

## **Zukünftige Ausstrahlung der Biotechnologie auf die Beschäftigung in Deutschland**

Von Klaus Menrad und Rainer Frietsch

### **Abstract**

The paper quantitatively analyses the effects of modern biotechnology on the number of employees and the employment structure in Germany. Based on the year 2000 the development of the employment in differing application fields of biotechnology until 2010 is simulated in three scenarios. Almost 240,000 employees (around 0.7 % of all employees in Germany) were directly or indirectly (in different application fields like food processing, pharmaceuticals, fine chemistry or environmental biotechnology) influenced by modern biotechnology in the year 2000. In addition, there are almost 380,000 jobs linked to these employees in the input industries (representing around 1 % of all employees in Germany). According to the results of the computational simulations a maximum of up to 1.7 million employees can be influenced by modern biotechnology in Germany in 2010 assuming a very fast penetration of this technology. Finally the authors discuss the implications of the analysed issues and derive further recommendations for economy, politics and science.

### **Zusammenfassung**

Der Beitrag untersucht die quantitativen Auswirkungen der Biotechnologie auf die Beschäftigung und die Tätigkeitsprofile in Deutschland. Ausgehend von dem Basisjahr 2000 wird in drei Szenarien die Entwicklung der Beschäftigungssituation in verschiedenen Teilbereichen und Anwendungsfeldern der Biotechnologie bis zum Jahr 2010 simuliert. Im Jahr 2000 waren fast 240.000 Beschäftigte (etwa 0,7 % aller Erwerbstätigen in Deutschland) direkt oder in Anwenderbranchen (Lebensmittelverarbeitung, Pharmaindustrie, Feinchemie, Umweltbiotechnik) mit Biotechnologie befasst. Hinzu kommen knapp 380.000 (1 %) Arbeitsplätze in vorgelagerten Wirtschaftszweigen. Nach den Ergebnissen der Simulationsrechnungen können bis zum Jahr 2010 bei sehr schneller Diffusion der Biotechnologie maximal bis zu 1,7 Mio. aller Erwerbstätigen in Deutschland mit dieser Technik in Verbindung gebracht werden. Abschließend werden Implikationen der bearbeiteten Fragestellung diskutiert und weiterführende Empfehlungen für Wirtschaft, Politik und Wissenschaft abgeleitet.

*JEL Classification:* O33, J11, J21

Received: June 16, 2004

Accepted: June 13, 2005

## Einleitung

Die Biotechnologie<sup>1</sup> wird oftmals als Schlüsseltechnologie betrachtet, d. h. als ein technologisches Paradigma, welches in zahlreichen Branchen Anwendung finden kann (Ghislaba 1990, 161; Frietsch 2002, 710; VDI-Technologiezentrum 2000, 159). Eine Schlüsseltechnologie ist für das Wachstum in einem bestimmten Teil des Wirtschaftssystems von entscheidender Bedeutung, da ihr in mehreren Branchen eine wesentliche Rolle im Innovationsprozess und für die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zukommt. Nach Einschätzung von Experten steht das wirtschaftliche Potenzial der Biotechnologie erst am Anfang seiner Entwicklung (BMBF 2000a). Neben der Pharmaindustrie und Chemie sind von der Biotechnologie vor allem die Landwirtschaft, die Lebensmittelindustrie, der Umweltsektor sowie Laborgerätehersteller tangiert.

In den letzten zehn Jahren wurden zahlreiche Branchenreports zur Situation der Biotechnologie in Deutschland erstellt (Hetmaier et al. 1995; Becher/Schuppenhauer 1996; BMBF 2000a; Ernst & Young 1998, 2000, 2002; Menrad et al. 1999; Mietzsch 1997, 1999, 2001, 2002; Momma/Sharp 1999; Statistisches Bundesamt 2002d; Streck/Pieper 1997; Wörner/Reiß 2000). Dabei wurden zumeist nur die Biotechnologieunternehmen im engeren oder erweiterten Sinne betrachtet und entsprechende Arbeitsplätze in diesen Unternehmen ausgewiesen. Beschäftigungseffekte der Biotechnologie in verschiedenen Anwendungsbranchen (z. B. Chemie, Pharma, Umwelttechnik oder Lebensmittelbranche) sowie in öffentlichen Forschungseinrichtungen wurden dagegen nicht zuletzt wegen der fehlenden Verfügbarkeit geeigneter Statistiken bisher nicht umfassend untersucht.

Außerdem beruhen vorliegende Untersuchungen zu den Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie weitgehend auf Befragungen von Experten bzw. Unternehmen und Abschätzungen der zukünftigen Entwicklung aufgrund von Plausibilitätsüberlegungen (Becher/Schuppenhauer 1996; BMBF 2000; Ernst & Young 1998, 2000, 2002; Mietzsch 1997, 1999, 2001, 2002; Statistisches Bundesamt 2002; Streck/Pieper 1997). In der bisher vorliegenden Literatur fehlen jedoch zukunftsbezogene quantitative Extrapolationen der Beschäftigungsentwicklungen im Bereich der Biotechnologie. Auf Basis einer differenzierten Bestandsaufnahme der im Basisjahr 2000 vorliegenden Beschäftigung wird im Rahmen dieser Untersuchung eine Abschätzung der zukünftigen Ausstrahlereffekte der Biotechnologie bis 2010 vorgenommen. Hierbei finden unterschiedliche Diffusions- und Anwendungspfade der Biotech-

<sup>1</sup> Unter der Biotechnologie wird in diesem Artikel die „moderne“ Biotechnologie verstanden, die die Anwendung von Wissenschaft und Technologie auf lebende Organismen sowie auf deren Bestandteile, Produkte und Modelle umfasst mit dem Ziel, lebende oder nicht-lebende Materialien für die Produktion von Wissen, Waren oder Serviceleistungen zu verändern (OECD 2001).

nologie sowie die Entwicklung des Arbeitskräfteangebots – ein wichtiger Aspekt angesichts der demographischen Entwicklung – eine explizite Berücksichtigung.<sup>2</sup>

### Methodik und Vorgehensweise

Der Einsatz der Biotechnologie wirkt sich auf verschiedene Bereiche aus, die bei der Analyse der Beschäftigungswirkungen einbezogen werden müssen (Menrad et al. 2003a, 3). Dies sind:

- Arbeitsplätze in öffentlichen Forschungseinrichtungen (z. B. Hochschulen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen),
- Arbeitsplätze in forschungsintensiven kleinen und mittelständischen Biotechnologieunternehmen,
- Arbeitsplätze in Anwendungsfeldern der Biotechnologie (Pharma / Medizin, Chemie, Lebensmittelherstellung und -verarbeitung, Landwirtschaft, Pflanzenzüchtung, Umwelttechnik) sowie bei Herstellern von Laborgeräten und Reagenzien.<sup>3</sup>
- Arbeitsplätze in vorgelagerten Sektoren, die von der „Biotechnologieindustrie“<sup>4</sup> abhängig sind.

Zur Untersuchung der aktuellen Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie wird das in Abbildung 1 dargestellte Untersuchungskonzept verwendet (Menrad et al. 2003a, 5). Dabei werden bei allen Untersuchungen die „Bruttoeffekte“ an Arbeitsplätzen berücksichtigt, die durch die Biotechnologie beeinflusst werden, d.h. es werden keine Arbeitsplätze gegengerechnet, die durch den Einsatz der Biotechnologie ggf. abgebaut oder eingespart werden. Durch die Nutzung der Biotechnologie ergeben sich dabei drei unterschiedliche Typen von Beschäftigungswirkungen:

- *Direkte Beschäftigungswirkungen* treten in solchen Unternehmen oder Forschungseinrichtungen auf, die sich unmittelbar mit der Forschung und Entwicklung, Produktion oder Vermarktung biotechnischer Produkte, Methoden oder Verfahren beschäftigen bzw. wissenschaftliche Geräte und Reagenzien herstellen, die unmittelbar in der „Biotechnologieindustrie“ oder den in diesem Feld tätigen Forschungseinrichtungen eingesetzt werden.

<sup>2</sup> Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit sehr herzlich für die finanzielle Unterstützung dieser Studie. Außerdem sei zwei anonymen Gutachtern für wertvolle Kommentare gedankt.

<sup>3</sup> Die Arbeitsplätze in diesen Feldern können in den Bereichen Forschung, Entwicklung, Produktion oder Marketing / Vertrieb angesiedelt sein.

<sup>4</sup> In diesem Artikel werden unter dem Begriff „Biotechnologieindustrie“ sowohl kleine und mittelständische Biotechnologieunternehmen, Biotechnologie-Ausstatter als auch die durch die moderne Biotechnologie beeinflussten Unternehmen in den Anwendungsbranchen verstanden.

- Anwendereffekte und daraus resultierende Beschäftigungswirkungen beruhen auf der Nutzung von Produkten oder Verfahren, die mit Hilfe der Biotechnologie hergestellt oder entwickelt wurden, in anderen Wirtschaftszweigen der Volkswirtschaft.
- *Vorleistungseffekte* der „Biotechnologieindustrie“<sup>5</sup> und der in diesem Feld tätigen Forschungseinrichtungen sind auf den Güterbezug aus vorgelagerten Wirtschaftssektoren zurückzuführen.

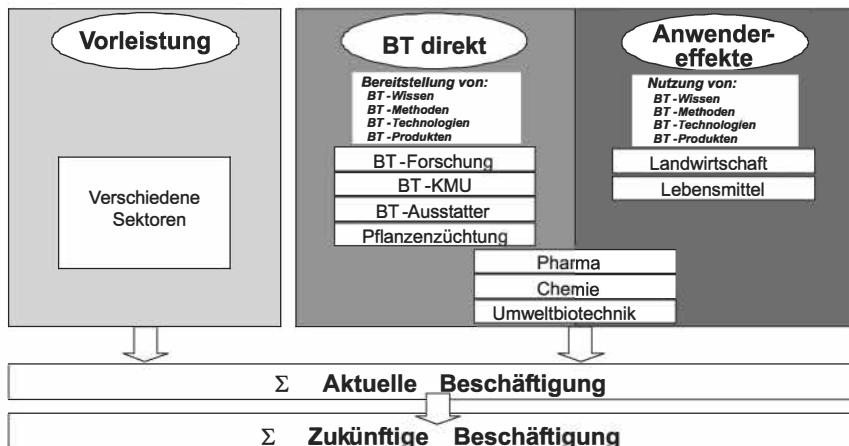
Aktuelle direkte Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie werden für die in der Biotechnologie tätigen Forschungseinrichtungen, kleine und mittelständische Biotechnologieunternehmen, „Biotechnologieausstatter“<sup>6</sup> sowie Pflanzenzüchtungsunternehmen ermittelt. Anwendereffekte und daraus resultierende Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie werden für die Landwirtschaft und Lebensmittelverarbeitung analysiert. Die Nutzung der Biotechnologie in der Pharmaindustrie, der chemischen Industrie oder der Umweltbiotechnik nimmt insofern eine Zwischenstellung ein, als in diesen Industriezweigen sowohl direkte als auch anwendungsorientierte Beschäftigungseffekte auftreten. Im Rahmen dieses Artikels werden aufgrund fehlender Datenbasen die Beschäftigungswirkungen für diese drei Industriezweige allerdings vollständig bei den Anwendereffekten der Biotechnologie berücksichtigt. Als Ausgangspunkt für die „aktuellen Beschäftigungseffekte“ der Biotechnologie wird das Jahr 2000 herangezogen, da zum Zeitpunkt der Untersuchung kein entsprechend vollständiges und differenziertes Datenset für einen späteren Zeitpunkt vorlag.

Die Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie in der Industrie im Jahr 2000 werden im Wesentlichen durch die Identifizierung der von dieser Technik beeinflussten Güter in der Produktionsstatistik und der darauf basierenden Berechnung der Zahl korrespondierender Arbeitsplätze ermittelt (Menrad et al. 2003a, 6 ff.). Eine direkte Erfassung der Beschäftigtenzahlen ist auf Grund fehlender Datenquellen bzw. beschränkter Identifizierbarkeit der Biotechnologie in einschlägigen Klassifikationen nicht möglich. Das hier verwendete Vorgehen kann am Besten mit der Bezeichnung „Kontaminationsprinzip“ umschrieben werden, d. h. es wurden diejenigen Wirtschaftszweige und Bereiche ausgewählt, die biotechnologische Produkte herstellen oder verwenden. Dieser Ansatz wird komplettiert durch die Auswertung vorliegender Untersuchungen zu den Beschäftigtenzahlen in Forschungseinrichtungen und

<sup>5</sup> Aus Gründen der Datenverfügbarkeit werden die Vorleistungseffekte im Rahmen dieser Untersuchung auf indirekte Herstellereffekte beschränkt, wohingegen adaptionsbedingte indirekte Anwendereffekte nicht explizit betrachtet werden.

<sup>6</sup> Unter „Biotechnologieausstatter“ (BT-Ausstatter) werden solche Unternehmen verstanden, die wissenschaftliche (Labor)Geräte und die dafür notwendigen Reagenzien und Verbrauchsmaterialien herstellen, die in der „Biotechnologieindustrie“ und in biotechnologischen Forschungseinrichtungen Verwendung finden.

kleinen und mittelständischen, spezialisierten Biotechnologieunternehmen sowie durch Verbandsangaben (z. B. zu den Beschäftigungseffekten in Pflanzenzüchtungsunternehmen) (BDP 2002).



Quelle: Verändert Menrad et al., 2003a, 5.

Abbildung 1: Konzept für die Analyse der Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie in Deutschland

Die Vorleistungseffekte der Biotechnologie in den vorgelagerten Industriezweigen werden durch ein Input-Output-Modell quantifiziert. Dazu werden Input-Output Tabellen für das Jahr 1997 verwendet.<sup>7</sup> Für einzelne Segmente der „Biotechnologieindustrie“ werden die Vorleistungsstrukturen auf der Basis von Experteneinschätzungen und Informationen aus anderen Ländern gegenüber den vorliegenden Tabellen abgeändert (Menrad et al. 2003a, 19 – 22).

Neben den Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie im Jahr 2000 werden die zukünftigen Beschäftigungseffekte dieser Technik in Abhängigkeit von den Rahmenbedingungen für die zukünftige Entwicklung der Biotechnologieindustrie und des Arbeitsmarkts in Deutschland analysiert. Als Zeitrahmen der Untersuchung wird die voraussichtliche Entwicklung in den – vom Basisjahr 2000 ausgehend – kommenden zehn Jahren berücksichtigt. Im Wesentlichen wird dabei auf ein im Rahmen der Studie entwickeltes Simulationsmodell zurückgegriffen, mit dessen Hilfe verschiedene Szenarien der Entwicklung der Biotechnologie und der daraus resultierenden Beschäftigungseffekte in Deutschland simuliert werden, um unterschiedliche mögliche Ent-

<sup>7</sup> Zum Zeitpunkt der Untersuchung waren dies die aktuellsten vorliegenden Input-Output Tabellen des Statistischen Bundesamtes.

wicklungspfade der Biotechnologie in diesem Zeitraum abbilden zu können (Menrad et al. 2003a, 22 ff.).

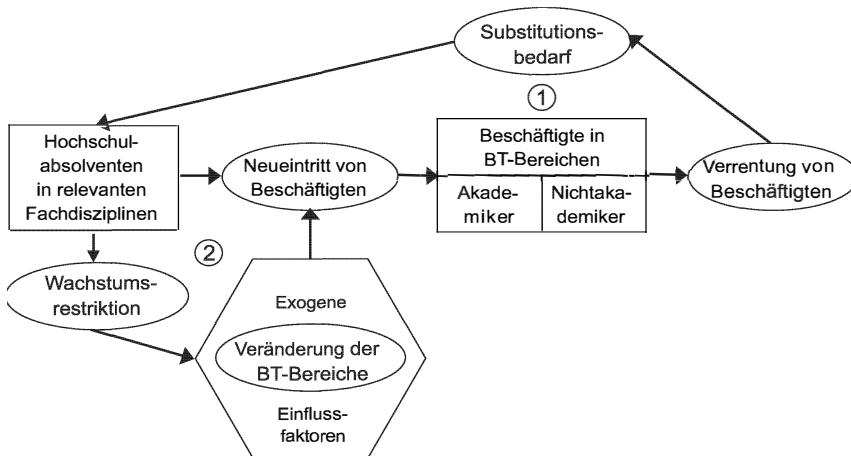
Dabei wird unterschieden zwischen solchen Teilsegmenten der Anwendungsbranchen, die bereits bis zum Jahr 2000 von der Biotechnologie durchsetzt sind und solchen Teilsegmenten, von denen erwartet wird, dass biotechnische Produkte und Verfahren erst in den kommenden zehn Jahren eingesetzt werden. Diese letztgenannten Teilsegmente werden als „zukünftig von der Biotechnologie betroffene Bereiche“ bezeichnet. Dies betrifft neben der pharmazeutischen Industrie und der Chemie auch die Umwelt(bio)technologie und die Lebensmittelverarbeitung. Für die Landwirtschaft wird angenommen, dass im Jahr 2000 keine nennenswerten Beschäftigungseffekte von der Biotechnologie ausgehen, was sich jedoch in Zukunft dann ändern wird, wenn das bestehende Quasi-Moratorium der EU den Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen nicht mehr verhindert (Menrad et al. 2003, 83).

Das entwickelte Simulationsmodell basiert auf dem System-Dynamics-Ansatz (Menrad et al. 2003a, 22 ff.). Dabei wurde für jeden der von der Biotechnologie beeinflussten Bereiche (siehe Abbildung 1) ein separates Teilmodell generiert, um die Heterogenität der verschiedenen Teilbereiche zu berücksichtigen und eine differenzierte Betrachtung der verschiedenen Segmente erstellen zu können. Innerhalb dieser Teilmodelle werden die Beschäftigten nach den unterschiedlichen formellen Bildungsniveaus erfasst (Nicht-Akademiker und Akademiker), wobei die Akademiker zusätzlich unterteilt werden in die Gruppen Naturwissenschaftler, Ingenieure und sonstige Akademiker. In Abbildung 2 ist die grundlegende Struktur der Teilmodelle des entwickelten Simulationsmodells (für die einzelnen von der Biotechnologie beeinflussten Bereiche) dargestellt.

Den Ausgangspunkt des Simulationsmodells bilden die Beschäftigtenzahlen in den einzelnen von der Biotechnologie beeinflussten Bereichen im Jahr 2000, differenziert nach den verschiedenen Bildungsabschlüssen bzw. Fachbereichen der Akademiker, die aus dem Mikrozensus des Jahres 2000 ermittelt wurden. Die Veränderungen der Bestandsgrößen der Beschäftigten werden bestimmt durch die jährlichen „In- und Outflows“, die wiederum durch das Wachstum der verschiedenen von der Biotechnologie beeinflussten Bereiche bzw. die „Verrentungs-Quoten“ getrieben werden (Menrad et al. 2003a, 23). Für die einzelnen Bereiche wurde die Veränderung der Beschäftigtenzahlen in den Jahren 1995 bis 2000 aus Werten der amtlichen Statistik und dem Mikrozensus ermittelt und in das Modell eingebracht.

Für die Entwicklung der Beschäftigung einer stark wissensintensiven Technik wie der Biotechnologie ist insbesondere das Angebot an Naturwissenschaftlern und Ingenieuren von Bedeutung, da in den vergangenen Jahren ein Mangel an akademisch ausgebildeten Fachkräften konstatiert wurde (Klemm 2001). Daher liegt dem entwickelten Simulationsmodell die Annahme zugrunde, dass

ein Mangel an Naturwissenschaftlern oder Ingenieuren das jährliche Wachstum eines Teilbereichs begrenzt, sofern nicht ausreichend Absolventen der betreffenden wissenschaftlichen Ausbildungsgänge zur Verfügung stehen<sup>8</sup> (Menrad et al. 2003a, 24). In diesen Fällen wird das jährliche Wachstum soweit reduziert, dass das Angebot an Hochschulabsolventen ausgeschöpft wird, das „resultierende Wachstum“ des gesamten Teilbereichs jedoch durch die Zahl der Hochschulabsolventen begrenzt wird. Als Basis für die zukünftige Entwicklung der Hochschulabsolventen werden die Prognosen der Kultusministerkonferenz verwendet, welche neben einer Schätzung der gesamten Absolventenzahlen auch eine differenzierte Betrachtung nach Fächergruppen erlaubt. Eine Unterscheidung zwischen Absolventen von Fachhochschulen und Universitäten ist auf Grund der Fächerdifferenzierung in den hier verwendeten Absolventenprognosen nicht gegeben (Kultusministerkonferenz 2001a, Kultusministerkonferenz 2001b).



Quelle: Menrad et al., 2003a, 23.

Abbildung 2: Struktur des Simulationsmodells

Ergänzend zum Bedarf an Beschäftigten, der aus der Diffusion der von der Biotechnologie beeinflussten Bereiche entsteht, wird im Modell auch der Ersatzbedarf berücksichtigt, der durch das altersbedingte Ausscheiden von Beschäftigten verursacht wird. Dabei wird davon ausgegangen, dass für alle Beschäftigtengruppen jeweils identische Altersstrukturen bestehen,<sup>9</sup> die sich

<sup>8</sup> Ein Austausch von bereits erwerbstätigen Beschäftigten zwischen den Teilbereichen der Biotechnologie oder mit anderen Branchen außerhalb der Biotechnologie wird nicht modelliert.

<sup>9</sup> Die Angaben zu der Altersstruktur der Beschäftigten in den einzelnen von der Biotechnologie beeinflussten Bereichen wurden aus dem Mikrozensus ermittelt.

jedoch zwischen den Teilbereichen der Biotechnologie teilweise deutlich unterscheiden. In dem Modell wird angenommen, dass in einem Bereich zunächst der Ersatzbedarf gedeckt wird, d. h. der Ersatzbedarf verringert die Anzahl derjenigen Hochschulabsolventen, die für ein Wachstum des jeweiligen Bereichs zur Verfügung stehen (Menrad et al. 2003a, 24).

In dem Simulationsmodell wird zusätzlich eine „Wissensintensivierung“ modelliert, indem die ausscheidenden Nicht-Akademiker zu gewissen Teilen durch Akademiker ersetzt werden (Menrad et al. 2003a, 25). Der Grad an „Wissensintensivierung“ variiert ebenfalls zwischen den von der Biotechnologie beeinflussten Bereichen und orientiert sich an den empirisch bestimmten Veränderungsraten der Akademikerquoten der einzelnen Bereiche, wie sie sich im Vergleich der Jahre 1996 und 2000 aus dem Mikrozensus ergeben. Bei der Simulation der zukünftigen Beschäftigungszahlen wurde davon ausgegangen, dass zunächst das Wachstum eines Bereiches realisiert wird, sofern es die Anzahl der verfügbaren Hochschulabsolventen erlaubt, und erst anschließend ein eventueller „Wissensintensivierungsbedarf“ gedeckt wird (Menrad et al. 2003a, 25).

In Tabelle 1 ist zu erkennen, dass der Ersatzbedarf, der sich aus dem altersbedingten Ausscheiden von Teilen der Belegschaften in den Teilbereichen der Biotechnologie ergibt, mitunter ein recht hohes Niveau erreicht. Während in den bereits im Jahr 2000 von der Biotechnologie betroffenen Teilbereichen die Anteile meist unter 1 % p. a. liegen, sind sie in den zukünftig von der Biotechnologie beeinflussten Branchen durchweg oberhalb von 1 % und erreichen insbesondere in der Landwirtschaft mit 2,3 % einen sehr hohen Wert, wenngleich hier das Alter des Ausscheidens aus dem Erwerbsleben im Durchschnitt deutlich höher liegt als in anderen Sektoren der deutschen Wirtschaft. Die „Wissensintensivierung“ in den von der Biotechnologie beeinflussten Bereichen wird in Form von durchschnittlichen jährlichen Veränderungen des Akademikeranteils dargestellt (Tabelle 1). Während die im Jahr 2000 von der Biotechnologie tangierten Felder eher hohe Substitutionsquoten aufweisen (zumeist mehr als 0,4 Prozentpunkte aller Nicht-Wissenschaftler in dem betreffenden Bereich), liegen diese Werte in den zukünftig relevanten Teilstufen deutlich niedriger.

Um die unterschiedlichen Rahmenbedingungen für die Diffusion moderner biotechnischer Methoden und Verfahren abilden zu können, wurden drei unterschiedliche Szenarien der Verbreitung dieser Techniken simuliert. In einem „Trendszenario“ wird unterstellt, dass sich die Diffusion biotechnischer Methoden und Verfahren in neuen Teilstufen so schnell vollzieht, wie dies in der Vergangenheit in den entsprechenden Industriezweigen realisiert wurde oder wie dies in anderen Ländern zu beobachten ist (z. B. die Adoption von gentechnisch veränderten Pflanzen in den USA oder Kanada). Zusätzlich werden in zwei weiteren Szenarien einer „schnellen Diffusion“ sowie einer „verzögerten Diffusion“ die Effekte unterschiedlich schneller Adoptionsraten

moderner biotechnischer Methoden und Verfahren in den kommenden Jahren simuliert.

*Tabelle 1*

**Verrentung und „Wissensintensivierung“ in den von der Biotechnologie beeinflussten Bereichen (in Prozentpunkten)**

Bereich	jährliche Verrentung (Anteil der Beschäftigten)	Wissensintensivierung <sup>a)</sup> (Substitutionsquote)
<b>Aktuell von der Biotechnologie betroffene Bereiche</b>		
Forschungseinrichtungen	0,5	0,4
Biotechnologie KMU	0,5	0,4
BT-Ausstatter	1,0	0,4
Pharma	0,8	0,4
Chemie	0,7	1,2
Umweltbiotechnik	0,5	-0,2
Lebensmittel	1,1	0,6
<b>Zukünftig von der Biotechnologie betroffene Bereiche</b>		
Pharma	1,0	-0,2
Chemie	1,1	0,1
Umweltbiotechnik	1,2	-0,1
Lebensmittel	1,0	-0,2
Landwirtschaft	2,3	0,03

<sup>a)</sup> Durchschnittliche jährliche Veränderung der Akademikerquote des entsprechenden Bereichs von 1996 bis 2000.

Quelle: Menrad et al. 2003a, 78.

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Entwicklung der von der Biotechnologie beeinflussten Beschäftigtenzahlen bis zum Jahr 2010 ist die Veränderung der Gesamtzahl der Erwerbstätigen in den von der Biotechnologie „kontaminierten“ Anwendungsbereichen. Diese Veränderungsraten wurden auf der Basis der Ergebnisse der Ist-Analyse für die Jahre 1995 bis 2000 ermittelt und bis zum Jahr 2010 fortgeschrieben. Dies bedeutet, dass die Entwicklung der Gesamtbeschäftigung – zunächst unabhängig von den eingesetzten biotechnologischen Methoden und Verfahren – entsprechend der ermittelten Trends weitergeführt wird. Dabei zeigt sich im Jahr 2000 mit Ausnahme der Lebensmittelindustrie eine negative Beschäftigungsentwicklung (Tabelle 2), die insbesondere in der Umweltbiotechnik mit mehr als 5 % pro Jahr ein relativ hohes Ausmaß annimmt. In den erst nach 2000 von der Biotechnologie betrof-

fenen Teilstufen der Anwendungssektoren findet man ohne Ausnahme ein negatives Wachstum der Gesamtbeschäftigungszahlen seit Mitte der 90er Jahre (Tabelle 2). Als Begründung für die Fortführung dieser Trends sowohl für die aktuell wie auch zukünftig „kontaminierten“ Bereiche ist neben allgemeinen Produktivitätssteigerungen auch der Einsatz der Biotechnologie anzuführen, wodurch weiterhin entsprechende Fortschritte bei der Arbeitsproduktivität erzielt werden können. Es soll jedoch an dieser Stelle explizit hervorgehoben werden, dass trotz eventuell rückläufiger Zahlen bei der Gesamtbeschäftigung in diesen Bereichen eine Steigerung der von der Biotechnologie beeinflussten Arbeitsplätze stattfinden kann bzw. stattfindet, da in dieser Untersuchung ausschließlich die Brutto- und nicht die Nettoeffekte betrachtet werden. Es wird damit implizit angenommen, dass diese Arbeitsplätze durch den Einsatz moderner biotechnologischer Verfahren und Methoden eine „technologische Umorientierung“ erfahren, die zur mittel- bis langfristigen Sicherung dieser Stellen beiträgt, die „Kontamination“ der Teilbereiche durch die Biotechnologie also weiter fortschreitet.

In dem „Trendszenario“ werden für die zukünftigen Bereiche, die von der Biotechnologie beeinflusst werden, zunächst mittlere Diffusionsraten angenommen: Während sich für die Chemie und die Pharmazie aus den Erfahrungswerten anderer Industriezweige bzw. Länder mittlere Diffusionszeiten von 25 Jahren ergeben,<sup>10</sup> betragen die entsprechenden „durchschnittlichen“ Diffusionszeiten für die Umweltbiotechnik, die Lebensmittelbranche und die Landwirtschaft 15 Jahre (Tabelle 2). Das Beschäftigungswachstum der kleinen und mittleren spezialisierten Biotechnologieunternehmen, das seit Mitte der 90er Jahre bei durchschnittlich nahezu 48 % p. a. liegt, wird im Trendszenario kontinuierlich reduziert, es bleibt allerdings über den gesamten Simulationszeitraum ein positives absolutes Wachstum bestehen.

In dem Szenario der „schnellen Diffusion“ wurde das Wachstum der kleinen und mittleren spezialisierten Biotechnologieunternehmen auf ein konstantes durchschnittliches Wachstum von jährlich 24 % gesetzt.<sup>11</sup> Für die nach 2000 von der Biotechnologie betroffenen Teilbereiche in den Anwendungsindustrien wurden in diesem Szenario die Diffusions- bzw. Adoptionsraten neuer biotechnischer Methoden, Verfahren und Produkte verdoppelt (Tabelle 2), d. h. es werden mittlere Diffusionszeiten von 12,5 Jahren für die pharmazeutische Industrie und die Chemie-Branche angenommen, während die entsprechenden Zeiten für die Umweltbiotechnik, die Lebensmittelbranche und die Landwirtschaft mit 7,5 Jahren veranschlagt werden.

<sup>10</sup> Damit wird angenommen, dass es 25 Jahre dauert, bis biotechnologische Verfahren und Anwendungen die relevanten Teilstufen der Chemie und pharmazeutischen Industrie vollständig durchdrungen haben.

<sup>11</sup> Dies entspricht der Hälfte der durchschnittlichen jährlichen Veränderungsrate von 1995 bis 2000.

Um ungünstigere Rahmenbedingungen für die Entwicklung der Biotechnologie in Deutschland bis zum Jahr 2010 zu simulieren, wurde das Szenario der „verzögerten Diffusion“ entwickelt. Dabei wird unterstellt, dass der „Gründungs- und Wachstumsboom“ in der Biotechnologie in Deutschland nach 2000 weitgehend abgeschlossen ist und im Zeitraum bis 2010 kein weiteres Beschäftigungswachstum zu verzeichnen ist, d. h. die absolute Zahl der Beschäftigten in Biotechnologie KMUs wird auf dem Niveau der Trendentwicklung für das Jahr 2001 konstant gehalten. In den nach 2000 von der Biotechnologie beeinflussten Teilbereichen in den Anwendungsindustrien wurden in diesem Szenario die Adoptionsraten gegenüber dem Trendszenario halbiert, so dass für die Chemie und die Pharmaindustrie Diffusionszeiten von 50 Jahren und für die übrigen Bereiche von 30 Jahren (mit korrespondierenden Adoptionsraten von 3,3 % pro Jahr) angenommen wurden (Tabelle 2). Diese Annahmen lassen sich durch eine weiterhin stark durch Akzeptanzvorbehalte gegenüber der „Grünen Bio- und Gentechnik“ geprägte öffentliche Diskussion, durch eher verschärzte Regulierungs- und Zulassungsbedingungen im Bereich der Biotechnologie sowie durch fehlende bzw. unzureichende Voraussetzungen für die Aufnahme neuer wissenschaftlicher Ansätze und einen gewissen „Traditionalismus“ in den betroffenen Industriezweigen erklären (Arundel 2001, 266; Coss 1998; DG Agri 2000; Jungmittag et al. 2000, Hinze et al., 2001; Menrad et al. 2003b; Wörner et al. 2000).

Aufgrund einer unzureichenden Datenbasis und der fehlenden Möglichkeit der Identifizierung der Struktur der beschäftigten Akademiker aus dem Mikrozensus wurden in der Pflanzenzüchtung für alle Szenarien die Verhältnisse des Jahres 2000 unterstellt. Für die Landwirtschaft wurde angenommen, dass das bestehende Quasi-Moratorium in der EU für gentechnisch veränderte Pflanzen im Jahr 2004 aufgehoben wird und ab dem Jahr 2005 entsprechende Pflanzen (z. B. transgener Raps, Mais, Kartoffeln) in Deutschland angebaut werden können (Menrad et al. 2003a, 83).

In allen drei Szenarien wird in einer ersten Variante die Möglichkeit zugelassen, dass das Angebot an Hochschulabsolventen für die einzelnen durch die Biotechnologie betroffenen Bereiche begrenzend wirkt. Dabei wird angenommen, dass der Anteil der den einzelnen Bereichen der Biotechnologie zur Verfügung stehenden Absolventen ihrem jeweiligen Anteil an allen Akademikern entspricht. Beschäftigt eine Branche also beispielsweise 10 % aller Naturwissenschaftler, dann kann sie bis zu 10 % eines Absolventenjahrganges für sich beanspruchen. In einer zweiten Variante wird diese Restriktion aufgehoben, d. h. es werden die entsprechenden Berechnungen ohne Berücksichtigung möglicher Engpässe bei der Humankapitalausstattung durchgeführt.

Moderne biotechnische Methoden, Verfahren und Produkte wirken in unterschiedlichem Ausmaß auf die Wettbewerbsfähigkeit der betroffenen Arbeitsplätze. Um diesem unterschiedlichen Grad des Einflusses der Biotechnologie

Tabelle 2

**Veränderungsraten und Adoption der von der Biotechnologie betroffenen Bereiche in den verschiedenen Szenarien (in Prozent der Beschäftigten)**

Bereiche	Trendszenario	„schnelle Diffusion“	„verzögerte Diffusion“
<b>Veränderungsrate der aktuell von der Biotechnologie betroffenen Bereiche</b>			
Forschungseinrichtungen	-0,3	-0,3	-0,3
Biotechnologie KMU	6,2	24,0	3,5
BT-Ausstatter	3,0	3,0	3,0
Pflanzenzüchtung	-	-	-
Pharma	-2,1	-2,1	-2,1
Chemie	-1,2	-1,2	-1,2
Umweltbiotechnik	-5,2	-5,2	-5,2
Lebensmittel	2,3	2,3	2,3
<b>Veränderungsrate der zukünftig von der Biotechnologie betroffenen Bereiche</b>			
Pharma	-3,4	-3,4	-3,4
Chemie	-6,2	-6,2	-6,2
Umweltbiotechnik	-3,6	-3,6	-3,6
Lebensmittel	-1,2	-1,2	-1,2
Landwirtschaft	-3,2	-3,2	-3,2
<b>Adoptionsrate* der Biotechnologie in zukünftig betroffenen Bereichen</b>			
Pharma	4,0 (25 Jahre)	8,0 (12,5 Jahre)	2,0 (50 Jahre)
Chemie	4,0 (25 Jahre)	8,0 (12,5 Jahre)	2,0 (50 Jahre)
Umweltbiotechnik	6,7 (15 Jahre)	13,3 (7,5 Jahre)	3,3 (30 Jahre)
Lebensmittel	6,7 (15 Jahre)	13,3 (7,5 Jahre)	3,3 (30 Jahre)
Landwirtschaft	6,7 (15 Jahre)	13,3 (7,5 Jahre)	3,3 (30 Jahre)

\* Prozentuale jährliche Veränderung der „Kontamination“ mit Biotechnologie; angenommene Dauer bis zur vollständigen Durchdringung in Klammern.

Quelle: Menrad et al. 2003a, 82.

auf die beeinflussten Arbeitsplätze zumindest in Ansätzen Rechnung zu tragen, wird die Gesamtzahl der betroffenen Arbeitsplätze in die zwei Cluster „Hohe Bedeutung der Biotechnologie“ und „Geringe Bedeutung der Biotechnologie“ eingeteilt:

- *Hohe Bedeutung der Biotechnologie:* In dieses Cluster fallen alle Beschäftigten in den direkt durch Biotechnologie beeinflussten Bereichen inklusive

der Arbeitsplätze in den ihnen vorgelagerten Wirtschaftssektoren. Von den Beschäftigten in den Anwendungsbranchen wurde nur der Teil zu diesem Cluster gezählt, bei dem die Biotechnologie für die Wettbewerbsfähigkeit von hoher Bedeutung ist. Hinzu kommen die entsprechenden Arbeitsplätze in den vorgelagerten Bereichen.

- *Geringe Bedeutung der Biotechnologie:* In dieses Cluster werden diejenigen Arbeitsplätze in den Anwendungsbranchen der Biotechnologie klassifiziert, für die die Biotechnologie eine weniger ausgeprägte Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit aufweist. Hinzu kommen die diesen Arbeitsplätzen vorgelagerten Beschäftigten.

Dazu wird auf die Ergebnisse einer Expertenbefragung zurückgegriffen und auf Basis von Expertenurteilen abgeschätzt, welche Anteile der von der Biotechnologie betroffenen Arbeitsplätze in den verschiedenen Anwendungsbereichen in hohem oder geringem Ausmaß mit dieser Technologie zu tun haben (Menrad et al. 2003a, 115). Die absoluten Zahlen an Arbeitsplätzen in den einzelnen Anwendungsbereichen werden dann mit diesen Anteilen gewichtet.

Wie in den vorherigen Abschnitten erläutert, wird bei den Beschäftigungs-wirkungen der Biotechnologie zwischen direkten Effekten, die im Wesentlichen bei Universitäten / außeruniversitären Forschungseinrichtungen, kleinen und mittelständischen spezialisierten Biotechnologieunternehmen, Biotechnologieausstattern sowie Pflanzenzüchtungsunternehmen auftreten, und Anwendereffekten unterschieden, die auf der Nutzung von biotechnologischem Wissen, Methoden, Technologien oder Produkten in Anwendungsbranchen beruhen. Außerdem werden die Vorleistungseffekte in den vorgelagerten Industriezweigen bei den verschiedenen Szenarien ermittelt.

## Ergebnisse

Im Jahr 2000 waren etwa 69.500 Arbeitsplätze in Deutschland direkt von der Biotechnologie abhängig (Tabelle 3). Davon entfielen mit knapp 36.000 Arbeitsplätzen etwa die Hälfte auf Universitäten oder außeruniversitäre Forschungseinrichtungen. In industriellen Unternehmen waren etwa 33.500 Arbeitsplätze betroffen, von denen fast 20.500 bei Biotechnologieausstattern<sup>12</sup> angesiedelt waren. Demgegenüber war die direkte Beschäftigungs-wirkung in kleinen und mittelständischen Biotechnologieunternehmen mit etwa 10.100 Beschäftigten im Jahr 2000 noch vergleichsweise gering. Auf die

<sup>12</sup> Die Ausstatter nehmen unter den direkt betroffenen Arbeitsplätzen einen relativ hohen Anteil ein, da sie nicht nur die „Kenbranchen“ sondern auch die Anwenderbranchen mit Geräten, Reagenzien und Verbrauchsmaterialien ausstatten. Außerdem sind diese Unternehmen vergleichsweise exportintensiv.

Pflanzenzüchtung entfielen etwa 2.900 Beschäftigte. In den vorgelagerten Wirtschaftssektoren waren etwa 36.000 Arbeitsplätze von den direkt durch die Biotechnologie beeinflussten Bereichen abhängig (Tabelle 3).

Im Jahr 2000 wurden zusätzlich fast 167.000 Arbeitsplätze in Deutschland durch die Nutzung von biotechnologischen Methoden, Technologien oder Produkten beeinflusst (Tabelle 3). Mehr als drei Viertel dieser Arbeitsplätze waren in der Lebensmittelindustrie angesiedelt (ca. 131.000 Beschäftigte), wobei in diesem Industriezweig der auf Biotechnologie zurückzuführende Anteil an den Gesamtkosten oder der Gesamtwertschöpfung oftmals relativ gering ist. In den sonstigen Anwendungsbranchen der Biotechnologie lag die Zahl der betroffenen Arbeitsplätze um eine Zehnerpotenz niedriger als in der Lebensmittelindustrie. Es folgten die Pharmaindustrie mit etwa 13.000 Arbeitsplätzen, die (Fein)Chemie mit knapp 11.300 Beschäftigten und die Umweltbiotechnik mit knapp 11.200 Erwerbstägigen (Tab. 3). Aufgrund des Quasi-Moratoriums in der EU, das seit 1998 keine Marktzulassung gentechnisch veränderter Organismen ermöglicht, wird angenommen, dass die Landwirtschaft in Deutschland im Jahr 2000 nicht von biotechnischen Methoden, Verfahren oder Produkten betroffen war.

Die Vorleistungseffekte in den Anwendungsbranchen der Biotechnologie sind deutlich ausgeprägter als in den durch die Biotechnologie direkt beeinflussten Bereiche, was in erster Linie ein Größeneffekt ist, d. h. die Beschäftigungszahlen in den „Kernbranchen“ sind deutlich niedriger, was dann auch zu einer geringeren Nachfrage nach Vorleistungen führt. Andererseits – und dies ist die an dieser Stelle wesentlich interessantere Erkenntnis – unterstreichen die hohen Vorleistungseffekte in den Anwenderbranchen nochmals den Schlüsseltechnologie-Charakter der Biotechnologie. Die Ausstrahlung und Querschnitts-Bedeutung dieser Technologie erstrecken sich nicht nur auf die Kernbereiche und die Anwenderbranchen, sondern gehen darüber hinaus. Bei den vier betroffenen Anwendungsfeldern konnten im Jahr 2000 in den vorgelagerten Sektoren etwa 341.000 Beschäftigte mit der Nutzung biotechnischer Methoden, Verfahren oder Produkte in Verbindung gebracht werden. Diese Zahl war wiederum stark durch die Lebensmittelindustrie geprägt, die allein auf etwa 301.000 Arbeitsplätze in den vorgelagerten Sektoren kam. Unter Berücksichtigung der Vorleistungseffekte wurden im Jahr 2000 somit ca. 614.000 Arbeitsplätze von der Biotechnologie beeinflusst.

Zur Abschätzung der künftigen Entwicklung der Beschäftigungspotenziale der Biotechnologie wurden drei unterschiedliche Diffusions-Szenarien berechnet. In einem „Trendszenario“, in dem die Beschäftigungseffekte bis 2010 bei einer „mittleren“ Ausbreitung dieser Technik simuliert wurden, steigt die Zahl der direkt von dieser Technik betroffenen Arbeitsplätze (unter Einbezug der vorgelagerten Sektoren) auf etwa 136.500 (Abbildung 3). Im Vergleich zum Jahr 2000 erhöhen sich die Beschäftigungszahlen insbesondere in den kleinen und mittleren spezialisierten Biotechnologieunternehmen und bei den Bio-

technologie-Ausstattern, wo hingegen die Arbeitsplätze bei Universitäten oder Forschungseinrichtungen leicht zurückgehen (Abbildung 3), was für eine Technologie am Übergang zur verstärkten Anwendungsorientierung und zur Marktreife eine plausible Entwicklung darstellt (Nelson 1988; Schmoch et al. 2000; Schmoch 2003).

*Tabelle 3*

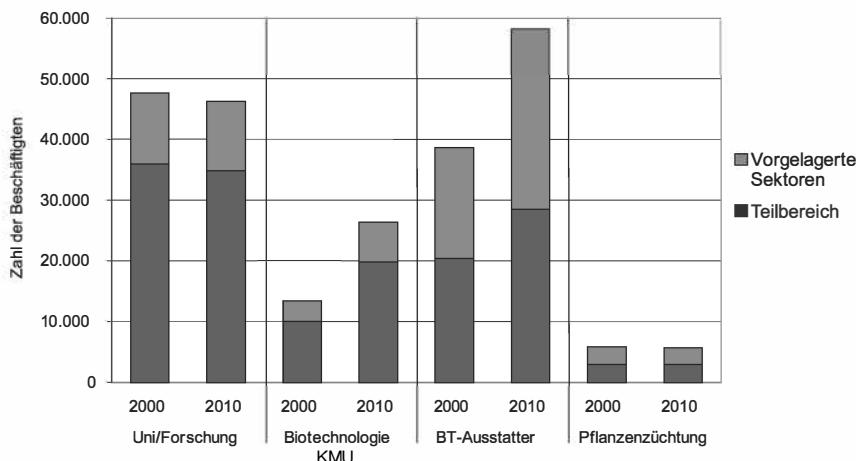
**Zahl der Beschäftigten in Deutschland im Jahr 2000, deren Arbeitsplätze von Biotechnologie beeinflusst werden**

Bereich	Zahl der Beschäftigten		
	im Bereich	in vorgelagerten Sektoren	Gesamtzahl
Universität/ Forschungseinrichtungen	35.979	11.700	47.679
Biotechnologie KMU	10.103	3.300	13.403
BT-Ausstatter	20.470	18.200	38.670
Pflanzenzüchtung	2.964	2.900	5.864
<b>Summe direkt</b>	<b>69.516</b>	<b>36.100</b>	<b>105.616</b>
Pharma	13.046	11.300	24.346
Chemie	11.274	18.800	30.074
Umweltbiotechnik	11.189	9.900	21.089
Lebensmittelverarbeitung	131.376	301.500	432.876
<b>Summe Anwenderbranchen</b>	<b>166.884</b>	<b>341.500</b>	<b>508.384</b>
<b>Gesamteffekte</b>	<b>236.400</b>	<b>377.600</b>	<b>614.000</b>
<b>Hohe Bedeutung der Biotechnologie für Wettbewerbsfähigkeit</b>			220.682

Quelle: Menrad et al. 2003a, 62.

Demgegenüber ist bei allen Anwendungsbranchen der Biotechnologie zwischen den Jahren 2000 und 2010 ein Anstieg der von dieser Technik tangierten Arbeitsplätze zu erwarten (Abbildung 4). Dies gilt insbesondere für die Pharmaindustrie, bei der sich bei „mittlerer“ Ausbreitung der Biotechnologie die davon betroffenen Beschäftigtenzahlen zwischen diesen beiden Jahren auf etwa 63.600 Personen mehr als verdoppeln können. Eine zunehmende Zahl von Arbeitsplätzen in der Lebensmittelindustrie wird ebenfalls durch die

Biotechnologie beeinflusst, insbesondere in vorgelagerten Wirtschaftszweigen (Abbildung 4). Demgegenüber fällt der Beschäftigungsanstieg bei der (Fein)Chemie und der Umweltbiotechnik vergleichsweise gering aus (Abbildung 4). Für die Landwirtschaft wurde eine Aufhebung des Quasi-Moratoriums für gentechnisch veränderte Organismen in der EU und ein Anbau solcher Pflanzen auch in Deutschland unterstellt, was dazu führt, dass etwa 178.000 Personen mit der Biotechnologie im Jahr 2010 beschäftigt sein können (Abbildung 4).

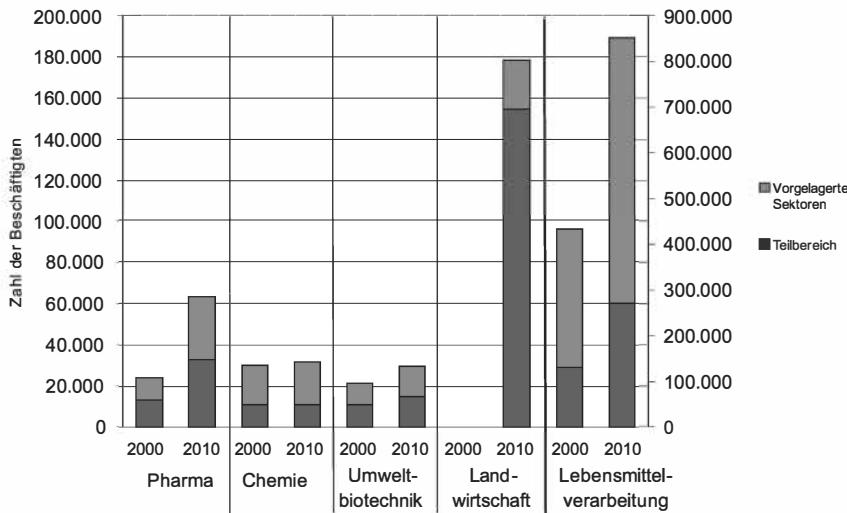


Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 3: Entwicklung der Zahl der Beschäftigten in direkt von der Biotechnologie betroffenen Bereichen bis 2010 im „Trendszenario“

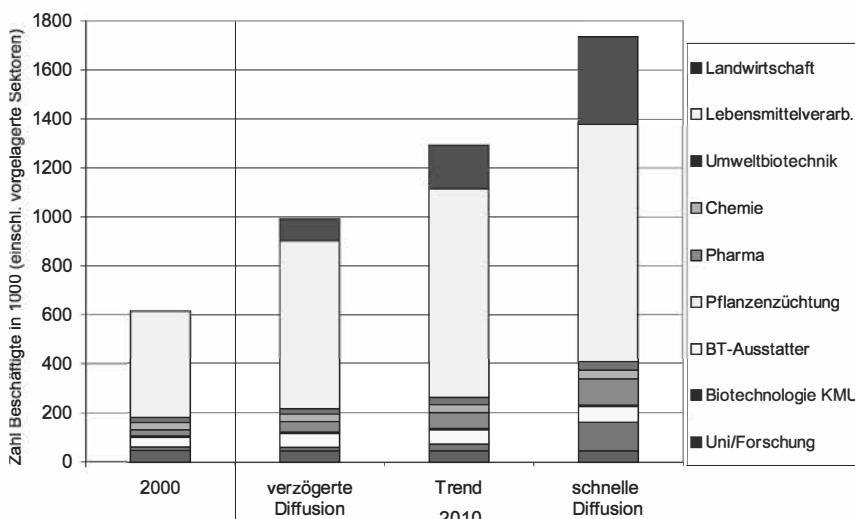
Das Ausmaß der Beschäftigungseffekte der Biotechnologie bis zum Jahr 2010 wird im wesentlich von der Diffusionsgeschwindigkeit in zusätzliche Anwendungsfelder<sup>13</sup> bestimmt. Dies wird in Abbildung 5 verdeutlicht, denn bei einer verzögerten Diffusion der Biotechnologie sind am Ende des Jahrzehnts insgesamt etwa 990.000 Arbeitsplätze von dieser Technik tangiert, wohingegen bei einer schnellen Ausbreitung der Biotechnologie mehr als 1,7 Millionen Beschäftigte davon betroffen sind. In absoluten Zahlen stark unterschiedliche Beschäftigungswirkungen entfaltet die Biotechnologie insbesondere in der Lebensmittelindustrie, der Pharmabranche sowie der Landwirtschaft (Abbildung 5). Somit wird die Adoptionsfähigkeit der betroffenen Unternehmen, also die verstärkte Nutzung der Biotechnologie für weitere Produkte und Prozesse, zum entscheidenden Faktor für eine weitere Ausbreitung

<sup>13</sup> Dabei werden die direkten und Anwendereffekte der Biotechnologie sowie die Wirkungen in den vorgelagerten Sektoren berücksichtigt.



Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 4: Entwicklung der Zahl der Beschäftigten in Anwenderbranchen der Biotechnologie bis 2010 im „Trendszenario“



Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 5: Einfluss einer unterschiedlichen Ausbreitung der Biotechnologie auf die Beschäftigung bis 2010

Schmollers Jahrbuch 126 (2006) 1

neuer biotechnischer Methoden, Verfahren und Produkte. Die bereits beträchtlichen Ausstrahlereffekte der Biotechnologie in ganz unterschiedliche Wirtschaftszweige zeigen, dass sich diese Technologie als eine wichtige Schlüsseltechnologie mit ausgeprägtem Querschnittscharakter etabliert hat.

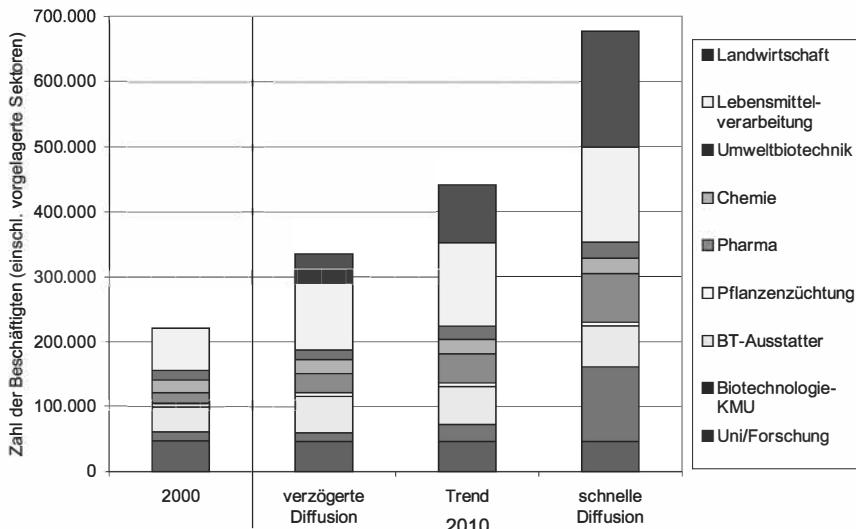
Bei der Abschätzung der künftigen Gesamteffekte der Biotechnologie auf die Beschäftigung ist in den drei Szenarien zu berücksichtigen, dass die betroffenen Arbeitsplätze unterschiedlich stark von der Biotechnologie betroffen werden, weshalb eine Aufteilung in zwei Cluster vorgenommen wurde.

Im Cluster „*hohe Bedeutung der Biotechnologie*“ steigt die Anzahl der Arbeitsplätze von knapp 220.000 im Jahr 2000 – je nach Diffusionsentwicklung der Biotechnologie und Annahmen zur Begrenzung des Akademikerangebots – auf gut 330.000 bis etwa 677.000 Beschäftigte im Jahr 2010 an (Abbildung 6). Damit können im Jahr 2010 maximal etwa 1,7 % aller Erwerbstätigen in Deutschland als von der Biotechnologie beeinflusst bezeichnet werden<sup>14</sup>. Zusätzlich weist die Biotechnologie Ausstrahlereffekte auf weitere Arbeitsplätze aus. Die Obergrenze der hierdurch tangierten Arbeitsplätze wird durch das Cluster „*geringe Bedeutung der Biotechnologie*“ erfasst. Insbesondere der Sektor Lebensmittelverarbeitung und die ihm vorgelagerten Industrien schlagen hier zu Buche. Insgesamt ist auch in diesem Cluster eine erhebliche Zunahme der Arbeitsplätze zu erwarten. So steigt die Anzahl der hier bilanzierten Arbeitsplätze von 393.000 im Jahr 2000 (Menrad et al. 2003a, 122) auf – je nach Szenario – etwa 657.000 bis gut 1,05 Millionen im Jahr 2010 an.

Die Simulationsrechnungen zeigen, dass das Angebot an Hochschulabsolventen (Kultusministerkonferenz 2001a; Kultusministerkonferenz 2001b) bis zum Jahr 2010 nicht unmittelbar begrenzend auf die Nutzung der Biotechnologie in den relevanten Bereichen in der pharmazeutischen und chemischen Industrie, Umweltbiotechnik, Lebensmittelverarbeitung und Landwirtschaft wirkt. Dagegen wird die Entwicklung in den direkt von der Biotechnologie betroffenen Bereichen teilweise erheblich vom verfügbaren Angebot an Hochschulabsolventen begrenzt. Dies gilt vor allem für die spezialisierten Biotechnologieunternehmen und BT-Ausstatter (Abbildung 7).

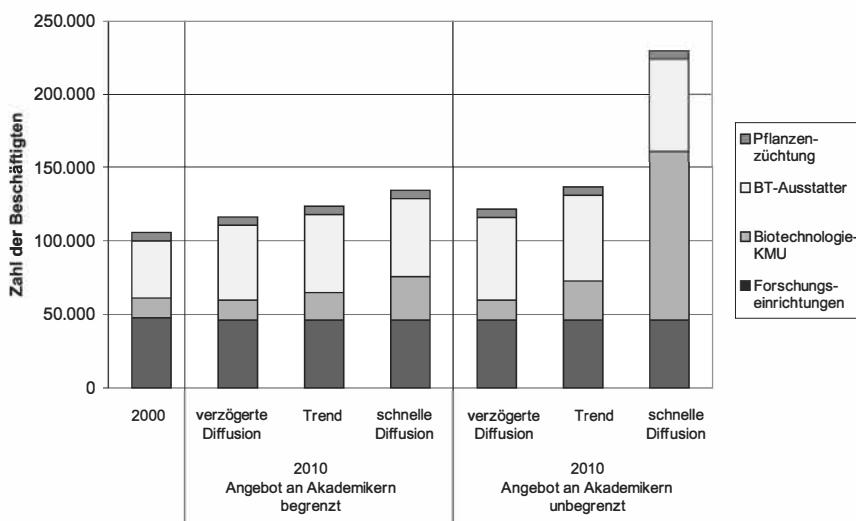
Die Entwicklung bei den Absolventen naturwissenschaftlicher Studiengänge ist dabei weniger der restriktive Faktor, obwohl solche Beschäftigten in der Biotechnologie natürlich eine wichtige Rolle spielen. Allerdings deuten die Absolventenprognosen auch in mittelfristiger Perspektive auf keine eklatanten Engpässe hin, was jedoch nicht bedeutet, dass einzelne Spezialisten nicht dennoch fehlen können. Und hier haben dann die größeren Unternehmen – die sich in erster Linie in den Anwendungsbranchen finden – Vorteile, wenn es um die Konkurrenz um die hochqualifizierten Spezialisten geht, denn neben

<sup>14</sup> Diese Schätzung basiert auf einer Prognose des IAB (Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung), wonach die Gesamtzahl der Erwerbstätigen bis 2010 leicht ansteigen wird (Lutz et al. 2002, 460).



Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 6: Entwicklung der Beschäftigung bis 2010 in Bereichen, in denen Biotechnologie eine hohe Bedeutung für Wettbewerbsfähigkeit der Arbeitsplätze hat



Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 7: Einfluss eines unterschiedlichen Angebots an Hochschulabsolventen auf die direkten Beschäftigungswirkungen der Biotechnologie bis 2010

höheren Löhnen und größerer Sicherheit des Arbeitsplatzes können sie auch bessere Aufstiegschancen bieten. Das Ergebnis, dass sich gerade in den von kleinen und mittelgroßen Unternehmen geprägten Kernbranchen Engpässe negativ auf das gesamte Beschäftigungswachstum auswirken, entspricht von daher den Erwartungen. Wesentlich entscheidender – und hier sind Anwender wie Kernbranchen betroffen – werden sich Engpässe bei Ingenieuren auswirken, zumal erwartet werden kann, dass mit der breiten Diffusion und erweiterten Anwendungsbereichen der Bedarf an ingenieurwissenschaftlich ausgebildetem Personal auch in den Biotechnologiebranchen ansteigen wird. Hier gibt der erwartete allgemeine Mangel an Ingenieuren in der gesamten Industrie und den technischen Dienstleistungen (Grupp et al. 2003, 26 ff.) in der nahen Zukunft keinen Anlass zur Hoffnung.

## Diskussion

Obwohl der verwendete Untersuchungsansatz methodisch und in seiner Differenziertheit über die bisher durchgeführten Untersuchungen hinausgeht, stößt er jedoch auch an Grenzen. Grundsätzlich ist die Datenverfügbarkeit für den Bereich der Biotechnologie, einschließlich der Beschäftigungssituation eingeschränkt, wenn auch in den vergangenen Jahren Anstrengungen von Seiten des Statistischen Bundesamtes (Statistisches Bundesamt 2002) sowie der OECD (OECD 2001) unternommen wurden, diesen Umstand zu verbessern. Deshalb musste die Auswahl der durch die Biotechnologie in den verschiedenen Sektoren beeinflussten Teilbereiche nach einem einheitlichen Vorgehen durchgeführt werden, das man als „Kontaminationsprinzip“ zusammenfassen kann. Dieses Prinzip bedeutet, dass ausgehend von der Klassifikation der Produktionsstatistik solche Bereiche ausgewählt wurden, die biotechnologische Produkte enthalten bzw. die von der Biotechnologie mitbestimmt werden. Es konnte empirisch allerdings nicht ermittelt werden, zu welchen Anteilen die betroffenen Bereiche tatsächlich biotechnische Produkte, Verfahren oder Methoden einsetzen (z. B. zu welchen Prozentsätzen bei der Käseherstellung Chymosin, das mit Hilfe gentechnisch veränderten Mikroorganismen produziert wird, verwendet wird, oder Chymosin, das ohne Verwendung biotechnischer Verfahren gewonnen wird). Auf Basis dieses qualitativen Ansatzes wurden die von der Biotechnologie beeinflussten Wirtschaftszweige identifiziert. Die Grenzen der vorliegenden statistischen Daten haben zur Folge, dass eine exakte Quantifizierung der innerhalb der „kontaminierten“ Bereiche mit Biotechnologie befassten Arbeitnehmer nicht möglich ist.

Während das vorhandene Absolventenangebot an Akademikern nach Fachbereichsgruppen differenziert werden konnte, sind verlässliche Angaben über die Anzahl der zu erwartenden Absolventen im Bereich technischer Berufe (BTA, MTA, CTA) nicht vorhanden. Hier könnten jedoch die Engpässe vorlie-

gen – und dies nicht nur bei schneller Diffusion –, die für die Akademiker im Bereich Biotechnologie noch nicht festgestellt werden konnten und die letztlich aber ein Wachstumshemmnis für die ganze Branche darstellen könnten, weil diese Tätigkeiten kaum durch anderweitig qualifizierte Personen durchgeführt werden können. Dasselbe Datenproblem gilt auch für die Gruppe der Arbeiter. Denn Angaben für den „Biotechnologie“-Arbeiter in Analogie zum Chemiearbeiter existieren (noch) nicht.

Ferner sind die Hochschulabsolventen nur eine Quelle für neue Arbeitskräfte im Bereich der Biotechnologie. Eine weiteres Potenzial für neues Humankapital in der Biotechnologie kann durch entsprechende Weiterqualifizierungen der bereits Beschäftigten erschlossen werden, die in den Bereichen tätig sind, die sukzessive von der Biotechnologie durchdrungen werden. Es können im Rahmen dieses Ansatzes aber weder Aussagen über die Anforderungen noch über die Potenziale zur Weiterbildung gemacht werden, obwohl aufgrund des demographischen Wandels die Weiterbildung der bereits in den relevanten Bereichen Beschäftigten im Vergleich zum Eintritt von Hochschulabsolventen eine größere Bedeutung haben wird. Dies gilt insbesondere für zahlreiche Arbeitsplätze in den Anwendungsbranchen, denn selbst bei verzögerter Diffusion werden die biotechnologischen Prozesse und Verfahren größere Anteile der Tätigkeiten umfassen und diese Neuorientierung ist durch Neueinstellungen organisatorisch vermutlich nicht zu bewerkstelligen. Der Weiterbildungsbedarf wird an dieser Stelle also besonders deutlich hervortreten. Auch wird die Möglichkeit des Abzugs von Arbeitskräften aus nicht von der Biotechnologie betroffenen Wirtschaftsbereichen in dem Ansatz aufgrund fehlender empirischer Daten nicht berücksichtigt.

Der Prognosezeitraum ist mit zehn Jahren bewusst nicht sehr weit gewählt, weil die aktuelle hohe technologische Dynamik, die noch sehr stochastische Marktentwicklung und insbesondere schnelle und drastische Änderungen der Rahmenbedingungen für die Entwicklung der Biotechnologie (wie z. B. der in den letzten Jahren zu beobachtende „Crash“ für Technologieaktien an den Finanzmärkten) eine seriöse längerfristige wissenschaftliche Prognose zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht zulassen, sondern erst dann, wenn eine gewisse Konsolidierung der technischen Entwicklungspfade und der Marktstrukturen eingesetzt hat.

Bei der Konstruktion der verschiedenen Szenarien wurde nicht auf harte quantifizierbare Indikatoren für die Differenzierung der Rahmenbedingungen zurückgegriffen, sondern es wurde qualitativ danach unterschieden, ob sich die Bedingungen für die Angebots- und Nachfrageseite günstig oder eher weniger günstig entwickeln. Für die Berechnung der Zukunftsszenarien wurde ein relativ einfaches Modell, das den Beschäftigtenstand simuliert, genutzt. Als Restriktion für die Angebotsseite wurden dabei die erwarteten Absolventenzahlen im Hochschulbereich quantitativ in das Prognosemodell integriert. Aufgrund einer fehlenden Datenbasis konnten die in Zukunft erwarteten Ab-

solventen anderer Ausbildungsgänge oder der Wechsel bereits beschäftigter Arbeitnehmer zwischen den verschiedenen Bereichen nicht simuliert werden. Schließlich wird auch der Einfluss des Auslands auf Angebot und Nachfrage von Beschäftigten im Bereich der Biotechnologie konstant gehalten, was uns allerdings als eine gerechtfertigte Annahme angesichts des limitierten Prognosezeitraums (und der auf EU-Ebene entstehenden Harmonisierungen) erscheint. In längerfristigen Prognosen müssten die Entwicklungen im Ausland entsprechend mitberücksichtigt bzw. mitmodelliert werden ebenso wie die Relationen zu anderen Sektoren im Inland, die im angewandten Modell vernachlässigt wurden.

### **Empfehlungen**

Wie die Ergebnisse der Simulationsrechnungen bis zum Jahr 2010 zeigen, hängt die Anzahl der von Biotechnologie betroffenen Arbeitsplätze entscheidend von der tatsächlichen Durchdringungsgeschwindigkeit der Biotechnologie ab. Da sich die Nutzung der Biotechnologie in den verschiedenen Sektoren gleichzeitig wettbewerbssichernd auswirkt, ist diese Durchdringungsgeschwindigkeit ein Ansatzpunkt sowohl für politische Maßnahmen als auch für Aktivitäten der Unternehmen. Ziel sollte dabei die Identifizierung und der Abbau von Diffusionshemmnissen sein. Ein entscheidender Faktor ist in diesem Zusammenhang die Adsorptionsfähigkeit der Unternehmen für neues biotechnologisches Wissen, Methoden, Verfahren und Produkte. Diese hängt eng mit dem Qualifikationsprofil der Beschäftigten zusammen. Das erforderliche biotechnologische Know-how bzw. das entsprechend qualifizierte Humankapital muss in vielen Fällen erst aufgebaut werden. Die Adsorptionsfähigkeit hängt weiterhin vom Investitionsverhalten der Unternehmen ab. Anlageninvestitionen in etablierte Technologien „stabilisieren“ die bewährten Produktionskonzepte und vermindern somit die Anreize in neue Bioprozesstechnik zu investieren. Schließlich wirken sich auch organisatorische Aspekte auf die Adsorptionsfähigkeit aus. Biotechnologie erfordert kleinere flexiblere Arbeitseinheiten, die von interdisziplinären Teams gebildet werden. Starre und größere Organisationsstrukturen – wie sie für viele der Anwendungsindustrien der Biotechnologie typisch sind – sind für biotechnologisches Arbeiten weniger geeignet.

Während bis zum Jahr 2010 auch bei schneller Diffusion keine generelle Akademikerknappheit das Wachstum der von Biotechnologie betroffenen Branchen begrenzen wird, kann nicht übersehen werden, dass in bestimmten Nischen, wie z. B. bei Bioinformatikern, seit längerem Engpässe existieren und dass vor allem bei entsprechend spezialisierten Naturwissenschaftlern und Ingenieuren zunehmend Knappheiten auftreten werden. Auch wird von Unternehmensseite häufig die Nichtverfügbarkeit von kompetenten Managern für Biotechnologieunternehmen beklagt. Der im Rahmen dieses Projektes nicht

untersuchte Arbeitsmarkt für technisches Personal stellt wohl in Zukunft eine weitere Restriktion dar, auch wenn hierzu bisher keine belastbaren Aussagen vorliegen.

Das Angebot an Akademikern kann nur durch eine Erhöhung der Studienanfänger- und Absolventenquoten bzw. kurzfristig durch eine Verkürzung der Studiendauer ausgeweitet werden. Da dies Maßnahmen sind, die relativ schnell an Grenzen stoßen, muss ein stärkeres Gewicht auf die Umqualifizierung der Beschäftigten in den Bereichen gelegt werden, die in Zukunft von der Biotechnologie durchdrungen werden. Hierfür sind entsprechende Weiterbildungsmöglichkeiten einzurichten, die von den Unternehmen rechtzeitig genutzt werden sollten, damit die Wettbewerbsfähigkeit und die Arbeitplätze der betroffenen Unternehmen und Branchen erhalten bleiben. Gleichzeitig werden dadurch die Adsorptionsmöglichkeiten für die Einführung biotechnologischer Verfahren in den Anwendungsbereichen erhöht und eventuelle Widerstände gegenüber den notwendigen Veränderungen bei den betroffenen Beschäftigten vermindert.

Die erwartete verstärkte Nutzung der Biotechnologie in verschiedenen Anwendungsfeldern kann durch den mittelfristig (ab 2010) weiter ansteigenden generellen Ersatzbedarf für Ingenieure beeinträchtigt werden. Dies gilt insbesondere, da die Biotechnologie in ein „reiferes“ Entwicklungsstadium gekommen ist, das zunehmend eine Ergänzung der forschungs- und entwicklungsorientierten Arbeiten durch prozesstechnische Arbeiten erfordert, wofür entsprechendes Ingenieurswissen benötigt wird. Dieser Trend impliziert ebenso einen steigenden Bedarf an technischen Berufen für die Biotechnologie. Daher gilt es an dieser Stelle – wie bei anderen Fachbereichen auch – die Curricula rechtzeitig auf sich wandelnde Anforderungen einzustellen. Hier haben die Hochschulen zwar eine Holschuld, die sie dann auch durch eine entsprechend flexible Umsetzung dokumentieren müssen. Gleichzeitig haben die Unternehmen eine Bringschuld, indem sie die Anforderungen rechtzeitig und klar formulieren und an die Hochschulen herantragen müssen.

## Literatur

Arundel, A. (2001): Agricultural Biotechnology the European Union: Alternative Technologies and Economic Outcomes, *Technology Analysis & Strategic Management* 13, 2, 265 – 279.

Becher, G. / Schuppenhauer, M. (1996): Kommerzielle Biotechnologie – Umsatz und Arbeitsplätze 1996 – 2000, Basel.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.) (2000): Bericht des Fachdialogs „Beschäftigungspotenziale im Bereich Bio- und Gentechnologie“ im Rahmen des Bündnisses für Arbeit, Ausbildung und Wettbewerbsfähigkeit, Bonn.

*Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter e.V. (BDP) (2002): Pflanzenzüchtung in Deutschland, Bonn.*

*Coss, S. (1998): EU-Ministers debate EU-wide Moratorium on GM Crops, European Voice of December 17<sup>th</sup>, 1998.*

*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>.*

*Ernst & Young (1998): Erster deutscher Biotechnologie-Report – Aufbruchstimmung, Mannheim.*

*Ernst & Young (2000): Gründerzeit. Zweiter Deutscher Biotechnologie-Report, Stuttgart.*

*Ernst & Young (2002): Neue Chancen. Deutscher Biotechnologie-Report 2002, Mannheim.*

*Frietsch, R. / Grupp, H. (2002): Technologische Leistungsfähigkeit Deutschlands auf dem Gebiet der Optischen Technologie. Abschlussbericht an das VDI-Technologiezentrum, Düsseldorf, Im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Karlsruhe.*

*Ghislaba, O. / Vogel, H. (1990): Früherkennungsstudie zur Biotechnologie: Teil 2: Die Biotechnologie als Schlüsseltechnologie (Perspektiven und Prognosen), Bern.*

*Grupp, H. / Legler, H. / Gehrke, B. / Breitschopf, B. (2003): Zur Technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands 2002, Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.), Bonn.*

*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.*

*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.*

*Klemm, K. (2001): Perspektive Akademikermangel – Eine Studie zur Entwicklung auf dem akademischen Arbeitsmarkt bis 2010, <http://www.gew.de/24.gt/index.html>.*

*Kultusministerkonferenz (2001a): Fächerspezifische Prognose der deutschen Hochschulabsolventen bis 2010, Statistische Veröffentlichungen der Kultusministerkonferenz, Bd. 156.*

*Kultusministerkonferenz (2001b): Prognose der Studienanfänger, Studierenden und Hochschulabsolventen bis 2015, Statistische Veröffentlichungen der Kultusministerkonferenz, Bd. 154.*

*Lutz, C. / Meyer, B. / Schnur, P. / Zika, G. (2002): Projektion des Arbeitskräftebedarfs bis 2015. Modellrechnungen auf der Basis des IAB/INFORGE-Modells, Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung 35 (3), Stuttgart, 305 – 326.*

*Menrad, K. et al. (2003a): Beschäftigungspotenziale in der Biotechnologie, Stuttgart.*

*Menrad, K. / Gaißer, S. / Hüsing, B. / Menrad, M.* (2003b): Gentechnik in der Landwirtschaft, Pflanzenzucht und Lebensmittelproduktion – Stand und Perspektiven, Heidelberg.

*Menrad, K. / Kulicke, M. / Lohner, M. / Reiss, T.* (1999): Probleme junger, kleiner und mittelständischer Biotechnologieunternehmen, Stuttgart.

*Mietzsch, A.* (1997): Biotechnologie: Jahr- und Adressbuch 1998, Berlin.

*Mietzsch, A.* (1999): Biotechnologie: Jahr- und Adressbuch 2000, Berlin.

*Mietzsch, A.* (2001): Biotechnologie: Jahr- und Adressbuch 2001, Berlin.

*Mietzsch, A.* (2002): Biotechnologie: Jahr- und Adressbuch 2002, Berlin.

*Momma, S. / Sharp, M.* (1999): Developments in New Biotechnology Firms in Germany, Technovation 19, 267 – 282.

*Nelson, R. R.* (1988): Institutions Supporting Technical Change in the United States, in; Dosi, G. / Freeman, C. / Nelson, R. R. / Silverberg, G. / Soete, L.: Technical Change and Economic Theory, London, 312 – 329.

*OECD* (2001): Statistical Definition of Biotechnology, [http://www.oecd.org/oecd/pages/document/print\\_template/0,3371,EN-document-27-nodirectorate-no-1-31006-27,00.html](http://www.oecd.org/oecd/pages/document/print_template/0,3371,EN-document-27-nodirectorate-no-1-31006-27,00.html). Paris: OECD.

*Schmoch, U.* (2003): Hochschulforschung und Industrieforschung. Perspektiven und Interaktion, Frankfurt am Main.

*Schmoch, U. / Licht, G. / Reinhard, M.* (Hrsg.) (2000): Wissens- und Technologietransfer in Deutschland, Stuttgart.

*Statistisches Bundesamt* (2002): Unternehmen der Biotechnologie in Deutschland. Ergebnisse einer Pilotstudie für das Jahr 2000, Wiesbaden.

*Streck, W. R. / Pieper, B.* (1997): Die biotechnische Industrie in Deutschland: Eine Branche im Aufbruch, München.

*VDI-Technologiezentrum* (2000): Optische Technologien „made in Germany“, Düsseldorf.

*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.

*Wörner, S. / Reiss, T. / Menrad, K. / Menrad, M.* (2000): European Biotechnology Innovation Systems (EBIS), Case Study Germany, Karlsruhe.