Zukünftige wirtschaftliche Effekte der Biotechnologie:

Fallstudien für Bioethanol, Biopolymere, Biopharmazeutika und biotechnologische Fein-/Spezialchemikalien

Sven Wydra

Zusammenfassung:

Der Biotechnologie werden häufig große wirtschaftliche Potenziale zugesprochen. Bislang liegen allerdings nur eingeschränkte Erkenntnisse über die Auswirkungen der Biotechnologie in den verschiedensten Anwendungsfeldern vor. Hier setzt die vorliegende Studie an und untersucht das wirtschaftliche Potenzial der Biotechnologie in mehreren Anwendungsfeldern. Dabei werden nicht nur direkte Effekte in den Anwendungsfeldern, sondern auch indirekte Folgewirkungen (z.B. durch Kostenveränderungen) für die Gesamtwirtschaft mit einem Zukunftshorizont bis zum Jahr 2020 diskutiert. Um dem Querschnittscharakter der Biotechnologie gerecht zu werden, werden die heterogenen Felder Bioethanol, Biopolymere, biotechnologisch hergestellte Fein-/Spezialchemikalien und Biopharmazeutika betrachtet. Dies erfolgt auf der Basis einer Vielzahl von Expertengesprächen in Verbindungen mit bestehenden Studien. Die Ergebnisse zeigen, dass in allen Anwendungsfeldern eine duetliche zunehmende Bedeutung der Biotechnologie erwartet wird, die Auswirkungen der Biotechnologie aber sehr anwendungsfeldspezifisch sind. Daneben sind unterschiedliche Faktoren für die erfolgreiche Anwendung und Realisierung wirtschaftlicher Potenziale entscheidend.

Inhaltsverzeichnis

1 Ausgangssituation 4

2 Vorgehensweise 6

3 Anwendungsfelder der Biotechnologie 8

3.1 Bioethanol 8

3.1.1 Aktuelles Marktpotenzial und Perspektive bis 2020 8

3.1.2 Internationaler Wettbewerb 10

3.1.3 Herstellungskosten 11

3.1.4 Fazit für die wirtschaftlichen Auswirkungen 14

3.2 Biopolymere 15

3.2.1 Aktuelles Marktpotenzial und Perspektive bis 2020 15

3.2.2 Internationaler Wettbewerb und Außenhandel 17

3.2.3 Herstellungskosten 18

3.2.4 Fazit für die wirtschaftlichen Auswirkungen 21

3.3 Fein-/Spezialchemikalien 22

3.3.1 Aktuelles Marktpotenzial und Perspektive bis 2020 22

3.3.2 Internationaler Wettbewerb und Außenhandel 23

3.3.3 Bedeutung der Biotechnologie für Produktinnovationen 24

3.3.4 Herstellungskosten 25

3.3.5 Fazit für die wirtschaftlichen Auswirkungen 27

3.4 Biopharmazeutika 28

3.4.1 Aktuelles Marktpotenzial und Perspektive bis 2020 28

3.4.2 Internationaler Wettbewerb und Außenhandel 32

3.4.3 Bedeutung der Biotechnologie für Produktinnovationen 33

3.4.4 F&E und Herstellungsprozess 35

3.4.5 Fazit für die wirtschaftlichen Auswirkungen 39

4 Schlussfolgerungen 39

Literaturverzeichnis 41

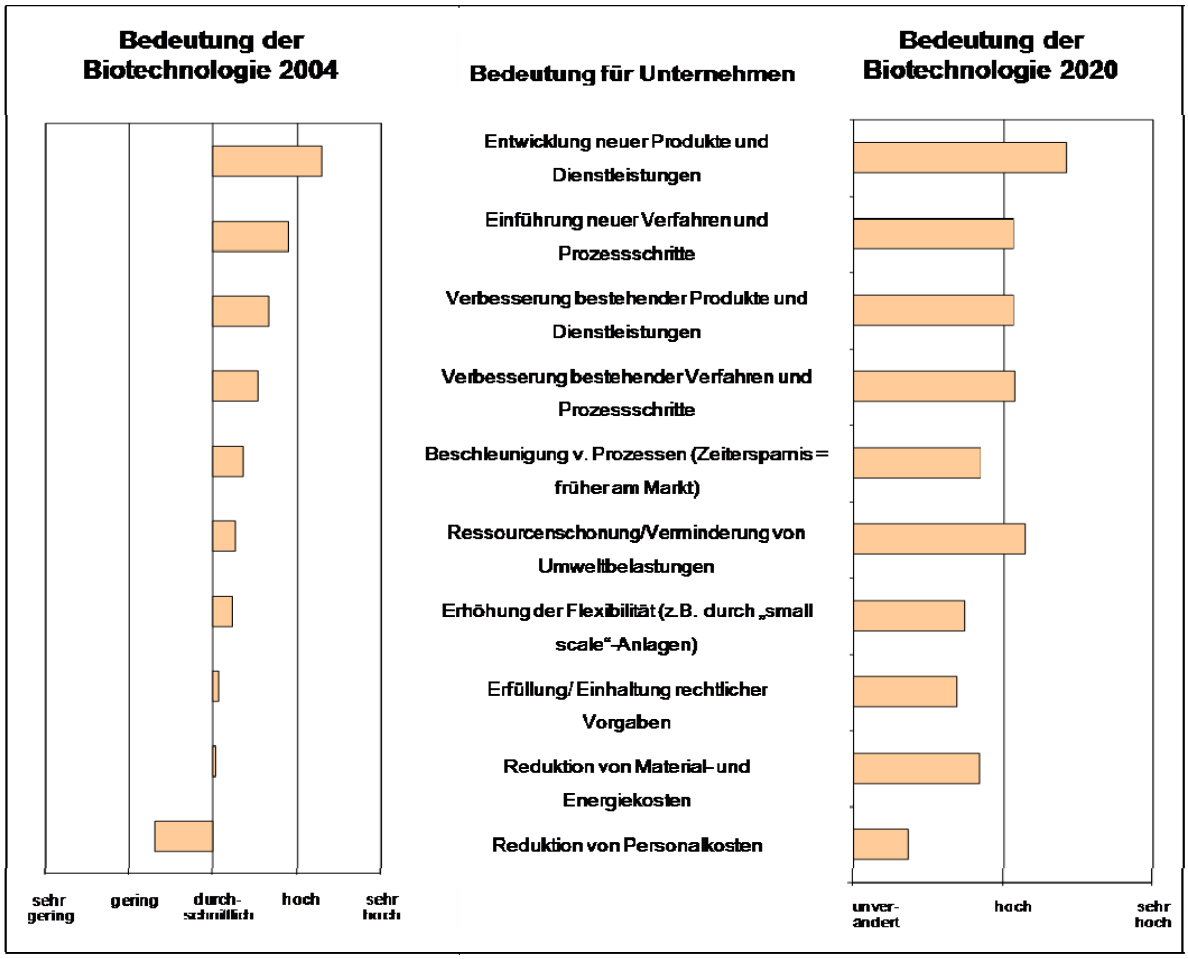
Anhang 49

1 Ausgangssituation

Die Biotechnologie wird häufig als eine sehr bedeutende Technologie des 21. Jahrhunderts angesehen, die ein hohes Potenzial für die Entwicklung neuer oder verbesserter Prozesse, Produkte und Dienstleistungen hat. Sie spielt als Spitzen- und Querschnittstechnologie in mehreren Anwenderbranchen (u.a. Landwirtschaft, Lebensmittel, Pharmazie, Umwelttechnik, Chemie) eine wichtige Rolle im Innovations- und Wachstumsprozess. In einer Vielzahl von Ländern werden deshalb erhebliche öffentliche und private Investitionen in die Biotechnologie getätigt, in der Erwartung, neben positiven Effekten für Gesundheit und Umwelt auch wirtschaftliche Erfolge zu erzielen.

Die wirtschaftliche Bedeutung und Auswirkungen der Biotechnologie spiegelt sich dabei nur zu einem Teil in den häufig untersuchten direkten Umsatz- und Beschäftigungszahlen der kleinen und mittelständischen Biotechnologieunternehmen, die biotechnologische Methoden, Prozesse, Produkte oder Dienstleistungen bereitstellen, wider. Vielmehr ist ein bedeutender Einfluss eher in den verschiedensten Anwendersektoren, in denen vor allem die Ergebnisse der biotechnologischen Forschung eingehen, zu erwarten. Die wirtschaftlichen Vorteile und Motive beim Einsatz der Biotechnologie können sehr unterschiedlicher Art sein (vgl. Abbildung 1) und sich zwischen einzelnen Anwendersektoren unterscheiden. Insgesamt wird erwartet, dass die mit der Biotechnologie verbundenen Vorteile in Zukunft weiter deutlich zunehmen.

Abbildung 1: Wirtschaftliche Potenziale der Biotechnologie aus Sicht der Unternehmen



Quelle: Fraunhofer ISI 2006 (n = 72 Teilnehmer)

Die in Abbildung 1 dargestellten vielseitigen möglichen Vorteile der Biotechnologie implizieren aber auch, dass für die Analyse der gesamtwirtschaftlichen Bedeutung und Effekte der Biotechnologie eine differenzierte und anwendungsspezifische Betrachtung notwendig ist. Eine solche Untersuchung steht im Mittelpunkt der folgenden Studie. Hierbei sind besonders die Folgewirkungen auf Produktion und Beschäftigung in Deutschland von Interesse und es ergeben sich folgende Teilfragen:

- Auf welche Art und Weise (z.B. Kostensenkungspotenzial, neue Produkte) wirkt sich die Biotechnologie auf die Gesamtwirtschaft aus?
- Inwiefern ergeben sich Unterschiede bei der Wirkungsweise zwischen verschiedenen Anwendungsfeldern?
- Unter welchen Bedingungen sind hohe positive gesamtwirtschaftliche Impulse auf Produktion und Beschäftigung durch die Biotechnologie zu erwarten?

Die Betrachtung ist dabei vor allem auf die Zukunft gerichtet mit einem Zeithorizont bis zum Jahr 2020. Schließlich ist die Analyse der Effekte einer neuen Technologie für die Beurteilung ihrer Potenziale dann sinnvoll, wenn sie einen gewissen Diffusions- und Reifegrad erreicht hat. Während in einigen Anwendungsfeldern (z.B. Pharma) eine Diffusion der Biotechnologie zumindest teilweise bereits stattgefunden hat, ist dies für andere Felder (z.B. Polymere) erst zu erwarten.

2 Vorgehensweise

Für die Analyse sind zunächst die zu betrachtenden Anwendungsfelder der Biotechnologie auszuwählen. Um dem Querschnittscharakter der Biotechnologie Rechnung zu tragen, werden für die Untersuchung vier heterogene Anwendungsfelder der Biotechnologie gewählt. Diese unterscheiden sich dabei in ihrer vorrangigen Art der Innovation (Produkt- vs. Prozessinnovation), den Aktivitäten, bei denen Biotechnologie eingesetzt wird (z.B. F&E), Interaktion mit dem Landwirtschaftssektor (Biomasse-Bedarf), Entwicklungsstadium, Rahmenbedingungen und Produktmengen. Sie sind alle von hoher wirtschaftlicher Bedeutung, d.h. die betrachteten Techniken und Produkte stellen keine Nischen dar. In Tabelle 1 sind die ausgewählten Anwendungsfelder dargestellt und kurz charakterisiert..

Tabelle 1: Ausgewählte Anwendungsfelder der Biotechnologie

Bezeichnung	**Anwender-sektor**	**Biotechnologische (Haupt-)aktivitäten**	**Hypothesen zum Einfluss der Biotechnologie**
Bioethanol	Kraftstoff	Anwendung zur Produktion	frühe Diffusionsphase, Prozessinnovation, hoher Biomasse Bedarf (pro t)
Biopolymere	Chemie	Anwendung zur Produktion	sehr frühe Diffusionsphase, eher Prozessinnovation, hoher Biomasse-Bedarf (pro t)
Biotechnologische Fein-/ Spezial-chemikalien.	Chemie	F&E (teilweise) + Anwendung zur Produktion	mittlere Diffusionsphase, Prozess/Produktinnovation, geringer Biomasse-Bedarf (pro t),
Biopharmazeutika	Pharma	F&E + Anwendung zur Produktion	frühe/mittlere Diffusionsphase, Produktinnovation, kein Biomassebedarf,

Quelle: Eigene Darstellung

Aufgrund dieser beschriebenen Charakteristika der vier Anwendungsfelder sind unterschiedliche wirtschaftliche Wirkungsmechanismen und Folgen beim Einsatz der

Biotechnologie zu erwarten. Die Bestimmung von wirtschaftlichen Folgewirkungen neuer Technologien ist aber insgesamt sehr komplex, da eine Vielzahl von Wirkungsmechanismen den Zusammenhang zwischen Technologie und Produktion bzw. Beschäftigung beeinflusst. Die wichtigsten Effekte, die bei der Analyse der ökonomischen Wirkungen neuer Technologien, so auch für die Biotechnologie (BT), berücksichtigt werden sollten, sind dabei folgende (vgl. Hagemann 1985; Klauder 1986; Blattner 1996; Meyer-Krahmer 1999):

- **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 technische Wandel primär die Arbeitsproduktivität. Die Freisetzung von Arbeitskräften in den Anwenderbranchen (z. B. chemische Industrie, Lebensmittelindustrie) wäre in diesem Falle möglich.
- **Real-Einkommenseffekte:** Die durch effizientere Produktionsverfahren erreichten Kostenreduktionen können in Form geringerer Preise oder erhöhter Gewinn- bzw. Lohneinkommen zu sektoralen Nachfrageverschiebungen mit entsprechenden Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten führen.
- **Nachfrage nach Produktinnovationen:** Wenn durch neue BT-Prozesse/-Produkte 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 eingesetzten Prozesse und Produkte auf Basis neuer Technologien müssen erst hergestellt werden. Dadurch entstehen positive Beschäftigungseffekte bei den Herstellern von Investitionsgütern (Produktionsanlagen) und deren Vorlieferanten.
- **Internationale Wettbewerbsfähigkeit:** Durch den technischen Wandel verbessert sich die internationale Wettbewerbsfähigkeit entweder über die Preise oder neue Qualitäten – und auch hieraus lassen sich über eine erhöhte Exportnachfrage positive Wirkungen auf die inländische Produktion und Beschäftigung erwarten.
- **Struktureffekte:** Werden verstärkt Produktionsbereiche mit hohen Importanteilen begünstigt, kommt es tendenziell zu einem Abfluss der Nachfrage (u. a. nach Vorleistungs- und Investitionsgütern) ins Ausland mit negativen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten in Deutschland. Werden umgekehrt Produktionsbereiche begünstigt, die durch geringe Importanteile gekennzeichnet sind, kommt es zu einer Importsubstitution und damit einem Anstieg der Inlandsnachfrage.

Diese Argumente werden verdichtet für jedes Anwendungsfeld der Biotechnologie auf Basis von Literatur- und einer Vielzahl von Expertengesprächen (Tabelle 7) diskutiert. Insgesamt wurden knapp 40 Expertengespräche mit Fachleute aus Industrie und Wissensschaft für die

Anwendungsfelder Biopolymere, biotechnologische Fein-/Spezialchemikalien und Biopharmazeutika befragt, die Analyse für Bioethanol erfolgte anhand der umfangreichen existierenden Literatur.

Die folgende Analyse ist für die vier Anwendungsfelder (mit geringen Variationen) jeweils folgendermaßen aufgebaut.

- Einführung
- Marktpotenzial(-verbreitung) der Biotechnologie
- Bedeutung von Produktinnovationen
- Internationale Wettbewerbsfähigkeit
- Betrachtung der F&E- und Herstellungskosten

Eine wichtige Bedeutung kommt dabei der möglichen Verbreitung der Biotechnologie und deren Einflussfaktoren zu, da diese die Vorrausetzung für die Realisierung von Wachstums- und Beschäftigungspotenzialen sind.

3 Wirtschaftliche Effekte der Biotechnologie

3.1 Bioethanol

3.1.1 Aktuelles Marktpotenzial und Perspektive bis 2020

Die weltweite Produktion von Bioethanol hat sich vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2007 auf 28,6 Mio. Tonnen verdreifacht (OECD 2008a). Der Anteil an den Ottokraftstoffen beträgt mittlerweile energetisch ca. 2% (Walter et al. 2008). Weltweit sind Brasilien und die USA führend in der Ethanolherstellung (vgl. Tabelle 2). In Deutschland ist der Markt für Bioethanol bei Kraftstoffen durch staatliche Unterstützung 2004 entstanden und hat sich von wenigen Tonnen Produktion auf 226.000 t im Jahr 2005 und 461.000 t im Jahr 2007 erhöht (FNR 2008).

Tabelle 2: Weltweite Produktion von Bioethanol im Jahr 2007

Land	**in Mio. Liter**	**in Mio. Tonnen**
USA	26.500	14,55
Brasilien	19.000	10,44
Europäische Union (Deutschland)	2.253 (837)	1,24 (0,46)
China	1.840	1,01
Kanada	1.000	0,55
Indien	500	0,22
Sonstige Länder	1.017	0,56
Welt insgesamt	52.009	28,57

Quelle: OECD 2008a; FNR 2008

Diese deutliche Zunahme und auch die zukünftige Verbreitung von Bioethanol hängen entscheidend von politischen Maßnahmen ab, da eine Kostenwettbewerbsfähigkeit von Ethanol zu Ottokraftstoff in den meisten Ländern bislang nicht absehbar ist. Die Produktion von Bioethanol wird in zahlreichen Ländern mit verschiedenen Politikmaßnahmen (z.B. Steuerbefreiung, Quotenfestlegung, Importzölle) unterstützt (OECD 2008a). Argumente für die politische Unterstützung sind die Einschätzungen, dass Bioethanol eine sinnvolle ökologische Alternative zur fossilen Kraftstoffproduktion sowie eine Anbaualternative für den rückläufigen Flächenbedarf in der Nahrungsmittelproduktion ist und damit zusätzliche Einnahmequellen und Beschäftigungsmöglichkeiten in der Landwirtschaft bietet (Reiss et al. 2007; OECD 2008a).[1] Darüber hinaus tragen alternative Kraftstoffe zur Versorgungssicherheit im Verkehr bei. Seit Ende des Jahres 2005 zeigte sich aber zunehmende Kritik (z.B. OECD 2008b). Der Hauptgrund hierfür lag in der starken Zunahme der Nahrungsmittelpreise und -engpässe, die zum Teil auf die erhöhte konkurrierende Landnutzung für Biokraftstoffe zurückgeführt wird (OECD 2008b). Auch der klimapolitische Nutzen der Biokraftstoffe wird zunehmend in Frage gestellt (z.B. Searchinger et al. 2008).[2]

Infolge dieser Probleme wurden die Politikmaßnahmen und anvisierten Ziele in einigen Ländern reduziert oder abgeändert. Ende 2008 erfolgte zudem eine Abänderung der für die derzeitige Biokraftstoffpolitik maßgebliche EU-Richtlinie 2003/30/EG zur Förderung von Biokraftstoffen im Verkehrssektor (Euractiv 2008). Bislang galt eine sukzessive Steigerung

[1] Dabei ist davon auszugehen, dass ein Großteil der verbundenen Arbeitsplätze in ländlichen Regionen entsteht (OECD 2008a). Dies betrifft neben der Agrarwirtschaft auch die Weiterverarbeitung. Dieser aus regionaler Sichtweise bedeutende Punkt wird in der hier erfolgten Gesamtbetrachtung nicht weiter berücksichtigt.

[2] Klimapolitischer Schaden durch die Biokraftstoffe wird v.a. dann befürchtet, wenn die Agrarproduktion andernorts flächenmäßig ausgedehnt wird (z.B. Abholzung von Wäldern) oder auf vorhandenen Ackerflächen intensiviert wird (z.B. höherer Einsatz von Stickstoff). In diesem Falle werden vermehrt Kohlendioxid und Lachgas emittiert (OECD 2008a; WBA 2007).

des Mindestanteils von Biokraftstoffen an allen verkauften Kraftstoffen bis 10% des Heizwertes im Jahr 2020 als Ziel. Die Abänderung sieht vor, dass 4/10 dieses 10%-Zieles aus Biokraftstoffen, die nicht mit Nahrungsmittel konkurrieren (z.B. aus Lignocellulose oder auf Basis von Wasserstoff bzw. Elektroantrieben), erreicht werden muss. Auch in Deutschland wurden für die kommenden Jahre die Beimischungsziele reduziert (BMU 2008). Langfristig sollen der Beimischungsquote die eingesparten Treibhausgase zugrunde gelegt werden.

Die zukünftige Verbreitung von Bioethanol in Deutschland ist demnach offen. Wenn es zu einer Durchsetzung der EU-Beschlüsse kommt, ist mit einem deutlichen Anstieg der Bioethanolnachfrage zu rechnen. Wenn man annimmt, dass bis zum Jahr 2020 eine Beimischung von 6% erfolgen wird die zu gleichem Maße aus Ethanol und Biodiesel besteht, ergibt sich ungefähr eine Verdreifachung der Absatzmenge (vgl. Tabelle). Basis für die Abschätzung bildet dabei der prognostizierte Kraftstoffverbrauch des Mineralölverbands (MWV 2006).

Tabelle 3: Inländischer Verbrauch von Bioethanol für Kraftstoffe in Deutschland im Jahr 2020

	Bioethanol
Verbrauch im Jahr 2020 in Mio. t	1,53
Verbrauch im Jahr 2007 im in Mio. t	0,46
Differenz 2020-2007 in Mio t	1,07

Quelle: Eigene Berechnungen, FNR 2008

3.1.2 Internationaler Wettbewerb

Da es bei Bioethanol kaum qualitative Unterschiede gibt, ist im internationalen Wettbewerb besonders dessen Preis entscheidend. Durch die preiswerten Rohstoffe, niedrigen Lohn- und Investitionskosten sowie langjähriger Erfahrung ist die Produktion in Brasilien international am günstigsten. Die Gründe hierfür liegen besonders in den geringen Rohstoffkosten, die klimatischen Bedingungen ermöglichen die Nutzung von Zuckerrohr. Daneben werden hohe Skaleneffekte durch große Anbauflächen erreicht und die Arbeits- und Investitionskosten sind geringer als bspw. in Deutschland (Thrän et al. 2005). Der Unterschied bei den Herstellungskosten wird auf bis zu 0,43 €/l Benzin geschätzt (Meyer et al. 2007). Auch im Vergleich zu den USA oder den asiatischen Ländern hat die Herstellung in Deutschland Kostennachteile (z.B. Rohstoffkosten), allerdings in geringerem Ausmaß. Innerhalb der EU sind die Kostenunterschiede dagegen eher gering, meist wird vereinfachend von identischen Herstellungskosten ausgegangen (z.B. Thrän et al. 2005, Concawe 2006, OECD 2008a). Grundsätzlich implizieren diese Kostenunterschiede einen Anreiz für einen internationalen

Handel von Bioethanol (Henniges 2007). Für Brasilien wird daneben ein vergleichsweise großes Ausdehnungspotenzial beim Angebot von Bioethanol festgestellt (Henniges 2007) und die Regierung beabsichtigt einen Ausbau der Produktion und der Exportstellung Brasiliens auf dem Weltmarkt (OECD 2008a). Bisher ist der internationale Handel recht gering und beträgt 9% der weltweiten produzierten Ethanolmenge (OECD 2008a, S.17). Der Hauptgrund hierfür liegt in relativ hohen Importzöllen[3] und beschränkenden Importkontingenten in vielen Ländern, über deren Abbau noch keine Einigung erzielt wurde (Meyer et al. 2007).[4] Für die zukünftige inländische Produktion und der deutschen Außenhandelsbilanz bei Bioethanol ist folglich die Entwicklung der Importzölle entscheidend sowie die Bestrebungen anderer Länder, die Produktion von Ethanol über den heimischen Bedarf hinaus auszubauen. Die Importquote in Deutschland lag im Jahr 2006 bei ca. 33%, allerdings wurden seitdem die inländischen Produktionskapazitäten deutlich erhöht (WI/RWI 2008). Schätzungen für die Importquote liegen innerhalb einer Bandbreite von 20 bis 50% (WI/RWI 2008; Nusser et al. 2007a). In einem solchen Falle steigt die inländische Produktion in ähnlichem Maße wie der inländische Verbrauch von Bioethanol an.

3.1.3 Herstellungskosten

Für die Herstellung von Bioethanol liegen eine Reihe von Kostenbetrachtungen in der Literatur vor. Üblicherweise wird zwischen verschiedenen Kostenblöcken unterschieden, die im Folgenden näher erläutert werden.

Rohstoffkosten und -bedarf: Einen hohen Kostenanteil von oftmals über 50% haben die eingesetzten nachwachsende Rohstoffe (z.B. Concawe 2006). Wie bereits erwähnt wurden zunächst zusätzlich Einkommens- und Beschäftigungspotenzial für die Landwirtschaft vermutet, nach Abbau von Überschussproduktionen aber verstärkt Flächen- und Nutzungskonkurrenzen beim Ackerbau diskutiert (z.B. SRU 2007, WBA 2007, WI/RWI 2008). Dabei stehen der Nahrungsmittelproduktion eine steigende Nachfrage für energetische (z.B. Bioethanol, Biogas) und stoffliche Nutzung (z.B. Biopolymere, Schmierstoffe) dieser Pflanzen gegenüber. Bei diesen verschiedenen Verwendungen wird häufig der gleiche Rohstoff benötigt (z.B. Weizen für Ethanol und Nahrungsmittel) oder es erfolgt eine indirekte Konkurrenz über Zugriff auf die gleiche Ackerbaufläche. Eine Nutzungskonkurrenz kann selbst dann bestehen, wenn theoretisch genug Flächen vorhanden sind (z.B. Nusser et al. 2007a; WI/RWI 2008; WBA 2007): Falls die industrielle Nutzung nachwachsender Rohstoffe durch Preisentwicklungen oder Politikanreize (z.B. Transferzahlungen, Energieeinspeisegesetz) rentabel wird, dürfte der Agrarsektor die Erzeugung der

[3] Bei Bioethanol beträgt der Importzoll der EU für nichtdenaturiertes Bioethanol 19,20 Euro/hl (Meyer et al. 2007). In den USA liegt der Importzoll für Bioethanol bei 15 Euro/hl.

[4] Zudem würden sich Kostenunterschiede weiter erhöhen, wenn die starke Subventionierung der inländischen Produktion in vielen Ländern (z.B. durch Energiepflanzenprämie in Deutschland) reduziert werden würde.

Nachwachsenden Rohstoffe über das errechnete Potenzial hinweg zu Lasten der Nahrungsmittelproduktion ausdehnen (WBA 2007; SRU 2007). Durch die weltweite Verschiebung von Angebot und Nachfrage von Agrargütern können gleichzeitig auch Preissteigerungen eintreten.[5]

Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Rohstoffsituation wird in der Erschließung von lignocellulosehaltiger Biomasse als Rohstoff für Bioethanol und andere biotechnologische Produkte gesehen (Patel et al. 2006). Allerdings bestehen noch erhebliche technologische Probleme. So wird u.a. ein kosteneffizienterer, ressourcenschonender Aufschluss der Lignocellulose, um die enthaltenden Zucker nutzbar zu machen sowie die wirtschaftliche Abtrennung des daraus entstehenden Produkts, als notwendig angesehen (IFEU 2007; Nusser et al. 2007a). Im Gegensatz zur Ethanolproduktion aus Stärke (z.B. Weizen) sind zusätzliche vorgelagerte technische Verfahren zur Auftrennung des mit der Cellulose verbundenen Pektin, Lignin und Hemicellulosen nötig. Für die Wirtschaftlichkeit des Prozesses ist der Konversionsprozess der Biomasse von hoher Bedeutung, also dort, wo die Biotechnologie direkt zum Einsatz kommt (Lynd et al. 2008). Daneben ist die hochwertige Verwertung bzw. Kreislaufführung der im Prozess anfallenden Kuppelprodukte (z. B. Lignin, Schlempen) und die Integration sämtlicher Teillösungen in einen Gesamtprozess notwendig (Mussatto et al. 2006). Deshalb bestehen Unsicherheiten, ob und wann die Verwendung von Lignocellulose kommerziell erfolgreich sein wird (Patel et al. 2006).[6] Zukunftsbetrachtungen zu Auswirkungen von Bioethanol auf Flächenbedarf, Agrarpreise und ökonomische Effekte differieren deutlich in ihren Annahmen und Projektionen zum Rohstoffeinsatz von Lignocellulose. Die in dieser Arbeit befragten Experten sind analog zu einer Expertenbefragung des IFEU-Instituts (IFEU 2007, S.112) optimistisch, dass es bis zum Jahr 2020 zu einer kommerziellen Verwendung von Lignocellulose kommen wird.

Transportkosten: Die Transportkosten hängen hauptsächlich von der Dichte des verwendeten Rohstoffes und der Transportentfernung ab. Vergleichsweise hohe Transportkosten ergeben sich für Lignocellulose. Hauptgrund hierfür ist die geringe Dichte im Vergleich zu anderen Rohstoffen (Hess et al. 2007). Die Transportkosten nehmen zusammen mit den Sammel- und Lagerkosten den Hauptanteil bei den Rohstoffkosten für Lignocellulose ein (Bohlmann 2006; Hess et al. 2007). Es stellt sich dabei die Frage, ob überhaupt genug Rohstoffe aus einer Entfernung, bei der ein LKW-Transport (<100 km) rentabel ist, für größere Anlagen bereitgestellt werden können (WBA 2007; Schmitz 2005). Die logistischen Herausforderungen sind erheblich und die Infrastruktur müsste auf die zunehmende Verkehrsbelastung im Umfeld der Anlagen ausgerichtet werden (WBA 2007).

[5] Dabei sind viele Verschiebungen in der internationalen Verteilung bei der Produktion von Nahrungsmitteln und nachwachsenden Rohstoffen denkbar. Für ausführliche Diskussionen siehe SRU (2007) und WBA (2007).
[6] Bislang sind einige Pilotanlagen in Betrieb genommen worden (IFEU 2007, S.109).

Kuppelprodukte: Bei der Herstellung von Bioethanol entstehen je nach Rohstoff und Herstellungsverfahren unterschiedliche Kuppelprodukte, für die jeweils meist mehrere Verwendungszwecke bestehen. Bei Weizen zur Stärkeproduktion für Ethanol fällt vor allem Getreideschlempe an. Getrocknet wird sie häufig als Eiweißfuttermittel DDGS („Distiller's Dried Grains with Solubles") verwendet, welches importierten Sojaschrot ersetzen kann (Schöpe/Brischkat 2006). In diesem Fall würde eine zusätzliche inländische Wertschöpfung entstehen.[7]

Energie- und Hilfsstoffe: Für die Produktion von Bioethanol sind einige Hilfs-/Betriebsstoffe (z.B. Phosphorsäure, Ammoniak, Schwefelsäure) sowie der Einsatz von Energie (Dampf, Elektrizität) notwendig. Die Kosten sind recht stark an den Ölpreis gekoppelt (Concawe 2006). Bei Lignocellulose stellen bisher die Enzymkosten zur Vorbehandlung der Biomasse einen bedeutenden Anteil an den Verarbeitungskosten dar. Im großtechnischen Maßstab betragen diese bisher ca. 150 €/t Ethanol, im Labormaßstab konnten sie bereits auf 20 €/t Ethanol reduziert werden (IFEU 2007). Die Verringerung dieser Kosten stellt eine wichtige Vorrausetzung für die wirtschaftliche Produktion dar, wird aber auch bis zum Jahr 2020 als realisierbar angesehen (Dornburg et al. 2007).

Arbeits- und sonstige Kosten: Weitere Kosten werden in einer Pauschalberechnung erfasst. Hierzu wird in Kostenbetrachtungen in der Regel ein Prozentsatz auf die Investitionskosten angesetzt (IFEU 2007). Concawe (2006) setzt hierfür einen Kostenanteil von 4,5% an. Die direkten Arbeitskosten für Herstellung von Ethanol sind gering. Detaillierte Schätzungen über die Ermittlung des verbundenen Arbeitsaufwands von Henniges (2007) liegen bei ca. 30 €/t.

Gesamtkosten: Insgesamt zeigen sich bei den Kostenstudien deutliche Unterschiede für die gesamten Herstellungskosten und bei den einzelnen Kostenarten (z.B. Rohstoffkosten).[8] Eine beispielhafte Berechnung zeigt Tabelle 4. Diese Berechnung basiert auf Angaben von Concawe und der Annahme eines Realölpreises (Basisjahr 2007) von 70 /bbl für das Jahr

[7] Allerdings stellt sich die Frage, ob das zusätzliche DDGS zu bestehenden Marktpreisen verkauft werden kann. Schließlich entsteht ein erhebliches Zusatzangebot an diesen Produkten. So geht beispielsweise Concawe (2006) bei einer Biokraftstoffquote von 5,75% für die EU von einer 9%-Substitution des Ölsaaten-Futtermarktes durch DDGS bei Ethanol aus.

[8] Zum einen gibt es bei der Erzeugung von Bioethanol unterschiedliche Alternativen. So haben die Unternehmen Auswahl beim verarbeitenden Rohstoff, des Energieträgers und bei der Verwertung der Nebenprodukte (Schöpe/Brischkat 2006). Zum anderen unterscheiden sich die Studien beim Zeit- und Ortsbezug, technischen Parametern zu den Verfahren (z.B. physischer Energiebedarf), Annahmen zu Preisen von Vorprodukten (z.B. Rohstoffkosten), Anlagengröße und besonders auch in der Methode der Kostenbilanzierung. Insgesamt gilt die fermentative Produktion von Bioethanol als relativ ausgereift, durch eine Reihe möglicher Verbesserungen besteht aber noch etwas Potenzial zur Kostenreduzierung. Diese beinhalten z.B. die Implementierung von modernen Prozesstechnologien und Automatisierung, intensivere Nutzung von Kuppelprodukten oder deren Verringerung, energieeffizientere Entsorgung von Abfallprodukten, Erhöhung der Energieeffizienz in der gesamten Prozesskette, Reduzierung der Prozessschritte, Diversifizierung, Vermeidung von Kontamination etc. (Patel et al. 2006, S.14).

2020 sowie den in der Tabelle angegebenen Preisen für nachwachsende Rohstoffe (Basis OECD/FAO 2008).

Tabelle 4: Herstellungskosten für Bioethanol* in €

Kostenart	Weizen	Zuckerrüben	Lignocellulose
Kosten je t Rohstoff	120	32	53
t Rohstoff je t Ethanol	3	13	4
Rohstoffkosten je t Ethanol	**404**	**422**	**187**
….darunter Transportkosten	4	17	12
Chemische Hilfs-/Betriebsstoffe	**22**	**32**	**27**
Energie	**33**	**47**	**40**
Arbeit	**20**	**16**	**29**
Overhead	**7**	**5**	**87**
Zinskosten	**42**	**32**	**93**
Investitionskosten	**63**	**48**	**139**
Kuppelprodukterlöse	**-112**	**-71**	**-**
Gesamtkosten	**479**	**532**	**603**

Quelle: Eigene Berechnungen, Datenbasis: siehe verschiedene Textstellen

* Hervorgehobene Werte gehen direkt in die Gesamtkostenrechnung ein

Die resultierenden Kosten liegen höher als für fossile Kraftstoffe. Beispielsweise würden Durchschnittskosten von 515 €/t Bioethanol zu Ottokraftstoffkosten vor Steuern von 0,63 €/l führen. Der Benzinpreis liegt bei diesen Ölpreisannahmen bei ca. 0,45 €/l (MWV 2008). Eine gleiche Berechnung für Bioethanol[9] und Benzin mit der von der IEA angenommen Entwicklung des Realölpreises von ca. 110 $/bbl führt zu ungefähr einer Halbierung der Kostendifferenz. Aber auch unter diesen Annahmen ist keine Kostenwettbewerbsfähigkeit von Bioethanol zu erwarten.

3.1.4 Fazit für die wirtschaftlichen Auswirkungen

Die beschriebenen Mehrkosten führen zu negativen volkswirtschaftlichen Effekten. Beispielsweise ist im Falle der Weitergabe der höheren Produzentenpreise an die Konsumenten, ein geringerer Konsum nach anderen Gütern zu erwarten. Allerdings ist die Herstellung von Bioethanol mit einer höheren inländischen Wertschöpfung verbunden als die Herstellung von Benzin. Während die inländische Produktion für Bioethanol aus einheimischen Pflanzen erfolgt, ist bei Benzin die quantitative Bedeutung des vollständig importierten Erdöls sehr hoch. Auf Basis von Angaben von Neuwahl et al. (2008) lässt sich der Anteil der Kosten für importiertes Erdöl auf 70% (Ölpreis 70$/bbl) bzw. 75% (Ölpreis 105$/bbl) schätzen.

[9] Dabei wird berücksichtigt, dass die Kosten für Rohstoffe und die Produktionskosten durch den höheren Ölpreis ebenfalls steigt. Die hierfür benötigten Daten beruhen auf Angaben von Concawe (2006).

Studien mit quantitativen Modellierungen kommen daher tendenziell eher zu positiven Beschäftigungseffekten. Von entscheidender Bedeutung sind dabei die Annahmen über die Verdrängung anderer landwirtschaftlicher Erzeugnisse (Steininger et al. 2008). Positive Effekte sind dann zu erwarten wenn eine große Konkurrenzsituation vermieden werden kann. Dabei würde der Beitrag vor allem in einem Erhalt von Arbeitsplätzen liegen, die ansonsten aufgrund von Produktivitätssteigerungen bei der Erzeugung von Nahrungsmittel abgebaut werden. Die Bedeutung anderer wirtschaftlicher Wirkungsmechanismen ist gering einzuschätzen. Da die Herstellung von Benzin mit geringer inländischer Wertschöpfung verbunden ist, fällt das vermutlich deutlich ungünstigere Außenhandelssaldo bei Bioethanol kaum ins Gewicht. Ebenso sind keine neuen, zusätzlichen Märkte zu erwarten, noch die Freisetzung von Arbeitskräften bei der Kraftstoffherstellung. Ein leicht positiver, aber kurzfristig wirkender Effekt ergibt sich beim Bau der Ethanolanlagen.

3.2 Biopolymere

3.2.1 Aktuelles Marktpotenzial und Perspektive bis 2020

Im Bereich der (Bio-)Polymere[10] ist die aktuelle Nutzung der Biotechnologie gering, mittel- bis langfristig werden jedoch große Zukunftspotenziale gesehen. Die Plastikproduktion verzeichnete in den vergangenen Jahrzehnten größere Wachstumsraten als andere Gruppen von Bulkmaterialen und es wird erwartet, dass sich dieser Trend bis 2020 fortsetzt (Crank et al. 2004, S.5). Polymere werden nach dieser Einschätzung weiter v.a. Glass und zu einem kleineren Teil Stahl ersetzen können. Die Interviewpartner sehen allerdings kaum völlig neue Anwendungsmöglichkeiten für Polymere, auch nicht durch mögliche Veränderungen der Funktionalitäten auf Basis biotechnologischer Methoden. Projektionen für das jährliche durchschnittliche Wachstum in Europa bis zum Jahr 2020 liegen zwischen 1,5 und 2,3% (Phylipsen et al., 2002; Chateau et al., 2005; Patel et al. 2006).[11]

Der Einsatz von Biopolymeren ist in vielen Anwendungsgebieten der Polymere denkbar. Der wichtigste Einsatzbereich liegt wie bei konventionellen Polymeren bei Verpackungen und wird es voraussichtlich bleiben (Oertel 2007; Müssig/Carus 2007). Ein relativ hoher Einsatz von Biopolymeren wird im Automobilbereich (v.a. Innenausstattung) erwartet, im Bausektor

[10] Der Term Biopolymere wird in der Literatur für unterschiedliche Arten von Polymeren verwendet (IPTS 2007). So werden teilweise Polymere, die auf Biomasse aufbauen, Polymere, die biotechnologisch hergestellt werden, aber auch für Polymere, die biologisch abgebaut werden können, als Biopolymere definiert (Enzing et al. 2007b). Zwar gibt es deutliche Überschneidungen bei diesen Abgrenzungen, sie sind aber nicht identisch. So sind biotechnologisch hergestellte Polymere in der Regel aus nachwachsenden Rohstoffen und meistens biologisch abbaubar, aber nicht immer. Zudem existieren mittlerweile auch petrochemische Polymere (z.B. Ecoflex der BASF), die biologisch abbaubar sind. Im Rahmen dieser Arbeit ist die biotechnologische Herstellung für die Verwendung des Begriffs Biopolymere entscheidend.

[11] Die Studien betrachten dabei verschiedene Szenarien. Die angegebene Bandbreite bezieht sich auf das jeweilige Basis- bzw. „Medium“-Szenario.

werden sie hingegen eher kaum ölbasierte Polymere ersetzen können (Crank et al. 2004). Das direkte Substitutionspotenzial von petrochemischen Erzeugnissen ist allerdings insgesamt begrenzt, da bislang für einige Anwendungen (z.B. in Teilen des Bausektors) keine denkbare biotechnologische Lösung existiert. Crank et al. (2004, S.193) schätzen in einer Detailanalyse für einzelne Polymere auf Basis nachwachsender Rohstoffe – biotechnologisch als auch chemisch produziert – ein maximales Substitutionslevel von 1/3 der petrochemischen Polymere. Die bisherige Verbreitung der Biopolymere ist deutlich geringer. Das Volumen in Europa wird im Jahr 2005 auf knapp 45.000 t im Jahr geschätzt, dies entspricht 0,13% der europäischen Polymer-Produktion (Reiss et al. 2007). In den USA und Japan wird der Anteil auf 0,45% geschätzt.

Die zukünftige Verbreitung von Biopolymeren wird unter bestimmten Bedingungen recht positiv eingeschätzt. Faktoren wie Regulierungen zum Klimaschutz, Bestrebungen einer nachhaltigen Entwicklung und steigende Ölpreise wirken sich positiv auf die Entwicklung aus (Reiss et al. 2007).[12] So gibt es nach Eindruck der befragten Experten eine Vielzahl von Ankündigungen von Unternehmen zu geplanten Produktionsaufnahmen. Allerdings sind die Diffusion und ökonomischen Wirkungen von einer Reihe von Einflussfaktoren abhängig:

- **Relative Rohstoffkosten:** Die Preise für Nachwachsende Rohstoffe gegenüber den fossilen Rohstoffen sind entscheidend für die Vorteilhaftigkeit der Verfahren.
- **Technologische Unsicherheiten:** Diese bestehen z.B. darin, ob die Umwandlung von Lignocellulose so gelingt, dass sie den Anforderungen der weiterverarbeitenden Sektoren entspricht (Phylipsen et al. 2002, S.91).
- **Nachfrage:** Hier ist offen, inwiefern Konsumenten biobasierte Chemieprodukte aufnehmen und die Entwicklung auf Basis der Vorteile für die Umwelt unterstützen (Crank et al. 2004).
- **Investitionen:** Die Investitionskosten in neue Produktionsstätten sind hoch und die Vorteilhaftigkeit ggü. existierenden Produkten in bestehenden Anlagen ist damit oftmals nicht gegeben. Dabei zeigt sich das Problem des Erreichens einer kritischen Masse. So lange sich nicht Wertschöpfungsketten auf Basis von Biopolymeren etabliert haben, sind Investitionen in große Anlagen sehr riskant. Aber erst wenn solche Anlagen und Produktionsvolumen existieren, werden Lern- und Skaleneffekte und infolge Kostenwettbewerbsfähigkeit sowie weitere Vorteile (z.B. etablierte Entsorgungswege) erreicht.
- **Rahmenbedingungen:** Die Politik übt bisher eher einen indirekten Einfluss aus, z.B. über die Beeinflussung von Preisen und Verfügbarkeit von Biomasse, Förderung von F&E (v.a. zur Nutzbarkeit von Lignocellulose), Harmonisierung von Standards oder

[12] Für ausführlichere Diskussionen zur Diffusion bei Biopolymeren siehe Crank et al. (2005) und Beucker/Marscheider-Weidemann (2007).

Unterstützung der Infrastruktur zur Abfallentsorgung (Crank et al. 2004, S.181, ECCP 2001). Eine direkte Festschreibung von Quoten (z.B. Biokraftstoffe) oder finanzielle Unterstützung der Verwendung (z.B. Energieeinspeisegesetz bei Bioenergie) existiert für Biopolymere bislang nicht.

Die meisten Projektionen für die zukünftige Verbreitung der Biopolymere beziehen sich auf nachwachsende Rohstoffe insgesamt, wobei den hiervon biotechnologisch hergestellten Polymeren mit Abstand die positivsten Wachstumsaussichten eingeräumt werden (Beucker/Marscheider-Weidemann 2007) und voraussichtlich einen absoluten Großteil ausmachen werden. Biotechnologisch hergestellte Polymere gelten auch als zweite Generation von Kunststoffen aus nachwachsenden Rohstoffen (Fraunhofer ISI 2006). Sie können besser als die bisher gebräuchlichen thermoplastischen Stärken und Cellulose (-acetate) an spezifische Einsatzbedingungen angepasst werden und besitzen daher ein größeres Spektrum an Einsatzmöglichkeiten (Beucker/Marscheider-Weidemann 2007). Die europäische Studie ProBip (Crank et al. 2004) projiziert für den Anteil der Biopolymere an allen Polymeren – bei Fortsetzung aktueller politischer Unterstützungen – einen Wert von 2,5%, in einem optimistischen Fall 4,3%.[13] Andere Projektionen mit absoluten Tonnen oder Produktionswertangaben liegen verhältnismäßig leicht höher (z.B. Müssig/Carus 2007, Roland Berger 2007). Die befragten Experten schätzen die Diffusion bis zum Jahr 2020 mehrheitlich bei ca. 5% ein. Allerdings gibt es auch einige pessimistischere Einschätzungen, die zumeist auf den oben genannten Diffusionsbarrieren zurückzuführen sind. Bei günstigen relativen Preisen für nachwachsende Rohstoffe im Vergleich zu Öl sehen einige Experten einen Anstieg auf 10% für möglich an. Auch hier gibt es aber ein paar skeptischere Meinungen.[14]

3.2.2 Internationaler Wettbewerb und Außenhandel

Eine wichtige Voraussetzung für den Ausbau der Produktion und der Vermarktung von Biokunststoffen ist die günstige und ausreichende Verfügbarkeit von nachwachsenden Rohstoffen. Die Exporteure der Grundstoffe haben dabei gute Vorrausetzungen, direkt in die Produktion von Biopolymeren einzusteigen (Beucker/Marscheider-Weidemann 2007). Eine ähnliche Entwicklung wie beim Öl, welches als Rohstoff über weite Distanzen transportiert wird, ist für Biopolymere unwahrscheinlicher, da die Transportkosten für Nachwachsende Rohstoffe deutlich höher sind. Folglich würde es zu einem Handel der fertiggestellten

[13] Dabei werden die Bedingungen für das Eintreten des optimistischen Falls nicht genauer spezifiziert.

[14] Begründungen hierfür liegen in der benötigten Zeit bis entsprechende Kapazitäten aufgebaut werden, in den Preisstrategien der Hersteller von konventionellen Polymeren, die teilweise zu Preisen unterhalb der Herstellungskosten verkaufen – dies ist aufgrund der teilweisen Gewinnung als Abfallprodukt möglich – sowie zum Teil in der Einschätzung, dass das bisherige Öl-„Nachwachsende Rohstoffe“ Preisverhältnis nicht für eine Vorteilhaftigkeit ausreicht.

Polymere oder deutlich weiterverarbeiteten Zwischenprodukte kommen, aber weniger zu einem Austausch der zu bearbeitenden Rohstoffe kommen. Deutschland würde demnach eher Nettoimporteur werden. Allerdings zeigt sich aus technologischer Sicht eine deutlich höhere Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands. Die Auswertung der Patentanmeldungen für biotechnisch hergestellte Polymere zeigen, dass diese in den letzten Jahren stagniert und Deutschland mit 10% den dritten Platz hinter den USA (40%) und Japan (14%) einnimmt (Beucker/Marscheider-Weidemann 2007). Die befragten Experten bestätigen diese Pro- und Kontra-Argumente und gehen mehrheitlich von einem stabil bleibenden weltweiten Produktionsanteil Deutschlands aus ohne größere Unterschieden zwischen Biopolymeren und ölbasierten Polymeren.

3.2.3 Herstellungskosten

Über 90% der hergestellten Polymere werden in hoher Menge, bei bislang sehr geringen Preisen (1-2 €/kg) hergestellt (Orth 2006). Bei Biopolymeren in Bulk-Anwendungen bestehen in der Regel ähnliche Funktionalitäten wie bei Standardpolymeren. Die Konkurrenz ergibt sich infolge über den Preis der wegen geringen Profitmargen nahe an den Produktionskosten liegt (Crank et al. 2004, S.123). Im Folgenden werden die Herstellungskosten von Biopolymeren genauer betrachtet und mit ölbasierten Polymeren verglichen.

Rohstoffkosten: Da sich Biopolymere und ölbasierten Polymere bei der Herstellung besonders in der Rohstoffbasis unterscheiden, ist das Verhältnis der Kosten des nachwachsenden zum fossilen Rohstoff entscheidend für die Vorteilhaftigkeit (Crank et al. 2004, S.134). Zudem nehmen die Rohstoffkosten mit ungefähr 50% bei größeren Anlagen einen erheblichen Kostenanteil bei ölbasierten Massenpolymeren ein (Buchholz 2006; Müssig/Carus 2007). Bislang liegen nach Expertenaussagen die Rohstoffkosten bei Biopolymeren insgesamt auf einem ähnlichen Niveau. Bei der Rohstoffverfügbarkeit ergeben sich ähnliche Fragen wie bei Bioethanol. Weizen und evt. Zucker bilden die wichtigsten Rohstoffe. Die meisten der befragten Experten sind aber optimistisch, dass ein Einsatz von Lignoellulose bis zum Jahr 2020 ebenso (zumindest teilweise) möglich sein wird.

Investitionskosten: Die Investitionskosten je t Biopolymere hängen analog zu Bioethanol von der Anlagenkonzeption (Anlagengröße, Rohstoff, Biokonversionstechnologie) ab, wobei die Anlagengröße aufgrund des Fixkostencharakters eine zentrale Rolle einnimmt. Bei großen Anlagen unterscheiden sich die Investitionskosten zu den ölbasierten Polymeren nach Aussagen der Experten kaum. Bisher werden die Investitionskosten etwas höher geschätzt aufgrund des Entwicklungsrückstandes gegenüber den recht optimierten ölbasierten Polymeranlagen. Darüber hinaus kann die Verwendung von Biomasse zu einem größeren Bedarf an Lagerhallen und Reaktoren führen. Allerdings stellt die Biotechnologie durch die

seichteren Produktionsbedingungen (niedrigere Temperaturen und Drücke) tendenziell niedrigere Ansprüche an Regelungs- und Sicherheitstechniken und hat hierdurch einen gewissen Preisvorteil für die Unternehmen (Hoppenheidt et al. 2005; Wagner et al. 2005). Analog zu Bioethanol sind Investitionskosten auf Basis von Lignocellulose im Vergleich zu traditionellen Rohstoffen nach Einschätzungen der Experten aufgrund zusätzlich benötigter Analgenteile als deutlich höher einzuschätzen.

Energiekosten: Aus ökologischen Gesichtspunkten werden Biopolymeren Potenziale zur Einsparung von Stoffströmen und fossiler Energie zugesprochen (Hoppenheidt et al. 2005). Allerdings ist die Energiebilanz sehr einzelfallspezifisch. So hängt der kumulierte Energieverbrauch für die Produktion einer Tonne Biopolymere insbesondere von den Flächenerträgen beim Rohstoffanbau, der Art und Verwendung der Nebenprodukte, der Art der Entsorgung, vom Wirkungsgrad der Konversionstechnologie, aber auch entscheidend vom zu substituierenden chemischen Vergleichsprodukt ab (Deimling et al. 2007; IFEU 2007). Die meisten Untersuchungen zeigen allerdings deutliche Energieeinsparungen, vor allem für die Produktionsverfahren, die wirtschaftlicher erscheinen und wahrscheinlicher zum Einsatz kommen. (Patel et al. 2006, S.159 f.) Der Grund für relative hohe Energieeinsparungen liegt in der Tatsache, dass die Herstellung von konventionellen Polymeren sehr energieintensiv ist. Ergebnisse von Crank et al. (2004) und Patel et al. (2006) kommen bei der Betrachtung verschiedenster Herstellungsweisen – unter Einbezug von Verbesserungspotenzialen – bei der Nutzung von Stärke (z.B. Weizen) zu einem durchschnittlichen Einsparpotenzial bei fossiler Energie von ungefähr 30%.[15] Bei der Nutzung von Lignocellulose können die Einsparungen noch höher liegen. Die befragten Experten halten insgesamt Einsparungsmöglichkeiten von 30% für plausibel.

Entsorgungskosten: Für Polymere sind verschiedene Entsorgungswege denkbar: Während für die meisten ölbasierten Kunststoffe die Möglichkeiten des stofflichen Recyclings, der thermischen Verwertung sowie der Deponierung bestehen, können viele biotechnologisch hergestellte Polymere darüber hinaus durch mikrobiellen Abbau in Kompostierungsanlagen verwertet werden. Die Bedeutung dieser Bioabbaubarkeit von Polymeren wird seit langem kontrovers diskutiert. Mögliche Vorteile liegen in der Schonung der Umwelt und potenziell geringeren Entsorgungskosten (Oertel 2007). Allerdings ist die Eigenschaft der Bioabbaubarkeit gar nicht immer erwünscht, da für viele Verwendungszwecke der Kunststoff auf lange Zeit erhalten bleiben soll. Die Kompostierung wird auch nicht von allen Experten als generell die geeignetste Verwertung von Polymeren gesehen, da z.B. eine Energiegewinnung über eine thermische Verwertung möglich wäre. Bisher ist die Kompostierung eher wenig verbreitet. Bislang enthalten die meisten Biopolymere aus

[15] Auch IPTS bestätigt diese Einsparpotenziale bei einer Analyse der einschlägigen Literatur für Biopolymere (IPTS 2007).

technischen Gründen petrochemische Additive (z.B. Flammschutzmittel) und sind damit nach der Bioabfall- und Düngemittelverordnung von der Kompostierung ausgeschlossen (Fraunhofer ISI 2006). Bei gesetzlichen Änderungen ist es durchaus denkbar, dass sich die Entsorgung von Biopolymeren im Durchschnitt gegenüber den ölbasierten Polymeren zukünftig unterscheiden wird. Da allerdings auch ölbasierte Polymere mit biologischer Abbaubarkeit (z.B. Ecoflex von BASF) existieren, kann diese unterschiedliche Verwertung aber nicht direkt auf einen technologischen Unterschied zurückgeführt werden und wird von vielen Experten als Nutzungsstrategiethema, weniger als technologische Frage betrachtet.

Arbeitskosten: Keine Unterschiede gibt es nach Meinung aller Experten zwischen Biopolymeren und ölbasierten Polymeren bei den direkt für die Herstellung benötigten Arbeitskräften. Zwar liegen die Arbeitsmenge und -kosten bisher für Biopolymere je t höher, dies liegt aber an der geringen Anlagengröße. So werden kaum zusätzliche Arbeitskräfte für eine 100.000 t Anlage im Vergleich zu einer 10.000 t Anlage benötigt. Da bereits ein sehr hoher Automatisierungsgrad vorliegt, ist höchstens mit sehr geringen Einsparungen an Arbeitskräften und -kosten bis zum Jahr 2020 zu rechnen.

Hilfs- und Betriebsstoffe: Einen größeren Kostenblock bilden hingegen die Hilfs- und Betriebsstoffe (z.B. Aceton). Angaben in der Literatur gehen von bis zu 670 €/t (Meiß et al. 2003) aus, im optimierten Zustand ist aber von geringeren Kosten auszugehen. Im Vergleich zu ölbasierten Polymeren bestehen nach Aussagen einiger Experten bisher noch leichte Nachteile, die bis 2020 voraussichtlich ausgeglichen werden können.

Gesamtkosten: Aus den dargestellten Kostenbestandteilen lässt sich erkennen, dass die Unterschiede zwischen petrochemischen und Biopolymeren zukünftig als gering erwartet werden. Bislang sind die Kosten von Biopolymeren noch höher, allerdings hat sich dieser Unterschied in den vergangenen Jahren verringert (Oertel 2007; Kaeb 2006). Schätzung der Literatur und der befragten Experten liegen mit ca. 2-3 € für viele Biopolymere ungefähr beim 1,5- bis 2-fachen Preis für Massenanwendungen (Oertel 2007; Müssig/Carus 2007).[16] Dabei werden die hohen Kosten auf die Entwicklungskosten und den erwähnten fehlenden Skaleneffekten aufgrund kleiner Anlagen zurückgeführt (Reiss et al. 2007; Carole et al. 2004). Der Bau größerer Anlagen und die Erzielung von Lerneffekten können zukünftig zu deutlichen Kosteneinsparungen führen, gleichzeitig werden ölbasierte Polymere bei steigenden Ölpreisen deutlich teurer. Für das Jahr 2020 erwarten die meisten befragten Experten bei einem Preisverhältnis zwischen Öl und Nachwachsenden Rohstoffen, welches ungefähr dem aktuellen Stand entspricht, eine Kostenwettbewerbsfähigkeit der Biopolymere. Die Kosteneinsparungen würden aber nur im geringen Prozentbereich liegen. Höhere

[16] Müssig/Carus (2007, S.16) schätzen diese Preisunterschiede noch geringer ein. Demnach liegt z.B. der Unterschied von Polymere PLA (ca. 1,40 Euro/kg) zu Polypropylen (ca. 1,10 Euro/kg) nicht mal mehr beim Faktor 1,3.

Kostenersparnisse werden bei relativ steigenden Ölpreisen gesehen. Schätzungen zum Einfluss des Ölpreises auf die Kosten von Polymeren lagen in den Expertengesprächen bei 60-80%, für Biopolymere wird der Anteil der Kosten für Öl (z.B. durch Energiebedarf, chemische Vorleistungsprodukte) auf ca. 20% geschätzt. Allerdings ist zu beachten, dass bei steigenden Ölpreisen die Bemühungen von den Unternehmen zunehmen werden die Abhängigkeit vom Öl, z.B. über Materialsubstitution/Einsatz erneuerbare Energien, zu verringern.

Eine Kostenberechnung für das Jahr 2020, welche angesichts des Zukunftshorizonts erhebliche Unsicherheiten aufweist, ist in Tabelle 5 dargestellt. Die Werte basieren vorrangig auf Angaben von Patel et al. (2006) und wurden durch Aussagen der Experten und Angaben aus anderen Kostenstudien ergänzt (Meiß et al. 2003; Müssig/Carus 2007; Hagen 2000; Crank et al. 2004). Für den Realölpreises (Basisjahr 2007) werden 70 /bbl für das Jahr 2020 und eine vollständige Produktion der Biopolymere auf Basis von Weizen (Basis OECD/FAO 2008).

Tabelle 5: Kosten für Biopolymere* (in € je t)

Kostenart	**PLA**	**PHA**	**PDO**
Kosten je t Rohstoff	120	120	120
t Rohstoff je t Biopolymer	2	5	3
Kosten je t Biopolymer	**288**	**600**	**360**
….darunter Transportkosten	3	6	4
Chemische Hilfs-/Betriebsstoffe	**539**	**480**	**214**
Energie	**178**	**147**	**71**
Arbeit	**35**	**35**	**35**
Overhead	**190**	**120**	**110**
Zinskosten	**108**	**114**	**109**
Investitionskosten	**162**	**172**	**167**
Kuppelprodukterlöse	**-86**	**-180**	**-122**
Gesamt	**1.414**	**1.488**	**943**

Quelle: Eigene Berechnungen, Datenbasis: siehe Textstellen

* Hervorgehobene Werte gehen direkt in die Gesamtkostenrechnung ein

3.2.4 Fazit für die wirtschaftlichen Auswirkungen

Die Art und Weise der wirtschaftlichen Effekte sind bei Biopolymeren ähnlich wie bei Bioethanol einzuschätzen. Auch hier werden Güter, bei denen die inländische Wertschöpfung auf die Weiterverarbeitung begrenzt ist, durch biotechnologische Erzeugnisse ersetzt, die prinzipiell mit einem größeren Anteil der inländischen Wertschöpfung hergestellt werden können. Wenn ausreichend konkurrenzfreie Fläche zur inländischen Produktion zur Verfügung steht, ist mit einer positiven Produktions- und Beschäftigungsbilanz zu rechnen.

Im Kontrast zu Bioethanol sind geringere indirekte Folgewirkungen auf den Konsum durch veränderte Kosten bzw. Preise zu erwarten. Abgesehen von Nischenanwendungen, ist eine Kostenwettbewerbsfähigkeit für eine Diffusion nötig, aber deutliche Kosteneinsparungen nur bei sehr günstigen Rohstoffpreisverhältnissen denkbar. In einigen Bereichen (z.B. Medizin) sind auch neue Anwendungen für Biopolymere denkbar, allerdings sind dies eher kleinere Bereiche. Nennenswerte volkswirtschaftliche Auswirkungen durch neue Märkte und Produktionsmöglichkeiten sind nicht zu erwarten.

3.3 Fein-/Spezialchemikalien

3.3.1 Aktuelles Marktpotenzial und Perspektive bis 2020

Im Gegensatz zu Polymeren und anderen Bulkchemikalien werden Fein-/Spezialchemikalien mit geringem Produktionsvolumen, hohen Produktpreisen und hoher Wertschöpfung produziert (Patel et al. 2006; Gavrilescu/Chisti 2005). Sie bilden dabei den derzeitigen Schwerpunkt des Einsatzes biotechnischer Verfahren in der Chemie. Auch zukünftig - bei einem Zeithorizont bis zum Jahr 2020 - werden vor allem in diesem Bereich der Chemie zusätzliche Anwendungen der Biotechnologie erwartet (von Armansperg/Patel 2007).

Biotechnologische Verfahren bieten dabei durch ihre spezifischen Eigenschaften komparative Vorteile gegenüber „herkömmlicher“ Synthesechemie (z.B. hohe Spezifität, „Enantioselektivität“). Bspw. können Prozesse mit Enzymen häufig bei geringerem Druck und geringerer Temperatur sowie mit geringerem Materialeinsatz als chemische Prozesse ablaufen. Daneben ermöglichen biotechnologische Methoden über die Entwicklung von komplexeren Molekülen auch neue Wege zu bisher wenig erforschten Gebieten der Synthesechemie (OECD 2008c). Diese beschriebenen technischen Vorteile können zu verschiedenen Vorzügen (z.B. kosteneffiziente Produktion, neue Produkte) führen. Diese Vorteile der biotechnologischen Methoden sind in diesem heterogenen Anwendungsfeld allerdings unterschiedlich und in der Regel nicht alle gleichzeitig erfüllt. Z.B. werden nicht immer chemische durch biotechnologische Verfahren aus Kostengründen ersetzt. So rechtfertigen in einigen Fällen bessere Funktionalitäten, Vorteile der Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit etwas höhere Kosten und Preise der biotechnologischen Produkte den Einsatz biotechnologischer Verfahren (Patel et al. 2006).

Die bisherige Durchdringung der Biotechnologie bei Fein-/Spezialchemikalien ist uneinheitlich (Nusser et al. 2007b; von Armansperg/Patel 2007). Während sie z.B. bei der Herstellung von Geschmacks- und Geruchsstoffen bereits weit verbreitet sind, werden in anderen Segmenten der Spezialchemie auch in den nächsten 10 bis 15 Jahren eher geringfügig biotechnologische Prozesse eingeführt werden. Nach Aussagen der Experten sind viele

chemische Produkte entweder biotechnologisch gar nicht machbar oder es ist sehr unwahrscheinlich, dass biotechnologische Verfahren deutliche Vorteile bieten können, die zu entsprechenden Anstrengungen führen. Für das Jahr 2005 gehen die befragten Experten fast einstimmig von einem Anteil von ca. 5% Produktionsanteil der Biotechnologie an der Chemie aus. Dies entspricht anderen Schätzungen aus der Literatur (z.B. von Armansperg/Patel 2007, Nusser et al. 2007c). Bedeutend für die zukünftige Diffusion der Biotechnologie sind v.a. folgende Faktoren:

- **Konsumnachfrage:** Eine zunehmende Konsumnachfrage nach Produkten aus „Naturstoffen“ begünstigt biotechnische Verfahren auch im Fein-/Spezialchemikalienbereich, da diese häufig Vorteile bei der Umwandlung von nachwachsenden Rohstoffe aufweisen (Nusser et al. 2007c).
- **„Time-to-market“:** Diese Schnelligkeit Substanzen in großen Mengen auf den Markt zu bringen ist oft sogar wichtiger, als Produktionsverfahren zu entwickeln, die im Hinblick auf Kosten und Ressourcenverbrauch optimiert sind (Nusser et al. 2007b). Deshalb kommen bei der Etablierung des Produktionsprozesses überwiegend konventionelle Technologien zum Einsatz, die bereits vorrätig sind bzw. in kurzer Zeit mit absehbarem Erfolg an die Problemstellung adaptiert werden können (Nusser et al. 2007b). Die befragten Experten sind aber optimistisch, dass die Biotechnologie mit zunehmendem Reifegrad in dieser Hinsicht konkurrenzfähiger wird, da die zur Verfügung stehenden Methoden und Verfahren weiter zunehmen.
- **Investitionen:** Neuinvestitionen müssen unter erheblicher Unsicherheit der Rentabilität getroffen werden müssen. In der Regel ist bei der Einführung biotechnologischer Methoden in Unternehmen ab einem bestimmten Volumen der Bau von Neuanlagen notwendig, welche mit bereits abgeschriebenen Anlagen konkurrieren.

Zukünftige Projektionen liegen allerdings deutlich auseinander. Während von Armansperg und Patel (2007) einen Anteil von ca. 9% für das Jahr 2015 projizieren, gibt der Verband für chemische Industrie (VCI) eine Schätzung für 2015 von ca. 15% für Spezialchemikalien und 50% für Feinchemikalien an (Oberholz 2008). Die meisten befragten Experten erwarten einen Anteil von ca. 10% im Jahr 2020, ein paar Einschätzungen liegen höher. Unter günstigen Rahmenbedingungen und technologischer Entwicklung werden insgesamt etwas höhere Anteile erwartet, die allerdings nicht weit über den 10% liegen.

3.3.2 Internationaler Wettbewerb und Außenhandel

Im internationalen Wettbewerb ist die Stellung Deutschlands bei Fein-/Spezialchemikalien sehr ähnlich wie bei Polymeren. Die Außenhandelsverflechtung ist sehr hoch, im Jahr 2005

betrugen die Exporte knapp 23 Mrd. € und die Importe ca. 12,5 Mrd. €. Inwiefern diese Stellung als Nettoexporteur auch bei biotechnologisch hergestellten Produkten erreicht werden kann, ist offen. Die meisten befragten Experten halten eine analoge Außenhandelsbilanz für die biotechnologische Herstellung und einen weiterhin konstanten Anteil an der weltweiten Produktion für möglich. Nach einigen Meinungen ist der Einsatz der Biotechnologie sogar notwendig, um den Produktionsanteil in der Fein-/Spezialchemie zu halten. Gemäß diesen Meinungen würde bei geringen biotechnologischen Aktivitäten der Produktionsanteil Deutschlands sinken, da die Produktion standardisierter Güter nach Asien oder Osteuropa verlagert werden würde.

3.3.3 Bedeutung der Biotechnologie für Produktinnovationen

Um die Auswirkungen der Biotechnologie in diesem Anwendungsfeld zu bestimmen, ist zusätzlich die Bedeutung neuer oder deutlich verbesserter Produkte zu klären. Biotechnologische Verfahren werden nach Expertenaussagen häufig im „High-Value" Bereich eingesetzt, bei denen v.a. besondere Funktionalitäten von hoher Bedeutung sind.[17] Auch zukünftig (bis zum Jahr 2020) schätzen einige Experten die Bedeutung der Biotechnologie bei den neu entwickelten Produkten deutlich höher als das Substitutionspotenzial bei bestehenden Produkten. Allerdings zeigt sich nach Aussagen einiger Experten bisher aber auch häufig eine begrenzte Nachfrage für veränderte Produkteigenschaften, weil der Anpassungsaufwand bei den Anwenderunternehmen meist hoch ist.[18] Zudem stellt sich aus volkswirtschaftlicher Sicht die Frage, inwiefern diese neuen Produkte Potenzial für die Erschließung neuer Märkte und Anwendungsbereiche (additiv) haben oder andere Produkte (substitutiv) stärker verdrängen. Vorteile für den Anwender (Verbraucher bzw. Weiterverarbeiter) werden vor allem durch höhere Qualität oder Sicherheit (z.B. geringere Entzündlichkeit von Materialien) der Produkte gesehen. Allerdings werden sich die Anwendungsfelder von Fein-/Spezialchemikalien auch zukünftig durch die Biotechnologie nach Expertenaussagen nur bedingt verändern und weiter vorrangig in den bisherigen Bereichen bleiben. Ebenso zeigten sich in den Interviews wenig Hinweise, dass Güter aus anderen Sektoren stärker durch biotechnologische Produkte bei Fein-/Spezialchemikalien ersetzt werden. Einige Experten sehen verstärkte Anwendungsmöglichkeiten im Haushaltsbereich. Insgesamt werden die Märkte demnach nur inkrementell durch neue Produkte beeinflusst, es kommt zu keinen größeren strukturellen Veränderungen. Verschiebungen in der Nachfrage oder Kosteneinsparungen in späteren

[17] In einigen Fällen ist es durch die Biotechnologie überhaupt erst möglich, ein Produkt auf dem Markt anzubieten, da es bei der chemischen Herstellung nicht zu wettbewerbsfähigen Preisen angeboten werden kann (IPTS 2007).

[18] Hierzu sind nach Expertenaussagen nur die großen Chemiefirmen als Anwender in der Lage, während Anbieter häufig darin bemüht sind, die Funktionalitäten der Chemie möglichst anzugleichen.

Teilen der Wertschöpfungskette (z.B. durch Einsatz neuartiger Enzyme im Textil, Leder- oder Papierbereich) werden von den Experten nur begrenzt gesehen.

3.3.4 Herstellungskosten

Die Herstellungskosten stehen dann im Vordergrund, wenn ein bestehendes, bisher chemisch hergestelltes Produkt durch biotechnologische Verfahren bei gleich bleibenden oder ähnlichen Funktionalitäten ersetzt wird. So ermöglicht die Ersetzung der oft komplexen und mehrstufigen chemischen Synthese durch den Einsatz von Biokatalysatoren (v.a. Enzyme) Ressourcen- und Energieeinsparungen gegenüber der klassischen chemischen Produktion. Im Idealfall können mehrere chemische Syntheseschritte durch eine geringe Anzahl an biotechnologischen Verfahrensschritten ersetzt werden. In diesen Fällen – prominente Beispiele hierfür sind Riboflavin, ACA-7, Cephalosporin, Lysin – kommt es zu umweltfreundlichen Substitutionen, verbunden mit hohen Kosteneinsparungen (IPTS 2007, Hoppenheidt et al. 2005; Festel et al. 2004). Die Kosteneinsparungen kommen durch einen geringeren Inputbedarf von fast allen Produktionsfaktoren (v.a. Investitions- und Rohstoffkosten) zustande:

Rohstoffkosten: Die Rohstoffkosten spielen auch bei biotechnologisch hergestellten Fein-/Spezialchemikalien eine bedeutende Rolle. Allerdings sind diese etwas geringer als bei Bioethanol und -polymeren und unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung. Bei Fein-/Spezialchemikalien werden diese Kosten vor allem vom Material- und Arbeitsaufwand bei den Zulieferern bestimmt, welche die fossilen bzw. nachwachsenden Rohstoffe zunächst verarbeiten. Der tatsächliche Kostenanteil der Rohstoffe am Endprodukt selbst ist meistens gering, kann aber bei den heterogenen Produkten unterschiedlich ausfallen.

Für biotechnologische Verfahren werden häufig nachwachsende Rohstoffe als Ausgangsstoffe eingesetzt, allerdings nicht generell. Von Armansperg und Patel (2007) schätzen einen Rohstoffwechsel in 80% der eingesetzten Verfahren. Diese Größenordnung wurde in den Expertengesprächen weitestgehend bestätigt und wird auch zukünftig in diesem Bereich eingeschätzt. Mögliche Kostenvorteile entstehen allerdings weniger durch den Wechsel der Rohstoffbasis, sondern durch mögliche Einsparungen beim Rohstoffbedarf. Die Reduktion von Prozessschritten führt vor allem zu einer Senkung des Volumens unerwünschter Nebenprodukte. Dies ist besonders für die Feinchemikalienproduktion von Bedeutung, die durch hohe so genannte E-Faktoren (Quotient aus kg Nebenprodukt pro kg erwünschtem Produkt) bei der chemischen Synthese gekennzeichnet ist. Es fallen daher vergleichsweise hohe Abfälle und ein hoher Rohstoffbedarf an. Beide können durch den Einsatz der Biotechnologie gesenkt werden (Nusser et al. 2007b).

Investitionskosten: Neben der Rohstoffeinsparung kann die Reduzierung der notwendigen Verfahrensschritte zur Erzielung eines Produkts zu einer Senkung des Investitionsbedarfs für Neuanlagen führen. Es werden bspw. weniger Kessel zur Fermentation benötigt. Zudem werden durch seichtere Produktionsbedingungen (niedrigere Temperaturen und geringerem Druck) geringere Ansprüche an Sicherheitstechniken gestellt (Hoppenheidt et al. 2004). Einsparungen von 40-50% die in einigen Fallbeispielen erreicht wurden (Festel et al. 2004), sind im Durchschnitt nicht zu erwarten.

Abfallkosten: Ein häufiges Argument für die Biotechnologie im Chemiebereich bildet die Umweltverträglichkeit (z.B. Hoppenheidt et al. 2004, Angrick 2006). Während chemische Verfahren häufig mit für die Umwelt problematischen Stoffen unter physikalisch anspruchsvollen, energieintensiven Reaktionsbedingungen durchgeführt werden, laufen biotechnische Verfahren dagegen unter vergleichsweise milden Bedingungen in wässrigem Milieu, bei niedrigen Temperaturen, Normaldruck und neutralem pH-Wert ab (Hoppenheidt et al. 2004). In der Folge sind viele biotechnische Verfahren ressourceneffizienter, risikoärmer und gesundheitsverträglicher. Allerdings ist zu beachten, dass nicht alle derzeit realisierten biotechnischen Verfahren bzw. Produkte unter Umweltgesichtspunkten vorteilhaft sind und auch zukünftig stets die umweltverträglichere Alternative bieten (Angrick 2006).[19] Nachteile entstehen z.B. im häufig volumenmäßig höheren Abwasserverbrauch, da die Biotechnologie in wässrigen Lösungen arbeitet. Die meisten Experten sehen den Umgang mit höherem Abwasserverbrauch in der Regel aber als sehr optimiert an, so dass der zusätzliche Kostenaufwand hierfür gering ist. Häufig werden Standorte in der Nähe zu Kläranlagen gewählt. Einige befragten Experten betonen aber besonders die erfolgte Optimierung der chemischen Verfahren. So sind besonders in großen, integrierten Anlagen die Abfallströme derart optimiert, dass hieraus zumeist wieder wertvolle Produkte gewonnen werden können. Ähnliches gilt für verschiedene Einsatzstoffe (bspw. Lösemittel), die in der Chemie bereits optimiert wurden, während dies für die Biotechnologie noch im geringeren Maße der Fall ist.

Insgesamt sieht aber eine deutliche Mehrzahl der befragten Experten Vorteile für die Biotechnologie, die sich auch in einer Reduktion der Abfallmengen und -kosten auswirken kann (OECD 2001). Eine Quantifizierung dieses Potenzials ist allerdings schwierig. Viele große Chemieunternehmen erfassen die Abfallströme nur zentral, weshalb eine Zurechnung zu einzelnen Prozessen oder Produkten nicht möglich ist (Marscheider-Weidemann/Hüsing 2004).

Energiekosten: Daneben werden von der deutlichen Mehrheit der Experten auch im Bereich der Fein-/Spezialchemikalien die Möglichkeit zur Energieeinsparung durch die

[19] So stellt das Umweltbundesamt fest: „Auch wenn zahlreiche biotechnische Verfahren umweltentlastende Effekte zeigen, so wird es auf keinen Fall eine Unbedenklichkeitserklärung für die weiße Biotechnik im Allgemeinen geben. Vielmehr ist eine genaue Einzelfallbewertung notwendig“ (Angrick 2006, S.9).

Biotechnologie gesehen. So gelten enzymatische Prozesse oftmals weniger energieaufwändig als chemisch katalysatorische Prozesse. Allerdings ist, wie bei Biopolymeren, die jeweilige Energiebilanz stark von verschiedenen Faktoren (u.a. konkrete Biomasse, Konversionsverfahren, Zielprodukt) abhängig. Im Gegensatz zu Biopolymeren ist der Anteil der Kosten für Energie deutlich geringer und damit auch die Anreize, die Energiebilanz des biotechnologischen Verfahrens zu optimieren. Dies gilt besonders für den Bereich der Feinchemikalien mit geringen Tonnagen. Die meisten Schätzungen der Experten liegen deshalb bei ca. 20% und damit niedriger als im Bereich der Biopolymere oder anderen Bulkchemikalien (Patel et al. 2006).

Arbeits- und sonstige Kosten: Der quantitative Arbeitseinsatz ist bei biotechnologischen und chemischen Verfahren sehr ähnlich, die meisten Arbeitsschritte bleiben auch bei einer Umstellung der Produktion auf ein biotechnologisches Verfahren quasi gleich. Schließlich sind nach Expertenaussagen diejenigen biotechnologischen Verfahren, die einen höheren Arbeitseinsatz verursachen, zumindest im Inland nicht rentabel. Allerdings sinkt der Arbeitsbedarf bei der Reduktion von Prozessschritten. Änderungen ergeben sich auch beim benötigten Wissen der Arbeitskräfte, aus dem ein unterschiedlicher Qualifikationsbedarf der Unternehmen folgt. Allerdings führt dies nach Expertenaussagen nicht zu signifikant höheren Kosten.

Analog kann der Bedarf für Hilfs- und Betriebsstoffe durch eine Reduzierung der Verfahrensschritte sinken. Allerdings können in Einzelfällen die Kosten für Hilfs- und Betriebsstoffe auch zum Nachteil der Biotechnologie ausfallen. So können z.B. bei den geringen Tonnagen die Enzymkosten relativ teuer sein.

Gesamtkosten: Zusammenfassend sind Kostensenkungen v.a. durch eine höhere Gesamteffizienz zu erwarten. Bei den bereits oben genannten Fallbeispielen (Riboflavin, ACA-7, Cephalosporin, Lysin) liegen diese sogar bei ca. 40-50% (IPTS 2007; Hoppenheidt et al. 2005; Festel et al. 2004). Allerdings sind diese Verfahren als Positivbeispiele zu werten, im Durchschnitt ist eine geringe Kostenersparnis zu erwarten. Zudem stehen, wie bereits erwähnt, nicht allen Fällen die Einsparung von Kosten, sondern Qualitätssteigerungen im Vordergrund.

3.3.5 Fazit für die wirtschaftlichen Auswirkungen

Die wirtschaftlichen Auswirkungen der Biotechnologie in diesem Anwendungsfeld sind sehr vielschichtig. Prozessinnovationen, die zu einer direkten Einsparung von Arbeitskräften und/oder Vorleistungsgütern führen, haben nach dem Stand der empirischen Wirtschaftsforschung (Pianta 2005) häufig negative gesamtwirtschaftliche

Beschäftigungseffekte. In der Regel reichen hier kompensatorische Effekte, z.B. eine zusätzliche Nachfrage infolge von Preissenkungen, nicht aus, um den geringeren Arbeits- und Vorleistungsgüterbedarf für eine bestimmte Outputmenge auszugleichen. Allerdings kann daraus nicht geschlossen werden, dass Prozessinnovation negativ für eine Volkswirtschaft sind. Vielmehr könnte ein Verzicht auf biotechnologische Prozessinnovationen zu einem Verlust an internationaler Wettbewerbsfähigkeit und Standortattraktivität führen, welche mit höheren Produktions- und Beschäftigungsverlusten verbunden sein können. Daneben sind die möglichen positiven Wirkungen von einhergehenden Produktinnovationen zu beachten, auch wenn sich das daraus ergebende Marktpotenzial bei Fein-/Spezialchemikalien schwer abschätzen lässt.

3.4 Biopharmazeutika

Der große Einfluss der Biotechnologie in der Pharmaindustrie liegt zu einem wichtigen Teil in der Entwicklung neuer Wirkstoffe, den Biopharmazeutika.[20] Daneben sind biotechnologische Methoden auch für die F&E chemischer Wirkstoffe von immer höherer Bedeutung, bspw. für die Identifizierung neuer Wirkorte (Gaisser et al. 2005). Nach Expertenaussagen werden alle neuen Medikamente in einer oder mehreren Phasen des Entwicklungsprozesses mit biotechnologischen Methoden bearbeitet. Daneben werden biotechnologische Methoden teilweise auch zur Produktion von „small molecules“ eingesetzt (IPTS 2007, Arundel 2007).[21] Dennoch zeigen sich einige Unterschiede zwischen Biopharmazeutika und „small molecules“, die in den folgenden Kapiteln erläutert werden. Diese Unterschiede sind von erheblicher wirtschaftlicher Relevanz und machen die Auswirkungen der Biotechnologie deutlich.

3.4.1 Aktuelles Marktpotenzial und Perspektive bis 2020

Die Pharmaindustrie gehört zu den dynamischsten Branchen innerhalb des Verarbeitenden Gewerbes mit einem hohen Anteil der Bruttowertschöpfung am Produktionswert (ca. 35%) (Statistisches Bundesamt 2008a). Der Produktionswert in der Pharmaindustrie lag im Jahr 2005 bei 22,7 Mrd. € (2007: 26,2 Mrd. €), die Beschäftigung betrug ca. 113 Tsd. (2007: 112 Tsd.) Erwerbspersonen (Statistisches Bundesamt 2008b). Zukünftig werden die

[20] In der Literatur zeigen sich allerdings erhebliche Unterschiede bei der Definition und Zuordnung einzelner Wirkstoffe zu dieser Gruppe (z.B. Arundel/Mintzes 2004; BCG 2006); die Aussagen zur größenmäßigen Bedeutung von Biopharmazeutika differieren daher. Im Rahmen dieser Studie wird in Anlehnung an Reiss et al. (2007) Biopharmazeutika als alle „[…] recombinant products such as interferon, interleukin, growth factors; blood factors, hormones and other peptides and proteins; antibodies, immuntoxins, and immunoconjugates“ (Reiss et al. 2007, S.45) definiert. Daneben wird die kleine Gruppe der rekombinanten Vakzine (Impfstoffe) mit einbezogen.

[21] Allerdings bestehen hier bisher keine Möglichkeiten, die ökonomischen Auswirkungen der Nutzung der Biotechnologie zu bestimmen, da statistische Daten oder ein Überblick von Experten hierzu fehlen (ETEPS 2007; Arundel 2007). Der Anteil der biotechnologischen Produktion von „small molecules“ wird von ETEPS (2006) auf ungefähr 10-15% bei steigender Tendenz geschätzt.

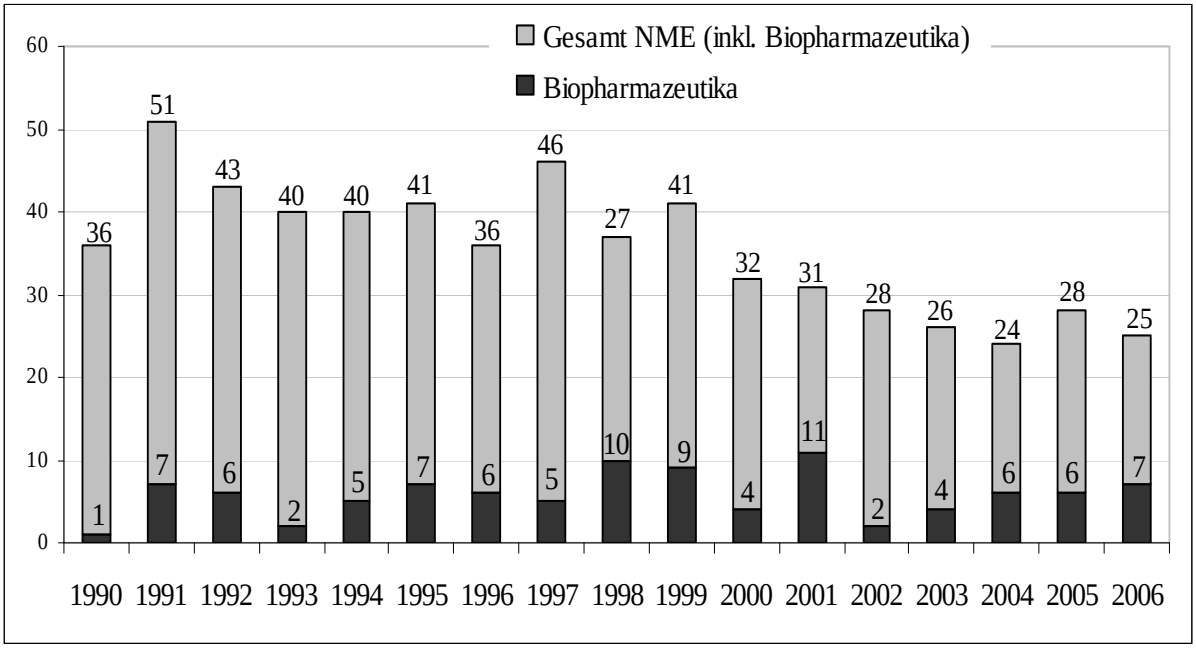
Wachstumsperspektiven der Pharmabranche positiv eingeschätzt (z.B. Bräuninger et al. 2008; Nusser et al. 2007b). Als wichtiger Faktor auf der Angebotsseite gelten neue technologische Möglichkeiten (z.B. durch Biotechnologie). Auf der Nachfrageseite entstehen zunehmend neue Absatzmärkte in aufstrebenden Ländern (z.B. Asien) sowie ein höherer inländischer Bedarf aufgrund der alternden Bevölkerung (u. a. viele Patienten mit mehreren Krankheitsbildern) und der Zunahme chronischer Krankheiten (Nusser et al. 2007d; Bräuninger et al. 2007).

Bei der Untersuchung der Diffusion von Biopharmazeutika ist die Verbreitung in der Produktion sowie in der F&E von Interesse. Daher sind mehrere Indikatoren zu unterscheiden. Diese hängen aber eng miteinander zusammen, schließlich ist z.B. die Verbreitung der Biopharmazeutika in klinischen Studien ein möglicher Frühindikator für die Entwicklung in der Produktion. Es werden dabei folgende Indikatoren analysiert:

- Anteil von Biopharmazeutika an den neu am Markt zugelassenen Substanzen
- Anteil der Biopharmazeutika an getesteten Substanzen in den klinischen Studien (als Frühindikator für die zukünftigen am Markt zugelassenen Substanzen)
- Anteil der Biopharmazeutika beim Umsatz von pharmazeutischen Produkten

Als zentraler Indikator für den Forschungsoutput gilt der Anteil von Biopharmazeutika an den neu am Markt zugelassenen Substanzen (NMEs = „New Molecular Entities“). Dabei unterscheiden sich die vorliegenden Berechnungen aufgrund der unterschiedlichen Definitionen von Biopharmazeutika. Nach OECD-Berechnungen ist der Anteil der Biopharmazeutika bei den neu zugelassenen NMEs in Europa und USA zwischen 1989 und 1998 stark gestiegen, ist seitdem aber eher konstant bei einem Anteil von ca. 15% geblieben (Arundel 2007). Nach Reiss et al. (2007) lag der Anteil (allerdings ohne Vakzine) zwischen 1996 und 2005 in der EU bei ca. 10%, in den USA bei 11%. Anderen Berechnungen zufolge lag der Anteil in den vergangenen Jahren bei rund 20% (z.B. BCG 2008). Einige der befragten Experten gehen sogar von deutlich höheren Werten aus. Dabei ist insgesamt zu beachten, dass sich die absolute Zahl an zugelassenen Biopharmazeutika eher verhalten entwickelt hat. Die Bedeutung steigt demnach nur relativ zu „small molecules“, bei denen die Zulassungen rückläufig sind (Hopkins et al. 2007). Dies wird in Abbildung 2 deutlich. Bei den zugrunde liegenden Berechnungen von EFPIA (2008), betrug der durchschnittliche Anteil der Biopharmazeutika zwischen 1996 und 2005 rund 20%.

Abbildung 2: Anzahl der jährlich weltweit eingeführten „New Molecular Entities“



Quelle: EFPIA 2008

Als Anhaltspunkt für die mögliche zukünftige Entwicklung des Anteils der Biopharmazeutika an den NMEs gilt der Anteil der Biopharmazeutika an getesteten Substanzen in den klinischen Studien. Die biopharmazeutische „Forschungspipeline“ deutet nach der OECD (Arundel 2007) auf eine ungefähre Verdoppelung der biopharmazeutischen NMEs pro Jahr im Zeitraum 2010 bis 2015 gegenüber dem Zeitraum 2000 bis 2006 bei einem leicht zunehmenden Anteil (18% statt 14%) an den gesamten NMEs hin. Reiss et al. (2007) stellen für die EU einen stabilen Anteil der Biopharmazeutika an klinischen Studien fest, in den USA ist der Trend sogar leicht negativ. Demnach würden nur deutlich höhere Zulassungsraten für Biopharmazeutika für eine Erhöhung des Marktanteils sprechen. Die befragten Experten sind etwas optimistischer. So wird teilweise bereits aktuell ein höherer Anteil angenommen, der zukünftig gehalten oder sogar ausgebaut werden kann.

Die Bedeutung der Biopharmazeutika beim Umsatz hat besonders seit Mitte der 1990er Jahre zugenommen. Nach Berechnungen von Reiss et al. (2007) ist der Umsatz in den Jahren 1996 bis 2005 mit 23% p.a. in der Europäischen Union wesentlich dynamischer gewachsen als derjenige der gesamten Pharmazie (11% p.a.). Der Anteil der Biopharmazeutika hat sich von knapp 4% im Jahr 1996 auf 10% im Jahr 2005 erhöht (Reiss et al. 2007).[22] Dies liegt besonders daran, dass der durchschnittliche Umsatz je Biopharmazeutika in der EU deutlich gestiegen ist.[23] Zeitreihen für Biopharmazeutika in Deutschland liegen nur bedingt vor,

[22] Dabei zeigen sich keine erheblichen Schwankungen im Zeitablauf, wie es bei den zugelassenen neuen Molekülen pro Jahr der Fall ist.

[23] Der durchschnittliche Umsatz je Biopharmazeutika hat sich zwischen 1995 und 2005 verdreifacht und erreichte im Jahr 2005 einen Wert von 133 Mio. € pro Jahr (Reiss et al. 2007).

zeigen aber zumindest für die vergangenen Jahre eine sehr ähnliche Tendenz. Nach Angaben des Verbands forschender Arzneimittelhersteller (VFA 2007,2008) lag der Umsatz (inklusive Vakzine) in Deutschland im Jahr 2005 bei rund 11% (2007 bei 14,2%). Zu ähnlichen Ergebnissen kommt die Boston Consulting Group für Biopharmazeutika mit 12% für 2006 und 15% für das Jahr 2007 (BCG 2007; 2008) Die Expertenmeinungen bei der Einschätzung der zukünftigen Diffusion differieren deutlich stärker als bei den anderen Fallbeispielen. Dies lässt sich vermutlich zum kleineren Teil auf die differierenden Annahmen der Experten zu den bisherigen Anteilen der Biopharmazeutika an NME zurückführen. Bedeutender ist, dass die Diffusion der Biopharmazeutika durch einige zentrale Faktoren stark beeinflusst wird:

- **Technologieentwicklung:** Von der technologischen Seite aus ist dabei entscheidend, inwiefern es gelingt, erfolgreiche Therapien für weit verbreitete, bisher nur sehr eingeschränkt behandelbare Krankheiten (Krebs, Alzheimer etc.) zu entwickeln.
- **Rahmenbedingungen/Nachfrage:** Dabei sind vor allem die Kostendämpfungspolitik und in diesem Zusammenhang stehende Regelungen von Bedeutung (OECD 2005; Paris/Docteur 2008). Durch die Regelungen für Neuzulassungen von Arzneimitteln und die Festlegung der Erstattungsbestimmungen (z.B. Einbezug in die Erstattung, Budgethöchstgrenzen für Ärzte oder Höchsterstattungspreise) wird die Diffusion neuer Arzneimittel und Anreize für zukünftige F&E stark beeinflusst (OECD 2008d; OECD 2005; Productivity Commission 2005). Biopharmazeutika können von Änderungen in der Regulierung, aufgrund der tendenziell höheren Therapiekosten, der vergleichsweise hohen Bedeutung von Neuzulassungen und ihrem häufigen Einsatz für kleine Patientengruppen, in besonderem Maße betroffen sein (OECD 2005; Rosenberg-Yunger et al. 2008).
- **Verbreitung von Biogenerika:** Auch bei Biopharmazeutika ist grundsätzlich ein wachsender „Biogenerika-Markt“ möglich, da einige biopharmazeutische „Blockbuster-Produkte“ in den nächsten Jahren den Patentschutz verlieren oder bereits patentfrei sind (IKB/Prognos 2007). Allerdings ist die Nachahmung deutlich schwieriger, da die komplizierten Moleküle nur mit Hilfe genveränderter Mikroorganismen oder Säugetierzellen hergestellt werden können. Bereits kleine Unterschiede im Herstellungsverfahren können dabei zu Änderungen in Molekülstruktur und Wirkung führen. Das Imitat ist dem Originalwirkstoff daher nur „sehr ähnlich“, aber nicht identisch (Dukes 2008). Deshalb werden von den Behörden bei den Zulassungsverfahren in der Regel, wie bei den neuen Wirkstoffen, klinische Studien verlangt. Dies erschwert die Einführung der Biogenerika und verringert die Preisdifferenz zum Originalprodukt erheblich.

Für eine "Business as Usual"-Entwicklung, in der es zu keiner grundsätzlichen Veränderung der bisher eingeschlagenen Politik kommt, liegt der Durchschnitt der Expertenschätzung bei

knapp unter 25%.[24] Bei einer expansiveren Gesundheitspolitik, welche eine Finanzierung einer Vielzahl von neuen, häufig teuren Biotechnologie-Medikamenten ermöglicht sowie einer günstigen technologischen Entwicklung, wird im Durchschnitt ein Anteil über 30% angenommen.[25] Diese geschätzten Zuwächse am Umsatzanteil liegen höher als es die Betrachtung der Anteile an neuen Produkten vermuten lässt. Begründet werden kann dies nach Aussagen der Experten darin, dass es sich zumeist um teurere Produkte im Hochpreissegment handelt. Daneben diffundieren die relativ jüngeren, biopharmazeutischen Produkte stärker als „small molecules“, die Steigerung des Umsatzes je Produkt ist höher. Bei einer angenommenen Steigerung des gesamten Produktionswertes in der Pharmaindustrie von 2% p.a. müssten die jährlichen Wachstumsraten von Biopharmazeutika bei 7% bzw. 9% liegen, eine Entwicklung, die zumindest in jüngerer Vergangenheit erreicht wurde (Reiss et al. 2007; VFA 2007, 2008).

3.4.2 Internationaler Wettbewerb und Außenhandel

Die Pharmaindustrie gehört zu dem am stärksten internationalisierten Branchen. Es herrscht ein hoher Standortwettbewerb. Die Exportquote betrug in Deutschland im Jahr 2007 56%, der Produktionsanteil am Weltmarkt ca. 7% (VFA 2008). Seit den frühen 1990er Jahren zeigt sich aber ein deutlicher Bedeutungsverlust der deutschen Pharmaindustrie (Gaisser et al. 2005). Ein Hauptgrund lag in der mangelnden Gründungsdynamik vor Mitte der 1990er Jahre von Biotechnologie-Unternehmen und der unzureichenden Anwendung von Biotechnologie in großen Unternehmen (Lange 2006; Peter 2002; Jürgens/Sablowski 2005). In jüngerer Vergangenheit sind aber wieder Anzeichen einer Erholung der Pharmaindustrie in Deutschland erkennbar (Bräuninger et al. 2008; Nusser et al. 2007d). So sind bei den F&E-Ausgaben, bei wissenschaftlichen Publikationen und Patenten absolut und relativ im internationalen Vergleich Zuwächse für Deutschland erkennbar (Nusser et al. 2007d; OECD 2006a, 2006b; Paris/Docteur 2008). Diese Feststellung trifft, soweit die Datenlage Schlüsse hierfür zulässt, auch auf Biopharmazeutika zu (OECD 2006a, 2006b; Nusser et al. 2007c, 2007d). Informationen für Anteile Deutschlands bei der Produktion von Biopharmazeutika liegen in der Literatur nicht vor, der weltweite Produktionsanteils Europas beträgt rund 30% und ist damit ähnlich wie für die gesamte Pharmaindustrie (IPTS 2007). Bei der Zahl der spezialisierten Biotechnologieunternehmen in der Pharmaindustrie nimmt Deutschland im Jahr 2005 die dritte Stelle ein (OECD 2006a), bei den Produktionskapazitäten von Biopharmazeutika (in Liter Fermenter) liegt Deutschland im gleichen Jahr hinter den USA an

[24] Die Werte liegen innerhalb des Korridors der Schätzungen von Nusser et al. (2007a), die zwischen 18 und 40% für Jahr 2020 betragen. Die Grundlage für diese Schätzungen bildet eine schriftliche Befragung von rund 70 Experten.

[25] Dabei ist wie bei Fein-/Spezialchemikalien zu beachten, dass die Diffusion der Biopharmazeutika nicht einheitlich ist. Mögliche Bedeutungsverschiebungen von Krankheitsbildern wurden von den Experten bei den Schätzungen berücksichtigt.

zweiter Stelle (BCG 2006). Folglich bestehen einige positive Anzeichen für eine hohe internationale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands bei F&E und der Produktion von Biopharmazeutika.

Eine Verbesserung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit hätte erhebliche positive Folgewirkungen für die inländische Wirtschaft, da die internationalen Absatzmärkte in der Pharmaindustrie ein großes Nachfragepotenzial bilden und von wenigen Standorten aus beliefert werden können. Allerdings unterliegt die Einschätzung einer deutlich positiveren Entwicklung der Position Deutschlands bei Biopharmazeutika erheblichen Unsicherheiten, wie auch durch unterschiedliche Einschätzungen der Experten deutlich wurde. Schließlich zeigen sich in Deutschland neben den genannten Stärken auch einige Schwächen, z.B. bei der Venture-Capital-Finanzierung (Lange 2006; OECD 2006b).

3.4.3 Bedeutung der Biotechnologie für Produktinnovationen

Die Entwicklung neuer Produkte hat im Pharmasektor eine besondere Bedeutung, da über geistige Eigentumsrechte (v.a. Patente) eine langjährige Monopolstellung für das Produkt erreicht werden kann. Zudem besteht Bedarf nach verbesserten und neuen medizinischen Produkten zur Behandlung von Krankheiten (Patel et al. 2008; McKelvey 2008). Dabei lässt sich aber schwer beurteilen, inwiefern neue Produkte additiv oder substitutiv zu anderen Arzneimitteln eingesetzt werden.

Aus technologischer Sicht sprechen einige Argumente für die Neuartigkeit und einen tendenziellen additiven Impuls der Produkte. So sehen zum einen die befragten Experten die Biopharmazeutika hauptsächlich als Erweiterung der „small molecules“ an. Die Einsatzbereiche der Biotechnologie sehen sie vorrangig dort, wo man chemisch schwer eingreifen und ähnliche Wirkung erzielen kann, z.B. über die Bindung an bestimmten Rezeptoren oder der Ersetzung von fehlenden Stoffen/Proteinen im Körper. So entstehen durch die Biotechnologie neue „Wirkstoffklassen“, wie monoklonale Antikörper oder rekombinante Proteine. Bei Einsatzgebieten, bei denen sowohl biotechnologische als auch chemische Lösungen denkbar sind, wird nach Meinung der Experten die chemische Variante bevorzugtes Interesse erhalten, da zumindest bei der Produktion erhebliche Kostenvorteile für die Chemie existieren. Zudem ist tendenziell bei nicht lebensnotwendigen Arzneimitteln die Akzeptanz chemischer Präparate höher, da sie in Form von Tabletten eingenommen werden können, während Biopharmazeutika bisher über Spritzen verabreicht werden müssen.

Darüber hinaus werden biopharmazeutische Wirkstoffe in aller Regel auch nur biotechnologisch hergestellt, da sie nicht mit anderen Methoden in der erforderlichen Menge wirtschaftlich und in notwendiger Qualität produzierbar sind. Als klassisches Beispiel gilt die

Produktion von Insulin. Dies kann zwar auch nicht-biotechnologisch aus Tieren gewonnen werden, dort können aber erhebliche Verunreinigungen und dadurch Infektionsgefahren auftauchen. Zudem wäre die Produktion im nachgefragten Volumen kaum machbar (IPTS 2007). Nach einstimmiger Expertenmeinung gilt diese Vorteilhaftigkeit der biotechnischen Produktion für den großen Teil der Biopharmazeutika. Eine Ausnahme bilden einige Peptide, wenn sie aus kurzen Aminosäurenketten bestehen. Nach Expertenaussagen erhöhen sich möglicherweise die Größengrenzen von chemisch hergestellten Peptiden. Demnach würde auch für komplexere Aminosäuren die chemische Herstellung in Betracht kommen Diese Gruppe nimmt aber einen sehr kleinen Anteil an Biopharmazeutika ein (La Merie 2008).

Inwiefern es tatsächlich zu einer additiven Wirkung biopharmazeutischer Produkte am Markt kommt, hängt entscheidend vom Zusammenspiel dieser technologischen Möglichkeiten mit der Nachfrage und den regulativen Komponenten ab. Die oben genannten staatlichen Regelungen beeinflussen neben dem relativen Anteil der Biopharmazeutika auch entscheidend das absolute Wachstum und damit die Höhe der Umsätze neuer Produkte. Aus Nachfragesicht haben Biopharmazeutika besonders bei den Krankheitsbildern (v.a. Stoffwechselerkrankungen, Krebserkrankungen, Immun- und Infektionskrankheiten) eine hohe Bedeutung[26], bei denen das Marktvolumen groß ist, die Wachstumsraten in jüngerer Vergangenheit vergleichsweise hoch waren und auch zukünftig hoch eingeschätzt werden (Nusser et al. 2007d; IKB/Prognos 2007). Hieran schließt sich die konkrete Diskussion an, ob die Biopharmazeutika besonders zur Erfüllung von „unmet clinical needs“ beitragen, das heißt, einen therapeutischen Zusatznutzen für Krankheiten haben, wo ein Bedarf nach wirksameren Produkten besteht (Hopkins et al. 2007; Arundel/Mintzes 2004). Bisherige Vergleichsuntersuchungen zum therapeutischen Zusatznutzen zeigen leichte Vorteile der Biopharmazeutika. Bspw. wird deren Anteil von „me-too“ Produkten etwas geringer eingeschätzt (Arundel 2007; Arundel/Mintzes 2004; Joppy et al. 2005). Allerdings betonen die Autoren die Unsicherheit darüber ob sich diese Vorteilhaftigkeit fortsetzt oder der Zusatznutzen bspw. neuer Antikörper oder Proteine sich abschwächt.

Eine Erhöhung des Umsatzes in der Pharmaindustrie führt allerdings zu höheren Gesundheitsausgaben, wenn diese nicht an anderer Stelle infolge des Einsatzes der Biotechnologie eingespart werden können. Beispielsweise können neue therapeutische Behandlungsmöglichkeiten Aufenthalte in Krankenhäusern ersetzen oder die Art der medizinischen Intervention verändern. Einzelfallstudien zeigen (z.B. IPTS 2007; BCG 2006), dass in manchen Fällen Gesundheitskosten durch Biopharmazeutika eingespart werden können, Aussagen auf aggregierter Ebene sind bisher nicht möglich (Rosenberg-Yunger et al. 2008, S.364).

[26] Die Bedeutung wird dabei an Umsatzanteilen und Anteilen an Substanzen in der klinischen Phase gemessen (BCG 2008). Allerdings ist zu beachten, dass bei den großen Bereichen der Herz-/Kreislauferkrankungen und Erkrankungen des Nervensystems Biopharmazeutika bisher eher eine geringe Rolle spielen.

3.4.4 F&E und Herstellungsprozess

Neben der Entwicklung verbesserter Therapeutika wurden in der Vergangenheit häufig Hoffnungen in eine ressourceneffizientere F&E durch die Biotechnologie gesetzt (Hopkins et al. 2007). Der F&E-Prozess für neue Wirkstoffe in der Pharmazie ist sehr komplex und aufwändig. Er erstreckt sich über die Wirkstoffsuche hin zur präklinischen Phase (Tests der biologischen Wirkung und Sicherheit an Tieren) und den drei klinischen Phasen, bei denen Wirksamkeit, Sicherheit und Nebenwirkungen an kranken und gesunden Menschen überprüft werden. Danach erfolgt die Entscheidung von einer staatlichen Behörde, ob das Medikament zugelassen wird.[27] Insgesamt beträgt die Dauer des F&E-Prozess von der Wirkortsuche bis zur Zulassung ca. 8 bis 12 Jahre und auf eine zugelassene Substanz kommen in der Regel 5.000 bis 10.000 ursprünglich in der Wirkstoffsuche identifizierte Substanzen (OECD 2006a).

Insgesamt wird für die vergangenen Jahre bzw. Jahrzehnte eine deutliche Zunahme des F&E-Aufwand für neue NME festgestellt (Booth/Zemmel 2004; DiMasi et al. 2003). Studien für einen Vergleich zwischen Biopharmazeutika existieren dabei kaum. Aus Untersuchungen von DiMasi/Grabowski (2007) lässt sich kein signifikanter Unterschied ableiten.

Die Ableitung von Experteneinschätzungen zu diesem Vergleich und der möglichen zukünftigen Entwicklung ist aufgrund der Vielzahl von Faktoren, die den F&E-Prozess beeinflussen, sehr komplex. So werden in der Diskussion über den Einfluss der Biotechnologie nicht eindeutige Wirkungszusammenhänge, sondern sich gegenseitig überlagernde Entwicklungen diskutiert. Unterschiede im Forschungsaufwand können sich durch die verschiedenen Aufwendungen für einzelne Moleküle oder in den unterschiedlichen Abbruchsraten für Wirkstoffe im F&E-Prozess ergeben. Vor allem bei letzterem werden mögliche Vorteile der Biotechnologie diskutiert. Während nur ca. 20% der chemischen Wirkstoffe, die in die klinischen Phasen kommen, auch die Zulassung erreichen, sind es bei den Biopharmazeutika ca. 30% (DiMasi/Grabowski 2007, S.472). Die Experten schätzen die Zahlen geringer ein, das relative Verhältnis zueinander aber ähnlich.[28] So ermöglicht die Kenntnis der molekularen Prozesse im Körper durch biotechnologische Methoden die Medikamentenentwicklung auf Basis von Ursache-Wirkungszusammenhängen.[29] Deshalb ist die Abbruchsrate besonders in der ersten klinischen Phase, bei der die Verträglichkeit der

[27] Zu den F&E-Ausgaben wird häufig noch die so genannte 4.Phase hinzugezählt, die "Post-Marketing" Studien. Bei diesen Studien wird geprüft, ob bei bereits auf dem Markt befindlichen Medikamenten Nebenwirkungen auftreten.

[28] Auch in der Literatur weichen die Schätzungen teilweise von den angegeben Werten ab (siehe z.B. Hopkins et al. 2007).

[29] Ein weiterer theoretischer Vorteil der Biopharmazeutika liegt darin, dass bei Biopharmazeutika häufig die Ersetzung von körpereigenen Substanzen stattfindet, wobei geringe Verträglichkeitsprobleme auftreten bzw. zielgenauer die erwünschte Wirkung erreicht wird (DiMasi/Grabowski 2007). In der Praxis reicht das Wissen über das Gesamtsystem allerdings nicht unbedingt aus und es kann ebenfalls zu Verträglichkeitsproblemen kommen. Ein Beispiel ist die Antikörpertherapie bei Brustkrebs mit Herceptin. Hier können Störungen am Herzmuskel auftreten.

Substanzen und die Wirkung auf Körperfunktionen (z.B. Herz-Kreislauf, zentrales Nervensystem) im Vordergrund stehen, eher gering. Die befragten Experten erwarten diesen prinzipiellen Vorteil der niedrigeren Abbruchsrate auch für die Zukunft, allerdings in geringerem Ausmaß. So wird vermutet, dass der starke Anstieg an biopharmazeutischen Forschungsprojekten in der präklinischen Phase und den klinischen Phasen mit einer zunehmenden Zahl an Wirkstoffkandidaten mit geringerer Erfolgswahrscheinlichkeit einhergeht. Verstärkend könnten die regulatorischen Anforderungen bei der Zulassung und Kostenerstattung zunehmen, da sich mit steigender Anzahl von Therapeutika mit ähnlicher Wirkung der Wettbewerb untereinander verstärkt.

Ein weiterer Vorteil der Biopharmazeutika kann in der Bildung von Subpopulationen in den klinischen Phasen anhand genetischer Informationen (z.B. mit Biomarkern) bestehen, für die eine höhere Wirksamkeit des Therapeutikums besteht. In eine ähnliche Richtung gehen Bestrebungen einer stärker individualisierten Arzneimitteltherapie, bei welcher Arzneimittel für unterschiedliche genetische Klassen entwickelt werden (Patel et al. 2008). Der Forschungsaufwand je NME könnte sich dabei durch die Reduzierung von Patientengruppen in klinischen Studien sowie über niedrigere Abbruchsraten durch die Verbesserung der Verträglichkeit und die Fokussierung der Medikamente auf bestimmte Patientengruppen erhöhen. Die Mehrzahl der befragten Experten stuft diesen technologischen Vorteil und dessen Verbreitung als bedeutend ein. Einige davon sehen dabei aber nur einen begrenzten Einfluss auf die absolute und/oder relative Forschungsproduktivität, da z.B. die Bildung von Subpopulationen durch Biomarker auch bei „small molecules“ eingesetzt werden.[30] Für eine stärker individualisierte Arzneimitteltherapie müsste sich das regulatorische Umfeld ändern, z.B. bei den Anforderungen an Größen von Patientengruppen in den klinischen Studien. Allgemeiner gesagt können nur bei der Verbindung von technischen, regulatorischen sowie organisatorischen Veränderungen im F&E-Prozess und der Gesundheitsversorgung die möglichen Potenziale der Biotechnologie ausgeschöpft werden (Patel et al. 2008; Amir-Aslani/Negassi 2006; Hopkins et al. 2007; Nightingale/Martin 2004; Tait et al. 2007).

Auf der Gegenseite können vergleichsweise höhere Kosten für Biopharmazeutika dadurch entstehen, dass sie für komplexere Krankheitsbilder entwickelt werden, die aufwändigere klinische Prüfungen erfordern (Gaisser et al. 2005). Dieses Argument wird von vielen befragten Experten als sehr bedeutend angesehen. Zudem können leicht höhere Kosten durch zusätzlich notwendige Prüfungen auf Allerginität entstehen.[31] Dagegen zeigen sich auch kaum Hinweise für einen geringeren Technologiereifegrad der Biotechnologie, der für eine

[30] Geringe Produktivitätseffekte sehen auch Hopkins et al. (2007). Zudem wird darauf hingewiesen, dass die Technologieanwendung selbst recht kostenintensiv ist.

[31] Bei Biopharmazeutika handelt es sich nicht um eine identische Substanz wie bei „small molecules“, sondern sie werden über die Herstellung spezifiziert. Die bei der biotechnologischen Produktion entstehenden Nebenprodukte birgen allerdings ein allergenes Risiko und machen zusätzliche klinische Prüfungen notwendig.

relativ steigende Ressourceneffizienz sprechen würde. Die Experten sehen aufgrund der langen Zeitperiode der Anwendung der Biotechnologie in der Pharmaindustrie kaum einen Entwicklungsrückstand gegenüber der Chemie. Zugleich werden die zukünftigen Herausforderungen für Chemie und Biotechnologie als ähnlich eingestuft.

Wie diese verschiedenen Argumente zeigen, ist die zukünftige Entwicklung in Höhe und im Vergleich zur Chemie eher offen. Zukünftig wird von der deutlichen Mehrheit der Experten bis zum Jahr 2020 eine weitere Zunahme des Forschungsaufwandes für NMEs eingeschätzt. Als Gründe hierfür werden die Zunahme der notwendigen Grundlagenforschung durch die Erforschung immer komplexerer Krankheiten sowie steigende Kosten für klinische Studien infolge zunehmender regulatorischen Anforderungen gesehen. Einen signifikanten Unterschied zwischen der Forschungsproduktivität bei Biopharmazeutika und „small molecules“ erwarten die Experten hingegen nicht. Der Effekt der Biopharmazeutika wird nach den Aussagen viel mehr in einem zunehmenden Anteil der Biopharmazeutika bestehen, weniger in einer unterschiedlichen Forschungsproduktivität.[32] Damit zusammenhängend ist der mögliche qualitative Beitrag der Biopharmazeutika zur Erforschung komplexerer Krankheiten zu beachten. Hopkins et al. (2007, S.584) stellen hierzu fest: “Quantitative declines in productivity may hide very real qualitative improvements, as the pharmaceutical industry tackles increasingly difficult diseases.”

Herstellung von Biopharmazeutika

Der Anteil der Produktionskosten an den gesamten Ausgaben ist in der Pharmaindustrie vergleichsweise gering, allerdings nicht vernachlässigbar. Schätzungen für den durchschnittlichen Kostenanteil liegen bei bis zu 25% (Reinhard 2001; Basu et al. 2008). Zudem zeigen sich bei der Herstellung und der damit verbundenen Kostenhöhe und -struktur erhebliche Unterschiede zwischen Biopharmazeutika und „small molecules“.[33] Die Mehrheit der Experten schätzt die Herstellungskosten für Biopharmazeutika deutlich höher ein. Der Herstellungsprozess für Biopharmazeutika ist sehr komplex und anfällig für kleine Veränderungen. Neben diesen direkten technologischen Unterschieden beim Herstellungsprozess unterliegen diese auch den verschiedenen regulatorischen Rahmenbedingungen. Unterschiede bestehen insbesondere im Arzneimittelrechtlichen Validierungsfenster. So ist der Nachweis, dass der Prozess immer in der gleichen Reinheit stattfindet bei allen Produktionsschritten zu erbringen, während dies bei chemischen Produkten nur für die letzten Bearbeitungsschritte zutrifft. Dies erhöht bspw. die

[32] Einige Experten sehen die zukünftige Entwicklung der „small molecules“ optimistischer, aufgrund der möglichen Synergien die zwischen Biotechnologie und „small molecules“ bestehen. Auch in einem solchen Fall würde ein wichtiger Impuls durch die Biotechnologie kommen, wenn auch nicht in Form von Biopharmazeutika.

[33] Dabei ist zu beachten, dass sich die Herstellungskosten je nach Produkt – auch in der reinen Chemie – deutlich voneinander unterscheiden können. Insbesondere wurde von Experten auf Unterschiede zwischen Krankheitsklassen hingewiesen. Diese Unterschiede konnten nicht explizit untersucht werden, mögliche Verschiebungen wurden aber von den Experten bei den Schätzungen berücksichtigt.

Anforderungen an die Ausstattung und Qualitätskontrollen. Die höheren Herstellungskosten der biopharmazeutischen Produktion sehen die Experten dabei zu einem großen Teil über alle Produktionsfaktoren gleichverteilt an:

- **Investitionskosten:** Die benötigte Zeit, bis eine neue Anlage aufgebaut werden kann, wird als ungefähr doppelt so lange eingestuft. Es werden mehr klassifizierte Reinräume für die Produktion und zusätzliche Ausstattungen vor allem für die Aufreinigung (Downstreaming) benötigt.
- **Kosten für Material- und Hilfsstoffe:** Der Bedarf nach teuren Hilfsmitteln (z.B. Harze) ist bei Biopharmazeutika sehr hoch. Zusätzlich fallen im Gegensatz zu chemischen Produkten erheblich höhere Kosten für die Gefriertrocknung und Kühlung der Produkte an.
- **Arbeitskosten:** Einigkeit der Experten besteht auch darin, dass der Arbeitsaufwand bei der biotechnologischen Produktion höher liegt. So wird sowohl ein höherer Anteil an hochqualifiziertem Personal als auch mehr Personal benötigt. Dies betrifft zum einen die Qualitätsüberwachung, bei der in der Regel mehr Personen notwendig sind. Zum anderen werden auch im betrieblichen Mittelmanagement mehr Ingenieure und Techniker benötigt.

Gesamte Herstellungskosten: Für die Beurteilung der Kostensituation bis zum Jahr 2020 sind mögliche zukünftige Entwicklungen bei der biopharmazeutischen Herstellung zu beachten. Einigkeit bei den Experten besteht darin, dass zukünftig die Herstellungsprozesse weiter optimiert werden können. Fortschrittmöglichkeiten werden bspw. in der Verbesserung von (Hoch-) Expressionssystemen gesehen, indem Reinigungsschritte und Ausbeute erhöht werden können.[34] Die Meinungen über das mögliche Ausmaß der Optimierungsmöglichkeiten differieren allerdings. Während die eine Hälfte eine deutliche Optimierung erwartet, sieht die andere Hälfte nur einen geringe Optimierungsmöglichkeit, die als „Business as Usual“ betrachtet wird. Eine Begrenzung liegt in den erwähnten regulatorischen Anforderungen, die wenig Spielraum für Veränderungen offen lassen, und für die es nach Aussagen der Experten keine Anzeichen für grundlegende Änderungen gibt. Ähnlicher sind die Expertenaussagen zu der zukünftigen Produktionskostendifferenz zwischen Biopharmazeutika und „small molecules“, da ein Teil der Experten mit sehr optimistischen Aussagen bei Kostensenkungen diesen Vorteil auch in der Chemie sieht.

[34] Fernere zukünftige Möglichkeiten werden bspw. in der Produktion der Biopharmazeutika in transgenen Tieren und Pflanzen gesehen. Eine signifikante Verbreitung dieser Herstellungsmethoden bis 2020 wird von den Experten allerdings nicht erwartet.

3.4.5 Fazit für die wirtschaftlichen Auswirkungen

Es bestehen einige Anzeichen, dass es sich bei den Biopharmazeutika in vielen Fällen um additive Produktinnovationen handelt. Die Marktausweitung ist zunächst mit zusätzlicher Produktion und Beschäftigung verbunden. Wenn allerdings nicht an anderer Stelle Kosten eingespart werden können, steigen die Gesundheitsausgaben, zumal es sich häufig um Medikamente im Hochpreissegment handelt. Diese zusätzliche Kostenbelastung kann wiederum zu einer Verringerung des Nettoeinkommens und des Privatkonsums führen. Da eine Konsumveränderung sich in der Regel v.a. in der Nachfrage nach arbeitsintensiven Dienstleistungen auswirkt, ist die Nettobeschäftigungswirkung offen. Neben dieser rein wirtschaftlichen Interpretation sind allerdings die Folgen auf die Gesundheit zu betrachten, die in diesem Anwendungsfeld schließlich im Vordergrund stehen.

4 Schlussfolgerungen

Nach Einschätzungen aus der Literatur und Experten wird für alle Anwendungsfelder eine deutliche Zunahme der Verbreitung biotechnologischer Methoden und Verfahren bis zum Jahr 2020 erwartet. Mit welcher Geschwindigkeit und in welchem Umfang die Marktdurchdringung der Biotechnologie vonstatten geht, hängt allerdings von einer Vielzahl von Diffusionsfaktoren ab. Diese Faktoren sind zum Teil anwendungsfeldübergreifend (z.B. qualifiziertes Personal, Preisverhältnis Öl zu nachwachsenden Rohstoffen), zum Teil sind sie aber auch anwendungsspezifisch (z.B. Regelungen im Gesundheitssystem). Eine erfolgreiche Innovationspolitik und ein erfolgreiches Agieren der verschiedenen Akteure (z.B. Unternehmen, Forschungseinrichtungen) muss deshalb an verschiedenen Punkten ansetzen und die Spezifika einzelner Anwendungsfelder berücksichtigen.

Der Einsatz der Biotechnologie in den verschiedenen Anwendungsfeldern ist mit unterschiedlichen Vorteilen verbunden. So können die Vorteile in einer Kostensenkung, einer nachhaltigeren Rohstoffnutzung aber auch in einer zusätzlichen Nachfrage durch Produktinnovationen bestehen. Für die Wirkungsrichtung der Biotechnologie auf Veränderungen bei der Produktion und Beschäftigung lässt sich dabei kein eindeutiger Schluss ziehen. Vielmehr scheint sich der jeweilige Einsatzzweck der Biotechnologie (z.B. Rohstoffersetzung, Kostenersparnis, neue Produkte) zusammen mit spezifischen Rahmenbedingungen (z.B. Flächenverfügbarkeit in der Landwirtschaft, Regelungen zur Kostendämpfung im Gesundheitssystem) entscheidend auf die Ergebnisse auszuwirken. Die einzelnen Wirkungsmechanismen kommen in den Fallbeispielen schließlich unterschiedlich zum Tragen (vgl. Tabelle 6). Beispielsweise sind bei Bioethanol und Biopolymeren wegen der unterschiedlichen Rohstoffbasis im Vergleich zum Substitut Struktureffekte (Arbeitsintensitäten, Importintensitäten) von hoher Bedeutung, bei Biopharmazeutika hingegen die Folgewirkungen auf die Nachfrage. Von sehr hoher Bedeutung für alle

Anwendungsfelder ist des Erfolg im internationalen Wettbewerb. Hier sprechen vielen Experten der erfolgreichen Nutzung der Biotechnologie eine zentrale Rolle zu. Aufgrund des starken internationalen Wettbewerbs ist aber zumeist nicht von einem zusätzlichen Ausbau der weltweiten Produktionsanteils für Deutschland zu erwarten.

Tabelle 6: Zusammenfassung der Ergebnisse und Wirkungsmechanismen in den Fallbeispielen

	Ethanol	**Biopolymere**	**Fein-/Spezial-chemikalien**	**Biopharmazeutika**
Hauptwirkungen	Strukturelle Effekte durch Rohstoffwechsel; leichter Rückgang Konsumnachfrage; keine direkten Freisetzungseffekte	Strukturelle Effekte durch Rohstoffwechsel; geringe zusätzliche Konsumnachfrage durch Preissenkung; keine direkten Freisetzungseffekte;	Zusätzliche Konsumnachfrage durch Preissenkung; gewisse direkte Freisetzungs-effekte	sehr positive direkte Effekte durch Produktinnovation; Mögliche Konsum-einschränkungen durch höhere Gesundheitskosten;

Quelle: Eigene Darstellung

Allerdings ist zu beachten, dass diese Betrachtung der Nettoeffekte nur einen Teil der wirtschaftspolitischen Bedeutung einer Technologie abdecken kann. So kann die Bedeutung einer Technologie vielmehr in der Sicherung von bestehenden Arbeitsplätzen im internationalen Wettbewerb bestehen. Studien zu den Bruttobeschäftigungseffekten der Biotechnologie zeigen (u.a. Nusser et al. 2007c), dass ein bedeutender Anteil an Produktion und Beschäftigung bereits mit der Technologie verbunden und eng von der Entwicklung der Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in diesem Bereich abhängt. Darüber hinaus sind durch die erhofften positiven Effekte auf eine geringere Umweltverschmutzung, nachhaltige Rohstoffnutzung und Gesundheit neben der Erfüllung anderer gesellschaftspolitischer Ziele auch Rückwirkungen auf die Wirtschaft denkbar (z.B. höhere Produktivität durch geringere Arbeitsfehlzeiten).

Literaturverzeichnis

Angrick, M. (2006): Vorwort. In: Dubbert, W.; Heine, T.: Weiße Biotechnologie - Ökonomische und ökologische Chancen, Berlin, S. 8-9.

Arundel, A. (2007): Bioeconomy to 2030. International Futures Project: Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda. Foliensatz für Vortrag in Athen am 6.11.2007.

Basu, P.; Joglekar, G.; Rai, S.; Suresh, P.; Vernon, J. (2008): Analysis of Manufacturing Costs in Pharmaceutical Companies. In: Journal of Pharmaceutical Innovation, Vol. 3, S. 30-40.

BCG (2006): Medizinische Biotechnologie in Deutschland 2006 – Wirtschaftliche Bedeutung und Erfolgsfaktoren. BCG Report.

BCG (2007): Medizinische Biotechnologie in Deutschland 2007 – Wirtschaftliche Situation, Nutzen und Einsatz von Biopharmazeutika. BCG Report.

BCG (2008): Medizinische Biotechnologie in Deutschland 2008 – Wirtschaftsdaten und Innovationskraft. BCG Report.

Beucker, S.; Marscheider-Weidemann, F. (2007): Zukunftsmarkt Biokunststoffe. Fallstudie im Auftrag des Umweltbundesamtes im Rahmen des Forschungsprojektes Innovative Umweltpolitik in wichtigen Handlungsfeldern, Nr. 07/08, Berlin.

Blattner, N. (1996): Technischer Fortschritt und Arbeitslosigkeit, in: Gahlen, B. Hesse, H.; Ramser, H. J. (Hrsg.): Arbeitslosigkeit und Möglichkeiten ihrer Überwindung, Tübingen, S. 211-228.

BMU (2008): Weiterentwicklung der Strategie zur Bioenergie. April 2008, Berlin.

Bohlmann, G. (2006): Process Economic Considerations for Production of Ethanol from Biomass Feedstocks. In: Industrial Biotechnology, Vol. 2, S. 14-20.

Booth, B.; Zemmel, R. (2004): Prospects for Productivity. In: Nature Reviews Drug Discovery, Vol. 2, S. 451- 456.

Bräuninger, M.; Straubhaar, T.; Fitzner, V.; Teichmann, G. A. (2008): Politik-Check Pharmastandort Deutschland: Potenziale erkennen – Chancen nutzen. In: HWWI Policy Report des HWWI Komptenzbereiches Wirtschaftliche Trends ,Nr. 7, Hamburg.

Buchholz, S. (2006): Science to Business Center - Bio-Zentrum für »Weiße Biotechnologie« der Degussa AG. Vortrag auf der Tagung »auf Bio-raffiniert III«, 2.–3. Februar 2006, Vortragsfolien, Gelsenkirchen.

Carole, T.M.; Pellegrino, J.; Paster M. D. (2004): Opportunities in the Industrial Bio-based Products Industry. In: Applied Biochemistry and Biotechnology, Vol. 115, S. 871-885.

Chateau, B.; Biberacher, M.; Birnbaum, U.; Hamacher, T.; Lako, P.; Martinsen, D.; Patel, M.; Pospischil, W.; Quercia, N.; Smekens, K. (2005): VLEEM 2 (Very Long Term Energy Environment Model), Grenoble.

CONCAWE (2006): Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context. Version 2c.

CRA (Charles River Associates) (2004): Innovation in the Pharmaceutical Sector. A study undertaken for the European Commission, London, Brüssel.

Crank, M.; Patel, M.; Marscheider-Weidemann, F.; Schleich, J.; Hüsing, B.; Angerer, G. (2004): Techno-economic Feasibility of Large-scale Production of Bio-based Polymers in Europe (PRO-BIP). Final Report prepared for the European Commission's Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla, Spain, Universität Utrecht, Utrecht, Fraunhofer ISI, Karlsruhe.

Deimling, S.; Goymann, M. ; Baitz, M.; Rehl, T. (2007): Auswertung von Studien zur ökologischen Betrachtung von nachwachsenden Rohstoffen bei einer stofflichen Nutzung. Gutachten im Auftrag von der Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V., Leinfelden-Echterdingen.

Dickson, M.; Gagnon, J. P. (2004): Key factors in the Rising Cost of new Drug Discovery and Development. In: Nature Reviews Drug Discovery, Vol. 3, S. 417-429.

DiMasi, J. A.; Grabowski, H. G. (2007): The Cost of Biopharmaceutical R&D: Is Biotech Different?. In: Managerial and Decision Economics, Vol. 28, S. 469-479.

DiMasi, J.A.; Hansen, R. W.; Grabowski, H. G. (2003): The Price of Innovation: New Estimates of Drug Development Costs. In: Journal of Health Economics, Vol. 22, S. 151-185.

Dornburg, V.; Faaij, A.; Wicke, B. (2007): Developments in Bioenergy Production across the World - Electricity, Heat and Second Generation Biofuels. Consultancy report and database provided to the OECD Secretariat, Nr. 23.

Dukes, M. N. G. (2008): OECD International Futures Project on "The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda". Biotechnology Regulation in the Health Sector. In: Multidisciplinar Issues International Futures Programm Series der OECD, Paris.

ECCP (2001): European Climate Change Programme – Long Report. European Commission, Brüssel.

EFPIA (European Federation of Pharmaceutical Industries and Associations) (2008): The Pharmaceutical Industry in Figures, European Federation of Pharmaceutical Industries and Associations, Brüssel.

Euractiv (2008): Energie-Abkommen: EU beschließt 10%-Ziel für ‚Öko-Kraftstoffe', Downlooad: http://www.euractiv.com/de/verkehr/energie-abkommen-eu-beschliet-10-ziel-oko-kraftstoffe/article-177843, Zugriff: 08.12.2008.

Festel, G.; Knöll, J.; Götz, H.; Zinke, H. (2004): Der Einfluss der Biotechnologie auf Produktionsverfahren in der Chemieindustrie. In: Chemie Ingenieur Technik, Vol. 76, S. 307-312.

FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (2008): Biokraftstoffe Basisdaten Deutschland, Gülzow

Fraunhofer ISI (2006): Working Paper Work Package 1: Identification and characterization of Environmental Technologies, EU- Projekt FORASSET, Fraunhofer ISI, Karlsruhe.

Gaisser, S.; Nusser, M.; Reiss, T. (2005): Stärkung des Pharma-Innovationsstandortes Deutschland, Stuttgart.

Gavrislescu, M.; Chisti, Y. (2005): Biotechnology – A sustainable Alternative for Chemical Industry. In: Biotechnology Advances, Vol. 23, S. 471- 499.

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.

Henniges, O. (2007): Die Bioethanolproduktion – Wettbewerbsfähigkeit in Deutschland unter Berücksichtigung der internationalen Konkurrenz. Josef Eul Verlag, Hohenheim.

Hess, J. R.; Wright, C. T.; Kenney, K. L. (2007): Cellulosic Biomass Feedstocks and Logistics for Ethanol Production. In: Biofuels, Bioproduction, Biorefineries, Vol. 1, S. 181-190.

Hopkins, M.; Martin, P.; Nightingale, P.; Kraft, A.; Mahdi, S. (2007): The Myth of the Biotech Revolution: An assessment of Technological, Clinical and Organisational Change. In: Research Policy, Vol. 36, S. 566-589.

Hoppenheidt, K.; Mücke, W.; Peche, R.; Tronecker, D.; Roth, U.; Würdinger, E.; Hottenroth, S.; Rommel, W. (2005): Entlastungseffekte für die Umwelt durch Substitution konventioneller chemisch technischer Prozesse und Produkte durch biotechnische Verfahren. Forschungsbericht für das Umweltbundesamt, Nr. 07/05, Berlin.

IFEU (2007): Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie: Optionen und Potenziale für die Zukunft. Studie des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH.

IPTS (2007): Consequences, Opportunities and Challenges of Modern Biotechnology for Europe, Bio4EU Synthesis Report, http://bio4eu.jrc.es/documents/eur22728en.pdf). Zugriff: 06.11.2007.

Joppi, R.; Bertele, V.; Garattini, S. (2005): Disappointing Biotech. In: British Medical Journal Vol. 331, S. 895-897.

Jürgens, U.; Sablowski, T. (2005): Die Vielfalt sektoraler Innovationsprozesse – Pharmaindustrie, Telekommunikation, Autoindustrie. In: WSI-Mitteilungen, Vol. 58, S. 121-129.

Kaeb, H. (2006): Biokunststoffe & Bioverpackungen. Informationen des Verbandes European Bioplastics für einen parlamentarischen Abend im Dezember 2006, Berlin.

Klauder, W. (1986): Technischer Fortschritt und Beschäftigung. In: Mitteilungen der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Nr. 1, S. 1-19.

La Merie (2008): TOP 20 Biologics 2007/R&D Pipeline News. A premier Information Source of Biopharmaceutical R&D.

Lange, K. S. G. (2006): Deutsche Biotech-Unternehmen und ihre Innovationsfähigkeit im internationalen Vergleich – eine institutionentheoretische Analyse.

Lynd, L. R.; Laser, M. S.; Bransby, D.; Dale, B. E.; Davison, B.; Hamilton, R.; Himmel, M.; Keller, M.; McMillan, J. D.; Sheehan, J.; Wyman; C. E. (2008): How Biotech can Transform Biofuels. In: Nature Biotechnology, Vol. 26, S. 169-172.

Marscheider-Weidemann, F.; Hüsing, B. (2004): Abfallvermeidung bei Produktionen für organische Spezialchemikalien durch den Einsatz hochspezifischer Katalysatoren. Forschungsbericht für das Umweltbundesamt, Nr. 21/04, Berlin.

McKelvey, M. (2008): Health Biotechnology: Emerging Business Models and Institutional Drivers. In: OECD International Futures Project on “The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda”, Paris.

Meiß, K.-M.; Eisenberg, W.; Gustrau-Wissing, M. (2003): Implementationsstudie zur biotechnologischen Produktion von Biopolymeren unter Einsatz digitaler Modelle auf der Basis nachwachsender Rohstoffe und organischer Abfälle. Forschungsbericht für das Umweltbundesamt, Nr. 38/03, Berlin.

Meyer, R.; Grunwald, A.; Rösch, C.; Sauter; A. (2007): Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen. Basisanalyse. Arbeitsbericht für das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Berlin, Nr. 121.

Meyer-Krahmer, F. (1999): Innovation als Beitrag zur Lösung von Beschäftigungsproblemen? In: Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Vol. 32, S. 402-415.

Mussatto, S. I.; Dragone, G.; Roberto, I. C. (2006): Brewers’ spent grain: Generation, Characteristics and Potential Applications. In: Journal of Cereal Science, Vol. 43, S. 1-14.

Müssig, J.; Carus, M. (2007): Bio-Polymerwerkstoffe sowie holz- und naturfaserverstärkte Kunststoffe. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.):

Marktanalyse- Nachwachsende Rohstoffe Teil II. Gutachten für das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Gülzow, S. 7-216.

MWV (2006): MWV-Prognose 2025 für die Bundesrepublik Deutschland, Hamburg.

MWV (2008): Zusammensetzung des Preises für Superbenzin 1972 bis 2007, http://www.mwv.de/cms/front_content.php?idcat=14&idart=56, Zugriff: 10.10.2008.

Neuwahl, F.; Löschel, A.; Mongelli, I.; Delgado, L. (2008): Employment Impacts of EU Biofuels Policy: Combining Bottom-up Technology Information and sectoral Market Simulations in an Input-Output Framework, Ecological Economics, S. 447-460.

Nusser, M.; Sheridan, P.; Walz, R.; Seydel, P.; Wydra, S. (2007a): Makroökonomische Effekte des Anbaus und der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen. Studie für das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz vertreten durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow.

Nusser, M.; Hüsing, B.; Wydra; S. (2007b): Potenzialanalyse der industriellen, weißen Biotechnologie. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). www.innovationsanalysen.de/de/download/endbericht_weisse_biotechnologie_final.pdf, Zugriff: 05.07.2007

Nusser, M.; Soete, B.; Wydra, S. (2007c): Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigungspotentiale der Biotechnologie in Deutschland. Edition der Hans Böckler Stiftung, Nr. 197, Düsseldorf.

Nusser, M.; Wydra, S.; Hartig, J.; Gaisser, S. (2007d): Forschungs- und wissensintensive Branchen: Optionen zur Stärkung ihrer internationalen Wettbewerbsfähigkeit– Innovationsreport; Arbeitsbericht Nr. 116, Berlin.

Oberholz, Biotechnologie – eine Zukunftstechnologie eröffnet neue Wege; Forum Zukunft: Vortrags- und Dialogveranstaltung des Verbandes der Chemischen Industrie e.V. (VCI); dbb forum Berlin, 18. September 2008

OECD (2001): The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability, Paris.

OECD (2005): The OECD Health Project- Health Technology and Decision Making, Paris.

OECD (2006a): Biotechnology Statistics, OECD, Paris.

OECD (2006b): Innovation in Pharmaceutical Biotechnology. Comparing national Innovation Systems at the sectoral Level, Paris.

OECD (2008a): Economic Assessment of Biofuel Support Policies, Paris.

OECD (2008b): Rising Agricultural Prices: Causes, Consequences and Responses, Policy Brief August 2008

OECD (2008c): Draft Analytical Report on Current Status and Trends in Research and Development for Industrial Biotechnology, Paris.

OECD (2008e): OECD Health Policy Studies - Pharmaceutical Pricing Policies in a Global Market, Paris.

Oertel, D. (2007): Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Sachstandsbericht zum Monitoring »Nachwachsende Rohstoffe«. Arbeitsbericht für das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Nr. 114, Berlin.

Paris, V.; Docteur, E. (2008): Pharmaceutical Pricing and Reimbursement Policies in Germany. In: OECD Health Working Papers, Nr. 39, Paris.

Patel, M.; Crank, M.; Dornburg, V.; Hermann, B.; Roes, L.; Hüsing, B.; Overbeek, L.; Terragni, F.; Recchia, E. (2006): Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources. The Potential of White Biotechnology, Utrecht University, Department of Science, Technology and Society (STS)/Copernicus Institute, Utrecht.

Patel, P.; Arundel, A.; Hopkins, M. (2008): Sectoral Innovation Systems in Europe: Monitoring, Analysing Trends and Identifying Challenges in Biotechnology. Sector Report. Final Report. Europe Innova.

Peter, V. (2002): Institutionen im Innovationsprozess - Eine Analyse anhand der biotechnologischen Innovationssysteme in Deutschland und Japan, Physica-Verlag, Heidelberg.

Phylipsen, D.; Kerssemeeckers, M.; Blok, K.; Patel, M.; de Beer, J., Eder, P.;Wolf, O. (2002): Clean Technologies in the materials Sector – Current and future Environmental Performance of material Technologies. European Commission - Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), EUR 20515 EN Seville.

Productivity Commission (2005): Impacts of Advances in Medical Technology in Australia. In: Productivity Commission Research Report, Melbourne.

Reinhardt, U. E. (2001): Perspectives on the Pharmaceutical Industry. In: Health Affairs, Vol. 20, S. 1363-1370.

Reiss, T.; Gaisser, S.; Dominguez Lacasa, I.; Buehrlen, B.; Schiel, B.; Enzing, C. und 30 weiteren Autoren (2007): Consequences, opportunities and challenges of modern biotechnology for Europe (Bio4EU) – Task 2. Main report. http://bio4eu.jrc.ec.europa.eu/documents/Bio4EU-Task2Mainreport.pdf, Zugriff: 25.02.2008.

Rosenberg-Yunger, Z. R. S.; Daar, A. S.; Singer, P. A.; Martin, D. K. (2008): Healthcare Sustainability and the Challenges of Innovation to Biopharmaceuticals in Canada. In: Health Policy, Vol. 87, S. 359-368.

Schmitz, N. (2005): Innovationen bei der Bioethanolerzeugung. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 26, Landwirtschaftsverlag, Münster.

Schöpe, M.; Britschkat, G. (2006): Volkswirtschaftliche Effekte der Erzeugung von Bioethanol zum Einsatz im Kraftstoffbereich. In: Ifo Schnelldienst, Nr. 21, München, S. 27-36.

Searchinger, T.; Heimlich, R.; Houghton, R.A.; Dong, F.; Elobeid, A.; Fabiosa, J.; Tokgoz, S.; Hayes, D.; Yu, T. (2008): Use of U.S. Croplands for Biofuels increases Greenhouse Gases through Emissions from Land Use Change. In: Science, Vol. 319, S. 1238-1240.

SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2007): Klimaschutz durch Biomasse, Sondergutachten, Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin.

Statistisches Bundesamt (2008a): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Fachserie 18 Reihe 1.4, Inlandsproduktsberechnung - Detaillierte Jahresergebnisse 2007, Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (2008b): Fachserie 4 Reihe 3.1: Produktion im produzierenden Gewerbe. Wiesbaden.

Steininger, K.; Kettner, C.; Kufleitner, A.; Loibnegger, T.; Pack, A.; Schleicher, S.; Töglhofer, C.; Trink, T. (2008): Volkswirtschaftliche Effekte einer erweiterten Biomasse-Energie-Nutzung in der Energieregion Oststeiermark. In: Wissenschaftlicher Bericht des Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel, Karl-Franzens-Universität Graz, Nr. 21-2008, Graz.

Suresh, P.; Basu, P. K. (2008): Improving Pharmaceutical Product Development and Manufacturing: Impact on Cost of Drug Development and Cost of Goods Sold of Pharmaceuticals. In: Journal of Pharmaceutical Innovation, Vol. 3, S. 175-187.

Thrän, D.; Weber, M.; Scheuermann, A.; Fröhlich, N.; Zeddies, J.; Henze, A.; Thoroe, C.; Schweinle, J.; Fritsche, U. R.; Jenseit, W.; Rausch, L.; Schmidt, K. (2005): Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext. Analysen im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern. Institut für Energetik und Umwelt, Leipzig.

VCI (Verband der Chemischen Industrie) (2008): Chemiewirtschaft in Zahlen: Ausgabe 2008, Frankfurt/Main.

VFA (Verband forschender Arzneihersteller e.V.) (2007): Statistics 2007. Die Arzneimittelindustrie in Deutschland, Berlin.

VFA (Verband forschender Arzneihersteller e.V.) (2008): Statistics 2008. Die Arzneimittelindustrie in Deutschland, Berlin.

Wagner, S.; Graf, N.; Böchzelt, H.; Schnitzer, H. (2005): Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie. In: Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Nr. 30/2005. Gutachten im Auftrag des BMVIT, Wien.

Walter, A.; Rosillo-Calle, F.; Dolzan, P.; Piacente, E.; Borges da Cunha, K. (2008): Perspectives on Fuel Ethanol Consumption and Trade. In: Biomass and Bioenergy, Vol. 32, S. 730-748.

WBA (Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik) (2007): Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik. Gutachten vom November 2007, Berlin.

WI; RWI (2008): Nutzungskonkurrenzen bei Biomasse – Auswirkungen der verstärkten Nutzung von Biomasse im Energiebereich auf die stoffliche Nutzung in der Biomasse verarbeitenden Industrie und deren Wettbewerbsfähigkeit durch staatlich induzierte Förderprogramme. Ein Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie GmbH (WI) und des Rheinisch-Westfälischen Institut für Wirtschaftsforschung (RWI) für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Endbericht, 25. April 2008, Wuppertal, Essen.

Anhang

Tabelle 7: Befragte Akteure in den Experteninterviews

AMGEN GmbH; ARTES Biotechnology GmbH; BASF SE; Baxter Deutschland GmbH; Bayer Technology Services GmbH; Biomer GmbH; Bitop AG; Boehringer Ingelheim Pharma GmbH & Co. KG; BTU Cottbus; Cargill Deutschland GmbH; ChemCon GmbH; Ciba Inc.; Cognis Oleochemicals GmbH; DIREVO Biotech AG; Dow Deutschland Anlagengesellschaft mbH; DSM N.V.; Eucodis GmbH; European Chemical Industry Council (Cefic); Evonik Degussa GmbH; FKuR Kunststoff GmbH; Fraunhofer UMSICHT; GlaxoSmithKline GmbH & Co. KG; Janssen-Cilag GmbH; Lanxess AG; LINDE AG; Lonza AG; Merck KGaA; MorphoSys AG; Novozymes A/S; Rentschler Biotechnologie GmbH; Sächsisches Institut für Angewandte Biotechnologie e.V. ; Sandoz Industrial Products GmbH; Sanofi Pasteur MSD GmbH; Sanofi-Aventis Deutschland GmbH; Sigma-Aldrich Inc.; Universität Uutrecht; Verband Der Chemischen Industrie e.V. (VCI); Wacker Chemie AG