissensbasis:** Großer technologischer Wissenspool (u. a. viele Patente und hohe Dynamik bei Patentanmeldungen, gut befüllte Produktpipeline

rote Biotechnologie) sowohl in den Anwenderindustrien als auch bei den Core-Biotechnologieunternehmen (vgl. Kapitel II-3.1 und II-4.1, II-4.3, Reiss und Hinze 2004, Nusser und Gaisser 2005).

- **Privates Finanzierungskapital:** Vorhandenes privates Finanzierungskapital (u. a. Stiftungen, Business Angels) könnte in größerem Umfang zur Finanzierung von Gründungs- und Wachstumsprozessen genutzt werden (vgl. Kircher 2006, Experteninterviews 2006).
- **Geographische Lage und Logistik-Know:** Die zentrale geographische Lage Deutschlands innerhalb der EU sowie die vorhandene Infrastruktur und das Know-how im Logistikbereich machen Deutschland als Vertriebsstandort für international agierende Unternehmen attraktiv. Positive Ausstrahleffekte auf Produktion bei transparenter und stabiler Finanzpolitik sind möglich (vgl. Nusser und Tischendorf 2006).
- **Akzeptanz:** Öffentliche Akzeptanz beim Einsatz der Biotechnologie im Gesundheits- und Medizinbereich sowie in industriellen Produktionsprozessen ist in der Regel gegeben (vgl. Kapitel I-2.3.2 und II-5.2, sowie Soete 2006, Eurobarometer 2006).

Die Schwächen und Risiken im Bereich Umsetzung in Industrieprozesse und international wettbewerbsfähige Produkte und Dienstleistungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Schwächen:

- **Risikoverhalten industrielle Akteure:** Mangelnde Risiko- und Investitionsbereitschaft bei den industriellen Akteuren (z. B. „risikoaverses" Technologie-Portfolio, zu geringe Bereitschaft zu Unternehmensausgründungen). Zu geringes Angebot an Risikokapital in Frühphasen (insb. Seed- und Start-up-Kapital) sowie zu geringe FuE-Ausgaben und geringe Bereitschaft zur Adaption neuer Technologien bei (oftmals stark national ausgerichteten) KMU in den Anwenderindustrien (vgl. Kapitel II-4 und II-5, Nusser und Gaisser 2005, Experteninterviews 2006).
- **Transfer:** Reibungsverluste beim Wissens- und Technologietransfer auf Grund eingeschränkter disziplinenübergreifende Zusammenarbeit sowie fehlender institutioneller Anreizsysteme. Hinzu kommen häufig eine unzureichende Expertise bei Patent- und Technologietransferstellen sowie eine sehr starke Fragmentierung dieser Transferstellen (vgl. Kapitel II-4.3, sowie Soete 2006, Nusser und Gaisser 2005).

- **Bürokratie:** Hohe Bürokratiekosten (insb. für KMU) sowie häufig langwierige und intransparente administrative Prozesse und mangelnde Serviceorientierung der Behörden (vgl. Nusser und Gaisser 2005, Experteninterviews 2006).

Risiken:

- **Qualifiziertes Personal und Kapitalausstattung:** Zukünftige Engpässe bei (hoch) qualifiziertem Personal (z. B. Ingenieure, Techniker) können u. a. auf Grund des demographischen Wandels und der zunehmenden Humankapitalintensivierung der deutschen Wirtschaft auftreten. Ein anderes Problem ist die geringe Kapitalausstattung der Biotechnologieunternehmen, die deren Wachstum hemmt (vgl. Kapitel I-2.5.2, II-4.3 und II-5.1, sowie BMBF 2006).
- **Wachstumspotenzial inländischer Anwenderbranchen:** Biotechnologie-Anwenderindustrien (insb. Industriesektoren) wachsen oftmals langsamer als z. B. viele IuK-Anwenderbranchen (insb. Dienstleistungssektoren). Verstärkend wirkt hier eine geringe Marktdynamik bzw. Binnennachfrage in wichtigen Anwenderindustrien in Deutschland, Produktionsverlagerungs- bzw. Abwanderungsprozesse von Unternehmen in wichtigen Anwenderindustrien, Auslizenzierung von Patenten ins Ausland und Übernahme von Anwender- und Core-Biotechnologieunternehmen durch ausländische Unternehmen (vgl. Kapitel I-2.2.4, und II-4.3, Anhang Teil 1-A.2 sowie Reiss und Hinze 2004).
- **Internationaler Wettbewerbsdruck:** Zunehmender Wettbewerbsdruck im Produktionsbereich durch aufstrebende Konkurrenzländer (insb. aus Asien und Osteuropa) mit günstiger Kostenposition, einem großen Pool an qualifizierten Arbeitskräften und attraktiven fiskalpolitischen Rahmenbedingungen (u. a. geringe Gewinnsteuern, Investitionszuschüsse) (vgl. Kapitel I-2.2.3.1, sowie Nusser und Tischendorf 2006, ZEW und NIW 2005, Experteninterviews 2006).
- **Pfadabhängigkeiten:** Technologische Pfadabhängigkeiten sowie ein starker Preiswettbewerb in wichtigen Anwenderindustrien behindern häufig einen Technologiewechsel, der mit hohen Anfangsinvestitionen verbunden ist. In den industriellen Produktionsprozessen (u. a. in der Chemieindustrie) wirken gewachsene sehr kapitalintensive Verbundstrukturen einem Wechsel zur Biotechnologie entgegen. Im Lebensmittel- und Landwirtschaftssektor engen die internationale Preiskonkurrenz die finanziellen Spielräume ein, zudem fehlt häufig das biotechnologische Know-how in den weniger forschungsintensiven Anwenderbranchen (vgl. Kapitel I-2.2.6, Kapitel II-4.3, sowie Gaisser et al. 2002, Hüsing et al. 1998).

- **Rechtliche Rahmenbedingungen:** Hohe Regelungsdichte und Gesetzes-Komplexität bei relevanten Märkten und Produktionsprozessen (z. B. Arzneimittelgesetz, Medizingesetz, Chemikaliengesetz, Umweltgesetzgebung, Arbeitsrecht, Gentechnikgesetz, Lebensmittelrecht) sowie Heterogenität der Regelungen innerhalb der Europäischen Union (vgl. Kapitel I-2.2.6, sowie Nusser und Gaisser 2005, Soete 2006, Experteninterviews 2006, Reiss und Hinze 2004).
- **Innovationspolitik:** Unzureichende Koordinierung von Politikmaßnahmen, u. a. der Bildungs-, Forschungs-, Gesundheits- und Wirtschaftspolitik (vgl. Nusser 2005, Nusser und Gaisser 2005 und Soete 2006).
- **Akzeptanz:** Geringe Akzeptanz biotechnologischer Produkte in der Landwirtschaft und bei Lebensmitteln und starke Auslandsorientierung führender Unternehmen im Bereich der grünen Biotechnologie (vgl. Kapitel I-2.2.3, 2.2.6 sowie II-5.2, Eurobarometer 2006, Hüsing et al. 2002).

Diese indikatorenbasierten Ergebnisse der SWOT-Analyse zur Biotechnologie können als Basis bzw. Plattform für einen intensiven Dialog zwischen Politik, Wissenschaft und Wirtschaft genutzt werden. Die SWOT-Analyse zeigt, dass es Stärken und Chancen einerseits sowie Schwächen und Risiken anderseits für die Entwicklung der Biotechnologie in Deutschland gibt, und zwar sowohl auf der politischen als auch auf der unternehmerischen und wissenschaftlichen Ebene. Nur durch gemeinsame Kraftanstrengungen aller Akteure wird es möglich sein, den Biotechnologie-Standort Deutschland und dessen Unternehmen zukünftig international noch wettbewerbsfähiger zu machen, um so die Innovations-, Wachstums- und Beschäftigungspotenziale der Biotechnologie am Standort voll ausschöpfen zu können.

Anhang

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** (**I**ntegrated **S**ustainabil**i**ty 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-I-1: Schema einer Input-Output-Tabelle (inkl. Arbeitskoeffizienten)

		Produktion und Dienstleistung	Endnachfrage				Brutto-produk-tionswert
		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. €)					
Import-vorleistungen							
Bruttowert-schöpfung	Abschrei-bungen						
	Kapital-/ Unt.-eink.						
	Arbeits-eink.						
Bruttoproduktions-wert							

Beschäftigungs-koeffizienten	Arbeitsvolumen pro Mio. €

Zur methodischen Erläuterung des Input-Output-Modells seien folgende Abkürzungen festgelegt:

$i = 1, ..., n; j = 11, ..., n$	Indices für Produktionssektoren, mit n = 71
$k = 1, ..., m$	Index für Endnachfrageaggregate, mit m = 6
x_i	Produktionswert für Sektor i
$X = (x_i)$	Vektor der sektoralen Produktionswerte
$y_{i,k}$	Nachfrage nach Gut i durch Endnachfrageaggregat k
$Y = (y_i) = (\sum_{k=1}^{m} y_{i,k})$	Vektor der gesamten Endnachfrage nach Gut i
$Z = (z_{i,j})$	Matrix der intersektoralen Güterströme
$A = (a_{i,j}) = Z\hat{X}^{-1}$	Verflechtungsmatrix normiert auf Produktionswerte, deren Elemente $a_{i,j}$ angeben, wie viele 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 $c_{i,j}$ dieser Matrix gibt die Produktion wieder, die direkt und indirekt (auf vorgelagerten Produktionsebenen) in Sektor i erforderlich ist, um eine Einheit von Gut j für die Endnachfrage bereitzustellen. Mit diesem Zusammenhang lassen sich also die Produktionseffekte einer beliebigen Nachfrage nach Gütern ermitteln.

Neue Technologien, 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:

$$L = l * X .$$

Dabei steht l für die sektoralen Beschäftigungskoeffizienten l_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 Biotechnologie-Teilsegmente (BT-Bereitstellung und BT-Anwendung) anzupassen, wurden spezifische Biotechnologie-

Sektoren neu gebildet. Das Ausgaben- und Investitionsverhalten dieser Branchensegmente wurde u. a. mittels spezifischer Vorleistungsvektoren input- und outputseitig abbildet. Dieser neu gebildeten „Biotechnologie-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 (n = 72) und Experteninterviews (n = 23) 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 2020 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-I-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 Holzerzeugnissen
16	Holzstoff, Zellstoff, Papier, Karton und Pappe
17	Papier-, Karton- und Pappewaren
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) und erste Bearbeitung
29	Gießereierzeugnissen
30	Metallerzeugnissen
31	Maschinen
32	Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen
33	Geräten der Elektrizitätserzeugung und -verteilung, u. ä.
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.

Nr.	Sektorbezeichnung
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

ANHANG A.2: BESCHREIBUNG SZENARIEN-ANNAHMEN FÜR 2020 ZU WACHSTUM UND STRUKTURWANDEL

Die zukünftigen Potenziale der Biotechnologie 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. IAB 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 Biotechnologie 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 Biotechnologie. Sind beispielsweise die Zukunftsaussichten der Anwenderbranchen der Biotechnologie 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 Biotechnologie 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 Biotechnologie 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 Million 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 Im-

porte 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.

STRUKTURWANDEL

Technologischer Strukturwandel: Entwicklungstendenzen in den letzten Jahrzehnten

Die Berichte des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands in den letzten Jahren zeichnen für die Vergangenheit folgendes Bild (Nusser et al. 2006):

- *Abnehmende Bedeutung Deutschlands als FuE-Standort:* Vor allem in den 1970er, aber auch 1980er-Jahren hatte Deutschland bei den FuE-Aufwendungen im internationalen Vergleich eine absolute Spitzenposition inne. In der ersten Hälfte der 1990er-Jahre haben sich die FuE-Gewichte allerdings in Richtung Asien (u. a. Japan, Korea, China) und Nordamerika verschoben. Die technologische Wissenssubstanz hat sich in Deutschland nicht mehr so schnell erneuert und erweitert wie in vielen wichtigen Konkurrenzländern (z. B. USA).
- *Geringeres staatliches FuE-Engagement im Vergleich zu wichtigen Konkurrenzländern:* Experten mehrerer Wirtschaftsforschungsinstitute fordern eine deutliche politische Schwerpunktsetzung in Richtung Bildung, staatliche und industrielle FuE und Innovation. Nur so kann Deutschland langfristig für Wissenschaftler und Unternehmen ein attraktiver FuE-Standort bleiben, in dem ausreichend hoch qualifizierte Arbeitskräfte vorhanden sind und international

anerkannte wissenschaftliche FuE-Einrichtungen für die Unternehmen als Kooperationspartner zur Verfügung stehen.

Industrielle FuE-Schwerpunkte sind in der Regel weitgehend von der Struktur der Marktnachfrage bestimmt (u. a. inländische Pro-Kopf-Ausgaben für innovative Produkte). Zu einem bestimmten Grad kann aber auch staatliche Förderung (u. a. Subventionen, staatliche Nachfrage nach innovativen Produkten) die industrielle FuE sehr positiv beeinflussen. Beispielsweise hatte in den USA die öffentliche Förderung von Rüstung und Raumfahrt in den 1960er- und 1970er-Jahren eine bedeutende Anschubfunktion für die Anwendung von Informations- und Kommunikationstechnologien.

- *Zunehmende Bedeutung industrieller Produkte und Dienstleistungen mit hoher Forschungs-, Wissens- und Entwicklungsintensität:* Hinsichtlich wichtiger gesamtwirtschaftlicher Größen wie Produktion, Wertschöpfung, Export und Beschäftigung haben sich forschungsintensive Produkte und wissensintensive Dienstleistungen durchgehend positiver entwickelt.
- *Zu geringe FuE-Aufwendungen Deutschlands bei Spitzentechnologien und höherwertigen Dienstleistungen:* Die deutsche Industrieforschung hat lange Zeit bei Spitzentechnologien (u. a. Pharmazie, Biotechnologie, Nachrichtentechnik) weniger intensiv FuE betrieben als viele wichtige Konkurrenzländer (z. B. USA). Über Jahrzehnte hat man stark auf die Anwendung und Umsetzung von (zu einem nicht unerheblichen Teil importierten) Spitzenforschungsergebnissen gesetzt. Viele Experten fordern ein verstärktes Engagement Deutschlands in der Spitzentechnologie-Forschung als Voraussetzung für weiteres Wachstum und Beschäftigung.

  Höherwertige wissensintensive Dienstleistungen (z. B. FuE-Dienstleistungen von Hochtechnologieunternehmen) werden zunehmend als wichtiger Impulsgeber für Innovationen angesehen. Dies trifft vor allem für FuE- und wissensintensive Wirtschaftssektoren der Spitzentechnologie zu. Deutschland weist in diesen Bereichen, obgleich positive Entwicklungstendenzen zu erkennen sind, noch erhebliche „FuE-Lücken" auf.

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 zukunftsträchtigen 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 industrienahen und unternehmensorientierten Dienstleistungen dürften sich als das dynamische Segment erweisen. Deutschland hat hier Wettbewerbsvorteile, da diese unternehmensbezogenen 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 Millionen 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 Disaggreggation der wirtschaftlichen Entwicklung einzelner Wirtschaftsbranchen, die konkrete Aussagen über die Anwenderbranchen der Biotechnologie 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 Biotechnologie 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 Zukunftssaussichten 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 Biotechnologie ist ein höherer Anteil an Vorleistungseffekten zu erwarten.

Tabelle A-I-2: Prognos-Studie - oder: Erwartete Wachstumsraten für wichtige Biotechnologie-Sektoren 2005-2020

	Prognos: Umsatz: Wachstum in % (2005-2020)	Prognos: Bruttowert-schöpfung: 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

ANHANG A.3: BESCHREIBUNG TEILNEHMENDE INSTITUTIONEN

SCHRIFTLICHE BEFRAGUNG (N = 72 TEILNEHMER):

Pharma (35):

Abbott, AMGEN, Artemis Pharmaceuticals, Atheso, Bayer HealthCare, Bencard, Biometec, Biogen Idec, Biopharm, Boehringer Ingelheim, BRAHMS, Chugai Pharma, Dr. Rentschler, Elbion, EUCODIS, GlaxoSmithKline, Janssen-Cilag, JP Bio Consulting, Merck, MSD Sharp&Dome, NewLab Bioquality, Novartis Vaccines and Diagnostics PAION Deutschland Riemser Arzneimittel Sanofi-Aventis Deutschland, Schwabe Arzneimittel, Solvay Pharmaceuticals, SymbioPharm, TAD Pharma GmbH, Universität Bonn, Weimer Pharma GmbH Pharmazentrum Frankfurt, Wyeth Pharma

Chemie (14):

Bayer, Cargill Deutschland, ChemCon, Cognis Deutschland, SOURCON-PADENA, Dow Deutschland, EUCODIS, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie, Henkel, Merck, Roche Diagnostics, Technische Universität Hamburg-Harburg, TVW Textilveredelungs- und Handelsgesellschaft Windel, Wacker Chemie

Lebensmittel (10):

Blessing Biotech, Hochschule Bremerhaven, Inst. Mikrobiol./Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, LU Hannover; Organobalance, Südzucker, TU München, Universität Hohenheim Stuttgart, Wacker Chemie, WIMEX Agrarprodukte Import Export

Landwirtschaft (13):

BASF Plant Science, Bayer Crop Science; Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter BDP, IGV Institut für Getreideverarbeitung, Institut für Tierzucht, Neustadt; Institut für Tierzüchtung und Biotechnologie Stuttgart, KWS-Gruppe, LMU München, Naturschutzbund Deutschland, Propfe, Universität Hohenheim, Wissenschaftszentrum Straubing

ANHANG TEIL 2

Tabelle A-II-1: Die Biotechnologie in den DTI-Ländern 1995 und 2000

	1995							
	wissenschaftliche Veröffentlichungen der Biotechnologie	wissenschaftliche Veröffentlichungen der Biotechnologie je 1 Mio. Einwohner	Biotechnologiepatentanmeldungen (EPO)	Biotechnologiepatentanmeldungen (EPO) je 1 Mio. Einwohner	Core-Biotechnologieunternehmen 1996	Core-Biotechnologieunternehmen 1996 je 1 Mio. Einwohner	VC-Investitionen in Biotechnologie 1000 KKS[1]	VC-Investitionen in Biotechnologie je 1 Mio. Einwohner
Deutschland	6324	77,442	382	4,678	104	1,270	11597	142,014
Dänemark	857	163,768	80	15,288	28	5,320	1240	236,958
Frankreich	5454	94,288	229	3,959	101	1,741	23741	410,432
Großbritannien	8345	143,817	299	5,153	180	3,095	46073	794,020
Schweden	1575	178,430	77	8,723	65	7,352	0	0,000
USA	32054	120,378	2797	10,504	1287	4,777	601047	2257,216
	Skalierung 1-7							
Deutschland	2,05	1,00	1,67	1,38	1,36	1,00	1,12	1,38
Dänemark	1,00	7,00	1,01	7,00	1,00	5,00	1,01	1,63
Frankreich	1,88	2,17	1,34	1,00	1,35	1,46	1,24	2,09
Großbritannien	2,44	5,61	1,49	1,63	1,72	2,80	1,46	3,11
Schweden	1,14	8,02	1,00	3,52	1,18	7,00	1,00	1,00
USA	7,00	3,98	7,00	4,47	7,00	4,46	7,00	7,00

1) Kaufkraftstandard

Quelle: Reiss et al. 2005, Berechnungen des DIW Berlin

Tabelle A-II-1 (Fortsetzung): Die Biotechnologie in den DTI-Ländern 1995 und 2000

	2000							
	wissenschaftliche Veröffentlichungen der Biotechnologie	wissenschaftliche Veröffentlichungen der Biotechnologie je 1 Mio. Einwohner	Biotechnologiepatentanmeldungen (EPO)	Biotechnologiepatentanmeldungen (EPO) je 1 Mio. Einwohner	Core-Biotechnologieunternehmen 1996	Core-Biotechnologieunternehmen 1996 je 1 Mio. Einwohner	VC-Investitionen in Biotechnologie 1000 KKS[1]	VC-Investitionen in Biotechnologie je 1 Mio. Einwohner
Deutschland	7201	87,800	982	11,973	332	4,048	386171	4709
Dänemark	1029	192,697	143	26,779	64	11,985	38468	7204
Frankreich	5865	99,457	427	7,241	177	3,002	145384	2465
Großbritannien	8363	142,020	494	8,389	275	4,670	52991	900
Schweden	1737	195,784	141	15,893	165	18,598	8547	963
USA	31962	113,263	3398	12,041	1273	4,511	3256938	11542
	Skalierung 1-7							
Deutschland	2,20	1,00	2,55	2,45	2,33	1,40	1,70	3,15
Dänemark	1,00	6,83	1,00	7,00	1,00	4,46	1,06	4,55
Frankreich	1,94	1,65	1,53	1,00	1,56	1,00	1,25	1,88
Großbritannien	2,42	4,01	1,65	1,35	2,05	1,64	1,08	1,00
Schweden	1,14	7,00	1,00	3,66	1,50	7,00	1,00	1,04
USA	7,00	2,41	7,00	2,47	7,00	1,58	7,00	7,00

1) Kaufkraftstandard
Quelle: Reiss et al. 2005, Berechnungen des DIW Berlin

Tabelle A-II-2: Die Entwicklung der Biotechnologie in den DTI-Ländern zwischen 1995 und 2000

	Wissenschaftliche Veröffentlichungen der Biotechnologie	wissenschaftliche Veröffentlichungen der Biotechnologie je 1 Mio. Einwohner	Biotechnologiepatentanmeldungen (EPO)	Biotechnologiepatentanmeldungen (EPO) je 1 Mio. Einwohner	Core-Biotechnologieunternehmen 1996	Core-Biotechnologieunternehmen 1996 je 1 Mio. Einwohner	VC-Investitionen in Biotechnologie 1000 KKS[1]	VC-Investitionen in Biotechnologie je 1 Mio. Einwohner
	Veränderungsraten 1995-2000 in %							
Deutschland	13,87	13,37	157,07	155,96	219,23	218,76	3229,92	3215,51
Dänemark	20,07	17,66	78,75	75,17	128,57	125,28	3002,26	2940,10
Frankreich	7,54	5,48	86,46	82,90	75,25	72,44	512,38	500,68
Großbritannien	0,22	-1,25	65,22	62,80	52,78	50,90	15,02	13,33
Schweden	10,29	9,73	83,12	82,19	153,85	152,96	2711,51[2]	2701,69[1]
USA	-0,29	-5,91	21,49	14,64	-1,09	-5,57	441,88	411,32
	Skalierung 1-7							
Deutschland	5,17	5,91	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Dänemark	7,00	7,00	3,53	3,57	4,53	4,50	6,58	6,48
Frankreich	3,31	3,90	3,88	3,90	3,08	3,09	1,93	1,91
Großbritannien	1,15	2,19	2,94	3,04	2,47	2,51	1,00	1,00
Schweden	4,12	4,98	3,73	3,87	5,22	5,24	6,03	6,04
USA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,80	1,75

1) Kaufkraftstandard. – 2) Schweden: 1996 – 2000.
Quelle: Reiss et al. 2005, Berechnungen des DIW Berlin

Tabelle A-II-3: Vergleich der DTI-Länder für das Jahr 2003

Länder	Zahl der Unternehmen	Zahl der Unternehmens-gründungen	Zahl der Beschäftigten	durchschnittliche Beschäftigung	Umsatz/ Einnahmen (Mio. €)	FuE-Ausgaben (Mio. €)	FuE-Ausgaben je Beschäftigten (€)	Zahl der Produkte in der Pipeline
USA	1.830	83	172.400	94	41.663	16.386	95.046,40	3.586
Großbritannien	455	36	22.400	49	5.041	1.758	78.482,14	442
Deutschland	525	31	17.300	33	3.054	1.284	74.219,65	289
Frankreich	225	11	8.900	40	1.944	608	68.314,61	175
Dänemark	98	10	17.300	177	4.698	943	54.508,67	124
Schweden	108	7	3.700	34	501	314	84.864,86	109
Schweiz	97	6	8.820	91	2.158	639	72.448,98	83
	Skalierung 1-7							
USA	7,00	7,00	7,00	3,54	7,00	7,00	7,00	7,00
Großbritannien	2,24	3,34	1,67	1,67	1,66	1,54	4,55	1,61
Deutschland	2,48	2,95	1,48	1,00	1,37	1,36	3,92	1,35
Frankreich	1,44	1,39	1,18	1,29	1,21	1,11	3,04	1,16
Dänemark	1,00	1,31	1,48	7,00	1,61	1,23	1,00	1,07
Schweden	1,04	1,08	1,00	1,04	1,00	1,00	5,49	1,04
Schweiz	1,00	1,00	1,18	3,42	1,24	1,12	3,66	1,00

Länder	Zahl der zugelassenen Produkte	Beteiligungs-kapital (Mio. €)	Beteiligungs-kapital je Unternehmen (Mio. €)	Zahl der börsen-notierten Unternehmen	Absolventen der Natur- und Inge-nieurwissen-schaften je 1000 der Bevölkerung 20-29 Jahre	Anteil der öffentliche FuE-Ausgaben in Gesundheit am BIP (2004, in %)	wissenschaftliche Veröffentlichun-gen in der Biomedizin u. Biologie je 1 Mio. Einwohner (2003)	Patent-anmeldungen je 1 Mio. Ein-wohner EPO Biotechnologie (2002)	Zahl der internationalen kommerziellen Kooperationen
USA	741	7.303,10	3,99	314	10,90	0,26	166,3	10,66	317
Großbritannien	132	554,70	1,22	43	21,00	0,10	165,4	8,16	113
Deutschland	61	222,20	0,42	11	8,40	0,03	102,0	12,50	74
Frankreich	16	167,40	0,74	5	22,20	0,05	107,6	5,75	38
Dänemark	12	56,20	0,57	6	12,50	0,05	286,8	25,85	20
Schweden	19	95,60	0,89	9	13,90	0,01	261,7	16,04	16
Schweiz	25	43,90	0,45	5	7,70	0,01	253,7	18,72	59
	Skalierung 1-7								
USA	7,00	7,00	7,00	7,00	2,32	7,00	3,10	2,47	7,00
Großbritannien	1,99	1,42	2,34	1,74	6,50	3,31	3,10	1,72	2,93
Deutschland	1,40	1,15	1,00	1,12	1,29	1,58	1,00	3,01	2,16
Frankreich	1,03	1,10	1,54	1,00	7,00	2,09	1,20	1,00	1,44
Dänemark	1,00	1,01	1,25	1,02	2,99	2,09	7,00	7,00	1,08
Schweden	1,06	1,04	1,79	1,08	3,57	1,00	6,20	4,07	1,00
Schweiz	1,11	1,00	1,05	1,00	1,00	1,07	5,90	4,87	1,86

Quelle: DTI 2005; E&Y 2004a; National Science Foundation 2006; OECD Datenbank 2006; Eurostat 2006; EU Scoreboard 2005; Berechnungen des **DIW** Berlin 2006

Tabelle A-II-4: Entwicklung der DTI-Länder 2001-2003 (in %)

Länder	Zahl der Unternehmen	Zahl der Unternehmensgründungen	Zahl der Beschäftigten	durchschnittliche Beschäftigung	Umsatz/Einnahmen	FuE-Ausgaben	FuE-Ausgaben je Beschäftigten	
Großbritannien	-0,22	-25,00	-10,76	-10,91	3,21	-11,70	-1,06	
Deutschland	2,34	-51,56	6,79	3,13	3,67	0,23	-6,14	
Frankreich	4,65	-70,27	7,23	2,56	18,97	15,81	8,00	
Dänemark	22,50	-44,44	13,07	-7,33	9,36	9,52	-3,14	
Schweden	2,86	-41,67	15,63	13,33	45,22	8,65	-6,03	
	Skalierung 1-7							
Großbritannien	1,00	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,16	
Deutschland	1,68	3,48	5,02	4,48	1,07	3,60	1,00	
Frankreich	2,29	1,00	5,12	4,33	3,25	7,00	7,00	
Dänemark	7,00	4,42	6,45	1,89	1,88	5,63	2,27	
Schweden	1,81	4,79	7,00	7,00	7,00	5,44	1,05	

Länder	Beteiligungskapital	Beteiligungskapital je Unternehmen	Zahl der internationalen kommerziellen Kooperationen (2002-2004)	Zahl der börsennotierten Unternehmen (2002-2004)	Absolventen der Natur- und Ingenieurwissenschaften je 1000 der Bevölkerung 20-29 Jahre (1999-2003)	Anteil der öffentlichen FuE-Ausgaben am BIP (1999-2003)	Patentanmeldungen je 1 Mio. Einwohner EPO Biotechnologie (1999-2002)	wissenschaftliche Veröffentlichungen in der Biomedizin u. Biologie je 1 Mio. Einwohner (1996-2003)
Großbritannien	-70,92	-70,95	81,03	-6,52	34,62	15,25	-10,48	-5,5
Deutschland	-68,01	-68,89	186,11	-7,69	-2,33	5,48	44,98	4,7
Frankreich	-54,62	-56,47	152,63	0,00	16,84	2,53	-2,29	4,9
Dänemark	-51,00	-60,14	92,31	0,00	52,44	3,90	13,68	28,20
Schweden	-66,42	-67,04	109,09	0,00	43,30	12,09	35,61	6,1
	Skalierung 1-7							
Großbritannien	1,00	1,00	1,00	1,91	5,05	7,00	1,00	1,07
Deutschland	1,88	1,85	7,00	1,00	1,00	2,39	7,00	2,87
Frankreich	5,91	7,00	5,09	7,00	3,10	1,00	1,89	1,00
Dänemark	7,00	5,48	1,64	7,00	7,00	1,65	3,61	7,00
Schweden	2,36	2,62	2,60	7,00	6,00	5,51	5,99	3,11

Quelle: DTI 2004, 2005; E&Y 2003a, 2004a, 2005a; Eurostat 2006; EU Scoreboard 2005; National Science Foundation 2006 ; Berechnungen des **DIW** Berlin 2006

Tabelle A-II-5: Biotechnologie in den DTI-Länder im Jahr 2003 auf Basis der E&Y Studien

Jahr 2003	Zahl der Core-Biotechnologie-unternehmen	Zahl der börsen-notierten Core-Biotechnologie-unternehmen	Zahl internationaler kommerzieller Kooperationen	VC- Investitionen in Biotechtechno-logie Mio. €	wissenschaftliche Veröffentlichungen in der Biomedizin u. Biologie je 1 Mio. Einwohner 2003	öffentliche FuE- Ausgaben in Gesundheit Anteil am BIP 2004	Patent-anmeldungen je. 1 Mio. Ein-wohner EPO Biotechnologie 2002	VC INV Biotech pro Unternehmen Mio. €
USA	1473	314	317	3078,7	166,3	0,256	10,66	2,09
Großbritannien	334	43	113	252,722	165,4	0,104	8,158	0,76
Deutschland	350	11	74	106,19	102	0,033	12,503	0,30
Frankreich	246	6	38	105,886	107,6	0,054	5,752	0,43
Dänemark	83	5	20	45,783	286,8	0,054	25,852	0,55
Schweden	177	9	16	38,852	261,7	0,009	16,036	0,22
Schweiz	138	5	59	25,995	253,7	0,012	18,722	0,19
	Skalierung 1-7							
USA	7,00	7,00	7,00	7,00	3,09	7,00	2,47	7,00
Großbritannien	2,08	1,74	2,93	1,45	3,06	3,31	1,72	2,79
Deutschland	2,15	1,12	2,16	1,16	1,00	1,58	3,02	1,36
Frankreich	1,70	1,02	1,44	1,16	1,18	2,09	1,00	1,76
Dänemark	1,00	1,00	1,08	1,04	7,00	2,09	7,00	2,14
Schweden	1,41	1,08	1,00	1,03	6,19	1,00	4,07	1,09
Schweiz	1,24	1,00	1,86	1,00	5,93	1,07	4,87	0,99

Quelle: BVK 2004a,b; E&Y 2004a; Eurostat 2006; EU Scoreboard 2005; National Science Foundation 2006 ; Berechnungen des **DIW** Berlin.

Tabelle A-II-6: Entwicklung der DTI-Länder 2002-2004 auf Basis der E&Y-Studien (in %)

Jahr 2002-2004	Veränderung Core-Biotechnologie-unternehmen	Veränderung internationale kommerzielle Kooperationen	Veränderung börsennotierter Core-Biotechnologie-unternehmen	Veränderung VC-Investitionen in Biotechnologie	Veränderung 1996-2003 Veröffentlichungen in der Biologie und Biomedizin pro 1 Mio. EW	Veränderung Patentanmeldungen EPO Biotechnologie je 1 Mio. EW 1999-2002
USA	-1,50	124,67	3,77	-4,87	-3,03	-24,17
Großbritannien	-6,04	81,03	-6,52	9,80	-5,47	-10,48
Deutschland	-3,89	186,11	-7,69	-30,25	4,70	44,98
Frankreich	-4,60	152,63	0,00	16,76	-5,92	-2,29
Dänemark	6,67	92,31	0,00	-29,43	28,19	13,68
Schweden	-0,56	109,09	0,00	-75,90	6,10	35,61
Schweiz	1,55	438,46	40,00	-75,96	7,70	30,65
	Skalierung 1-7					
USA	3,14	1,73	2,44	5,60	1,51	1,00
Großbritannien	1,00	1,00	1,15	6,55	1,08	2,19
Deutschland	2,01	2,76	1,00	3,96	2,87	7,00
Frankreich	1,68	2,20	1,97	7,00	1,00	2,90
Dänemark	7,00	1,19	1,97	4,01	7,00	4,28
Schweden	3,59	1,47	1,97	1,00	3,11	6,19
Schweiz	4,58	7,00	7,00	1,00	3,40	5,76

Quelle: BVK verschiedene Jg.; E&Y 2003a, 2004a, 2005a; Eurostat 2006; EU Scoreboard 2005; National Science Foundation 2006; Berechnungen des **DIW** Berlin 2006

Tabelle A-II-7: Vergleich der E&Y-Länder für das Jahr 2003

Länder	Zahl der Unternehmen	Zahl der börsennotierten Unternehmen	Zahl der internationalen kommerziellen Kooperationen	Anteil der VC-Investitionen in Health/Biotechnology an allen VC Investitionen (2000-2003, in %)	wissenschaftliche Veröffentlichungen in der Biomedizin u. Biologie je 1 Mio. Einwohner (2003)	Anteil öffentlicher FuE Ausgaben in Gesundheit am BIP (2004, in %)	Patentanmeldungen je 1 Mio. Einwohner EPO Biotechnologie (2002)
Deutschland	350	11	74	14,1	102,0	0,033	12,50
Dänemark	83	5	20	28,2	286,8	0,054	25,85
Frankreich	246	6	38	8,3	107,6	0,054	5,75
Großbritannien	334	43	113	10,3	165,4	0,104	8,15
Niederlande	80	4	23	6,3	166,9	0,026	11,20
Schweden	177	9	16	17,3	261,7	0,009	16,03
Schweiz	138	5	59	18,6	253,7	0,012	18,72
USA	1.473	314	317	13	166,3	0,256	10,66
Kanada	470	81	54	18,8	135,8	0,102	8,14
Australien	226	58	17	5,9	305,8	0,057	8,25
	Skalierung 1-7						
Deutschland	2,16	1,14	2,16		1,00	1,58	3,02
Dänemark	1,01	1,02	1,08		6,44	2,09	7,00
Frankreich	1,72	1,04	1,44		1,16	2,09	1,00
Großbritannien	2,09	1,75	2,93		2,87	3,31	1,72
Niederlande	1,00	1,00	1,14		2,91	1,41	2,63
Schweden	1,42	1,10	1,00		5,70	1,00	4,07
Schweiz	1,25	1,02	1,86		5,47	1,07	4,87
USA	7,00	7,00	7,00		2,89	7,00	2,47
Kanada	2,68	2,49	1,76		2,00	3,26	1,71
Australien	1,63	2,05	1,02		7,00	2,17	1,74

Quelle: E&Y 2004a; OECD Datenbank 2006, Eurostat 2006, EU-Scoreboard 2005, National Science Foundation 2006; **DIW** Berlin 2006

Tabelle A-II-8: Beteiligungskapital im Jahr 2003

Länder	Portfolio pro Kopf (Mio. €)	Investitionen pro Kopf (Mio. €)	Investitionen in die Biotechnologie pro Kopf (Mio. €)	Anteil der Biotechnologie-investitionen an den Investitionen 2003 (in %)
Deutschland	216,71	30,07	1,29	4,0
Frankreich	389,33	70,73	1,76	2,0
Großbritannien	871,61	227,33	4,24	2,0
Schweden	863,36	113,34	4,34	4,0
Schweiz	257,94	30,39	3,54	12,0
USA	780,45	57,53	10,59	18,0
Niederlande	515,35	67,32	0,91	1,0
Dänemark		76,91	8,54	11,0
	Skalierung 1-7			
Deutschland	1,00	1,00	1,24	2,06
Frankreich	2,58	2,24	1,53	1,35
Großbritannien	7,00	7,00	3,07	1,35
Schweden	6,92	3,53	3,12	2,06
Schweiz	1,38	1,01	2,63	4,88
USA	6,16	1,84	7,00	7,00
Niederlande	3,74	2,13	1,00	1,00
Dänemark		2,42	5,73	4,53

Quelle: BVK 2004a,b; **DIW** Berlin 2006

EINLEITUNG

Beise, M., Rennings, K. (2005): Lead markets and regulation: a framework for analyzing the international diffusion of environmental innovations. In: Ecological Economics 52(1), S. 5-17.

Blind, K.; Bührlen, B.; Menrad, K.; Hafner, S.; Walz, R.; Kotz, Ch. (2004): Products and Services: Analysis of Regulations Shaping New Markets.

BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2000-2006): Jährliche Berichte zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands (inkl. der jeweiligen ergänzenden Berichte). Bonn

Grunwald, A.; Kopfmüller, J. (2006): Nachhaltigkeit, Frankfurt a. M.

Jacobs et al. (2005): Lead Markets.

Jänicke, M., Kunig, P., Stitzel, M. (1999): Umweltpolitik. Bonn.

Reiss, T., Gaisser, S. et al. (2006): Consequences, opportunities and challenges of modern biotechnology for Europe (Bio4EU): Task 1-Mapping of modern biotechnology applications and industrial sectors, identification of data needs and development of indicators. Final report. Seville. http://bio4eu.jrc.es/documents/Bio4EU-Task1-pdf

UBA (Umweltbundesamt) (1999): Beitrag der Biotechnologie zu einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung, Berlin

TEIL I:

Arundel, A. (2001): Agricultural biotechnology in the European Union: Alternative technologies and economic outcomes. In: Technology Analysis & Strategic Management 13, Nr. 2, S. 265-279

Arundel, A. (2002): Agro-biotechnology, innovation and employment. In: Science and Public Policy 29, Nr. 5

Arundel, A.; Hocke, M.; Tait, J. (2000): How important is genetic engineering to European seed firms? In: Nature Biotechnology 18, S. 578

Bainbridge, William Sims; Roco, Mihail C. (Eds.) (2006): Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations. Converging Technologies in Society. Heidelberg, New York: Springer.

Batelle/Dornier/ISI (1976): Szenarien Chemische Technik. Studie im Auftrag des BMBF. Batelle-Bericht, Frankfurt

Becher, G.; Schuppenhauer, M. (1996): Kommerzielle Biotechnologie-Umsatz und Arbeitsplätze 1996-2000. Basel: Prognos

Beckert, Bernd.; Roloff, Nils; Friedewald, Michael (2006). Converging technologies and their impact on the social sciences and humanities (CONTECS): R&DTrends in Converging Technologies Deliverable D1.1. Karlsruhe: Fraunhofer ISI. http://www.contecs.fraunhofer.de/.

Beckert, Bernd; Roloff, Nils (2005): Hirnforschung und „Converging Technologies". Gutachten für das TA-Projekt „Hirnforschung" (Vorstudie) des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). November, unveröffentlichtes Manuskript.

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) (2006): Freisetzungen von GVO in der EU nach beantragten Orten und Jahren. www.bba.de/gentech/gensight.htm

Blattner, N. (1996): Technischer Fortschritt und Arbeitslosigkeit, in: Gahlen, B. et al. (Hrsg.): Arbeitslosigkeit und Möglichkeiten ihrer Überwindung, Tübingen, S. 211-228

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) (2000-2006): Jährliche Berichte zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands (inkl. der jeweiligen ergänzenden Berichte). Bonn

BMVEL (2005): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2005

Bossel, H. (1994): Modellbildung und Simulation. Braunschweig: Vieweg

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.

Bruland K.; Mowery D. (2005): Innovation through time; in: Fagerberg J., Mowery D., Nelson R. (Hrsg.) (2005): The Oxford Handbbok of Innovation, Oxford

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.) (1996): Bundesbericht Forschung 1996. Bonn: BMBF

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.) (2000a): Bericht des Fachdialogs „Beschäftigungspotenziale im Bereich Bio- und Gentechnolo-

gie“ im Rahmen des Bündnisses für Arbeit, Ausbildung und Wettbewerbsfähigkeit. Bonn: BMBF

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.) (2000b): Bundesbericht Forschung 2000. Bonn: BMBF

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.) (2002): Faktenbericht Forschung 2002. Bonn: BMBF

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.) (2004): Bundesbericht Forschung 2004. Bonn: BMBF

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMELF) (2000): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2000. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag GmbH

Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter e. V. (BDP) (2002): Pflanzenzüchtung in Deutschland. Bonn: BDP

Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter e. V. (BDP) (2006): Persönliches Interview

Cameron, Nigel M. de S. (2005): Convergence & Divergence: European Union Responses to US Converging Technology Policy. Documentation of the presentation at the National Science Foundation Converging Technologies Conference, Hawaii 2005. Online: www.nano-and-society.org/law.

Clutter, Mary (2004): NSF Rethinks its Neuroscience Program. The Future of Neuroscience at the National Science Foundation. In: Neuroscience Quarterly, Winter 2004, online: http://apu.sfn.org/content/Publications/Neuroscience Newsletter/2004winter/NSF.html.

Coenen, Christopher (2006): Der posthumanistische Technofuturismus in den Debatten über Nanotechnologie und Converging Technologies. In: Nordmann, A.; Schummer, J. et al. (Hrsg.): Nanotechnologien im Kontext – Philosophische, ethische und gesellschaftliche Perspektiven. Berlin: Akademische Verlagsanstalt, S. 195-222.

Coenen, Christopher; Rader, Michael; Fleischer, Torsten (2004): Of Visions, Dreams and Nightmares: The Debate on converging Technologies. Report on the Conference „converging Technologies for a Diverse Europe“, Brussels September 14-15, 2004. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis Nr. 3, 13. Jg., Dezember, 118-125.

Coss, S. (1998): EU-ministers debate EU-wide moratorium on GM crops. In: European Voice of December 17th, 1998

Dechema (2005): Biotechnologie 2020 – Von der gläsernen Zelle zum maßgeschneiderten Prozess

Destatis, Statistisches Bundesamt (2006): Fachserie 3 Reihe 3.2.1 Land- und Forstwirtschaft, Fischerei

DG Agri (2000): Economic impacts of genetically modified crops on the agri-food sector. A synthesis. Working document, Directorate-General for Agriculture. http://europa.eu.int/comm/agriculture/publi/gmo/cover.htm

DG Agri (2001): Factsheets genetically modified crops. Stakeholder Conference on Life Sciences and Biotechnology. Brüssel 27.-29. September 2001. Brüssel: Europäische Kommission DG Agri

Edquist, C. (Hrsg.) (1997): Systems of Innovations, Technologies, Institutions and Organisations. London

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-Aufbruchstimmung. Mannheim

Ernst & Young (1999): European biotech 99-Communicating value. Brüssel

Ernst & Young (2000): Gründerzeit. Zweiter Deutscher Biotechnologie-Report. Stuttgart

Ernst & Young (2002): Neue Chancen. Deutscher Biotechnologie-Report 2002. Mannheim

Ernst & Young (2003): Zeit der Bewährung. Deutscher Biotechnologie-Report 2003, Mannheim

Ernst & Young (2004): Per Aspera Ad Astra. „Der steinige Weg zu den Sternen". Deutscher Biotechnologie-Report 2004, Mannheim E&Y

Ernst & Young (2005): Kräfte der Evolution. Deutscher Biotechnologie-Report 2005, Mannheim

European Commission (2003): Brain Research in Europe: Structuring European Neuroscience. Conference Announcement and Program, Brussels, 18 September 2003, Online: http://europa.eu.int/comm/research/conferences/2003/brain/index_en.html.

European Private Equity and Venture Capital Association (EVCA) (2001): EVCA yearbook 2001. Zaventem: EVCA

European Private Equity and Venture Capital Association (EVCA) (2002): EVCA yearbook 2002. Zaventem: EVCA

EWI/Prognos (2005): Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030. Energiewirtschaftliche Referenzprognose im Auftrag des BMWA, Köln/Basel

Fischer, Falk (2005): Die melancholische Wissenschaft. Eine Sinnsuche zwischen Dichtung und Wahrheit. SWR2 Wissen, Manuskript der Sendung vom 5. September, www.swr2.de.

Flaschel, E., Sell D. (2005): Charme und Chancen der Weißen Biotechnologie; in: Chemie Ingenieur Technik, 77, No. 9, S. 1298-1312

Fleischer, Torsten; Decker, Michael (2005): Converging Technologies. Verbesserung menschlicher Fähigkeiten durch emergente Techniken? In: Bora, Alfons; Decker, Michael; Grunwald, Armin et. al (Hrsg.) (2005): Technik in einer fragilen Welt. die Rolle der Technikfolgenabschätzung. Reihe Gesellschaft-Technik-Umwelt, Neue Folge 7, Berlin: edition sigma, S. 120-132.

Foresighting the New Technology Wave – Expert Group (2004): State of the Art Reviews and Related Papers. June 14.

Freeman, C. (1988): Japan: A New National System of Innovation. In: Dosi, G. et al. (Hrsg.): Technical Change and Economic Theory; London, S. 331-348

Frietsch, R. (2004): „Intensivierung" von Bildungsabschlüssen zwischen 1970 und 2000, Studien zum deutschen Innovationssystem, Nr. 5-2004

Frietsch, R. (2006): Qualifikationsstrukturen im Spiegel der technologischen Leistungsfähigkeit, Studien zum deutschen Innovationssystem, Nr. 15-2006

Frietsch, R., Gehrke, B., (2005): Bildungs- und Qualifikationsstrukturen in Deutschland und Eu-ropa, Studien zum deutschen Innovationssystem, Nr. 3-2005

Fuchs, J., Schnur, P., Zika, G. (2005): Arbeitsmarktbilanz bis 2020 Besserung langfristig möglich; IAB-Kurzbericht Nr. 24

Gaisser, S.; Hoogeveen, R.; Hüsing, B. (2002b): Überblick über den Stand von Wissenschaft und Technk im produktionsintegrierten Umweltschutz durch Biotechnologie (PIUS-BT). Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, S. 1-99

Gausemeier, J. et al. (1997): Szenariotechnik. In: Westphalen, R. v. (Hrsg.), Technikfolgenabschätzung, 3. Auflage, München, S. 203-221

Gerybadze, A.; Meyer-Kramer, F.; Reger, G. (1997): Globales Mangement von Forschung und Entwicklung. Stuttgart

Giesecke, Susanne (2004): Verschläft Deutschland die Konvergenz der Spitzentechnologien? In: Innovationspolitische Standpunkte aus der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. November. Online: www.vdivde-it.de/ips/november2004/ips_04_11.pdf

Giessler, S.; Reiss, T. (2000): National report of Germany. In: European Commission (Hrsg.): Inventory of public biotechnology R&D programmes in Europe. Vo-

lume 2. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities

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

Grommen, R.; Verstraete, W. (2002): Environmental biotechnology: the ongoing quest. In: Journal of Biotechnology 98, S. 113-123

Grupp, H.; Legler, H.; Jungmittag, A. et al. (2000): Hochtechnologie 2000. Neudefinition der Hochtechnologie für die Berichterstattung zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands. Karlsruhe/Hannover: Fraunhofer ISI, NIW

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

Heidenreich, H.-J. (1994): Hochrechnung des Mikrozensus ab 1990. In: Gabler, S.; Hoffmeyer-Zlotnik, J. H. P.; Krebs, D. (Hrsg.): Gewichtung in der Umfragepraxis. Opladen

Heine, C., Egeln, J., Kerst, C., Müller, E., Park ;S. (2006): Bestimmungsgründe für die Wahl von ingenieur- und naturwissenschaftlichen Studiengängen, Studien zum deutschen Innovationssystem, Nr. 4-2006

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. Bericht an das Bundesministerium für Bildung und Forschung. Karlsruhe: Fraunhofer ISI

HLEG (2004): Converging Technologies. Shaping the Future of European Societies. A report from the High Level Expert Group on „Foresighting the New Technology Wave" by Rapporteur Alfred Nordmann. Brussels.

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

Hüsing, B. (1998): Aktuelle Trends in der Umweltbiotechnologie. Karlsruhe: Fraunhofer ISI

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.; Angerer, G.; Gaisser, S.; Marscheider-Weidemann, F. (2002): Biotechnische Herstellung von Wertstoffen unter besonderer Berücksichtigung von Energieträgern und Biopolymeren aus Reststoffen. Forschungsbericht an das Umweltbundesamt (FKZ 200 66 301). Karlsruhe: Fraunhofer ISI

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, S. 1-263

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, Bärbel; Jäncke, Lutz; Tag, Brigitte (2005): Impact Assessment of Neuroimaging. unpublished draft final report TA-SWISS, Bern, Switzerland: Centre for Technology Assessment at the Swiss Science and Technology Council (TA-SWISS).

IFO (2006): Der pathologische Exportboom, IFO Schnelldienst 01/2006

Institute of Health and Consumer Protection (IHCP) (2002): Deliberate field trials. http://biotech.jrc.it

Institute of Health and Consumer Protection (IHCP) (2006): Deliberate field trials. http://biotech.jrc.it

IPTS (2001): Impact of Technological and Structural Change on Employment, Prospective Analysis 2020, Synthesis Report, Sevilla

James (2005): Preview. Global review of commercialised transgenic plants 2005. Itaca, N. Y.: International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA)

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

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

Jochem, E. (1988): Technikfolgenabschätzung am Beispiel der Solarenergienutzung. Peter Lang Verlag, Frankfurt/Bern/New York/Paris

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

Kahn H., Bruce-Briggs B. (1972): Things to Come. The MacMillan Company, New York

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.

Key Technologies Expert Group (2005): Creative System Disruption. Towards a Research Strategy Beyond Lisbon. Draft final report. In preparation of the Conference „Key Technologies for Europe" in Brussels, 19th and 20th September 2005, online: www.cordis.lu/foresight/conference_2005.htm.

Klauder, W. (1986): Technischer Fortschritt und Beschäftigung, in: Mitt AB 1986, Nr. 1, S. 1-19

Klemm, K. (2001): Perspektive Akademikermangel-Eine Studie zur Entwicklung auf dem akademischen Arbeitsmarkt bis 2010. http://www.gew.de/24.gt/index.html

Kline, S. J. (1985): Innovation is not a Linear Process. In: Research Management, 28/1985, S. 34-45

KMK (Kulturministerkonferenz) (2005): Prognose der Studienanfänger, Studierenden und Hochschulabsolventen bis 2020, in „Statistische Veröffentlichungen der Kultusministerkonferenz, Dokumentation Nr. 176

Kriegesmann B., Kerka F., Sieger C. (2005): Zukunftsperspektiven der Biotechnologie-Nur Umsetzungseliten schaffen Wachstum; Innovation: Forschung und Management Band 24

Kultusministerkonferenz (2003): Fächerspezifische Prognose der deutschen Hochschulabsolventen. In: Statistische Veröffentlichungen der Kultusministerkonferenz, Bd. 168

Kutter, Susanne et al. (2005): Schneller schlau durch Lernpillen. Erkenntnisse der Hirnforschung nutzen. In: Wirtschaftswoche 19.07.2005.

Legler, H. et al. (2000): Innovationsstandort Deutschland: Chancen und Herausforderungen im internationalen Wettbewerb. Landsberg/Lech

Legler, H., Gehrke, B., Krawczyk, O. (2005b): Deutschlands forschungs- und wissensintensive Wirtschaftszweige: Spezialisierung, Wachstum, Beschäftigung und Qualifikationserfordernisse, Studie zum deutschen Innovationssystem 14-2005

Legler, H., Krawczyk, O., Walz, Eichhammer, W., Frietsch, R.: Wirtschaftsfaktor Umweltschutz: Leistungsfähigkeit der deutschen Umwelt- und Klimaschutzwirtschaft im internationalen Vergleich. Berlin: Umweltbundesamt, 2006

López, José (2004): Bridging the Gaps: Science Fiction in Nanotechnology. In: HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry, Vol. 10, No.2 (2004), pp. 129-152. online: www.hyle.org/journal/issues/10-2/lopez.htm.

Lundvall, B. A. (1992): National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning. London

Lynch, Zack (2004): Neurotechnology and Society (2010-2060). In: Annals of the N.Y. Academy of Sciences 1013: 229–233 (2004).

Malerba, F. (2002): Sectoral Systems of Innovation and Production. In: Research Policy, 32/2002, S. 247-254

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): 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. (1999b): Future impacts of biotechnology on agriculture, food production and food processing. Heidelberg: Physica-Verlag

Menrad, K.; Gaisser, S.; Hüsing, B.; Menrad, M. (2002): Gentechnik in der Landwirtschaft, Pflanzenzucht und Lebensmittelproduktion-Stand und Perspektiven. Bericht an das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft. Karlsruhe: Fraunhofer ISI

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, K.; Kulicke, M.; Lohner, M.; Reiss, T. (1999a): Probleme junger, kleiner und mittelständischer Biotechnologieunternehmen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag

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

Nelson, R. R.; Wright, G. (1993): National Innovation Systems: a Comparative Analysis. New York

Nusser, M. (2000): Innovative Wachstumsprozesse und zunehmende strukturelle Arbeitslosigkeit: Komplementäre Entwicklungsprozesse?; Berlin

Nusser, M.; Gaisser, S. (2005): Input- und prozessorientierte Systemanalyse des Pharma-Innnovationsstandortes Deutschland. In: Gaisser, S.; Nusser, M.; Reiss, T. (Hrsg.) (2005): Stärkung des Pharma-Innnovationsstandortes Deutschland; Stuttgart, S. 29-80

Nusser, M.; Hinze, S. (2005): Outputorientierte Systemanalyse des Pharma-Innnovationsstandortes Deutschland. In: Gaisser, S.; Nusser, M.; Reiss, T. (Hrsg.) (2005): Stärkung des Pharma-Innnovationsstandortes Deutschland; Stuttgart, S. 81-184

Nusser, M.; Reiß, T.; Wydra, S.; Nägele, R. (2006): „Nicht genutzte Chancen" in der Pharmaindustrie-Entgangene Beschäftigungspotenziale in Deutschland. In: A.T. Kearney und Fraunhofer Gesellschaft: Innovative Pharmaindustrie als Chance für den Wirtschaftsstandort Deutschland. S. 26-39

OECD (1998): Biotechnology for clean industrial products and processes. Paris

OECD (2001): The application of biotechnology to industrial sustainability. Paris: OECD Publications

OECD (2005): Statistical definition of biotechnology. Paris: OECD: http://www.oecd.org/document/42/0,2340,en_2649_37437_1933994_1_1_1_37437,00.html

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

Peter, V. (2006): Eco-Industries, Scoping Paper, Europe INNOVA, Innovation Watch

Petit, P. (1995): Employment and Technological Change, in: Stoneman, P. (Hrsg.): Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change, Oxford, S. 366-408

Pianta M. (2005): Innovation and Employment; in: Fagerberg J., Mowery D., Nelson R. (Hrsg.) (2005): The Oxford Handbbok of Innovation, Oxford

Porter, M. E. (1990): The Competitive Advantage of Nations; New York

Porter, M. E. (1999): Unternehmen können von regionaler Vernetzung profitieren. In: Harvard Business Manager, 3/1999, S. 51-63

Prognos AG (2002): Deutschland Report (2002-2020), Basel

Rader, M.; Coenen, C.; Fleischer, T. et al. (2006). Converging technologies and their impact on the social sciences and humanities (CONTECS): Current trends in RTD policy on Converging Technologies Deliverable D1.3. Karlsruhe: FZK-ITAS. http://www.contecs.fraunhofer.de/.

Rader, Michael (2005): FISTERA WP1: Case Study United States. From Nano to NBIC Convergence. Version 2, June, FISTERA – Thematic Network on Foresight on Information Society Technologies in the European Research Area, ITAS Karlsruhe, online: http://fistera.jrc.es/docs/FISTERA %20US_Nano_to_ NBIC.pdf.

Reger, G.; Beise, M.; Belitz, H. (Hrsg.) (1999): Innovationsstandorte multinationaler Unternehmen. Heidelberg

Reiss, T. (2001): Drug discovery of the future: the implications of the human genome project. In: Trends in Biotechnology 19, Nr. 12, S. 496-499

Reiss, T. Hinze, S. (2004): The biopharmaceutical innovation system in Germany. OECD case study on structure, performance, innovation barriers and drivers. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (ISI-Schriftenreihe „Innovationspotenziale")

Reiss, T.; Gaisser, S.; Buehrlen, B.; Enzing, C.; van der Giessen, A.; Arundel, A.; Bordoy, C.; Cozzens, S.; Catalán, P.; Gatchair, S.; Ordónez, 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.; Wörner, S. (2002): The biotech equipment and supplies sector in Europe-is it European? In: Journal of Biotechnology 98, S. 41-51

Roco, Mihail C. (2004): The Emergence and Policy Implications of Converging Technologies. Presentation-Slides online: www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/nbic_roco_04_0422_@aaas_57sl.pdf.

Roco, Mihail C.; Bainbridge, William S. (eds.) (2002): Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Informati-

on Technology and Cognitive Science. NSF/DOC-sponsored report, Arlington, VA: National Science Foundation, June, Online: www.wtec.org/ConvergingTechnologies.

Roco, Mihail C.; Bainbridge, William S. (eds.) (2003): Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science. Kluwer, Dordrecht.

Roco, Mihail, C.; Montemagno, Carlo, D. (eds.) (2004): The coevolution of human potential and converging technologies. Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 1013. New York, N.Y.: The New York Academy of Sciences.

Rubin, P.; Hirschbein, M.; Masciangioli, T. et al. (2003): The Communicator: Enhancement of Group Communications, Efficiency, and Creativity. In: Roco/Bainbridge 2003 (eds.), p. 302-307.

RWI (2005): Beschäftigungswirkungen von Forschung und Innovation, Essen

Schnur P.; Zika G. (2005): Projektion des Arbeitskräftebedarfs bis 2020. Nur zögerliche Besserung am deutschen Arbeitsmarkt; IAB-Kurzbericht Nr.12

Schummer, Joachim (2004): „Societal and Ethical Implications of Nanotechnology": Meanings, Interest Groups, and Social Dynamics. In: Techné 8:2 Winter, pp. 56-87.

Schummer, Joachim (2004a): Interdisciplinary Issues in Nanoscale Research. In: Baird, D.; Nordmann, A.; Schummer, J. (eds.): Discovering the Nanoscale, Amsterdam: IOS Press, 10-20.

Schwartz, P. (1991): The Art of the Long View. Currency and Doubleday, New York, 1991

Senker, J. et al. (2001): European Biotechnology Innovation System. Final report: EC TSER Contract No: SOEI-CT98-1117. Brighton (UK): SPRU

Shoemaker, P.J.H. (1995): Scenario Planning: A Tool for Strategic Thinking. In: Sloan Management Review, Vol. 36, 1995, Nr. 4, S. 25-40

Singer, Wolf (2004): Das Gehirn ist ein wunderbares Organ. wie im Kopf aus dem Zusammenspiel von hundert Milliarden Nervenzellen ein Bild von der Welt und von uns selbst entsteht. In: FAZ 25. November, online: www.sprache-werner.info/gehirn.

Statistisches Bundesamt (2000): Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen. Stuttgart

Statistisches Bundesamt (2002c): Fachserie 11 Reihe 4.3.1: Nichtmonetäre hochschulstatistische Kennzahlen. Wiesbaden

Statistisches Bundesamt (2002d): Unternehmen der Biotechnologie in Deutschland. Ergebnisse einer Pilotstudie für das Jahr 2000. Wiesbaden

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

Statistisches Bundesamt: Fachserie 19 Reihe 3.3: Umsatz mit Waren, Bau- und Dienstleistungen, die ausschließlich dem Umweltschutz dienen

Stifterverband (2006): Materialien zur Pressekonferenz „FuE in der Wirtschaft" am 23. Februar 2006 in Essen

TAB (2005): Grüne Gentechnik – transgene Pflanzen der 2. und 3. Generation (Autoren: TAB, Arnold unter Mitarbeit von Hüsing, Bärbel). TAB-Arbeitsbericht Nr. 104, Berlin: TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag).

Task Group on Public Perceptions of Biotechnology (2002): Use of soya in human food and animal feed. Briefing paper No. 12, März 2002

Trepte, Andreas (2003): Max-Planck-Institut für Biochemie und Infineon Technologies AG präsentieren industriell gefertigten Neuro-Chip. Anwendung in Neurowissenschaften und Pharmaentwicklung. Pressemeldung des MPI, online: www.innovations-report.de/html/berichte/biowissenschaften_chemie/bericht-16444.html.

Troltsch , K. (2004): Strukturen und Entwicklungen der dualen Ausbildung in Technikberufen und Trends im Fachkräfteangebot bis 2015, Nr. 6-2004

van Raan, Anthony F.J. (2005): Measurement of Central Aspects of Scientific Research: Performance, Interdisciplinarity, Structure. In: Measurement, 3(1), p. 1-19.

VDI Technologiezentrum (2004): Übersichtsstudie. Internationale Technologieprognosen im Vergleich. Studie im Auftrag des BMBF, Autoren: Axel Zweck, Petra Seiler, Dirk Holtmannspötter, Ulrich Albertshauser, Reihe Zukünftige Technologien Nr. 52, Düsseldorf, Januar.

Wallace, W. A. (2003): Engineering the Science of Cognition to Enhance Human Performance. In: Roco/Bainbridge 2003 (eds.), S. 281.

Walz, R. (2002): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Operationalisierung, Präzisierung der Anforderungen und Politikfolgenabschätzung. Habilitationsschrift, Universität Freiburg

Welan, Katharina (2005): Converging Technologies – Die neue Revolution. In: Vision-Rundschau Nr. 107, Jänner, Berufsinfozentren Wien, online: www.ams.or.at/wien/biz/index.html.

Williams, Stanley R.; Kuekes, Philip J. (2003): Balancing Opportunities and Investments for NBIC. In: Roco/Bainbridge 2003 (eds.), p. 67-71.

Wörner, S.; Reiss, T. (2000): Gründungsgeschehen und Beschäftigungspotenzial im Bereich der Bio- und Gentechnologie. In: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.): Bericht des Fachdialogs „Beschäftigungspotenziale im Bereich Bio- und Gentechnologie" im Rahmen des Bündnisses für Arbeit, Ausbildung und Wettbewerbsfähigkeit. Bonn: BMBF

Wörner, S.; Reiss, T.; Menrad, K.; Menrad, M. (2000): European biotechnology innovation systems (EBIS). Case study Germany. Karlsruhe: Fraunhofer ISI

TEIL II:

Allansdottir, A.; Bonaccorsi, A.; Gambardella, A.; Mariani, M.; Oresengio, L.; Pammolli, F.; Riccaboni, M. (2002): Innovation and competitiveness in European biotechnology, Enterprise Papers, No 7, European Commission

Arundel, A. (2003): Biotechnology Indicators and Public Policy, STI Working Papers 2003/5, OECD, DSTI/DOC (2003)5, unclassified, Paris

Arundel, A.; Crespi, G. Patel, P. (2006): Biotechnology, Scoping Paper, 31.05.2006, Europe INNOVA, Innovation Watch

Batholomew, S. (1997): National Systems of Biotechnology Innovation: Complex Interdependence in the Global System, in: Journal of International Business Studies, S. 241-266

BAVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2005): Gentechnik in den Bundesländern, Gentechnische Anlagen Stand 21.04.2005

Belitz, H.; Werwatz, A. (2005): Innovationsfähigkeit: Deutschland unter den führenden Industrieländern nur im Mittelfeld, in: DIW Wochenbericht, 72. Jahrgang/7. Dezember 2005, S. 735-744

BIOCOM (2000): Die Biotechnik-Branche/neue Statistik: 1.491 Firmen setzen in Deutschland auf Biotechnologie, Presseerklärung der BIOCOM AG am 11.12.2000, www.biocom.de

BIOCOM (2001): Neue Branchen-Statistik: In Deutschland gibt es jetzt bereits 604 Biotechnologie-Unternehmen, Presseerklärung der BIOCOM AG am 08.10.2001, www.biocom.de

biotechnologie.de (2006): Die deutsche Biotechnologie-Branche 2006, Daten & Fakten, Berlin

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2000): Bericht des Fachdialogs. Beschäftigungspotentiale im Bereich Bio- und Gentechnologie im Rahmen des Bündnisses für Arbeit, Ausbildung und Wettbewerbsfähigkeit, Bonn

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2004b): Bundesbericht Forschung 2004, Bonn, Berlin

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2005a): Förderkatalog: Mittel des BMBF nach Förderbereichen/Förderschwerpunkten und Förderarten in T EUR, Bonn, Berlin

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2005b): Förderkatalog: Mittel des BMBF nach Förderbereichen/Förderschwerpunkten und Empfängergruppen in T EUR, Bonn, Berlin

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (Hrsg.) (2004a): Technologie und Qualifikation für neue Märkte. Ergänzender Bericht zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands 2003-2004, Bonn, Berlin

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (Hrsg.) (2005c): Bericht zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands 2005, Bonn, Berlin

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (Hrsg.) (2006a): Bundesbericht Forschung 2006, Bonn, Berlin

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (Hrsg.) (2006b): Bericht zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands 2006, Bonn, Berlin

Bohne, A. (2005): BASF tritt mit neuem Käferkiller an, in: Handelsblatt, 18.04.2005

BPI (Bundesverband der Pharmazeutischen Industrie e.V.) (2004): Pharma-Daten 2004, Berlin

Braun, M.; Teichert, O.; Zweck, A. (2006): Übersichtstudie Biokatalyse in der industriellen Produktion, VDI Technologiezentrum, Düsseldorf

Brink, J.; McKelvey, M.; Smith, K. (2004): Conceptualizing and measuring modern biotechnology, in: McKelvey, M.; Rickne, A.; Laage-Hellman, J. (Hrsg.): The Economic Dynamics of Modern Biotechnology, Cheltenham, S. 20-42

Bundesregierung (2005): Antwort der Bundesregierung auf die große Anfrage der Abgeordneten Katherina Reiche u. a. – Lage der Forschung in Deutschland – , BT-Drs. 15/2528, Januar 2005

BVK (Bundesverband Deutscher Kapitalbeteiligungsgesellschaften) (2000): BVK Statistik 1999. Das Jahr 1999 in Zahlen, Berlin

BVK (Bundesverband Deutscher Kapitalbeteiligungsgesellschaften) (2001): BVK Statistik 2000. Das Jahr 2000 in Zahlen, Berlin

BVK (Bundesverband Deutscher Kapitalbeteiligungsgesellschaften) (2002): BVK Statistik 2001. Das Jahr 2001 in Zahlen, Berlin

BVK (Bundesverband Deutscher Kapitalbeteiligungsgesellschaften) (2003): BVK Statistik 2002. Das Jahr 2002 in Zahlen, Berlin

BVK (Bundesverband Deutscher Kapitalbeteiligungsgesellschaften) (2004a): BVK Special, Private Equity in Europa 2003, Berlin

BVK (Bundesverband Deutscher Kapitalbeteiligungsgesellschaften) (2004b): BVK Special, Venture Capital in den USA 2003, Berlin

BVK (Bundesverband Deutscher Kapitalbeteiligungsgesellschaften) (2005): BVK Special, Private Equity in Europa 2004, Berlin

BVK (Bundesverband Deutscher Kapitalbeteiligungsgesellschaften) (2006): BVK Statistik 2005. Das Jahr 2005 in Zahlen, Berlin

BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2006a): Beschreibung der Freisetzungsvorhaben, Stand 31.03.2006

BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2006b): Standortregister, Stand 2006

Casper, S.; Lehrer, M.; Soskice, D. (1999): Can High-Technology Industries Prosper In Germany? Institutional Framework And The Evolution Of The German Software and Biotechnology Industries, in: Industry and Innovation, Vol. 6, Nr. 1, S. 5-24

Chaturvedi, S. (2005): Dynamics of Biotechnology Research and Industry in India: Statistics, Perspectives and Key Issues, STI Working Paper 2005/6, OECD DST/DOC (2005)6 unclassified, Paris

CIAA (2006): CIAA benchmarking report 2006. The competitiveness of the EU food and drink industry, Brussels

Crespi, G; Patel, P. (2006): Chemicals, Scoping Paper, 31.05.2006, Europe INNOVA, Innovation Watch

DB Research (2004): Rote Biotechnologie in Deutschland: den Kinderschuhen noch nicht entwachsen, Autor: Uwe Perlitz, Deutsche Bank Research, Aktuelle Themen Nr. 305, 18. Oktober 2004, Frankfurt a.M.

DBT (Department of Biotechnology) (2005): National biotechnology Development Strategy, ministry of Science and technology, Government of India, Dehli

de la Mothe, J.; Niosi, J. (Hrsg.) (2000): The Economic and Social Dynamics of Biotechnology, Boston/Dordrecht/London

Dechema (2004): Weiße Biotechnologie: Chancen für Deutschland, Positionspapier der Dechema e.V. , Frankfurt a.M.

DIB (Biotechnologie-Vereinigung des VCI) (2001a): BioTech 2001. Die wirtschaftliche Bedeutung von Biotechnologie und Gentechnik in Deutschland

DIB (Biotechnologie-Vereinigung des VCI) (2001b): Biotechnologie-Statistik, Dezember 2001

DIB (Biotechnologie-Vereinigung des VCI) (2002): Biotechnologie-Statistik, August 2002
DIB (Biotechnologie-Vereinigung des VCI) (2003): Biotechnologie-Statistik, August 2003
DIB (Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie) (2004): Biotechnologie-Statistik, August 2004
DIB (Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie) (2005): Biotechnologie-Statistik, August 2005
DIB (Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie) (2006): Biotechnologie-Statistik, Juli 2006
Dolata, U. (2001): Grüne Gentechnik in der Krise, in: Blätter für deutsche und internationale Politik, 11/2001, S. 1389-1391
DTI (Department of Trade and Industry) (2004): Comparative Statistics for the UK, European and US Biotechnology Sectors, Analysis Years 2001 & 2002, London
DTI (Department of Trade and Industry) (2005): Comparative Statistics for the UK, European and US Biotechnology Sectors, Analysis Year 2003, London
E&Y (Ernst & Young) (2000): Gründerzeit. Ernst & Young's Zweiter Deutscher Biotechnologie-Report 2000, Stuttgart
E&Y (Ernst & Young) (2002a): Beyond Borders. The Global Biotechnology Report 2002
E&Y (Ernst & Young) (2002b): Neue Chancen. Deutscher Biotechnologie-Report 2002, Mannheim
E&Y (Ernst & Young) (2003a): Beyond Borders. The Global Biotechnology Report 2003
E&Y (Ernst & Young) (2003b): Zeit der Bewährung. Deutscher Biotechnologie-Report 2003, Mannheim
E&Y (Ernst & Young) (2003c): Endurance. The European Biotechnology Report 2003, 10th Anniversary Edition, London
E&Y (Ernst & Young) (2004a): On the Threshold. The Asia-Pacific Perspective. Global Biotechnology Report 2004
E&Y (Ernst & Young) (2004b): Per Aspera Ad Astra. „Der steinige Weg zu den Sternen". Deutscher Biotechnologie-Report 2004, Mannheim
E&Y (Ernst & Young) (2004c): Refocus. The European Perspective. Global Biotechnology Report 2004
E&Y (Ernst & Young) (2005a): Beyond Borders. Global Biotechnology Report 2005
E&Y (Ernst & Young) (2005b): Kräfte der Evolution. Deutscher Biotechnologie-Report 2005, Mannheim

E&Y (Ernst & Young) (2006a): Beyond Borders. Global Biotechnology Report 2006, 20th Anniversary Edition

E&Y (Ernst & Young) (2006b): Zurück in die Zukunft. Deutscher Biotechnologie-Report 2006, Mannheim

ETEPS NET (European Techno-Economic Policy Support Network (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. Final Report, Deliverable 3, Version no. 4,

Eurobarometer (2005a): Europeans, Science and Technology, Special Eurobarometer 224, European Commission, Brüssel

Eurobarometer (2005b): Social values, Science and Technology, Special Eurobarometer 225, European Commission, Brüssel

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 (2005a): Biotechnology in Europe: 2005 Comparative study, Critical I

EuropaBio (2005b): Healthcare Biotech Facts and Figures, Selected list of European biotech products approved in 2001/2002, www.europabio.org/healthcare_facts.htm, 18.01.2005 abgefragt

EuropaBio (2005c): http://www.europabio.org/healthcare.htm.

European Commission (2005c): New perspectives on the knowledge-based bioeconomy. Transforming life sciences knowledge into new, sustainable, eco-efficient and competitive products. Conference report, www.europa.eu.int/comm/research/conferences/2005/kbb

European Commission (Hrsg.) (2003): 2002 European Innovation Scoreboard. Technical Paper No 7. Biotechnology Innovation Scoreboard, European Trend Chart on Innovation, Brüssel

European Commission (Hrsg.) (2005a): European Innovation Scoreboard 2005. Comparative Analysis of Innovation Performance, European Trend Chart on Innovation, Brüssel

European Commission (Hrsg.) (2005b): Methodology Report on European Innovation Scoreboard 2005, European Trend Chart on Innovation, Brüssel

Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ) (2006): Die Hälfte der Forschungskosten für die Biotechnologie, 09.10.2006, S. 18

Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ) (2006): Weiter Streit über den Umgang mit der Gentechnik, 25.04.2006

Gaisser, S.; Hoogeveen, R.; Hüsing, B. (2002): Überblick über den Stand von Wissenschaft und Technik im produktionsintegrierten Umweltschutz durch Biotechnologie (PIUS-BT), Karlsruhe

Gaisser, S.; Nusser, M.; Reiß, T. (Hrsg.) (2005): Stärkung des Pharma-Innovationsstandortes Deutschland, Stuttgart

Grass, S. (2006): Bayer setzt trotz Hysterie um Genreis auf neue Produkte, in: Handelsblatt, 20.09.2006, S. 18

Grunwald, A.; Kopfmüller, J. (2006): Nachhaltigkeit, Frankfurt a. M.

Häussler, C. (2004): Kooperationen bei deutschen Biotechnologieunternehmen, Projektbericht, INNO-tec – Institut für Innovationsforschung, Technologiemanagement und Entrepreneurship, Ludwig-Maximilians-Universität München

Heldt, H.-W. (2006): Kampagnen gegen GVO ohne wissenschaftliche Grundlage? Pro Grüne Gentechnik, in: Transkript, 12. Jg, Nr. 7, S. 36

Hinze, S.; Reiß, T.; Dominguez-Lacasa, I; Wörner, S. (2001): Einfluss der Biotechnologie auf das Innovationssystem der pharmazeutischen Industrie, Bericht an das Bundesministerium für Bildung und Forschung Referat Z25, Karlsruhe

Hofmann, S. (2006a): Bayer und BASF droht Durststrecke im Agro-Geschäft, in: Handelsblatt, 28.09.2006

Hofmann, S. (2006b): Biotech-Manager sind auf Firmenjagd, in: Handelsblatt, 07.11.2006

Hofmann, S. (2006c): Investitionsdruck bei Biotech wächst, in: Handelsblatt, 21.11.2006

Huang, J. Wang, Q. (2003): Biotechnology policy and regulation in China, IDS Working Paper 195, Institute of Development Studies, Brighton

Hucho, F. et al. (2005): Gentechnologiebericht. Analysen einer Hochtechnologie in Deutschland, Forschungsberichte der Interdisziplinären Arbeitsgruppe der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, München

Industrieverband Agrar (2006). Pflanzenschutz-Industrie in Deutschland, www.iva.de, 13.10.2006 abgefragt.

InformationsSekretariat Biotechnologie (2003): www.i-s-b.org, Januar und August 2003 abgefragt

InformationsSekretariat Biotechnologie (2004): Biobusiness: aktuelle Zahlen, 17.12.2004, www.i-s-b.org, Dezember 2004 abgefragt

InformationsSekretariat Biotechnologie (2005): Pharmawachstum, IMS Health, 17.03.2005, www.i-s-b.org, März 2005 abgefragt

InformationsSekretariat Biotechnologie (2006): www.i-s-b.org, Oktober 2006 abgefragt

IPTS (2002): The Assessment of Future Environmental and Economic Impacts of Process-integrated Biocatalysts, European Commission, Joint Research Centre, Report EUR 20407 EN

ISAAA (2005): ISAAA Briefs No. 34-2005: Executive Summery, Global Status of Biotech/GM Crops in 2005, www.isaaa.org, abgefragt: 17.02.2006

Jungmittag, A.; Reger, G.; Reiss, T. (Hrsg.) (2000): Changing Innovation in the Pharmaceutical Industry. Globalization and New Ways of Drug Development, Berlin et al.

Lembke, J. (2006): Aseptische Arbeitswelten, in: Frankfurter Allgemeine Zeitung, 24.11.2006

Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnologycal Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources (The BREW Project)

Menrad, K.; Gaisser, S.; Hüsing, B.; Menrad, M. (2003): Gentechnik in der Landwirtschaft, Pflanzenzucht und Lebensmittelproduktion. Stand und Perspektiven, Heidelberg

Mietzsch, A. (2004a): German Biotech Industry in the Headwind, in: European Biotechnology. Science & Industry News, Vol. 3, Nr. 12, S. 33

Mietzsch, A. (Hrsg.) (2003): BioTechnologie. Das Jahr- und Adressbuch 2004, 18. Jahrgang, Biocom AG, Berlin

Mietzsch, A. (Hrsg.) (2004b): BioTechnologie. Das Jahr- und Adressbuch 2005, 19. Jahrgang, Biocom AG, Berlin

Mothohashi, K. (2004): National Report: Japan, OECD/TIP Project on Biopharmaceutical National Innovation Systems, Paris

Nardo, M.; Saisana, M.; Saltelli, A.; Trarantola, S.; Hoffman, A.; Giovannini, E. (2005): Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide, OECD Statistics Working Paper, STD/DOC(2005)3, Paris

NSF (National Science Foundation) (2006): Science and Engineering Indicators 2006, National Science Board,

Nusser, M.; Gaisser, S. (2005): Input- und prozessorientierte Systemanalyse des Pharmainnovationsstandortes Deutschland, in: Gaisser, S.; Nusser, M.; Reiß, T. (Hrsg.): Stärkung des Pharma-Innovationsstandortes Deutschland, Stuttgart, S. 81-184

Nusser, M.; Hinze, S. (2005): Outputorientierte Systemanalyse des Pharmainnovationsstandortes Deutschland, in: Gaisser, S.; Nusser, M.; Reiß, T. (Hrsg.): Stärkung des Pharma-Innovationsstandortes Deutschland, Stuttgart, S. 29-80

OECD (1998): Biotechnology for clean industrial products and processes. Towards industrial Sustainability, Paris

OECD (2001a): Statistical definition of biotechnology, http://www.oecd.org

OECD (2001b): Application of Biotechnology to Industrial Sustainability, Paris

OECD (2004a): Main Science and Technology Indicators, Paris

OECD (2004b): Biotechnology for Sustainable Growth and Development, Paris

OECD (2005a): Main Science and Technology Indicators, Paris

OECD (2005b): A Framework for Biotechnology Statistics, Paris

OECD (2006): Innovation in Pharmaceutical Biotechnology. Comparing National Innovation Systems at the Sector Level, Paris

Oleaga, M.; Caladrero, A.; Ugalde, I. (2006): Food, Scoping Paper, 31.05.2006, Europe INNOVA, Innovation Watch

Patel, P. (2003a): UK Performance in Science related to Biotechnology: An Analysis of Publications data, with assistance from Bousios, A. and Senker, J., Final Report prepared for the Assessment Unit of the UK Department of Trade and Industry, SPRU, University of Sussex, Brighton

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

Peters, M. (2006): Bayer glänzt mit Medikamenten, in: Der Tagesspiegel, 30.08.2006

Platz, H. (2003): Perspektiven der Biotechnologie aus marktwirtschaftlicher Sicht, Gutachten für die AG „Bioethik und Wissenschaftskommunikation" am Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin Berlin, unter Mitarbeit von M.J. Jacobs

Prognos (2002): Deutschland Report 2002-2020, Basel

Reiss, T.; Hinze, S. (2004): OECD TIP – Case study on biotechnology innovation systems. National Report Germany, Fraunhofer ISI, Karlsruhe

Reiss, T.; Lacasa, I.D.; Mangematin, V.; Corolleur, F.; Enzing, C.; van der Giessen, A.; Senker, J.; Nesta, L. (2005): Benchmarking of public biotechnology policy, Final report, Contract no. FIF 20030837, European Commission Enterprise Directorate General,

Reiss, T.; Mangematin, V.; Enzing, C.; Senker, J. et al. (2003): Efficiency of innovation policies in high technology sectors in Europe (EPOHITE), Contract No. HPVI-CT-2001-00005, Final Report, European Commission, DG RTD, Brüssel

RKI (Robert Koch Institut) (2004): Gentechnik in den Bundesländern, Gentechnische Anlagen, Stand 13.03.2001, www.rki.de, 25.11.2004 abgefragt

Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (2004): Erfolge im Ausland – Herausforderungen im Inland, Jahresgutachten 2004/05, Wiesbaden

Salmi, H. (2005): Measurement of Competitveness as the basis for policy development, Paper for the Conference on Knowledge Economy – Challenges for measurement, Eurostat, Luxenbourg, 8-9 December 2005

Sasson, A. (2004): Biotechnologies: Current Achievements and prospects, social acceptance of biotechnology-derived products. Medical and Pharmaceutical Biotechnology, Paris

Sasson, A. (2005): Medical Biotechnology. Achievements, Prospects and Perceptions, United Nation University Press, Tokyo, New York, Paris

Schrooten, M., König P.: Exportnation Deutschland-Zukunftsfähigkeit sichern, DIW Wochenbericht Nr. 41/2006

Schumacher, D. (1995): Zur technologischen Wettbewerbsfähigkeit der westdeutschen Wirtschaft. Eine ökonomische Beurteilung im längfristigen und internationalen Vergleich, in: in: Vierteljahreshefte zur Wirtschaftsforschung, DIW Berlin, S. 232-248

Senker, J. et al. (2001): European Biotechnology Innovation Systems. Final Report, TSER Project No. SOE1-CT98-1117, SPRU, University of Sussex, UK

Senker, J.; Brady, M.; van Zwanenberg, P. (2000): European Biotechnology Innovation Systems: UK Report, EC TSER Contract No. SOE1-CT98-1117 (DG 12- SOLS), SPRU, University of Sussex, UK

Senker, J.; van Vliet, R. (Hrsg.) (1998): Biotechnology and Competitive Advantage. Europe's Firms and the US Challenge, Cheltenham

Soete, B. (2006): Biotechnologie im Vergleich – Wo steht Deutschland? Eine Untersuchung nationaler Innovationssysteme, edition der Hans Böckler Stiftung 165, Düsseldorf

Statistisches Bundesamt (2001): Statistisches Jahrbuch 2001, Wiesbaden

Statistisches Bundesamt (2002a): Unternehmen der Biotechnologie in Deutschland. Ergebnisse einer Pilotstudie für das Jahr 2000, Presseexemplar, Wiesbaden

Statistisches Bundesamt (2002b): Statistisches Jahrbuch 2002, Wiesbaden

Statistisches Bundesamt (2003a): Unternehmen der Biotechnologie in Deutschland. Ergebnisse der Wiederholungsbefragung 2002, Presseexemplar, Wiesbaden
Statistisches Bundesamt (2003b): Statistisches Jahrbuch 2003, Wiesbaden
Statistisches Bundesamt (2004): Statistisches Jahrbuch 2004, Wiesbaden
Statistisches Bundesamt (2005a): Unternehmen der Biotechnologie in Deutschland. Ergebnisse der Wiederholungsbefragung 2004, Presseexemplar, Wiesbaden
Statistisches Bundesamt (2005b): Statistisches Jahrbuch 2005, Wiesbaden
Statistisches Bundesamt (2006): Statistisches Jahrbuch 2006, Wiesbaden
Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft (2005): FuE in Deutschland. Forschung mit angezogener Bremse, in: Info 2/2005, Wissenschaftsstatistik, S. 2-6
The Economist (2002): Biotech's yin and yang, 12.12.2002
The Economist (2003) Biotechnology. Carbon Copy: making generic biotech drugs will be a tough business. 11 October 2003
Trabold, H. (1995): Die internationale Wettbewerbsfähigkeit einer Volkswirtschaft, in: Vierteljahreshefte zur Wirtschaftsforschung, DIW Berlin, S. 169-185
Transkript (7/2006): Grüne Biotechnologie. Rund 970 Hektar GV-Mais ausgesät, 12. Jahrgang, S. 38
UBA (Umweltbundesamt) (1999): Beitrag der Biotechnologie zu einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung, Berlin
van Beuzekom, B.; Arundel A. (2006). OECD Biotechnology Statistics – 2006, OECD, Paris
VfA (Verband forschender Arzneihersteller e.V.) (2004): Statistik 2004. Die Arzneimittelindustrie in Deutschland, Berlin
VfA (Verband forschender Arzneihersteller e.V.) (2005a): Gentechnische Arzneimittel. Hightech im Dienst der Patienten, Berlin
VfA (Verband forschender Arzneihersteller e.V.) (2005b): Statistik 2005. Die Arzneimittelindustrie in Deutschland, Berlin
VfA (Verband forschender Arzneihersteller e.V.) (2006): Statistics 2006. Die Arzneimittelindustrie in Deutschland, Berlin
VfA (Verband forschender Arzneihersteller e.V.) (2006a). The pharmaceutical industry in Germany. Statistics. Verband forschender Arzneimittelhersteller e.V.
Wong, J.; Quach, U.; Thorsteinsdottir, H.; Singer, P.A.; Daar, A. (20049: South Korean biotechnology-arising industrial and scientific powerhouse, in. Nature Biotechnology, Vol. 22, Supplement, S. DC42-DC47
ZEW und DIW (2004): Innovationsbarrieren und internationale Standortmobilität, im Auftrag der IG BCE, Chemieverband Rheinland-Pfalz, BASF AG.

ZEW und NIW (2005): Innovationsmotor Chemie 2005. Leistungen und Herausforderungen, Studie im Auftrag des Verbands der Chemischen Industrie e.V., mit Unterstützung der IG BCE, Mannheim und Hannover

Zhenzhen, L.; Jiuchun, Z.; Ke, W., Thorsteinsdottir, H.; Quach, U.; Singer, P. Daar, A. (2004): Health biotechnology in China-reawaking of a gigant, in: Nature Biotechnology, VOl. 22, Supplement, S. DC13-DC18

INTERVIEWPARTNER

Experteninterviews im Jahr 2006

4SC AG
BASF Plant Science GmbH
Bayer Crop Science
Bio Deutschland
BioM AG
BioTop
Boehringer Ingelheim GmbH
B.R.A.H.M.S. AG
BRAIN AG
Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde e.V.
Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter
Fraunhofer-Institut für Umwelt- Sicherheits- und Energietechnik
Greenpeace
Industrieverband Agrar
Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e.V.
Institut für Marktanalyse und Agrarhandelspolitik
Max Planck Institut für molekulare Genetik
Metanomics
Öko-Institut Freiburg
Phytowelt Green Technologies GmbH
Umweltbundesamt
Umweltforschungszentrum Leipzig
Universität Hamburg, Forschungsschwerpunkt Biotechnik, Gesellschaft, Umwelt

TEIL III:

Batholomew, S. (1997): National Systems of Biotechnology Innovation: Complex Interdependence in the Global System, in: Journal of International Business Studies, S. 241-266

BCG (2007): Innovationsstandort Deutschland –quo vadis? Wie gut wir sind, wo unsere Chancen liegen und wie wir die Zukunft meistern können. Boston Consulting Group, München

BIOCOM (2006): Die deutsche Biotechnologie-Branche 2006, Daten & Fakten, Berlin

BMBF (2006): Bericht zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands, Bonn

Dechema (2004): Weiße Biotechnologie: Chancen für Deutschland, Positionspapier der Dechema e.V. , Frankfurt a.M.

Edquist, C.; Johnson, B. (1997): Institutions and organisation in systems of innovation. In: Edquist, C. (Hrsg.): Systems of innovations, Technologies, Institutions and Organisations. London: Pinter Publishers

Eurobarometer (2006): Europeans and Biotechnology in 2005: Patterns and Trends, Eurobarometer 64.3, A report to the EC Directorate General for Research, UK

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

Grommen, R.; Verstraete, W. (2002): Environmental biotechnology: the ongoing quest. In: Journal of Biotechnology 98, S. 113-123

Hüsing, B., Bierhals, R., Bührlen, B., Friedewald, M., Kimpeler, S., Menrad, K., Wengel, J., Zimmer, R., Zoche, P. (2002): Technikakzeptanz und Nachfragemuster als Standortvorteil, Karlsruhe

Kircher, M. (2006): White Biotechnology: Ready to partner and invest in, in: Biotechnology Journal 2006, 1, S.787-794

Kline, S. J. (1985): Innovation is not a linear process. In: Research Management 28, 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

Legler, H., Grenzmann, C., Marquardt, R., Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der deutschen Wirtschaft im vergangenen Vierteljahrhundert, Hannover (2006)

Legler, H., Grenzmann, C., Marquardt. R. (2006b) Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der deutschen Wirtschaft im vergangenen Vierteljahrhundert, Studie zum deutschen Innovationssystem 02-2006

Legler, H., Krawczyk, O. (2006a), FuE-Aktivitäten im internationalen Vergleich, Studie zum deutschen Innovationssystem 01-2006

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: Pinter

Malerba, F. (2002): Sectoral systems of innovation and production. In: Research Policy 32, S. 247-254

Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (2001): Biotechnology: Environmental technology for the future. The role of biotechnology and genetic engineering in integrated product policy. Stuttgart: Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg

Nelson, R. R.; Wright, G. (1993): National innovation systems: a comparative analysis. New York: Oxford University Press

Nusser, M.; Wydra, S. (2006): Innovations- und Beschäftigungspotentiale im Zukunftsmarkt Gesundheit. Teil 1: Ergebnisse einer Studie für die Segmente Pharmaindustrie, Medizintechnik und gesundheitsbezogene Dienstleistungen. In: Pharm.Ind., 68 (11), S. 1251-1257

Nusser, M., Tischendorf, A. (Hrsg.), Innovative Pharmaindustrie als Chance für den Wirtschaftsstandort Deutschland, Karlsruhe/Düsseldorf (2006)

Nusser, M., Reiß, T., Wydra, S., Nägele, R. (2006): Un-leveraged Opportunities in the Pharmaceutical Industry-Missed Employment Potential in Germany. In: M. Nusser, A. Tischendorf: The Research-Based International Pharmaceutical Industry as a Chance for the Business Location Germany. S. 22-33

OECD (2001): The application of biotechnology to industrial sustainability. Paris: OECD Publications

OECD (2006):Innovation in Pharmaceutical Biotechnology- Comparing National Innovation Systems at the Sectoral Level, Paris

Porter, M. (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

Rammer, Ch. (2005): Innovationsverhalten der Unternehmen in Deutschland 2003. Studie zum deutschen Innovationssystem 12-2005

Reiss, T.; Lacasa, I.D.; Mangematin, V.; Corolleur, F.; Enzing, C.; van der Giessen, A.; Senker, J.; Nesta, L. (2005): Benchmarking of public biotechnology policy, Final report, Contract no. FIF 20030837, European Commission Enterprise Directorate General

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)

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

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

Schmoch U., Licht., G., Reinhard., M. (2000): Wissens- und Technologietransfer in Deutschland, Stuttgart

Senker, J.; Zwanenberg, P. van; Reiß, T.; Wörner, S. et al.: (2001): European Biotechnology Innovation System. Final report: EC TSER Contract No: SOEI-CT98-1117. Brighton (UK): SPRU

Soete, B. (2006): Biotechnologie im Vergleich-Wo steht Deutschland? Eine Untersuchung nationaler Innovationssysteme, edition der Hans Böckler Stiftung 165, Düsseldorf

van Beuzekom, B.; Arundel A. (2006). OECD Biotechnology Statistics-2006, OECD, Paris

ZEW und DIW (2004): Innovationsbarrieren und internationale Standortmobilität, im Auftrag der IG BCE, Chemieverband Rheinland-Pfalz, BASF AG

edition der Hans-Böckler-Stiftung
bisher erschienene Reihentitel ab Band 115

	Bestellnr.	ISBN	Preis/€
Achim Sollanek Versicherungsbilanzen nach deutschem Handelsrecht	13115	3-935145-92-6	10,00
Kuno Schedler • John Philipp Siegel Strategisches Management in Kommunen	13116	3-935145-93-4	28,00
Marita Körner Riesterrente, Eichelförderung und geschlechtereinheitliche Tarife	13117	3-935145-94-2	10,00
Arno Prangenberg • Manuela Aldenhoff Steuerliche Grundlagen der Umwandlung von Unternehmen	13118	3-935145-95-0	12,00
Andrea Jochmann-Döll • Karin Tondorf Monetäre Leistungsanreize im öffentlichen Sektor	13119	3-935145-96-9	16,00
Andreas Boes • Michael Schwemmle Herausforderung Offshoring. Auslagerung von IT-Dienstleistungen aus Unternehmen	13120	3-935145-97-7	15,00
Wolfgang Gerstlberger • Wolfram Schmittel Public Private Partnership	13121	3-935145-98-5	15,00
Barbara Sternberger-Frey Finanzwirtschaftliche Kennzahlen als Basis von Erfolgsbeteiligungen	13122	3-935145-99-3	10,00
Johannes Koch • Winfried Heidemann • Christine Zumbeck Nutzung elektronischer Netze zur Unterstützung des Lernens im Betrieb	13123	3-86593-001-8	12,00
Wolfgang Däubler Kontrolle von Arbeitsverträgen durch den Betriebsrat	13124	3-86593-002-6	12,00
Klaus Hess • Siegfried Leittretter Innovative Gestaltung von Call Centern – Kunden- und arbeitsorientiert	13125	3-86593-000-X	10,00
Margarethe Herzog (Hrsg.) Gender Mainstreaming	13126	3-86593-003-4	28,00
Elke Wiechmann Lokale Gleichstellungspolitik vor der Trendwende oder die modernisierte Tradition	13127	3-86593-004-2	18,00
Christoph Andersen • Marcus Beck • Stephan Selle (Hrsg.) Konkurrieren statt Privatisieren	13128	3-86593-005-0	18,00
Bernhard Hillebrand Ökologische und ökonomische Wirkungen der energetischen Sanierung des Gebäudebestandes	13129	3-86593-006-9	10,00

	Bestellnr.	ISBN	Preis / €
Angela Wroblewski • Andrea Leitner Lernen von den Besten. Interdependenzen von Frauenerwerbsbeteiligung und Geburtenzahlen im Ländervergleich	13130	3-86593-007-7	15,00
Hartmut Küchle Rüstungsindustrie transatlantisch? Chancen und Risiken für den deutschen Standort	13131	3-86593-008-5	12,00
Klaus Maack Wachstumspol Stettin und Auswirkungen auf die Entwicklung der deutschen-polnischen Grenzregion	13132	3-86593-009-3	18,00
Herbert Baum • Klaus Esser • *Judith Kurte • Jutta Schneider* Regionale Entwicklung und der Frankfurter Flughafen	13133	3-86593-010-7	15,00
Anita Pfaff • Gert G. Wagner • Jürgen Wasem Zwischen Kopfpauschale und Bürgerversicherung	13134	3-86593-011-5	24,00
Hartmut Küchle Die Neustrukturierung des deutschen Rüstungsmarktes als industriepolitische Aufgabe	13135	3-86593-012-3	20,00
Mechthild Kopel • Sandra K. Saeed • Dietrich Englert Gender Mainstreaming	13136	3-86593-013-1	i. Vorb.
Mathias Hein • Gertrud Hovestadt • Johannes Wildt Forschen Lernen	13137	3-86593-014-X	12,00
Oliver Farhauer Humanvermögensorientierung in Grundsicherungssystemen	13138	3-86593-015-8	18,00
Andreas Pentz • Achim Sollanek Cash-Pooling im Konzern	13139	3-86593-016-6	15,00
Volker Eichener • Rolf G. Heinze Beschäftigungspotenziale im Dienstleistungssektor	13140	3-86593-017-4	29,00
Peter Kalkowski • Otfried Mickler Projektorganisation in der IT- und Medienbranche	13141	3-86593-018-2	28,00
Riza Gürel Betriebsverfassungsgesetz in türkischer Sprache	13142	3-86593-019-9	15,00
Henry Schäfer • Philipp Lindenmayer Externe Rechnungslegung und Bewertung von Humankapital	13143	3-86593-020-4	10,00
Ulrike C. Kannengießer Arbeitsschutz für Frauen	13144	3-86593-021-2	15,00
Carsten Würmann Was heißt hier eigentlich gewerkschaftlich?	13145	3-86593-022-2	i. Vorb.

	Bestellnr.	ISBN	Preis/€
Dorothee Beck (Hrsg.) Zeitarbeit als Betriebsratsaufgabe	13146	3-86593-023-9	15,00
Martin Führ • Andrea Baukrowitz (Hrsg.) Evaluierung regionalwirtschaftlicher Wirkungsanalysen	13147	3-86593-024-7	19,00
Birgit K. Mielke Grundlagen des handelsrechtlichen Jahresabschlusses und Jahresabschlussanalyse	13148	3-86593-025-5	10,00
Thomas Ebert Generationengerechtigkeit in der gesetzlichen Rentenversicherung – Delegitimation des Sozialstaates?	13149	3-86593-026-3	18,00
Marcus Kahmann Mit vereinten Kräften. Ursachen, Verlauf und Konsequenzen der Gewerkschaftszusammenschlüsse von IG BCE und ver.di	13150	3-86593-027-1	10,00
Sibel Vurgun (Hrsg.) Gender und Raum	13152	3-86593-029-8	28,00
Achim Sollanek Bankbilanzen nach deutschem Handelsrecht. Betriebswirtschaftliche Handlungshilfen	13153	3-86593-030-1	12,00
Siegfried Leittretter (Hrsg.) Energieeffizientes Krankenhaus – für Klimaschutz und Kostensenkung	13154	3-86593-031-X	18,00
Klaus Maack • Jesco Kreft • Eckhard Voss Zukunft der Milchwirtschaft	13155	3-86593-032-8	18,00
Susanne König • Mette Rehling Mitarbeitergespräche	13156	3-86593-033-6	12,00
Herbert Klemisch • Philip Potter (Hrsg.) Instrumente nachhaltigen Wirtschaftens in der Unternehmenspraxis	13157	3-86593-034-4	i. Vorb.
Björn Rohde-Liebenau Whistleblowing	13159	3-86593-036-0	10,00
Jürgen Enders Promovieren als Prozess – Die Förderung von Promovierenden durch die Hans-Böckler-Stiftung	13160	3-86593-037-9	12,00
Thomas Blanke Vorrats-SE ohne Arbeitnehmerbeteiligung	13161	3-86593-038-7	12,00
Oliver Schöller Mobilität im Wettbewerb	13162	3-86593-039-5	12,00
Gertrud Hovestadt • Nicole Keßler • Otto Pompe Peter Stegelmann Internationale Bildungsanbieter auf dem deutschen Markt	13163	3-86593-040-9	12,00

	Bestellnr.	ISBN	Preis / €
Marita Körner Flexicurity in atypischen Arbeitsverhältnissen	13164	3-86593-041-7	10,00
Birgit Soete Biotechnologie in Vergleich – Wo steht Deutschland?	13165	3-86593-044-1	19,00
Heinz Putzhammer (Hrsg.) Wege zu nachhaltigem Wachstum, Beschäftigung und Stabilität	13166	3-86593-045-X	10,00
Frank Havighorst Personalkennzahlen	13167	3-86593-046-8	i. Vorb.
Thomas Fritz • Kai Mosebach • Werner Raza Christoph Scherrer GATS-Dienstleistungsliberalisierung	13168	3-86593-047-6	15,00
Wolfgang Irrek • Stefan Thomas Der EnergieSparFonds für Deutschland	13169	3-935145-048-4	i. Vorb.
Thomas Blanke Erweiterung der Beteiligungsrechte des SE-Betriebsrats durch Vereinbarung	13170	3-86593-049-2	10,00
Ingo Kübler Stabsmitarbeiter und Referenten betrieblicher Interessenvertretungen	13174	3-86593-053-0	i. Vorb.
Gertrud Kühnlein Einstiegsqualifizierung für Jugendliche (EQJ)	13175	3-86593-054-9	i. Vorb.
Peter Liepmann • Oliver Bonkamp • Britta Gohs Kooperationen und Netzwerke in ausgewählten Branchen der Region Ostwestfalen-Lippe	13176	3-86593-055-7	i. Vorb.

Ihre Bestellungen senden Sie bitte unter Angabe der Bestellnummern an den Setzkasten oder unter Angabe der ISBN an Ihre Buchhandlung. Ausführliche Informationen zu den einzelnen Bänden können Sie dem aktuellen Gesamtverzeichnis der Buchreihe **edition** entnehmen.

Setzkasten GmbH
Kreuzbergstraße 56
40489 Düsseldorf
Telefax 0211-408 00 90 40
E-Mail mail@setzkasten.de

Hans-Böckler-Stiftung

Die Hans-Böckler-Stiftung ist das Mitbestimmungs-, Forschungs- und Studienförderungswerk des Deutschen Gewerkschaftsbundes. Gegründet wurde sie 1977 aus der Stiftung Mitbestimmung und der Hans-Böckler-Gesellschaft. Die Stiftung wirbt für Mitbestimmung als Gestaltungsprinzip einer demokratischen Gesellschaft und setzt sich dafür ein, die Möglichkeiten der Mitbestimmung zu erweitern.

Mitbestimmungsförderung und -beratung

Die Stiftung informiert und berät Mitglieder von Betriebs- und Personalräten sowie Vertreterinnen und Vertreter von Beschäftigten in Aufsichtsräten. Diese können sich mit Fragen zu Wirtschaft und Recht, Personal- und Sozialwesen oder Aus- und Weiterbildung an die Stiftung wenden. Die Expertinnen und Experten beraten auch, wenn es um neue Techniken oder den betrieblichen Arbeits- und Umweltschutz geht.

Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliches Institut (WSI)

Das Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Institut (WSI) in der Hans-Böckler-Stiftung forscht zu Themen, die für Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer von Bedeutung sind. Globalisierung, Beschäftigung und institutioneller Wandel, Arbeit, Verteilung und soziale Sicherung sowie Arbeitsbeziehungen und Tarifpolitik sind die Schwerpunkte. Das WSI-Tarifarchiv bietet umfangreiche Dokumentationen und fundierte Auswertungen zu allen Aspekten der Tarifpolitik.

Institut für Makroökonomie und Konjunkturforschung (IMK)

Das Ziel des Instituts für Makroökonomie und Konjunkturforschung (IMK) in der Hans-Böckler-Stiftung ist es, gesamtwirtschaftliche Zusammenhänge zu erforschen und für die wirtschaftspolitische Beratung einzusetzen. Daneben stellt das IMK auf der Basis seiner Forschungs- und Beratungsarbeiten regelmäßig Konjunkturprognosen vor.

Forschungsförderung

Die Stiftung vergibt Forschungsaufträge zu Mitbestimmung, Strukturpolitik, Arbeitsgesellschaft, Öffentlicher Sektor und Sozialstaat. Im Mittelpunkt stehen Themen, die für Beschäftigte von Interesse sind.

Studienförderung

Als zweitgrößtes Studienförderungswerk der Bundesrepublik trägt die Stiftung dazu bei, soziale Ungleichheit im Bildungswesen zu überwinden. Sie fördert gewerkschaftlich und gesellschaftspolitisch engagierte Studierende und Promovierende mit Stipendien, Bildungsangeboten und der Vermittlung von Praktika. Insbesondere unterstützt sie Absolventinnen und Absolventen des zweiten Bildungsweges.

Öffentlichkeitsarbeit

Mit dem 14tägig erscheinenden Infodienst »Böckler Impuls« begleitet die Stiftung die aktuellen politischen Debatten in den Themenfeldern Arbeit, Wirtschaft und Soziales. Das Magazin »Mitbestimmung« und die »WSI-Mitteilungen« informieren monatlich über Themen aus Arbeitswelt und Wissenschaft. Mit der Homepage www.boeckler.de bietet die Stiftung einen schnellen Zugang zu ihren Veranstaltungen, Publikationen, Beratungsangeboten und Forschungsergebnissen.

Hans-Böckler-Stiftung
Hans-Böckler-Straße 39
40476 Düsseldorf
Telefax: 02 11/77 78-225
www.boeckler.de

Hans **Böckler Stiftung**

Fakten für eine faire Arbeitswelt.